

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université HAMMA LAKHDAR El-Oued
Faculté de technologie
Département d'hydraulique et de Génie Civil



MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement

Thème :

**Diagnostic et réhabilitation
D'un forage du complexe
Terminal et ses équipements
Cas du forage de Guemar Est**

Sous la direction de:

Dr. KHECHANA Salim

Présenté par :

AHMED El-Hadi

SAHRAOUI Bachir

Promotion : 2015/2016

DEDICACES

Je dédis ce modeste travail à ma petite famille, à la mémoire de mes défunts parents, à tous mes camarades de parcours et à tous mes amis et collègues de travail.

ARMED EL HADJ

DEDICACES

Je dédis ce modeste travail à ma mère et mon père qui ont sacrifié pour mon bonheur, à ma famille ma femme, mes filles et surtout mon fils TAREK, à mes collègues de travail et tous mes camarades et mes amis.

SAHAOUNI BACHIR

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier avant tout le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la force d'élaborer ce travail.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de notre promoteur [le Docteur KHECHANA SALIM](#) pour avoir proposé ce thème et d'avoir suivi et dirigé ce travail, nous le remercions infiniment, pour son aide, ses conseils, ses orientations ainsi que ses remarques et ses critiques qui nous ont été d'un apport précieux, nos remerciements s'étendront aussi aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à tous nos professeurs de l'université d'El Oued qui ont contribué à notre formation durant notre parcours universitaire.

Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Merci encore à tous....

Résumé

L'eau est indispensable à la vie de l'homme et à ses activités agricoles, industrielles et domestiques; d'où son importance au fonctionnement des écosystèmes terrestres, elle constitue un enjeu primordial de développement durable pour la civilisation humaine.

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 diagnostic 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.

Dans ce travail, on va faire un diagnostic pour la réhabilitation d'un forage du CT et ses équipements et on a choisi parmi lesquels le cas du forage Guemar-Est et ses équipements, en raison de sa baisse importante de sa productivité. Pour se faire, on a adopté une approche basée sur des connaissances techniques et des données existantes dans le but de proposer des variantes et ensuite de faciliter la prise de décision pour le choix de la variante ayant le meilleur rapport coût-efficacité et de décider s'il faut réaliser un nouveau forage ou réhabiliter le forage existant. Le résultat final devrait être un forage de bon rapport coût-efficacité capable de fournir de l'eau potable pendant de nombreuses années.

Mots clés : nappe du complexe terminal, forage Guemar-Est, diagnostic et réhabilitation, productivités, eau potable, rapport coût-efficacité,

LISTE DES ABREVIATIONS

ABHS: Agence de Bassin Hydrographique Sahara

ADE: Algérienne Des Eaux

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

DSA : Direction des Services Agricoles.

DRH : Direction des Ressources Hydriques.

GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONM : Office National Météorologique.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
INTRODUCTION GENERALE	01

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.INTRODUCTION	04
II.PRESENTATION DU MILIEU	04
II.1. Aperçu historique sur la région d'Oued-Souf	04
II.2. Caractéristiques géographiques	04
II.2.1.Situation géographique	04
II.2.2. Situation économique	05
II.2.3. Répartition administratif et démographique	06
II.1.4. La topographie de la région d'étude	07
III. LE CLIMAT	10
III.1. Étude des paramètres climatiques	10
III.1.1. La pluviométrie	10
III.1.2. La température	12
III.1.3. L'humidité	14
III.1.4. Le vent	15
III.1.5 L'insolation	16
IV. CONCLUSION	18

CHAPITRE II : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

I. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'OUED SOUF	20
I.1. Introduction	20
I.2.Stratigraphie régionale	20
I.2.1. Formation de l'ère Secondaire	20
I.2.2. Formations de l'ère Tertiaire	22
I.2.3. Formations du Quaternaire	23
I.3. Interprétation des coupes	26
I.4 Tectonique	28
I.5 Relief	29
II. HYDROGÉOLOGIE	30
II.1 Présentation des nappes aquifères de la région d'étude	30

II.2. Nappe phréatique	31
II.3 Nappe du complexe terminal (CT)	32
II.4 Nappe du continental intercalaire (CI)	33
II.5. Estimation des réserves	35
II.6. Inventaire des points d'eau	37
II.7 .Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe du CT	37
II.7.1. Types des pompages d'essais	37
II.7.2. Essais des pompages	37
II.7.3. Interprétation des données des essais du pompage	38
II.7.3.1. Forage (Erg Essouari-commune de Guemar)	38
II.7.3.2. Forage (Ouled Rhouma) commune de Sidi Aoun	40
II.7.3.3. Forage (Pôle universitaire) commune d'El-Oued	42
II.8. Etude piézométrique de la nappe du complexe terminal CT	45
II.8.1. Interprétation	46
III. CONCLUSION	50

CHAPITRE III : MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION D'UN FORAGE D'EAU

I. INTRODUCTION	52
II. CONSIDERATIONS ET GENERALITES SUR LES EAUX SOUTERRAINES	52
II.1. Cartographie	52
II.2. Cartes hydrogéologiques	52
II.3. Cartes structurales	53
III. LA TECHNIQUE DE FORAGE	53
III.1. Forage Rotary à boue	53
III.2. Installation du chantier de forage	53
III.3. Les étapes de réalisation d'un forage	53
III.3.1. Travaux des surfaces	53
III.3.2. Avant puits	54
III.3.3. Sondage (forage) de reconnaissance	54
III.3.4. La diagraphie	54
III.3.5. Elargissement et alésage	54
III.3.6. Tubage	54
III.3.7. Cimentation	54
III.3.8. Exécution d'un forage en 12''1/4	55
III.3.9. Tubes et Crépines	55
III.3.10. Massif filtrant (gravier additionnel)	55
III.3.11. développement du forage	55
III.3.12. Les essais des débits	56
III.3.13. Les analyses physico–chimiques et bactériologiques	56
IV. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU FORAGE D'ETUDE	56
V. STRATIGRAPHIE	57
VI. DEROULEMENT DES OPERATIONS ET CONSTRUCTION DU FORAGE	58
VII. CARACTERISTIQUES DU FORAGE	60

VII.1. Essais de débit	60
VII.1.1. Programme des essais de pompage	60
VII.1.2. Résultats des essais de pompage	61
VII.2. Interprétation des résultats	61
VIII. AQUIFERE A CAPTER	61
IX. LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DE L'EAU	61
X. CONCLUSION	62

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC D'UN FORAGE D'EAU

I. INTRODUCTION	64
II. GENERALITE SUR LE DIAGNOSTIC D'UN FORAGE ET SON EQUIPEMENT	64
II.1. Définition du diagnostic	64
II.2. Classification des causes techniques	65
II.3. Les outils pour le diagnostic de forage	67
III. LA DEMARCHE PRELIMINAIRE DE DIAGNOSTIC	67
IV. LE DIAGNOSTIC DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES	68
IV.1. Dispositifs Industriels de Commande	68
IV.1.1-Sectionneurs	69
IV.1.2-Disjoncteurs manuels	69
IV.1.3-Commutateurs à cames	70
IV.1.4.-Boutons poussoirs	70
IV.1.5-Relais de phase	71
IV.1.6-Relais thermiques	71
IV.1.7-Relais de garde niveau d'eau	72
IV.1.8-Contacteurs magnétiques	72
IV.1.9-Le temporisateur	72
IV.1.10-Lampes témoins	73
IV.2. Quelques règles essentielles sur les schémas	74
IV.3. Démarrage Industriel des Moteurs	74
IV.3.1. Démarrage Statorique	74
V. DIAGNOSTIC DE LA POMPE	75
VI. DIAGNOSTIC DU FORAGE DE GUEMAR-EST	75
VI.1. Réalisation du diagnostic	76
VI.1.1. Première étape	76
VI.1.2. Deuxième étape	76
VI.1.3. Troisième étape	79
VII. FORAGE DE REMPLACEMENT	81
VII.1. Stratigraphie	81
VII.2. Construction du forage	81
VII.3. Caractéristique du forage	81
VII.4. Essais de débit	82
VII.4.1. Programme des essais de pompage	82

VII.4.2. Interprétation des résultats	82
VII.5. Les analyses physico-chimique et bactériologique de l'eau	83
VII.6. Caractéristiques chimiques des eaux	84
VII.6.1. Représentation graphique de faciès hydro chimique	84
VII.6.2. Aptitude de l'eau à la potabilité	86
VII.6.2.1. Selon l'O.M.S	86
VII.6.2.2. Selon le degré hydrométrique total (D.H.T	87
VIII. LA POMPE	88
VIII.1. Paramètres de choix du groupe électropompe	89
VIII.2. Calcul de la hauteur manométrique total (HMT)	89
VIII.3. Estimation de perte de charge Hf	90
IX.CONCLUSION	91
CONCLUSION GENERALE	93
BIBLIOGRAPHIE	96

ANNEXES

ANNEXE N° 01	I
ANNEXE N° 02	VIII
ANNEXE N° 03	IX
ANNEXE N° 04	X
ANNEXE N° 05	XI
ANNEXE N° 06	XII

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Surface et population de la vallée de Souf par commune.	7
Tableau I.2 : Altitude moyenne des différentes communes du Souf.	9
Tableau I.3 : Moyenne mensuelles interannuelle des précipitations (1989-2014)	10
Tableau I.4 : Moyenne annuelle des précipitations (1989-2014)	12
Tableau I.5 : Moyenne mensuelle interannuelle de température	13
Tableau I.6 : Répartition des moyennes annuelles de température (1989-2014)	14
Tableau I.7 : Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2000)	15
Tableau I.8 : Répartition de la moyenne mensuelle des vitesses du vent (1989-2000)	16
Tableau I.9 : Répartition moyenne mensuelle d'insolation (1989-2000)	17
Tableau II.1 : Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued	36
Tableau II.2 : Épaisseur moyenne des différents aquifères et estimation de la réserve	36
Tableau II.3 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements (Forage Erg Essouari-commune de Guemar)	38
Tableau II.4 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements (Forage Ouled Rhouma)	41
Tableau II.5 : Calcul de débit spécifique : (Valeurs débits /rabattements) (Forage Pole universitaire)	43
Tableau II.6 : Récapitulatif des résultats des paramètres hydrodynamiques pour les 03 sites	44
Tableau II.7 : Niveau piézométrique de la nappe du CT.	45
Tableau II.8 : Niveaux piézométriques de la nappe du CT, max et min	45
Tableau III.1 : résultats des essais de pompages	61
Tableau IV.1 : Code des couleurs pour les voyants lumineux	73
Tableau IV.2 : tableau de bord	76
Tableau IV.3 : Etude comparative	77
Tableau IV.4 : Estimation et évaluation financière	79
Tableau IV. 5 : Résultats des essais de pompage	82
Tableau IV.6 : Résultat d'analyse physico-chimique d'eau du CT (forage Guemar Est).	84
Tableau IV.7 : Normes de potabilité de l'O.M.S.	86
Tableau IV.8: Dureté des eaux en °F.	87

Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique de la zone d'étude	5
Figure I.2 : Carte topographique de la vallée du Souf (DRE d'El-Oued, 2016).	8
Figure I.3 : Répartition administrative des chefs-lieux des communes de la vallée d'Oued Souf (DRE d'El-Oued	9
Figure I.4 : Répartition moyenne mensuelle interannuelle des pluies (1989-2014)	11
Figure I.5 : Répartition des moyennes annuelles de précipitation (1989-2014)	12
Figure I.6 : Répartition moyenne mensuelle de la température (1989-2014)	13
Figure I.7 : Répartition des moyennes annuelles des températures (1989-2014)	14
Figure I.8 : Répartition de la moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2000)	15
Figure I.9 : Répartition de la moyenne mensuelle de vitesse du vent (1989-2000)	16
Figure I.10 : Répartition de la moyenne mensuelle d'insolation (1989-2000)	17
Figure II.1 : Log de forage F3 à l'Albien (coupe d'après DRE 2011)	24
Figure II.2 : Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional G. Busson 1970)	25
Figure II.3 : Coupe géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages	26
Figure II.4 : Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages	27
Figure II.5 : Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages	28
Figure II.6 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)	30
Figure II.7 : Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement De la nappe (Cote Marc, 2006)	31
Figure II.8 : Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique Et les sens d'écoulement (Baba SY et al. 2006)	33
Figure II.9 : Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux Piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al. 2006)	34
Figure II.10 : Courbe débit / Rabattement à (Forage Erg Essouari).	39
Figure II.11 : Essai de pompage à longue durée à (Erg Essouari)	40
Figure II.12 : Courbe débit / Rabattement à (Forage Ouled Rhouma)	41
Figure II.13 : Essai de pompage à longue durée à (Forage Ouled Rhouma)	42
Figure II.14 : Courbe débit / Rabattement à (Forage pole universitaire)	43

Figure II.15 : Essai de pompage à longue durée (Forage pole universitaire)	44
Figure II.16 : Variation des niveaux piézométriques de la nappe CT entre 2010 et 2011 (DRE, 2011)	46
Figure II.17 : Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2011.	47
Figure II.18 : Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003).	48
Figure III.1 : Image d'un forage	52
Figure III.2. : Image satellite montrant la position du château d'eau EST Guemar	57
Figure III.3 : boîte de cutting	57
Figure III.4 : sachet de cutting	57
Figure III.5 : opération de tubage	59
Figure III.6 : opération de cimentation	59
Figure IV.1 : Image appareil de forage	64
Figure IV.2 : le colmatage de crépine en acier inoxydable	66
Figure IV.3 : Colonne de production	66
Figure IV.4 : différents types de sectionneurs	69
Figure IV.5 : différents types de disjoncteurs	70
Figure IV.6 : différents types de commutateurs	70
Figure IV.7 : différents types de boutons poussoirs	70
Figure IV.8 : différents types de relais de phases	71
Figure IV.9 : différents types de relais thermiques	71
Figure IV.10 : différents types de contacteurs	72
Figure IV.10 : différents types de temporisateurs	72
Figure IV.11 : différents types de voyants	73
Figure IV.12 : résistance statorique	75
Figure IV.13 : la mesure par sonde piézométrique	78
Figure IV.14 : incrustation dans le tubage 13''3/8	79
Figure IV.15 : Diagramme de PIPER	85
Figure IV.16: Diagramme de SCHOELLER–BER KALOFF	85
Figure IV.17: Fiche technique château d'eau Guemar-Est	88

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau, indispensable pour toutes les créatures vivantes, c'est une nécessité pour la vie. L'eau souterraine a des avantages évidents sur l'eau de surface. Aussi, a-t-elle été le paramètre principal des études Scientifique, ce domaine a été exploré depuis longtemps : *Darcy, 1856 ; Daubree, 1887 et Hadamard, 1932.*

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.

En 1960, *A. Cornet* a achevé l'étude hydrogéologique du Sahara algérien qui est toujours considérée comme une référence dans le domaine. Elle comporte les divers aspects géologiques et hydrogéologiques des nappes aquifères du Sahara algérien. Suite à ces nombreux travaux, une autre vaste étude de ces nappes est engagée en collaboration entre l'Algérie et la Tunisie sous l'égide de L'UNESCO entre 1968 et 1972. D'importants moyens matériels et humains sont alors déployés dans le cadre du projet ERESS (Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional). Cette étude couvre une superficie de 800 000 km² et concerne l'Algérie et la Tunisie. Une actualisation de l'étude ERESS est réalisée et présentée en 1981 dans le rapport PNUD (Actualisation de l'étude des ressources en eau du Sahara Septentrional). L'objectif principal de ces dernières études est l'évaluation de la demande en eau des régions sahariennes entre 2000 et 2010, afin de construire un modèle mathématique du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire, dont les résultats permettront une meilleure exploitation des eaux de ces deux nappes tout en minimisant l'impact sur l'environnement.

Du point de vue quantitative, l'eau au Sahara est généralement disponible et ce grâce à d'importants aquifères, surtout au Bas Sahara (Sahara Septentrional) Toutefois, cette eau a une qualité médiocre dans certaines régions

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.

Le vieillissement engendre des dysfonctionnements venant compliquer la tâche du gestionnaire, ces dysfonctionnements se manifestent principalement au travers de trois Symptômes caractéristiques :

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

Diagnostiquer les dysfonctionnements suivant les plaintes et interventions et prévoir la réhabilitation ou le renouvellement basé sur un modèle de vieillissement consiste à trouver des relations entre le taux de défaillances ou la durée de vie et les variables de détérioration. La plupart des modèles sont de nature statistique et économique.

Ce travail a pour objet de diagnostiquer tous les aléas de dysfonctionnement de forage destinés à l'alimentation en eau potable. On proposera une méthode de prévision pour la réhabilitation ou le renouvellement économiquement fiable.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I. INTRODUCTION :

Dans ce premier chapitre, on va donner un aperçu historique sur la région d'étude, puis donner quelques informations sur ses différentes composantes climatiques.

II. PRESENTATION DU MILIEU :

II.1. Aperçu historique sur la région d'Oued-Souf :

La vallée du Souf représente une unité de ressource en eau, elle est située au Sud-Est algérien, elle occupe une superficie de 11738 km², représentée administrativement par 18 communes, et englobe un nombre de population de 566245 habitants. Elle possède un réservoir très important en matière des ressources hydriques(DRE/2016).

El Oued : la ville aux mille coupoles, capitale du Souf, l'architecture s'y distingue de celle des autres villes sahariennes. Au lieu des terrasses, ce sont des coupoles qui coiffent les maisons.

Le sol est riche et l'ensoleillement maximal du Souf, jointent leurs vertus à celle du Ghout pour produire des dattes qui, avec celles de la région de Biskra, sont parmi les plus réputées au monde. Nombre de palmeraies jouissant d'une eau douce peuvent se permettre de cultiver la variété "Déglà", exigeante mais lucrative car exportée. La seule connue en Europe est la Déglat-Nour (doigt de lumière).

D'autres variétés, plus rustiques, qui peuvent se contenter d'eau plus salée, alimentent les marchés locaux. Les Dattes-Ghars peuvent être compressées dans des sacs ou dans des jarres et être ainsi conservés très longtemps (jusqu'à 15 ans). Ce qui explique qu'elle est constituée au fil des temps, la base de la nourriture des nomades avec le lait. Au fond de l'entonnoir, le propriétaire réserve un périmètre, irrigué par la Khottara (puits à balancier) pour quelques primeurs (pastèques, melons, poivrons, navets, carottes, etc...).

II.2. Caractéristiques géographiques :

II.2.1.Situation géographique :

El oued est située dans le Sahara algérien, c'est une Wilaya depuis 1984 et couvre une superficie totale de 44586 km², la population est de 791000 habitants, et la densité est de 17.74 habitant par km², se trouve à environ 700 km au Sud- Est d'Alger (Figure I.1) et 350 km à l'Ouest de Gabes (Tunisie). Elle est limitée : (DRE/2016)

- Au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa,
- A l'Est par la Tunisie,

- A l'Ouest par les wilayas Biskra, Djelfa et Ouargla,
- Au Sud par la Wilaya d'Ouargla.

L'aire d'étude représente la vallée du Souf, par 7°E et 33°5N.

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.

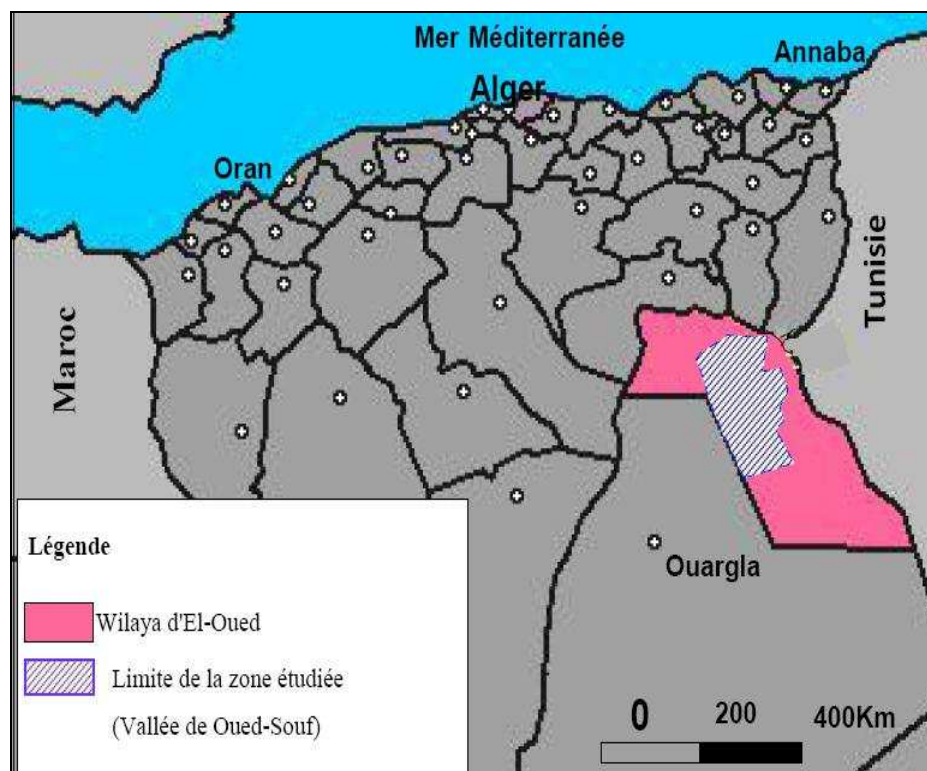


Figure I.1 : Situation géographique de la zone d'étude

II.2.2. 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 coupes qui coiffent les maisons.

II.2.3. Répartition administratif et démographique :

Selon le tableau I.1, nous constatons que la commune la plus peuplée est El-Oued (2124.09 hab. /km²), suivi par la commune de Hassani Abdelkrim (488.53 hab. /km²), sachant que la commune El-Ogla a la moindre densité populaire (5.52 hab. /km²).

Tableau I.1 : Surface et population de la vallée de Souf par commune.

N°	Commune	Population (hab.)	Superficie	Densité populaire (hab/km ²)
01	Hassi Khalifa	38235	1112	34.38
02	El-Ogla	7465	1352	5.52
03	Mih Ouansa	20650	1111	18.58
04	El-Oued	163555	77	2124.09
05	Robbah	26570	499	53.24
06	Oued Allenda	7720	712	10.84
07	Bayadha	38990	139	280.50
08	Nakhla	15845	700	22.63
09	Guemar	49325	1264	39.02
10	Sidi Aoun	14315	480	29.82
11	Trifaoui	10120	474	21.35
12	Magrane	28780	618	46.56
13	Ourmes	6655	443	15.02
14	Kouinine	12610	116	108.7
15	Reguiba	50460	1966	25.66
16	Taghzout	16600	539	30.79
17	Debila	30015	78	384.80
18	Hassani Abdelkerim	28335	58	488.53
Totaux		566245	11738	48.24

(DRE d'El-Oued, 2016)

II.2.4. La topographie de la région d'étude :

La région de Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara caractérisée par une faible altitude au Sud-est du pays. Le point le plus haut se trouve à la côte 125m dans la ville d'Essoualah, alors que le point le plus bas se trouve à la cote -3 m à Foulia commune de Réguiba (ANRH/2016).

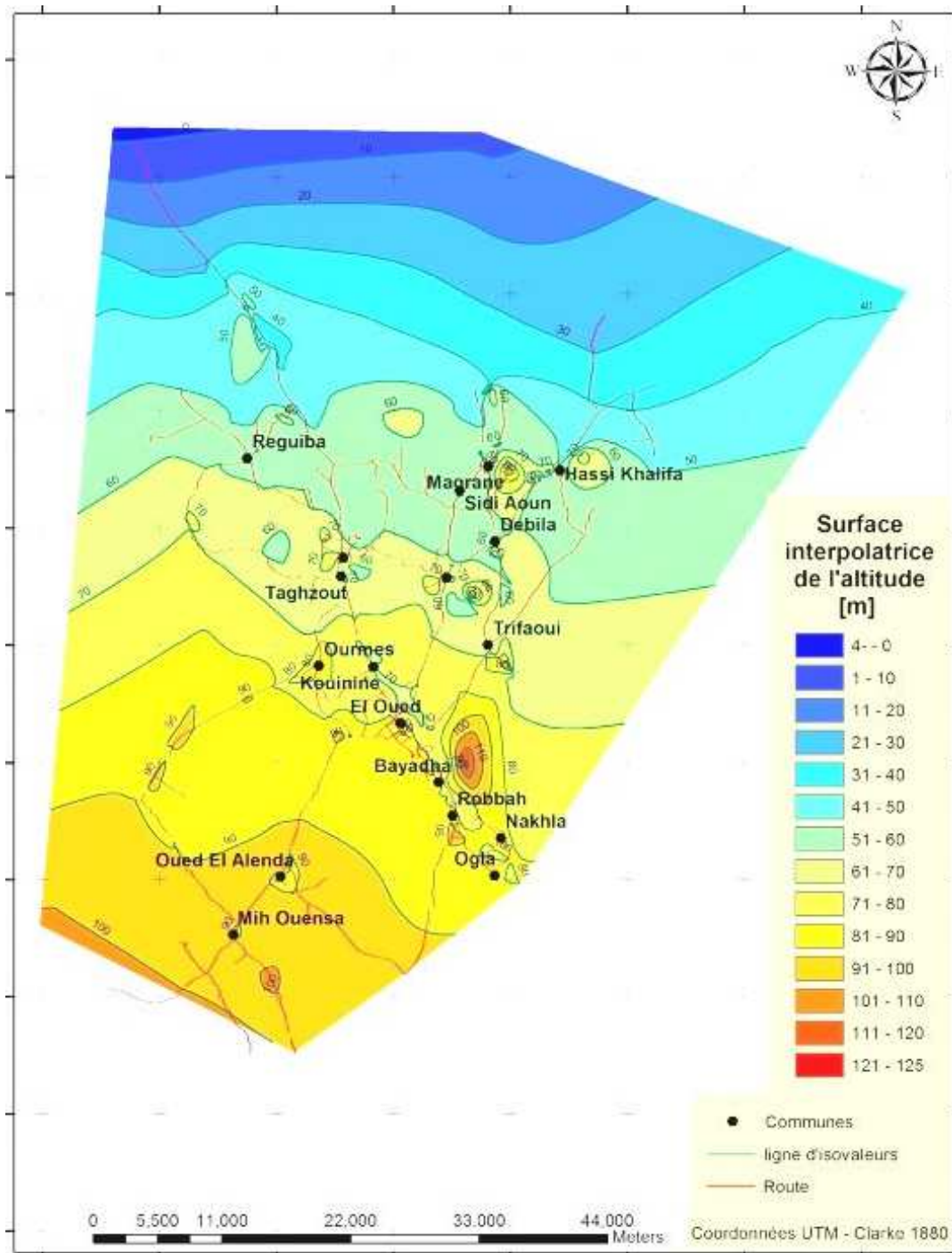


Figure I.2: Carte topographique de la vallée du Souf (DRE d'El-Oued, 2016).

L'altitude moyenne de la région est de 61 m et dénonce une diminution du Sud vers le Nord pour être de 25 m au dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts (ANRH, 2016).

Tableau I.2 : Altitude moyenne des différentes communes du Souf.

N°	Commune	Altitude Moye	N°	Commune	Altitude
01	Hassi Khalifa	77	10	Sidi Aoun	54
02	El-Ogla	91	11	Trifaoui	81
03	Mouih Ouansa	91	12	Magrane	60
04	El Oued	77	13	Ourmes	85
05	Robbah	93	14	Kouinine	75
06	Oued Allenda	83	15	Reguiba	57
07	Bayadha	90	16	Taghzout	78.5
08	Nakhla	85	17	Débila	62
09	Guemar	64	18	Hassani Abdelkrim	66

(DRE d'El-Oued, 2016)

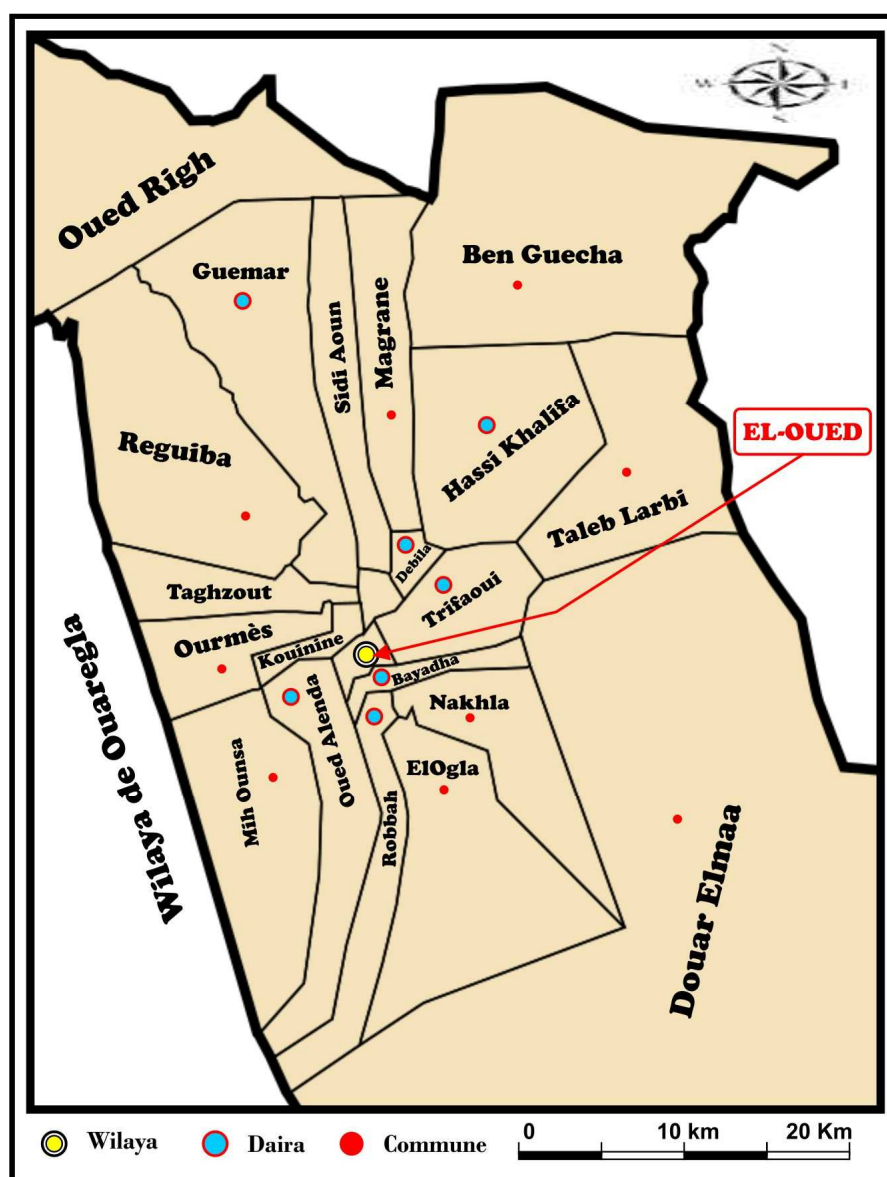


Figure I.3 : Répartition administrative des chefs-lieux des communes de la vallée d'Oued Souf (DRE d'El-Oued, 2016)

III. LE CLIMAT :

Le climat joue un rôle important pour tous les études hydrogéologiques, car il a une influence sur le comportement hydraulique et surtout la recharge des aquifères.

Les paramètres principaux : la précipitation, la température, l'humidité, les vents et l'insolation caractérisant le climat.

Le climat algérien est caractérisé par sa grande variabilité des précipitations et des températures annuelles, cette variation est due essentiellement aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

Pour analyser les paramètres climatiques, on a sélectionné la station Météorologique de l'ONM (Office National Météorologique) de l'aéroport de Guemar qui représente la seule station existante dans la zone d'étude. Ces données sont choisies durant une période de 25 ans (1989-2014).

Les caractéristiques géographiques de cette station sont :

- Code A.N.R.H : 13 04 14
- Altitude : 64m
- Longitude : 06°47'E
- Latitude : 33°30 ' N

III.1. Étude des paramètres climatiques :

III.1.1. La pluviométrie :

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Ce terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol.

a- Evaluation mensuelle des pluies :

Les évaluations moyennes mensuelles interannuelles des précipitations d'une durée d'observation de 25 ans (1989-2014) sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau I.3 : Moyenne mensuelles interannuelle des précipitations (1989-2014)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P(mm)	6.96	6.46	6.70	6.80	17.64	2.49	6.83	6.76	5.51	0.81	0.36	2.07	69.39

(ONM, 2016)

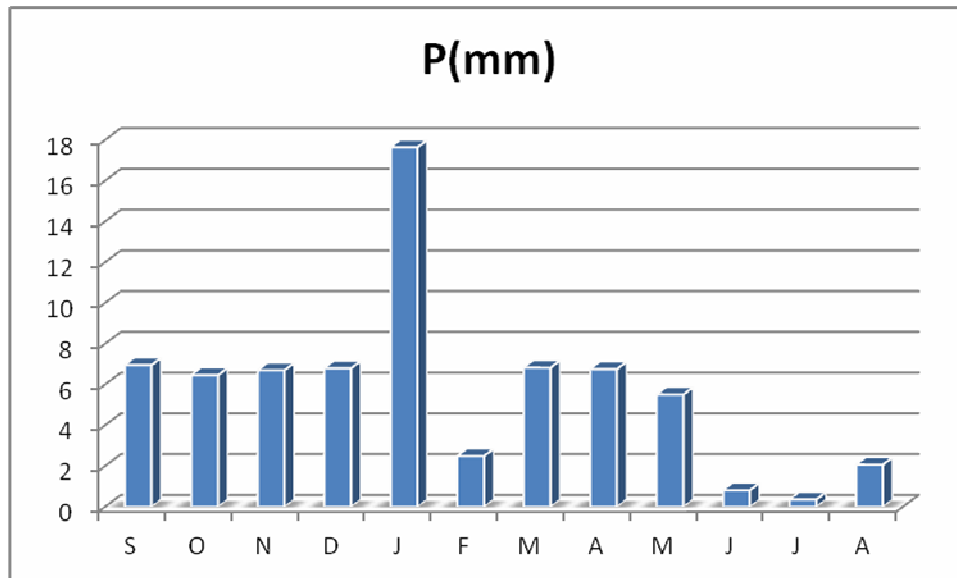


Figure I.4 : Répartition moyenne mensuelle interannuelle des pluies (1989-2014)

Ce graphe montre une variabilité des précipitations dans le temps, d'où la pluviométrie maximale est de l'ordre de 17.64mm enregistré pendant le mois de janvier, et le minimum est de l'ordre de 0.36mm enregistré pendant le mois de juillet, la précipitation annuelle est 69,39mm .

b- Evaluation moyenne annuelle des pluies :

Afin de mieux visualiser l'année la plus pluvieuse durant la période d'observation, nous avons calculé les précipitations moyennes annuelles dont les résultats sont regroupés dans le tableau I.4. La répartition annuelle de précipitation est schématisée en figure I.5.

L'analyse de la courbe de répartition moyenne annuelle, permet de tirer les particularités suivantes :

- Les modules pluviométriques généralement sont faibles, ils varient entre 22.9 mm (en 2012/2013) à 193 mm (en 2009/2010).
- La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 69.39mm, la station de Guemar a enregistré 10 années des précipitations supérieures à la moyenne et 15 années au dessous de la moyenne.
- L'allure de la courbe de répartition interannuelle est pratiquement identique.

D'après DUBIFE, 1963, les régimes des précipitations sont différents et ce selon les saisons : durant l'été elles sont dues aux dépressions de Mousson, en hiver leur provenance est due aux dépressions accompagnants la migration vers le sud des fronts

polaires, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano- Sahariennes du sud vers le nord.

Tableau I.4 : Moyenne annuelle des précipitations (1989-2014)

Année	P(mm)	Année	P(mm)	Année	P(mm)
1989/1990	173.60	1998/1999	130	2007/2008	56.3
1990/1991	73.80	1999/2000	77.6	2008/2009	31.4
1991/1992	67	2000/2001	37.3	2009/2010	193
1992/1993	35.30	2001/2002	52	2010/2011	48.5
1993/1994	54.80	2002/2003	32	2011/2012	29.5
1994/1995	24	2003/2004	97.9	2012/2013	22.9
1995/1996	151.10	2004/2005	133.5	2013/2014	26.1
1996/1997	30.30	2005/2006	35.7	Moyenne annuelle	72.38
1997/1998	74.80	2006/2007	121.3		

(ONM/2016)

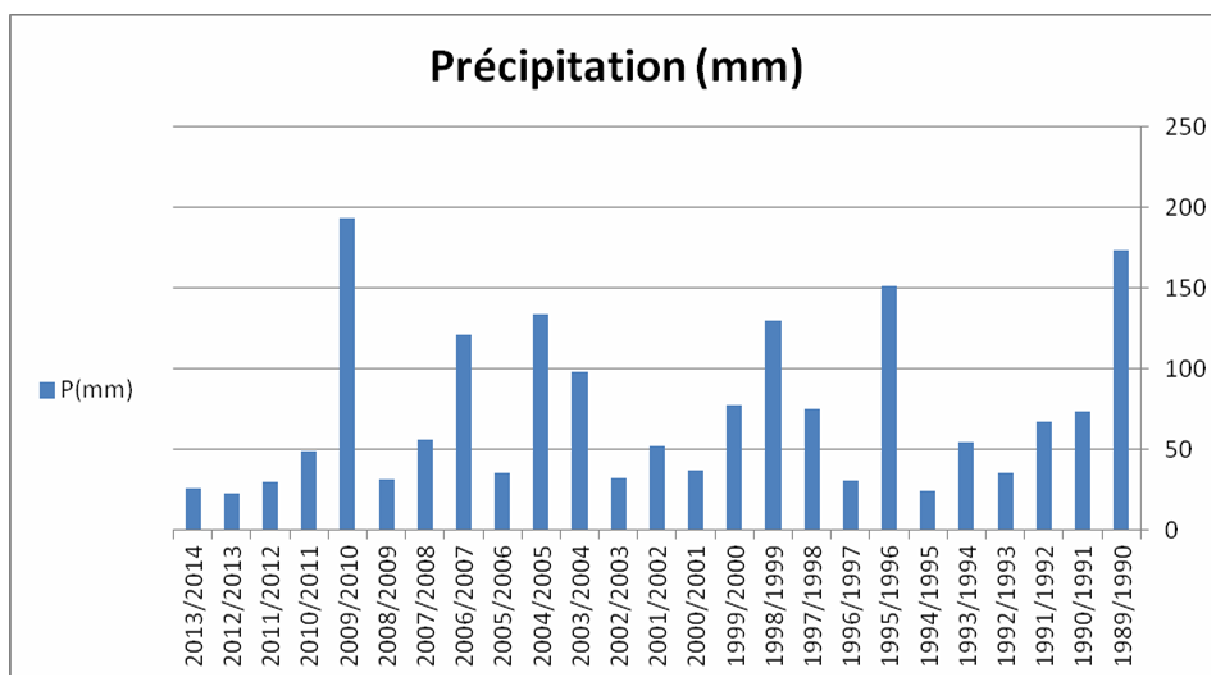


Figure I.5 : Répartition des moyennes annuelles de précipitation (1989-2014)

III.1.2. La température :

a- les températures moyennes mensuelles :

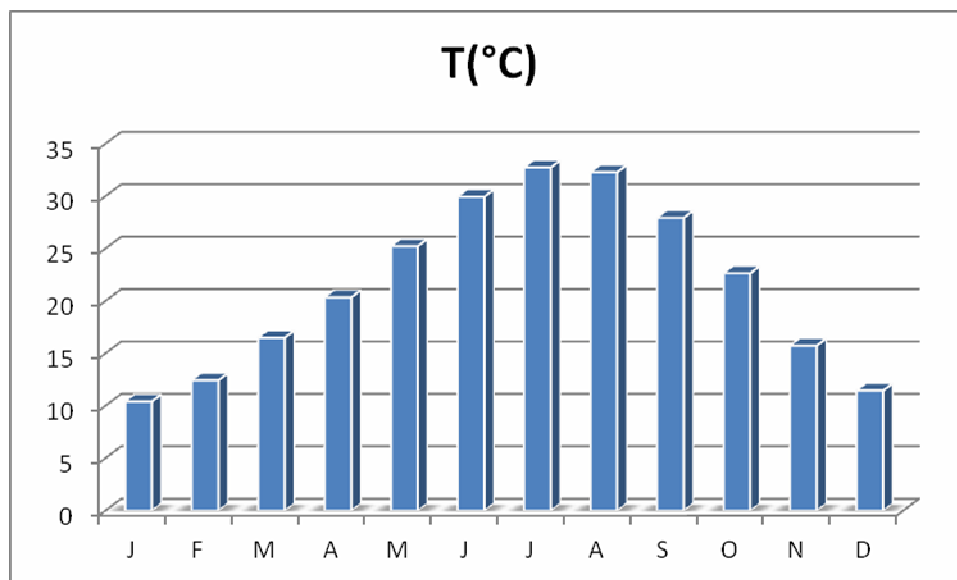
La région se caractérise par des écarts des températures, aussi bien à l'échelle diurne qu'à l'échelle mensuelle, pouvant atteindre parfois 21.47°C. Le tableau I.5 représente la répartition moyenne mensuelle de la température.

Tableau I.5 : Moyenne mensuelle interannuelle de température

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
T(°C)	10.42	12.43	16.50	20.35	25.23	29.95	32.74	32.28	27.94	22.65	15.74	11.45	21.47

(ONM, 2016)

Ce tableau montre une variabilité de température dans le temps sur une période de 25 ans : La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier 10.42°C, alors que la période chaude commence à partir du mois de mai jusqu'au mois de octobre avec un maximum de température relevé pendant le mois de août 32.74°C, la moyenne annuelle est de l'ordre de 21.47°C

**Figure I.6 : Répartition moyenne mensuelle de la température (1989-2014)**

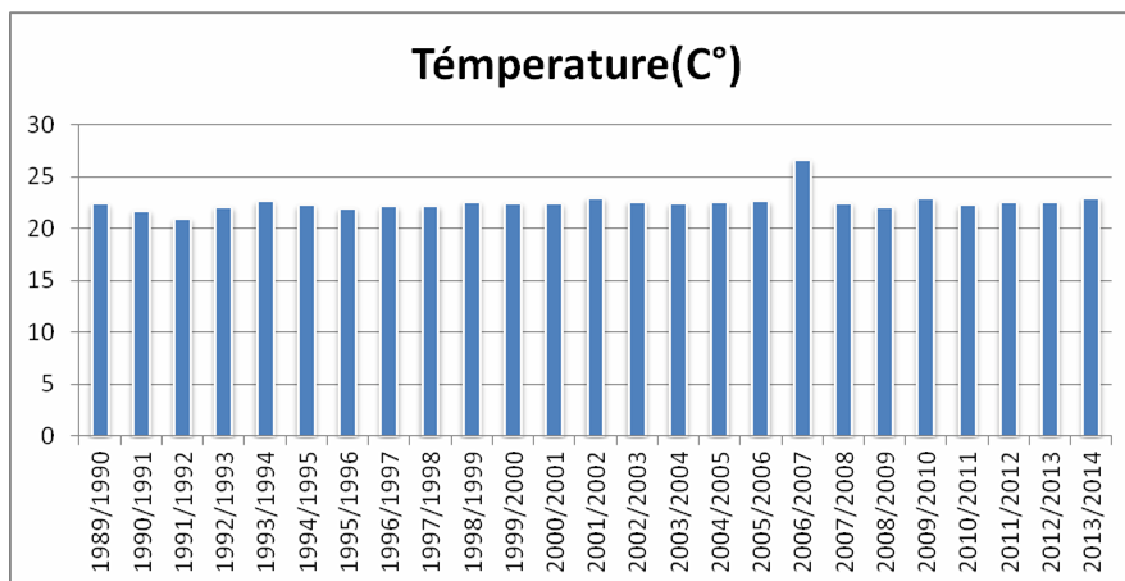
b -Les températures moyennes annuelles :

Le tableau I.6 et la figure I.7 présentent la répartition moyenne annuelle de température sur la même période (1989-2014).

Tableau I.6 : Répartition des moyennes annuelles de température (1989-2014)

Année	T(C°)	Année	T(C°)	Année	T(C°)
1989/1990	22.43	1998/1999	22.60	2007/2008	22.53
1990/1991	21.77	1999/2000	22.50	2008/2009	22.15
1991/1992	21.02	2000/2001	22.42	2009/2010	22.93
1992/1993	22.13	2001/2002	22.98	2010/2011	22.29
1993/1994	22.67	2002/2003	22.65	2011/2012	22.63
1994/1995	22.30	2003/2004	22.42	2012/2013	22.59
1995/1996	21.98	2004/2005	22.54	2013/2014	22.97
1996/1997	22.18	2005/2006	22.67	Moyenne	22.56
1997/1998	22.23	2006/2007	26.67		

(ONM, 2016)

**Figure I.7 : Répartition des moyennes annuelles des températures (1989-2014)****III.1.3. L'humidité :**

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation.

L'humidité moyenne de la région représentée dans le tableau ci-dessous, où on remarque un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre

de 29.91 %, c'est la saison d'été, et un maximum enregistré pendant le mois de janvier avec une valeur de 64.24 %, c'est la saison d'hiver.

Tableau I.7 : Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2000)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moye
Humidité (%)	44.58	51.01	56.74	64.21	64.24	53.25	46.56	42.22	36.98	32.04	29.91	32.93	46.22

(ONM, 2009)

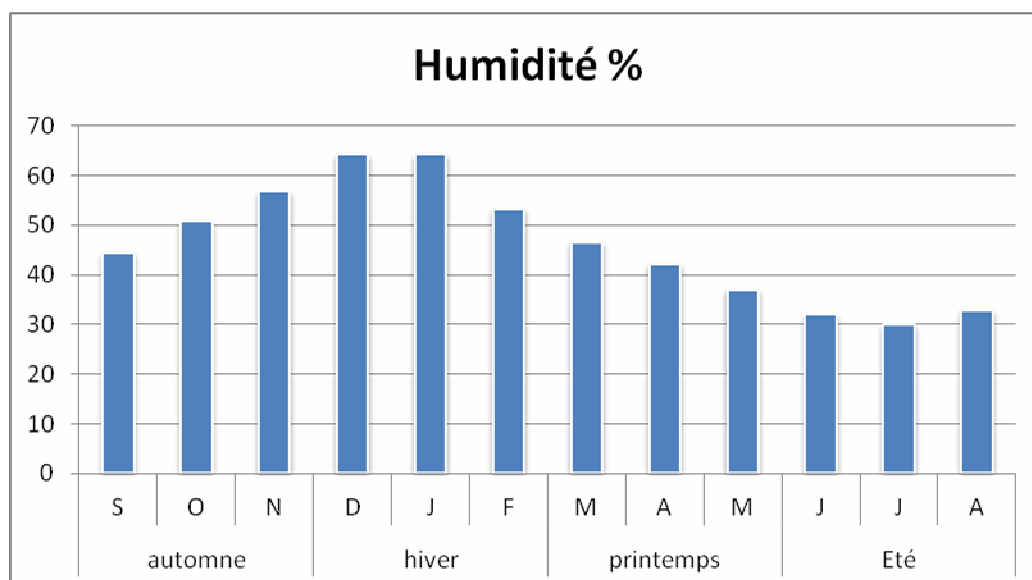


Figure I.8 : Répartition de la moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2000)

III.1.4. Le vent :

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud Ouest.

Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares.

La vitesse moyenne des vents enregistrée pour la période de (1989-2000) est reportée

sur le tableau I.8). On remarque qu'au printemps les vents sont les plus forts dominés par le vent d'Est communément appelé "El-Bahri". Ce dernier souffle principalement pendant la période qui s'étale d'Avril à Juillet. En été, il apporte de la fraîcheur, mais il est peu apprécié. Au printemps car il donne naissance au vent de sable et retarde la floraison des cultures locales tel que le tabac et le palmier. Ces vents de sable donnent au ciel une couleur jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 11 à 15km/h.

Tableau I.8 : Répartition de la moyenne mensuelle des vitesses du vent (1989-2000)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moye
$V_{\text{vent}} \text{ (m/s)}$	2.89	2.26	1.95	2.12	2.12	2.41	3.14	3.96	4.07	3.72	3.21	2.88	2.89

(ONM, 2001)

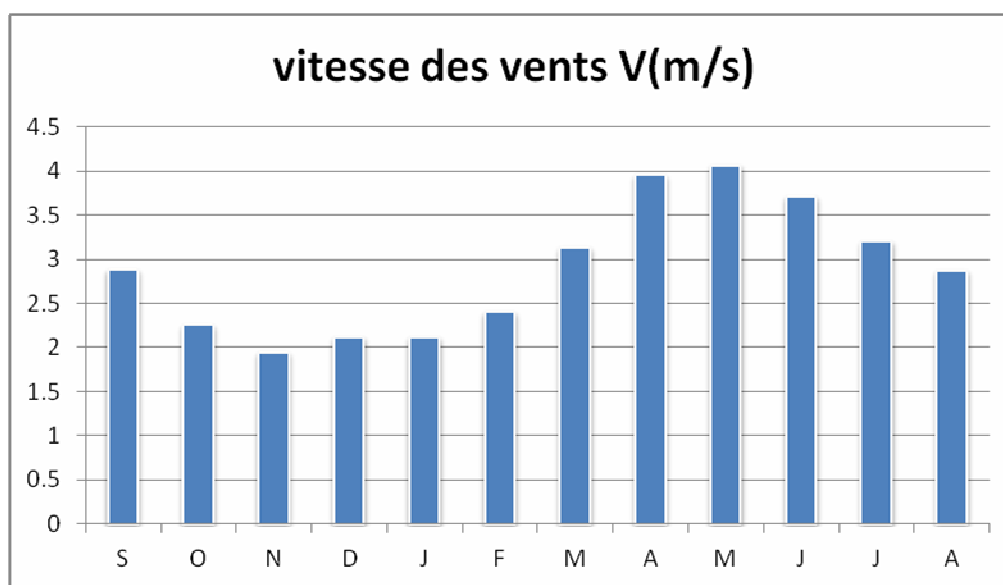


Figure I.9 : Répartition de la moyenne mensuelle de vitesse du vent (1989-2000)

III.1.5. L'insolation :

On appelle insolation ou radiation solaire globale la période durant laquelle le soleil peut briller ; on la détermine par des mesures directes ou par dépouillement des bandes héliographiques.

Au niveau de la station d'El Oued (Guemar), nous possédons une série des données de (1989- 2000.)

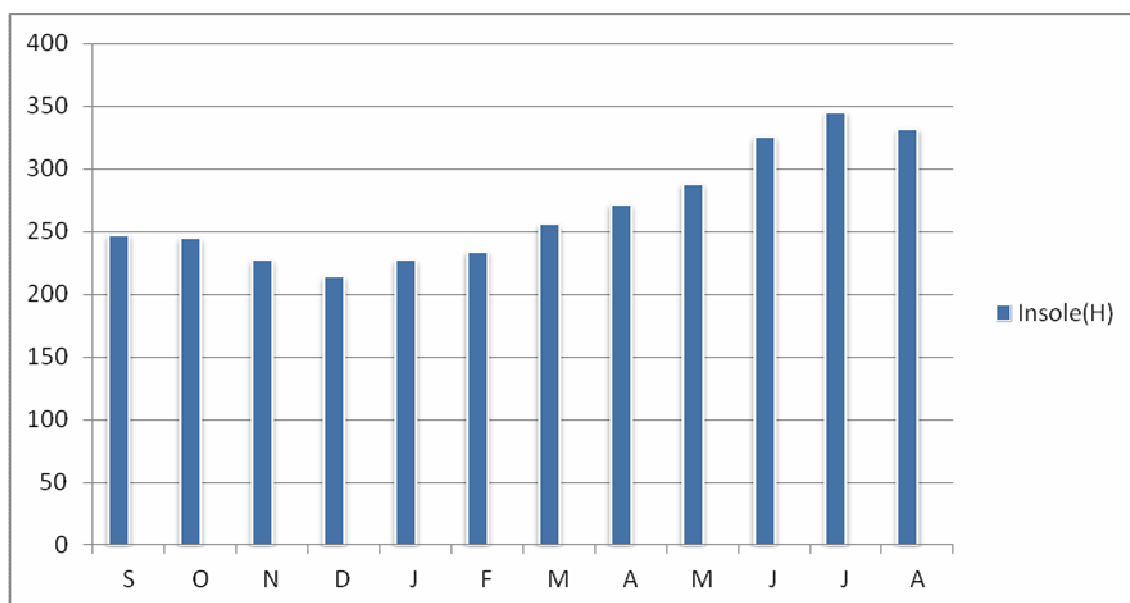
- La durée moyenne d'insolation annuelle est de 268 heures ;

- Le maximum est enregistré en juillet avec 345.20 heures ;
- Le minimum apparaît en décembre avec 214.23 heures.

Tableau I.9 : Répartition moyenne mensuelle d'insolation (1989-2000)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moye
Insole (h)	247.26	244.51	227.16	214.23	227.08	234.03	255.57	271.80	288.14	325.63	345.20	331,7	268

(ONM, 2001)

**Figure I.10** : Répartition de la moyenne mensuelle d'insolation (1989-2000)

IV. CONCLUSION :

La wilaya d'el Oued englobe les vallées du Souf et d'Oued Righ. Elle 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'analyse climatique a permis de ressortir les résultats suivants :

- La précipitation mensuelle interannuelle est de l'ordre de 72.38mm.
- La température moyenne mensuelle est de l'ordre 22.56C°.
- Le mois le plus humide est Décembre (moyenne interannuelle 64.24%) et d'un faible rayonnement solaire (moyenne de 214.23 heures).
- Le mois le plus sec est Juillet caractérisé par une faible humidité (moyenne de 29.91%).
- La brillance de soleil est très élevée (moyenne de 345.20 heures) ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

CHAPITRE II

GÉOLOGIE & HYDROGÉOLOGIE

I. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'OUED SOUF :

I.1. Introduction :

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 l'infiltration et la circulation souterraines 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.

I.2. Stratigraphie régionale :

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 (fig.II.1) :

I.2.1. Formation de l'ère Secondaire :

a) Crétacé inférieur :

0 Le Barrémien :

Cet étage est capté par tous les forages du Continental Intercalaire réalisés dans cette région ; il présente une lithologie d'alternance de grés avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex.

L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

0 L'Aptien :

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont

l'épaisseur ne dépasse pas les 30m.

0 L'Albien :

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et 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 se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

0 Vraconien :

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées degrés à ciment calcaire.

Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

b) Crétacé moyen :

0 Le Cénomaniens :

Tous 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. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable.

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

0 Le Turonien :

Cet étage représente la base du Complexe Terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes. Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres.

c) Crétacé supérieur :**0 Le Sénonien :**

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

0 Sénonien lagunaire :

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien.

Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

0 Le Sénonien carbonaté :

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres. Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le sénonien carbonaté et l'Eocène, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

I.2.2. Formations de l'ère Tertiaire :**0 L'Eocène :**

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

0 Le Miopliocène :

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomanién et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux,

sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès.

Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et Demargne séparent cet horizon en 4 niveaux :

➤ *Niveaux argileux :*

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénon-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

➤ *Niveaux grès sableux :*

C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles. C'est à niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

➤ *Niveaux argileux :*

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau sableux mipliocène

➤ *Niveau sableux :*

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du Complexe Terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal.

I.2.3. Formations du Quaternaire :

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

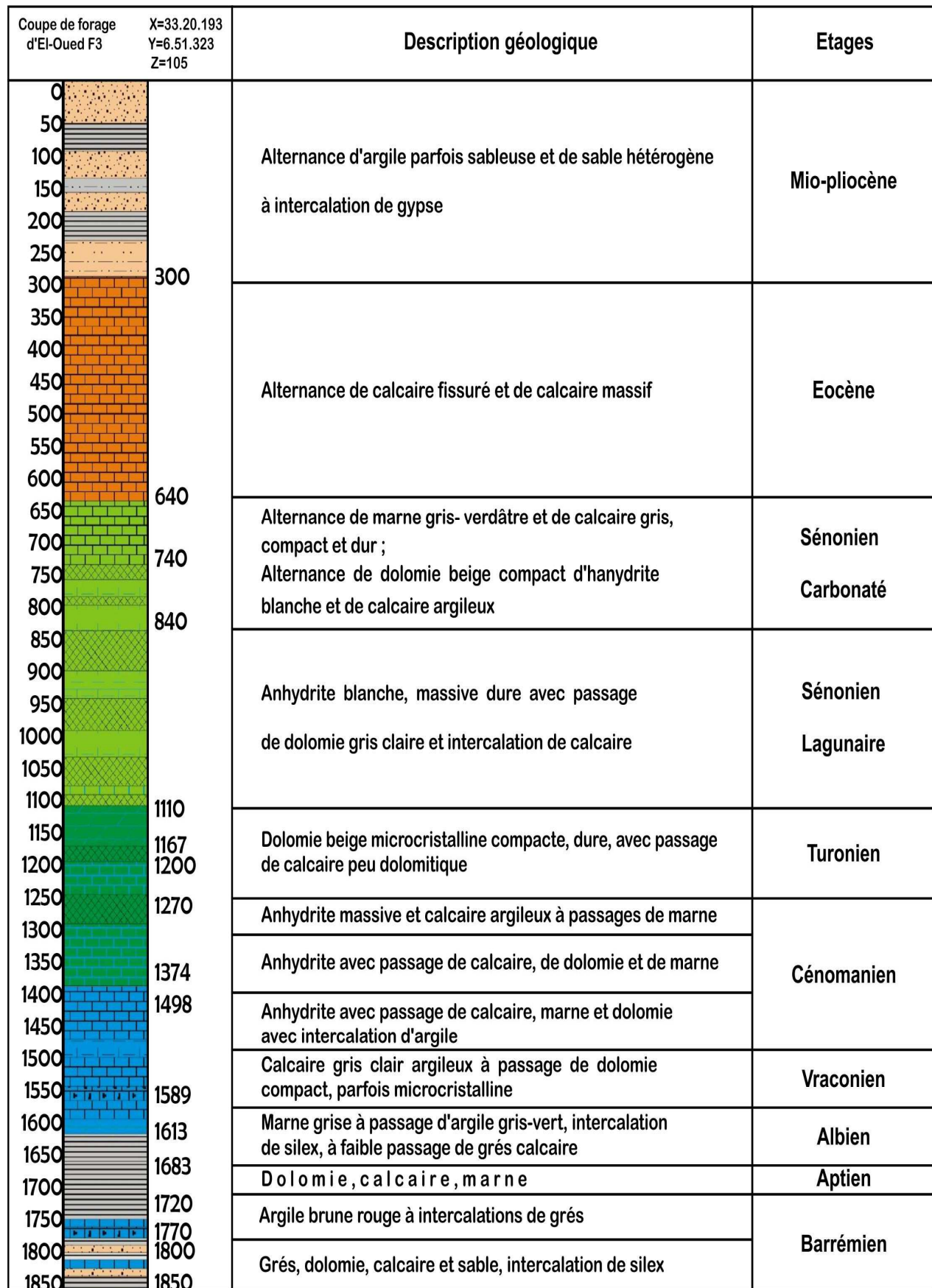


Figure II.1 : Log de forage F3Albien, cité 19 Mars El oued (coupe d'après DRE 2011)

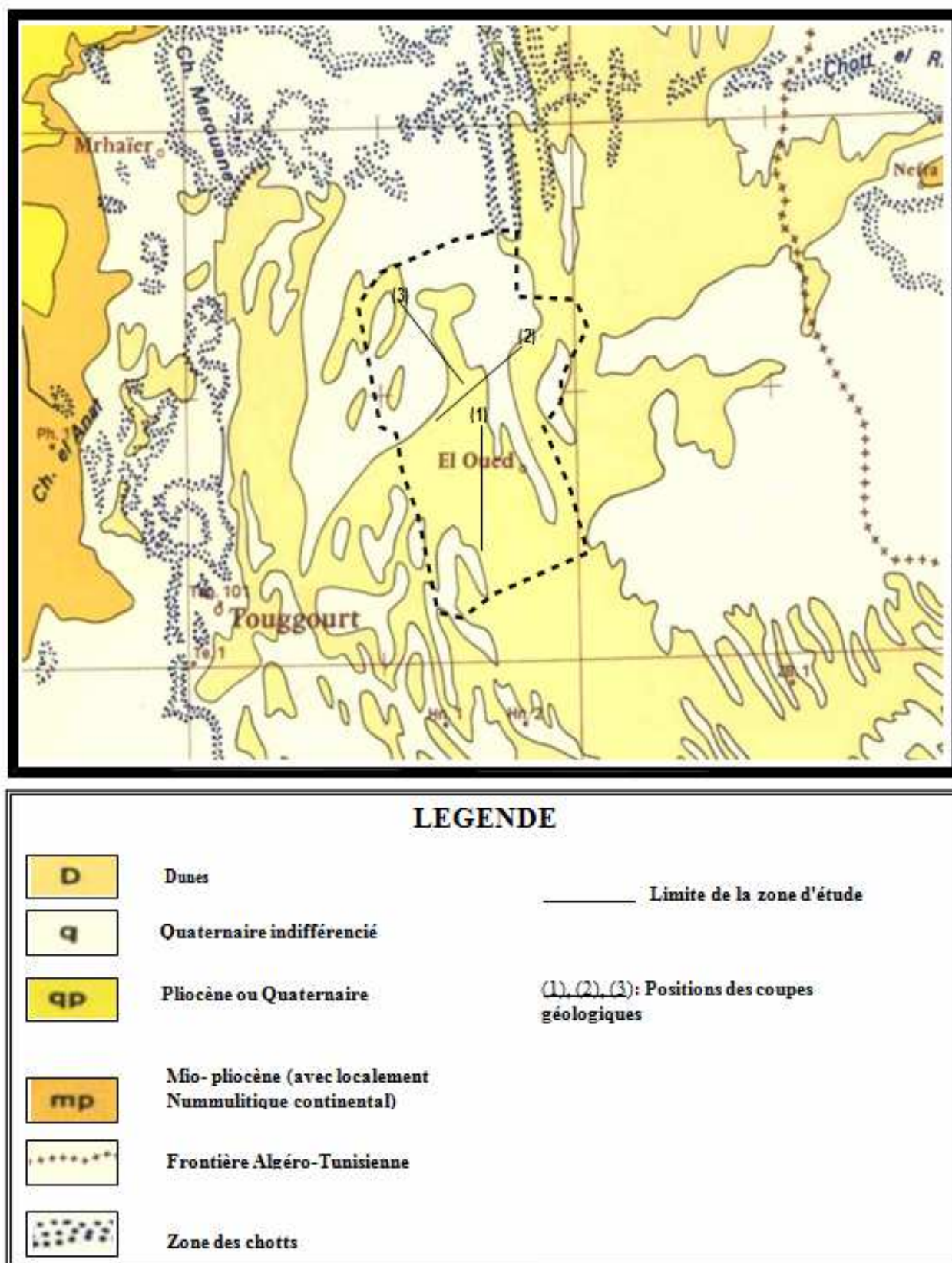


Figure II.2 : Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional G. Busson 1970)

I.3. Interprétation des coupes :

L'établissement des coupes a pour but, d'établir une corrélation lithologique du sous-sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximative de la nappe et l'épaisseur utile des couches.

- **Coupe N° 1 :**

Cette coupe est faite sur la base des coupes de forages, elle est orientée du Nord vers le Sud. On remarque que l'épaisseur du Mio Pliocène qui est constitué par des argiles, de sables et de calcaires diminue du Nord vers le Sud. Au niveau G11104, on remarque l'absence des formations quaternaires représentées par des sables ; cette lacune ne peut être expliquée que par l'effet d'une érosion, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud. (Fig.II.3)

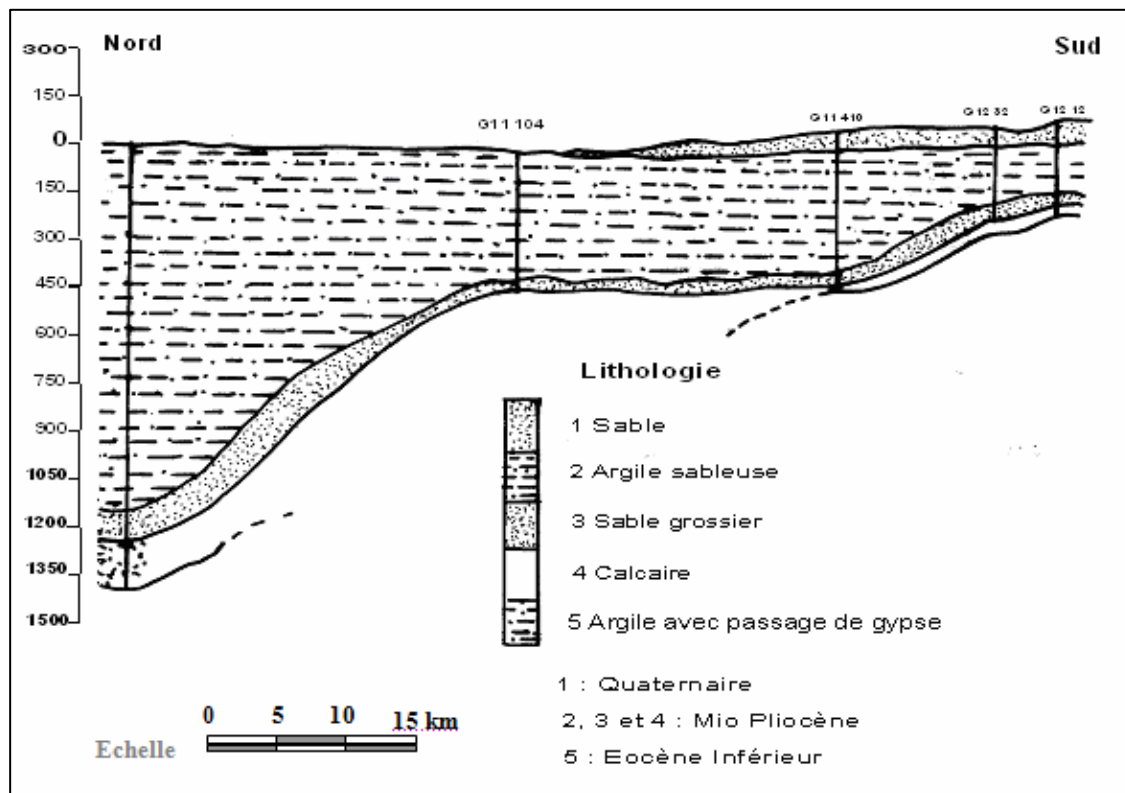


Figure II.3: Coupe géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages

- Coupe N° 2

La coupe N° 2 orientée NE-SW, en allant de la région dite Merzaka vers Ourmès, on remarque au niveau du forage (H1252), l'absence du Quaternaire, ceci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations miopliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200 m). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, au contraire de celle de Quaternaire qui est constituée par des sables qui changent d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage H11540 l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H1284) (Fig.II.4).

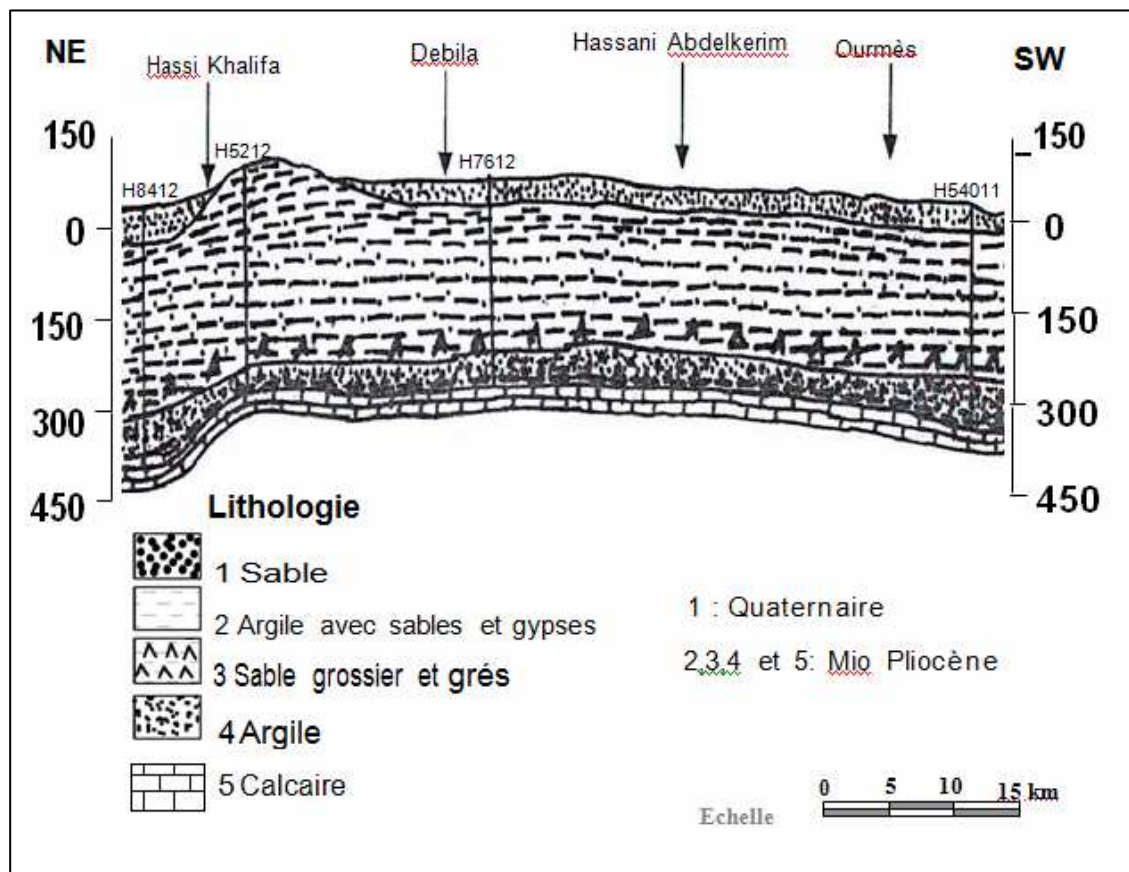


Figure II.4: Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages

- **Coupe N° 3:**

La coupe N° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-Est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est. (Fig.II.5).

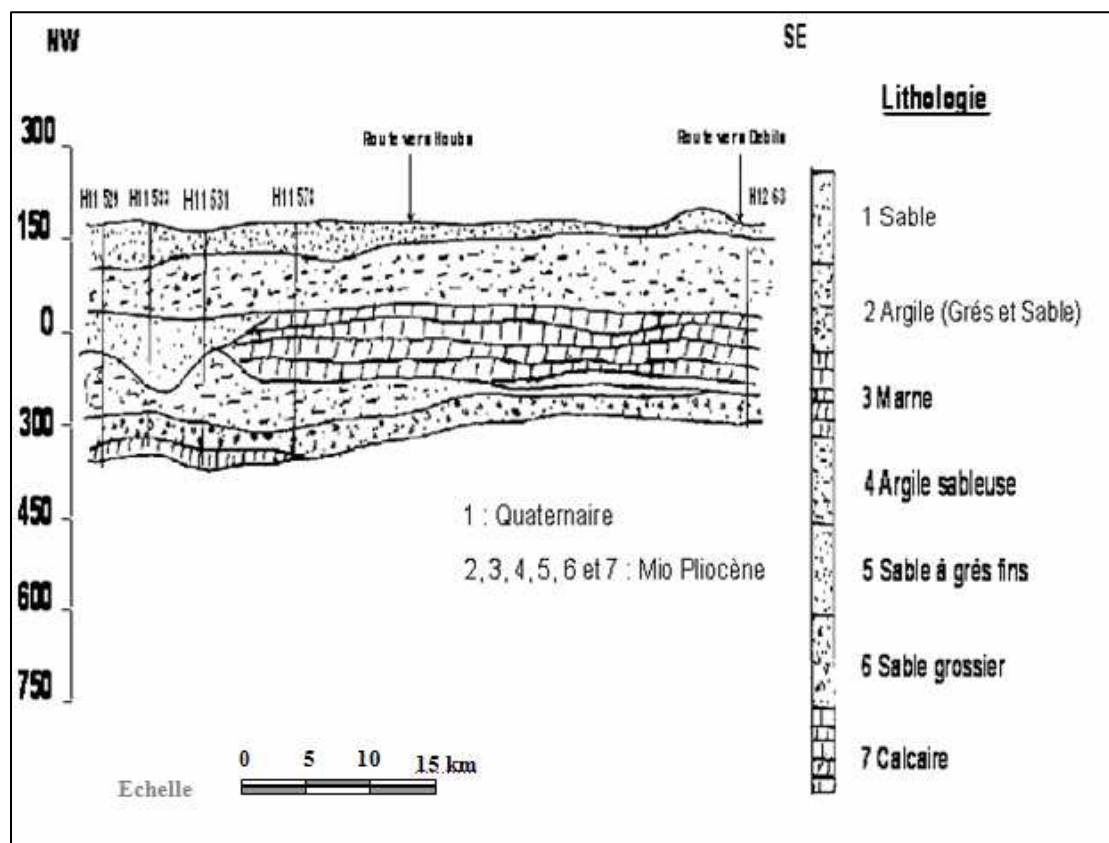


Figure II.5: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages

I.4. Tectonique :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin, vaste zone d'épandage, 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 sub-verticaux.

Les courbes 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 du 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 formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

L'aquifère Quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-Est de la région d'étude. La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.

I.5. Relief :

Le relief de la vallée d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une région sableuse : qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahara.
- Une forme de plateaux rocheux : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est. Il est à signaler que l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

II. HYDROGÉOLOGIE :

L'étude hydrogéologique a pour finalité la planification de l'exploitation des ressources en eaux souterraines, ceci après avoir une idée sur le comportement et l'évolution de la surface piézométrique, ainsi sur le comportement hydrodynamique et les conditions aux limites de ces ressources.

Le dimensionnement de la couche mouillée et l'estimation du volume du réservoir nécessitent la mise en évidence :

- Des niveaux piézométriques grâce à la carte piézométrique.
- De la carte de substratum de l'aquifère.
- Des paramètres hydrodynamiques de la nappe (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emménagement, porosité).

II.1. Présentation des nappes aquifères de la région d'étude :

Du point de vue hydrogéologique, la région d'El Oued est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique.

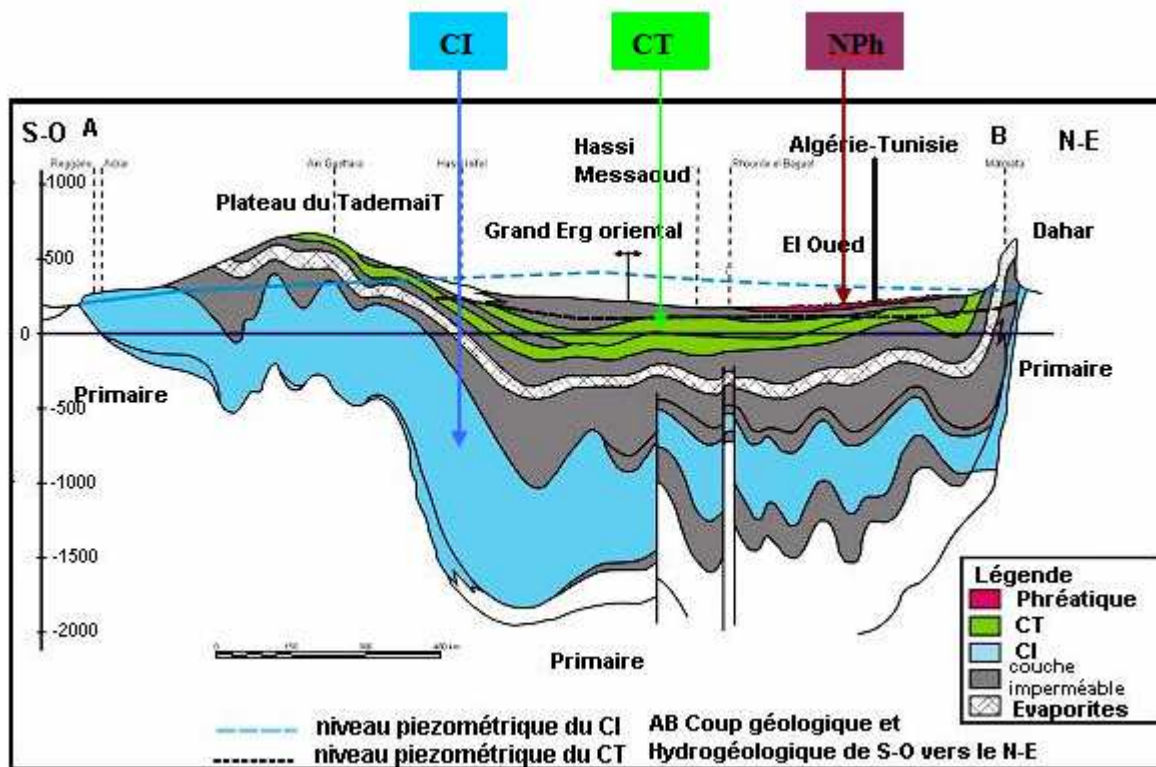


Figure II.6 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)

II.2. Nappe phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf, correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire ; elle se localise à des profondeurs variant entre 00 et 60 mètres.

Vu sur son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies; elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon les enquêtes sont en nombre de 31 000 puits autorisés. (DRE El oued)

La circulation des eaux dans cette nappe est relativement rapide sur toute la région du Souf et particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté la région des Chotts, la nappe libre est présente sur toute la zone d'étude.

La nappe phréatique dans la région du Souf est principalement alimentée par les eaux utilisées par les populations (les eaux d'irrigation, industrielles et domestiques) et la source absolue de ces derniers est des nappes profondes du Complexe Terminale et Continentale Intercalaire (Marc Cote, 1998). (ANRH 2016)

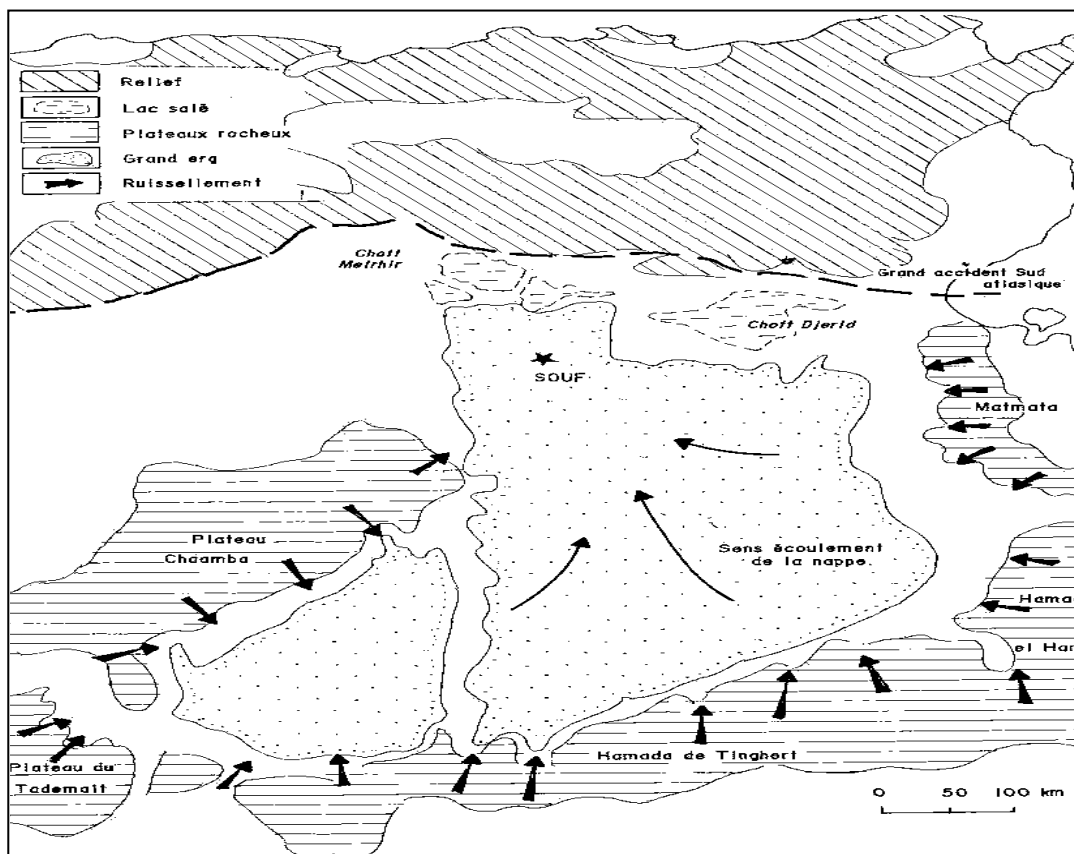


Figure II.7 : Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement De la nappe (Cote Marc, 2006)

II.3. Nappe du Complexe Terminal (CT) :

Ce terme regroupe sous une même dénomination, un ensemble de nappes aquifères qui sont situés dans la formation géologique différentes : Sénonien carbonaté, Eocène et Miopliocène sableux.

D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence des 03 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes de sables d'âge Miocène (Pontien) et Pliocène, alors que la dernière à l'Eocène inférieur.

a- Nappes des sables :

Au sein de ces niveaux sableux, vient s'engendrer deux nappes captives, 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 mène progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud artésienne, dans la région d'étude elle se trouve 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 en contact avec les marnes de l'Eocène inférieurs 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 la zone à fortes exploitations telle 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 Laarbi et Douar El Maa, la nappe est exploitée à ce jour artisanalement. C'est le cas de la nappe Pontienne.

b- Les nappes de calcaires :

Le Complexe Terminal possède une litho-stratigraphie plus complexe ; les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux servant 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. Il correspond 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 avec des passées d'argile rouge.

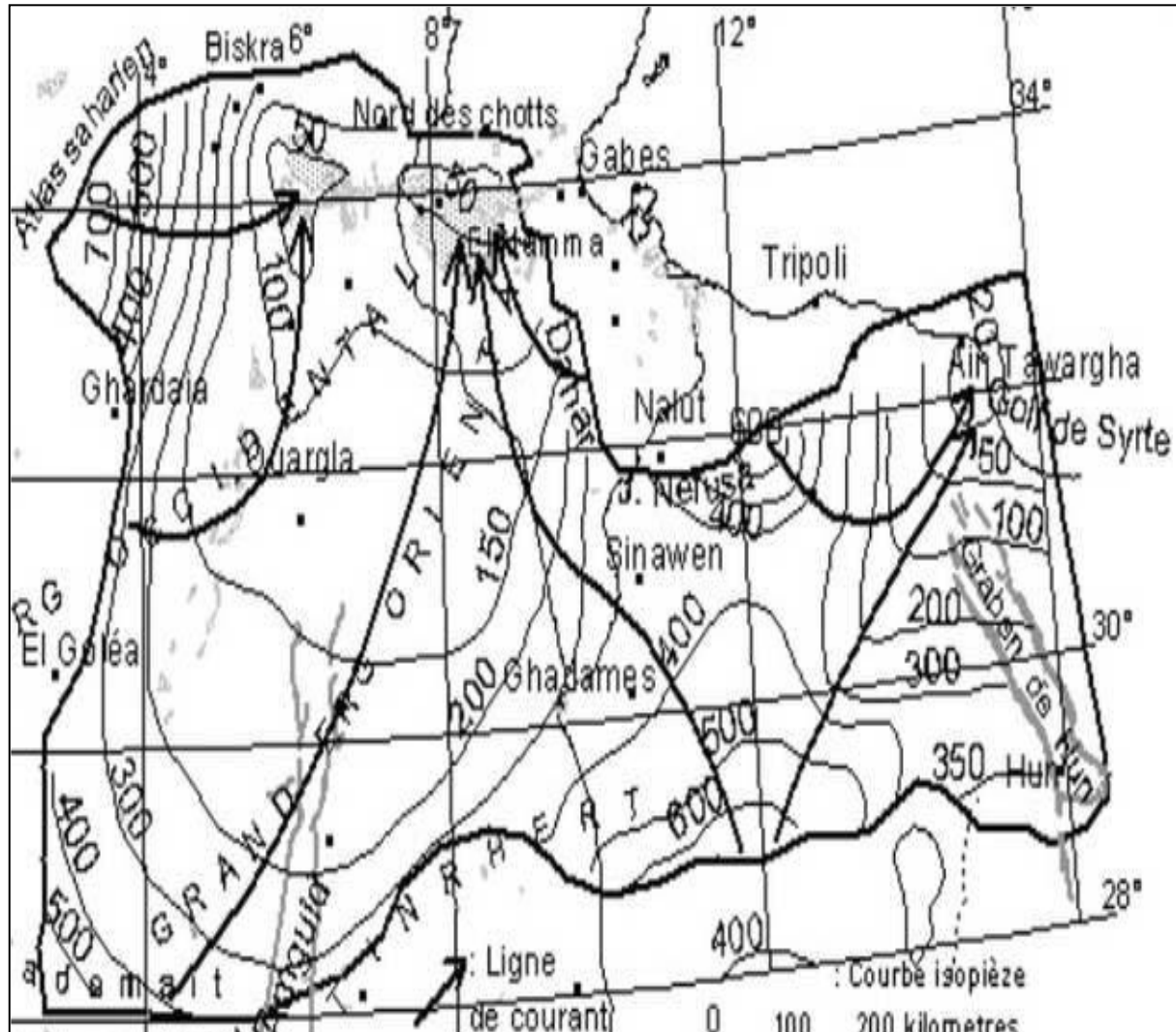


Figure II.8 : Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique Et les sens d'écoulement (Baba SY et al. 2006) (ANRH/2016)

II.4. Nappe du Continental Intercalaire (CI) :

Le terme « C.I » correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur cette période se situe entre deux cycles sédimentaires régit par une régression marine suivit d'une transgression du Crétacé supérieur.

Le Continent Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base Trias et le sommet de l'Albien.

Le traitement manquant du réservoir aquifère du Continental Intercalaire est son volume

considérable dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 Km² et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système Aquifère soit constitué par les grandes quantités d'eaux qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire et qui peuvent maintenant être exploitées ; 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'exutoire.

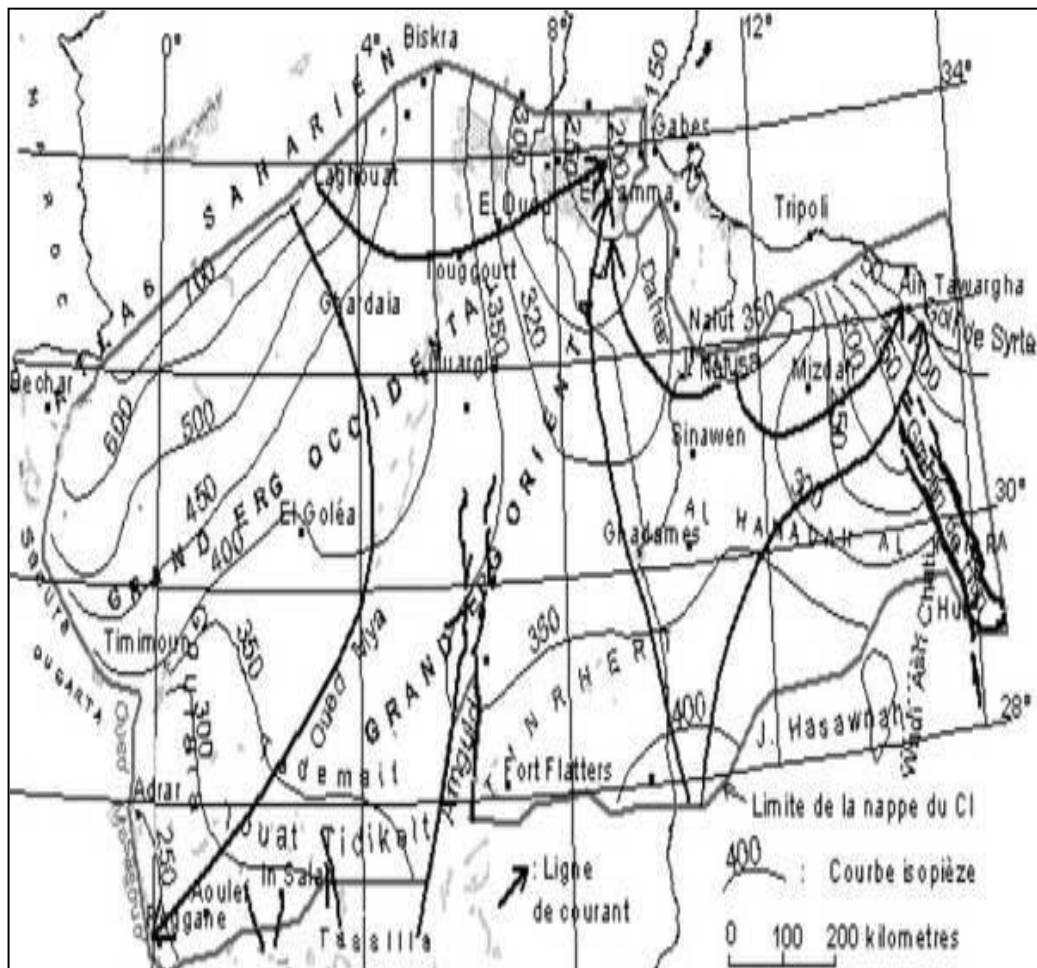


Figure II.9 : Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux Piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al. 2006) (ANRH 2016)

Baba SY et al. (2006) met en évidence les zones d'alimentation qui sont :

- piémont sud atlasique au Nord-Ouest,
- Tinrhert au Sud,
- Dahar à l'Est,
- Jebel Nafusa au Nord-est,
- Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire (Fig. II.9).

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et grâce à un écoulement vers la nappe de la Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine.

Les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent également une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt. Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent en Amguid-El Biod. Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental, le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs. L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït dès le Xe siècle (UNESCO, 1972a ;BRL-BNEDER, 1992).

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo- gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. Elle est exploitée par trois forages artésiens. La commune d'El-Oued exploite cet aquifère par deux forages artésiens pour l'AEP d'un débit cumulé de 340 l/s et une température avoisinant les 70°C.

II.5. Estimation des réserves :

Les études hydrogéologiques montrent que le Sahara renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines, constituée par des grès de porosité 25%, le bassin considéré ayant 600 000 Km² (en Algérie), l'étude UNESCO (1972) évalue approximativement la réserve d'eau moyenne de l'ensemble des aquifères du CI et du CT à $60000 \times 10^9 \text{ m}^3$.

MARGAT (1992), sans détail précis sur la méthode de calcul, fait état de $40000 \times 10^9 \text{ m}^3$ de réserves aquifères du CI. Il évalue la réserve du CT (couvrant 350 000 Km²) à $20\,000 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Nous tentons, ici, d'évaluer la ressource dans les aquifères du Sahara septentrional au-dessous de la région du Souf. Les réserves totales contenues dans le réservoir représentent le volume total des formations aquifères, auquel est appliquée la porosité efficace (OSS 2002).

L'estimation des réserves, des aquifères de la nappe phréatique, du CT et du CI est

rendue possible après la connaissance de l'épaisseur moyen de chaque aquifère.

Tableau II.1 : Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued

Nature hydrogéologique		Nature lithologique	Etage		Ere
Nappe phréatique		Sables	Quaternaire		
Niveau imperméable		Argiles			
1 ^{ère} nappe des sables	Complexe Terminal	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi-perméable		Argiles gypseuses			
2 ^{ème} nappe des Sables		Sables grossiers, Gravier	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Eocène	
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur		
Semi-perméable			Evaporites, argiles	Sénonien carbonaté	Secondaire
Niveau imperméable		Argiles, marne	Sénonien lagunaire		
Nappe de Continental Intercalaire		Sables et Grés	Cénomanién	Crétacé	

(Bousalsal B, 2007)

Le volume utile ou la réserve est calculée par la formule : $V = e \times s \times ne$

Où e : épaisseur moyen s : la superficie

ne : la porosité efficace

D'après les études faites par l'ANRH pour mieux connaître les aquifères du Sahara septentrional, ces études nous a permis d'avoir une estimation de l'épaisseur moyen de chaque aquifères.

Tableau II.2 : Épaisseur moyenne des différents aquifères et estimation de la réserve

Aquifère	Nappe phréatique	CT	CI
Épaisseur mouillée (ANRH : 2005)	45m	342m	385m
Superficie s	$11738 \text{ km}^2 = 11738000000 \text{ m}^2$		
porosité efficace ne	12.49×10^{-2}	5×10^{-2}	5×10^{-2}

Réserves en m ³	65.97×10 ⁹ m ³	200×10 ⁹ m ³	226×10 ⁹ m ³
----------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

II.6. Inventaire des points d'eau :

La nappe du complexe terminal (CT) dans la vallée d'Oued-Souf est très sollicitée notamment pour l'AEP, d'après l'inventaire 2012 on a montré que les 106 forages sont utilisés pour l'alimentation en eau potable et 24 forages sont utilisés pour l'irrigation

II.7. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe du (CT) :

La détermination des caractéristiques hydrauliques de la nappe de complexe terminal se fait par des pompages d'essais.

Cette méthode consiste à représenter expérimentalement par des graphiques, les courbes et les droites des fonctions mathématiques régissant l'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage.

L'étude de ces graphiques permet :

- D'analyser l'évolution du cône de dépression de la surface piézométrique ;
- De préciser les principales caractéristiques hydrauliques de la nappe ;
- De voir en temps réel l'effet de l'exploitation de l'aquifère.

II.7.1. Types des pompages d'essais:

- **Essais de puits** : Cet essai consiste en l'exécution de pompage par palier de débit de courte durée avec la mesure du niveau d'eau dans le puits. Cet essai permet de déterminer les caractéristiques du complexe : aquifère / ouvrage de captage. La manière la plus rentable sans très solliciter la nappe, est de n'extraire que la réserve régulatrice afin d'éviter une surexploitation minière de la ressource. Cela n'est possible que si le débit d'exploitation est inférieur au débit critique en respectant le nombre d'heure de pompage par jour.
- **Essais de nappe** : Cet essai est réalisé en un seul palier de débit de longue durée, avec la mesure des niveaux d'eau dans le forage (rabattement) et dans des piézomètres si c'est possible. Ce type d'essai est utilisé dans le but de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (Transmissivité, Coefficient d'emménagement...). Il faut noter que l'interprétation n'est possible que si le type d'aquifère est identifié.

II.7.2. Essais des pompages :

Des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 03 sites répartis dans la zone d'étude de la vallée d'Oued- Souf, à Guemar (Erg Essouari), Sidi Aoun (Ouled Rhouma), El oued (Pôle universitaire).

L'essai par paliers est composé de quatre paliers de 4 heures chacun à débit constant, séparés par un intervalle d'au moins 12 heures. L'essai de longue durée a consisté en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée. Son interprétation a permis de calculer la transmissivité (T), le coefficient de perméabilité (K), le coefficient de perméabilité verticale (Kv) et la porosité efficace (Sy).

L'interprétation des pompages d'essais repose sur des méthodes graphiques d'approximation. Après l'utilisation du logiciel (Aquifère Test), ces méthodes sont toutes basées sur les hypothèses suivantes :

1. Le débit est supposé constant pendant toute la durée de pompage ;
2. La surface de la nappe est supposée horizontale ;
3. le forage captent la nappe sur la totalité de son épaisseur ;
4. L'écoulement est supposé laminaire ;
5. L'aquifère est illimité.

II.7.3. Interprétation des données des essais du pompage :

II.7.3.1. Forage (Erg Essouari commune de Guemar):

Ce forage est implanté dans la partie Nord-Ouest de la ville de Guemar à proximité de la route RN 48 entre Guemar–Réguiba Wilaya d'EL-Oued, de 364 m de profondeur. L'essai à longue durée qui a été réalisé a une durée de 72 heures pour vérifier la descente et la stabilité de niveau d'eau avec un débit constant de 40 l/s.

Tableau II.3 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements
(Forage Erg Essouari-commune de Guemar)

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabattement $\Delta s(m)$	Débit (l/s)
01	44.24	7.24	20
02	47.93	10.93	30
03	52.78	15.78	40
04	53.48	16.48	40

a. Débits spécifiques :

Après l'utilisation du logiciel (aquifère Test), le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 240 minutes (4h). Les rabattements correspondants aux différents paliers sont respectivement : 7.24m, 10.93m, 15.78m et 16.48m (Tableau II.3). Débits spécifiques (m^2/s) = débit (m^3/s) / rabattement (m).

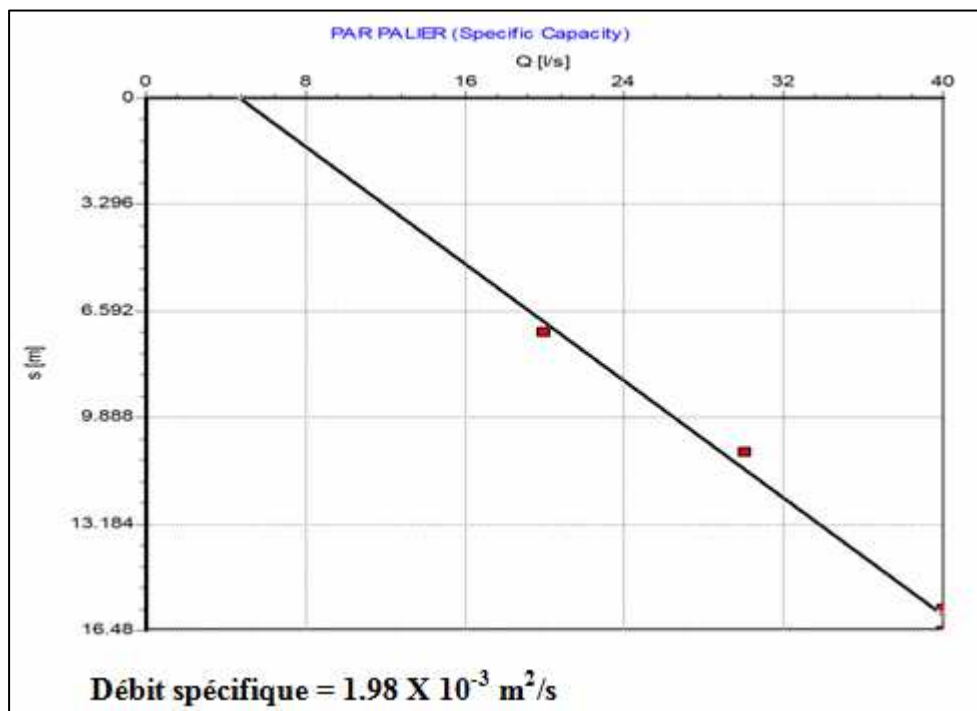


Figure II.10 : Courbe débit / Rabattement à (Forage Erg Essouari).

b. Perméabilité :

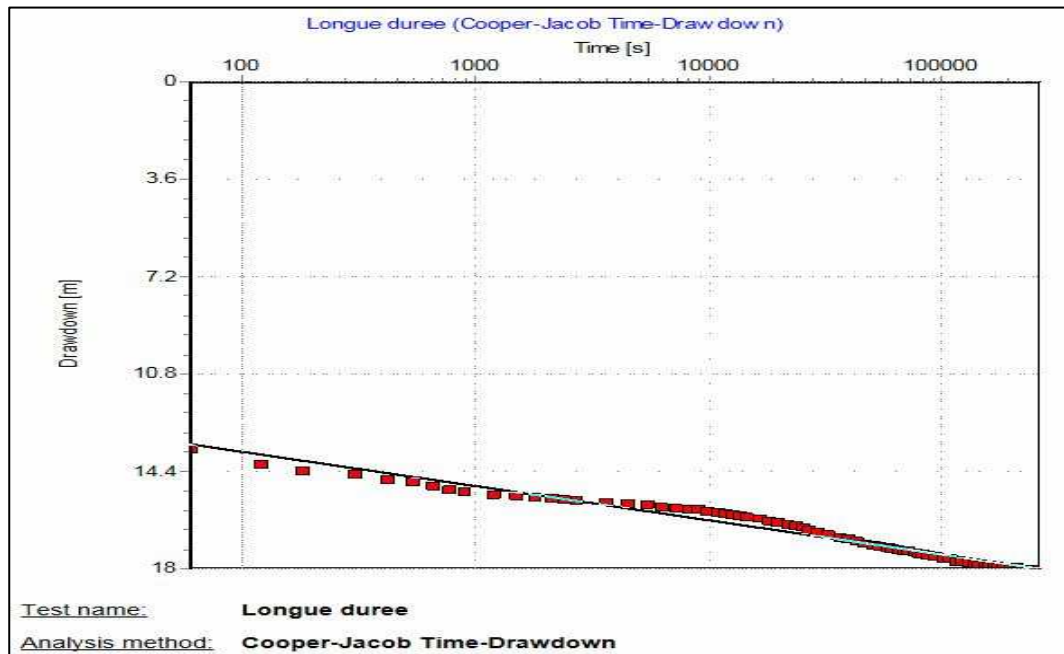
"La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique" (G. CASTANY). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m^2 et le m^3 , K est exprimé en m/s .

Coefficient de perméabilité (K) :

Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristiques du fluide (viscosité, donc température, et masse volumique).

Le coefficient de perméabilité d'un sol est un coefficient important dépendant de :

- La granulométrie du sol.
- La nature du sol.
- Les caractéristiques physiques du liquide, viscosité (eau).
- Degré de consolidation du sol.



$$\text{Transmissivité} = 5.79 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Perméabilité} = 8.78 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Figure II.11 : Essai de pompage à longue durée à (Erg Essouari)

c. Calcul du coefficient d'emménagement :

La storativité S d'un aquifère, ou coefficient d'emménagement, est le volume d'eau libéré ou stocké par l'aquifère par unité d'aire horizontale de l'aquifère par unité de variation du gradient hydraulique. La storativité dépend en général des propriétés élastiques de l'eau et du milieu.

Le coefficient d'emménagement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième terme de l'expression de Jacob. Ou, plus simplement, avec t_0 , lorsqu'il peut être déterminé, par l'expression suivante : $S = 2.25T t_0 / r^2$

Il faut noter que ce paramètre ne peut être calculé correctement que si on a des mesures au niveau d'un piézomètre ce qui n'est pas le cas pour les présents essais.

II.7.3.2. Forage (Ouled Rhouma) commune de Sidi Aoun :

Ce forage est implanté dans la partie Nord-Ouest de la ville de Sidi Aoun wilaya d'EL-Oued, de 354m de profondeur. L'essai qui a été réalisé a une durée de 72 heures pour

vérifier la descente et la stabilité du niveau d'eau avec un débit constant de 40 l/s.

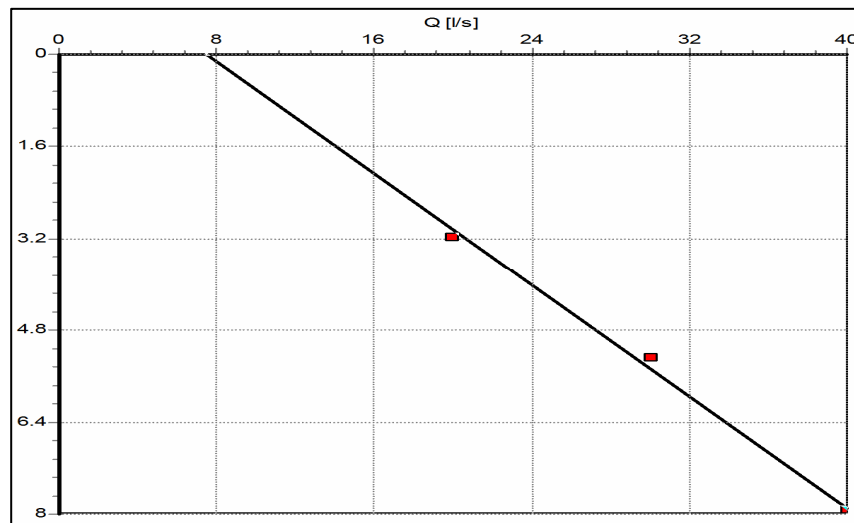
Tableau II.4 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements
(Forage Ouled Rhouma)

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabattement $\Delta s(m)$	Débit (l/s)
01	37.57	3.16	20
02	39.68	5.27	30
03	42.32	7.91	40
04	42.41	8	40

a. Débits spécifiques :

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 240 minutes (4h). Le rabattement à 20 l/s est de 3.16 m, celui à 30 l/s est de 5.27m, celui à 40 l/s est de 7.91m et celui à 40 l/s (essai longue durée) est de 8 m.

Débits spécifiques (m^2/s) = débit (m^3/s) / rabattement (m).



Débit spécifique = $4.12 \times 10^{-3} m^2/s$

Figure II.12 : Courbe débit / Rabattement à (Forage Ouled Rhouma)

b. La transmissivité :

La transmissivité est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. Elle représente la capacité de l'aquifère à transmettre l'eau à travers une unité de surface. Elle peut donc nous situer sur la perméabilité du milieu.

Selon que cette valeur est élevée ou faible l'aquifère peut être jugé bon ou mauvais.

Pour sa détermination plusieurs méthodes empiriques ont été établies (Théis, Cooper-Jacob, Banton- Bangoy).

Dans le cadre de notre étude, la méthode utilisée est celle de Cooper- Jacob.

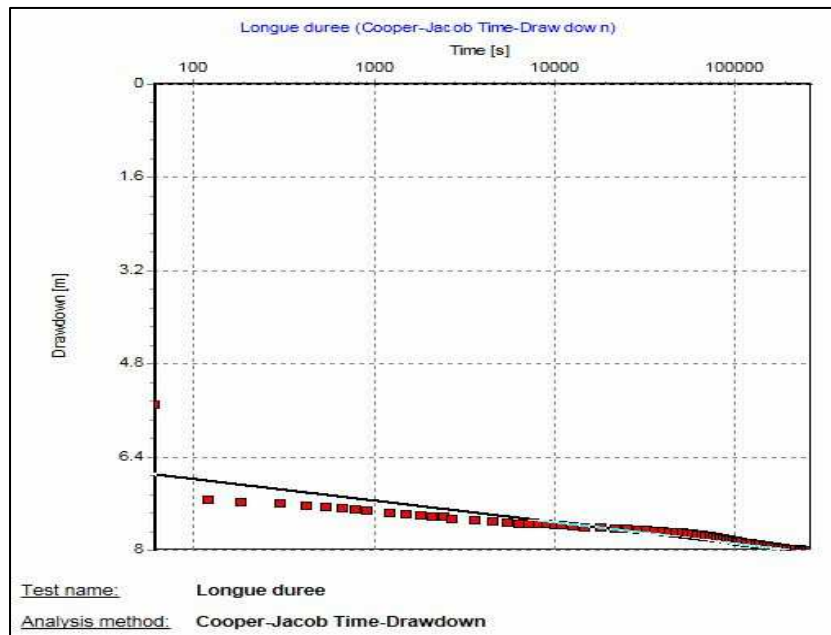
✓ **L'approximation logarithmique de Cooper-Jacob :**

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative l'échelle des coordonnées n'étant pas homogène, la pente est déterminée par l'accroissement des rabattements (ou des profondeurs des niveaux d'eau) au cours d'un module logarithmique.

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

T : La transmissivité en (m²/s).

Q : Le débit (longue durée en (m³/s). C : La pente moyenne (%).



$$\text{Transmissivité} = 1.98 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Perméabilité} = 4.13 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Figure II.13 : Essai de pompage à longue durée à (Forage Ouled Rhouma)

II.7.3.3. Forage (Pôle universitaire) commune d'El-Oued :

Ce forage est implanté dans la partie Nord de la ville d'El-Oued près aux résidences de 284m de profondeur.

L'essai qui a été réalisé a une durée de 72 heures pour vérifier la descente et la stabilité de niveau d'eau avec un débit constant de 37 l/s.

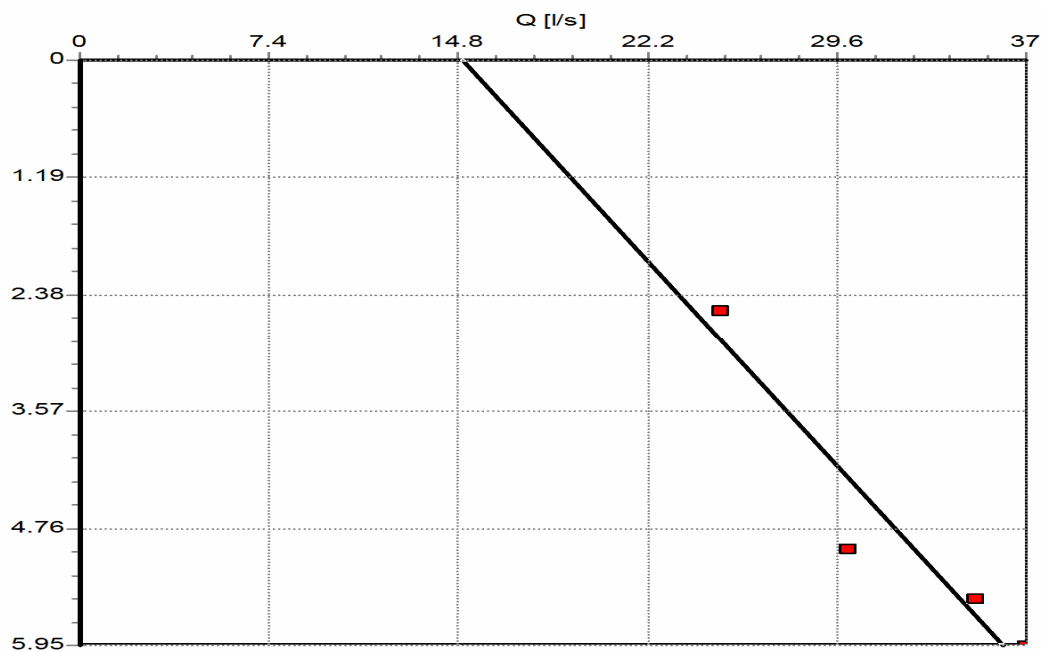
Tableau. II.5 : Calcul de débit spécifique : (Valeurs débits /rabattements)
(Forage Pôle universitaire)

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabatement $\Delta s(m)$	Débit (l/s)
01	47.78	2.54	25
02	50.20	4.96	30
03	50.71	5.47	35
04	51.19	5.95	37

a. Débits spécifiques :

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 240 s (4h). Le rabattement à 25 l/s est de 2.54m, celui à 30 l/s est de 4.96m, celui à 35 l/s est de 5.47m et celui à 37 l/s (essai longue durée) est de 5.95m.

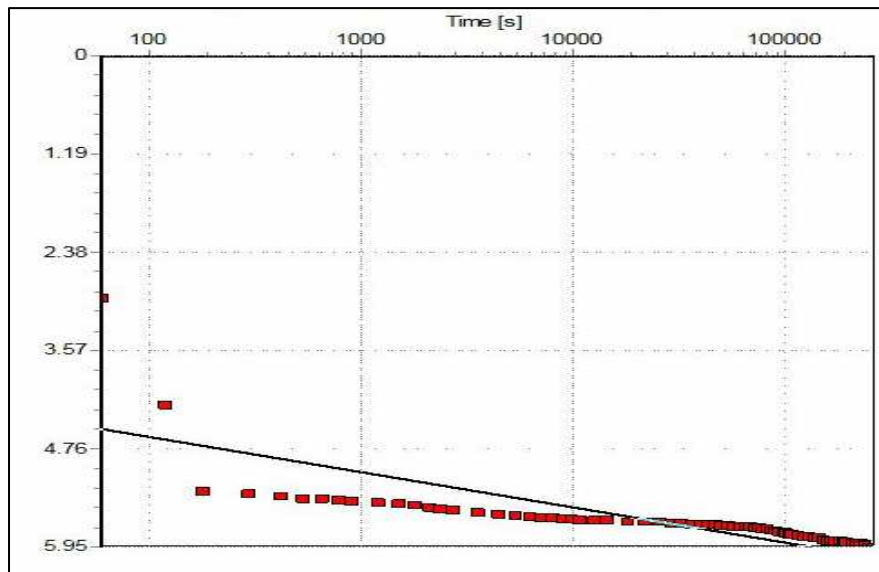
Débits spécifiques (m^2/s) =débit (m^3/s) / rabattement (m).



Débit spécifique = $3.55 \times 10^{-3} m^2/s$

Figure II.14 : Courbe débit / Rabattement à (Forage pôle universitaire)

b. La Perméabilité et la transmissivité :



$$\text{Transmissivité} = 1.59 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Perméabilité} = 4.42 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Figure II.15 : Essai de pompage à longue durée (Forage pôle universitaire)

Tableau II.6 : Récapitulatif des résultats des paramètres hydrodynamiques pour les 03 sites d'essai.

Essai (station)	Débit Spécifique (m ² /s)	T (Cooper-Jacob) (m ² /s)	K (Cooper – Jacob) (m/s)
Guemar	1.98×10^{-3}	5.79×10^{-3}	8.78×10^{-5}
Sidi Aoun	4.12×10^{-3}	1.98×10^{-2}	4.13×10^{-4}
El-Oued	3.55×10^{-3}	1.59×10^{-2}	4.42×10^{-4}
Moyenne	3.21×10^{-3}	1.38×10^{-2}	3.14×10^{-4}

Les transmissivités sont homogènes sur les trois stations d'essai et les valeurs sont semblables, que ce soit en pompage ou après l'arrêt de celui-ci. D'une station à l'autre, les écarts sont peu importants, de l'ordre de 1 à 4 entre les extrêmes avec $5.79 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à Guemar et $1.98 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ à Sidi Aoun. La transmissivité moyenne est de $1.38 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

La perméabilité moyenne est de $3.14 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

II.8. Etude piézométrique de la nappe du Complexe Terminal (CT):

La mesure de niveau des eaux souterraines, est effectuée à l'aide d'une sonde piézométrique, dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteint le niveau de l'interface air/eau, un contact électrique est établie entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux.

D'après la campagne des mesures des niveaux statiques faites en 2010 et 2011 par la direction des ressources hydriques (DRE) d'el-Oued on obtient les résultats suivants :

Tableau II.7 : Niveau piézométrique de la nappe du CT.

Commune	Niveau (m)	
	Mars 2010	Mars 2011
Mouih ouensa	68	66
El Oued	72,90	72.15
El Ogla	59,1	59
Rabah	82.70	81.90
Taghzout	71,90	71.20
Guemmar	36.60	35.30
Reguiba	44.40	43.82
Hassani A.El Krim	51	49.33
Trifaoui	81	80.40
Debila	42.50	41.55
Hassi Khalifa	22	21

(DRE, 2011)

Tableau II.8 : Niveaux piézométriques de la nappe du CT, max et min

Mars 2010		Mars 2011	
NP max (m)	NP min (m)	NP Max (m)	NP min (m)
82.70	22	81.90	21

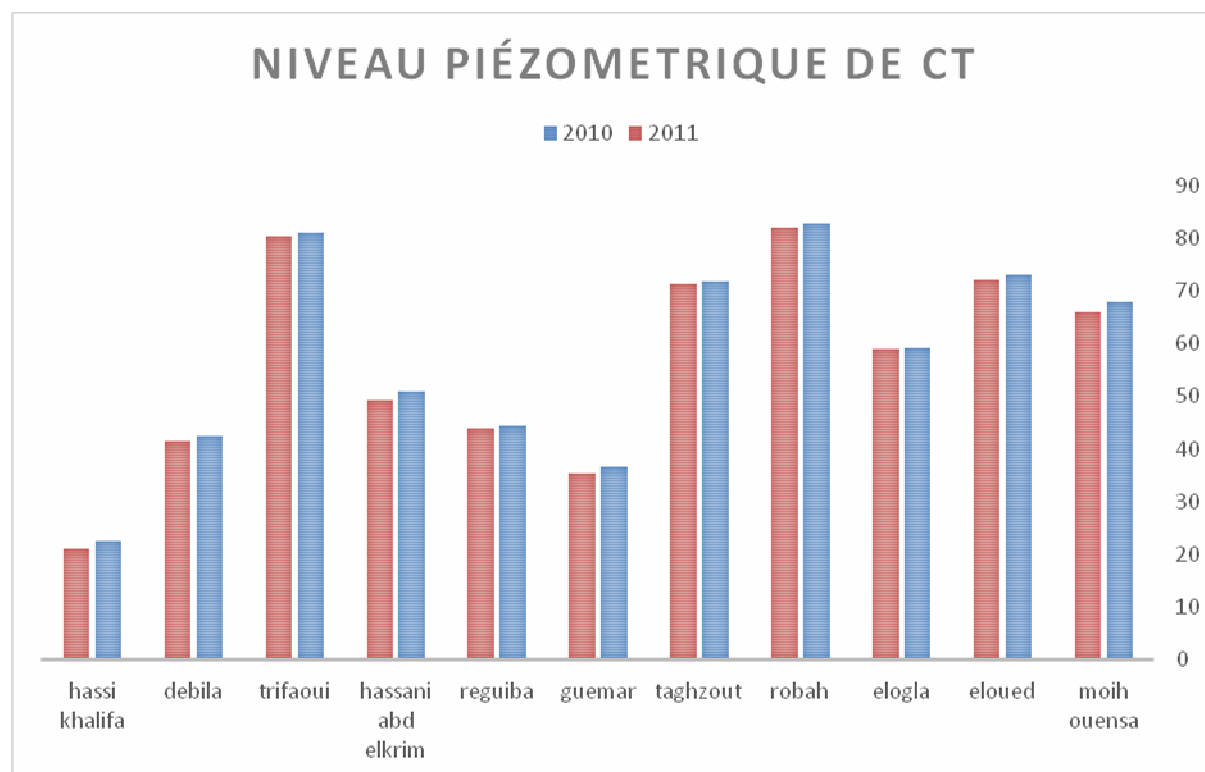


Figure II.16 : Variation des niveaux piézométriques de la nappe CT entre 2010 et 2011 (DRE, 2011)

II.8.1. Interprétation :

Nous constatons que le niveau piézométrique a baissé pour tous les points d'eau, et surtout dans la zone de Guemar entre 2010 et 2011 ceci s'explique par la sur exploitation de cette nappe.

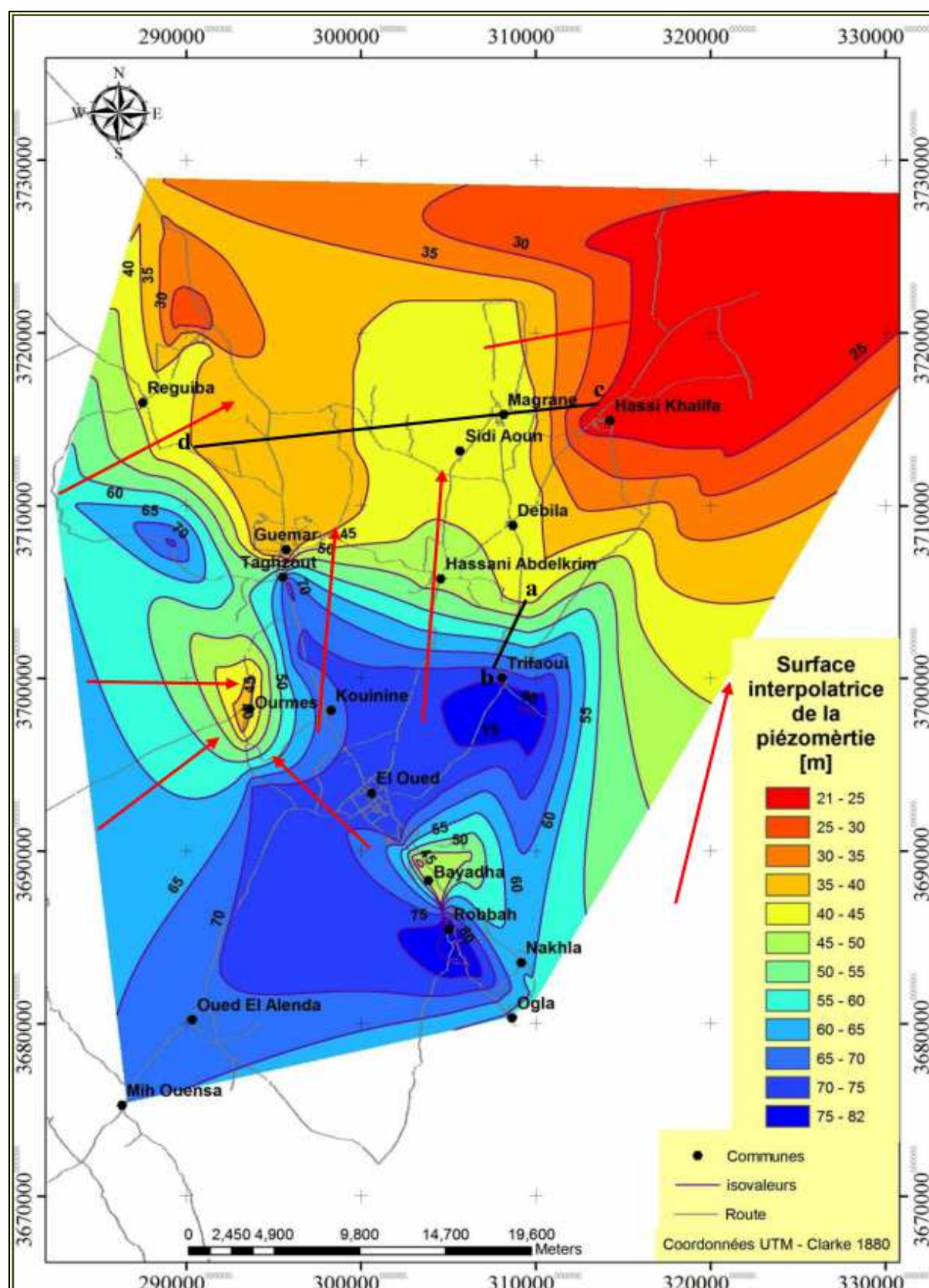


Figure II.17 : Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2011.

Les hauts niveaux piézométriques de la nappe est située à Robbah 81,9m et Trifaoui qui marqué une valeur de 80m, une zone basse située au Nord-Ouest à Hassi Khalifa où le niveau piézométrique est compris entre 21 et 25m, on remarque aussi que le niveau piézométrique dans la commune d'El-Oued varie entre 70 et 75m,

- On constate que la surface piézométrique n'est pas régulière.

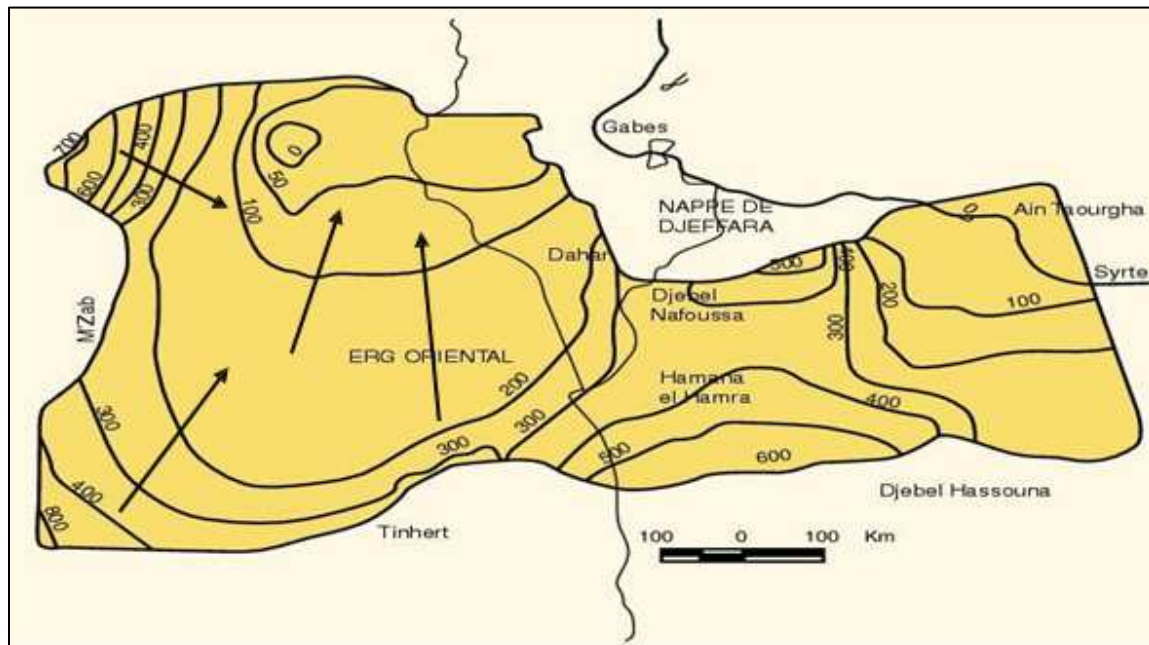


Figure II.18 : Carte piézométrique de référence (1970) de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003).

La comparaison entre la carte piézométrique (2011) et celle de référence de l'aquifère du CT (OSS, 2003) nous permet de noter que les niveaux piézométriques sont identiques.

L'étude hydrodynamique et les cartes piézométriques nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté suivant une direction générale SO-NE. Ceci est confirmé par les cartes piézométriques de référence de l'aquifère CT.

On remarque aussi qu'il y a des sens d'écoulement secondaire suivant le gradient hydraulique de la zone. Ces écoulements secondaires ont évidemment des directions diverses mais finissent par rejoindre le sens d'écoulement principal.

• Vitesse d'écoulement :

La vitesse d'écoulement des eaux demeure variable d'une région à une autre. La

légère variation constatée au niveau des équipotentiels :

$$V = K \times i$$

Pour calculer la vitesse d'écoulement, on doit tirer la valeur de gradient hydraulique à partir la carte piézométrique et multiplier cette valeur par la perméabilité, Le gradient hydraulique :

$I = \Delta H / L$, d'où ΔH : la différence de charge entre deux points alignés aux lignes de courants et L : la distance entre ces deux points. La valeur moyenne de gradient hydraulique est 2.5×10^{-3} (I_{ab} et I_{cd}). On remarque que cette valeur est très faible, indiquant une faible pente de la surface piézométrique et par conséquent une faible vitesse d'écoulement.

III. CONCLUSION :

A partir de cette étude, nous constatons que la région à une particularité spécifique de point de vue géologique, ainsi que les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace.

Ces conditions ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès. La stratigraphie de la région est caractérisé par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux dépôts de Quaternaire

Les formations du Quaternaire récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement dans la partie Nord-Est où il se termine par une croûte gypseuse, son substratum est argileux imperméable parfois très peu sableux à son sommet ou alors gypsifère en totalité.

Le système aquifère est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire). L'interprétation des essais de pompage par paliers et à longue durée qui a été effectué au niveau des 03 stations nous permet de définir les paramètres hydrodynamiques de la nappe du complexe terminal :

- Le débit soutiré oscille entre 10 l/s à 55.5 l/s
- Transivité moyenne de la nappe du CT est $1.38 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
- La perméabilité de CT dans la région du souf est comprise entre 10^{-3} et 10^{-4} m/s pour la nappe la plus exploité du mio-pliocène, ce qui nous donne une valeur moyenne de coefficient de perméabilité $K = 3.14 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.
- La porosité efficace estimée à 5%

La piézométrie de CT selon l'inventaire (2011) dans la région du Souf varie entre 21m à hassi Khalifa et 81,90 m dans la région de Rabah. Nous remarquons par ailleurs l'existence de l'artésianisme à Douar El Ma et Hamraia.

La profondeur moyenne de la nappe du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à l'épaisseur Utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ. (ANRH ,DRE 2016)

CHAPITRE III

METHODOLOGIE DE RÉALISATION D'UN FORAGE D'EAU

I. INTRODUCTION :

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 III.1 : Image d'un forage

II. CONSIDERATIONS ET GENERALITES SUR LES EAUX SOUTERRAINES :

II.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

II.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).

II.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).

III. LA TECHNIQUE DE FORAGE :**III.1. Forage Rotary à boue :**

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

III.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.

III.3. Les étapes de réalisation d'un forage**III.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.

III.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.

III.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.

III.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.

III.3.5. Elargissement et alésage : est réalisé en 17'' 1/2

III.3.6. 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.

III.3.7. 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.

III.3.8. Exécution d'un forage en 12''1/4 : avec alésage de l'aquifère pour délimiter la longueur et la position de la crépine.

III.3.9. 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.

III.3.10. 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 :

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

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.

III.3.11. 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 pistonnage ou débit de purge, compresseurs par air lift, nettoyage mécanique, par pompage (pompe immergée)

III.3.12. 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.

III.3.13. 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 connaître 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.

IV. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU FORAGE D'ETUDE :

Le forage d'étude est situé au niveau du château d'eau Est de Guemar commune de Guemar et les travaux d'exécution ont commencé le : 06/04/1978 et achevé le 04/05/1978 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.



Figure III.2. : Image satellite montrant la position du château d'eau EST Guemar

V. STRATIGRAPHIE :

La coupe géologique a été réalisée à partir de l'analyse des échantillons du terrain (cuttings) prélevés par mètre durant les travaux de foration.



Figure III.3 : boîte de cutting

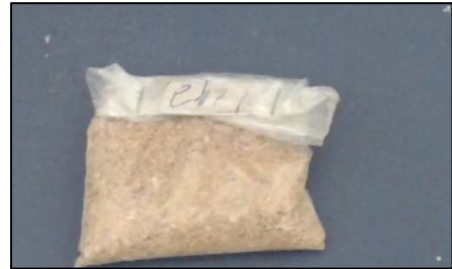


Figure III.4 : sachet de cutting

COUPE LITHOLOGIQUE :

0 – 24m	Sable fin, moyen gypseux blanchâtre.
24 -36m	Gypse sableux blanchâtre.
36 - 45m	Sable fin, moyen jaunâtre et légèrement gypseux (Nappe phréatique).
45 - 55m	Argile brune sableuse.
55 - 273m	Argile brunâtre plastique.

273 - 339m	Nappe de complexe terminal, sable jaunâtre à Granulométrie variée et gravier siliceux avec grains Ferrugineux légèrement gypseux.
339 - 348m	Argile pâteuse brunâtre.

VI. DEROULEMENT DES OPERATIONS ET CONSTRUCTION DU FORAGE :

1^{ère} phase :

- ❖ Forage en 26'' de 0 à 30m.
- ❖ Descente tube guide 20'' sabot positionné à 30m.
- ❖ Cimentation en HTS a été injectée sous pression et est remontée à la surface dans l'espace annulaire. Attente prise ciment 24 Heurs.

2^{ème} phase :

- ❖ Forage en 12''1/4 de 30m à 270m puis en 8''1/2 jusqu'à 348m.
- ❖ Enregistrement diagraphique de GR – Sonic, et PS de 0 à 348m.
- ❖ Elargissement et alésage en 17''1/2 jusqu'à 270m.
- ❖ Descente tubage 13''3/8 API de 0 jusqu'à 270m.
- ❖ Cimentation avec 21T de ciment HTS de densité 1.80.
- ❖ Attente prise de ciment d'une durée de 48 heures.
- ❖ Nettoyage du tubage 13''3/8.
- ❖ Elargissement en 12''1/4 de 270 à 348m pour la mise en place de la colonne de captage 8''5/8 en INOX.
- ❖ Descente et pose colonne de captage, crépine 8''5/8 inox type Johnson slot 20.

COMPOSITON DE LA COLONNE DE CAPTAGE :

De 246 à 270m	Tube plein inox 8''5/8	soit	24m
270 à 336m	Tube crépine inox 8''5/8 slot 20	soit	66m
336 à 348m	Tube plein inox 8''5/8 (sabot)	soit	12m



Figure III.5 : opération de tubage



Figure III.6 : opération de cimentation

3^{ème} phase :

- ❖ Gravillonnage avec gravier siliceux lavé calibré de 2 à 06mm autour de la colonne de captage un volume de (6m3.).
- ❖ Lavage par circulation à l'eau claire jusqu'à obtention d'une eau claire.
- ❖ Injection à deux reprises d'une solution d'hexametaphosphate de sodium d'une concentration de 07% soit au total 200Kgs.

- ❖ Pistonnage (2h) consiste à faire circuler l'eau de haut en bas d'un forage et, surtout, à travers les crépines, le massif filtrant à l'aide d'un piston .et en attente la réaction pendant 12Hrs.Développement à l'air lift pour enlever le sable et la décantation jusqu'à obtention d'une eau claire et propre.

VII. CARACTERISTIQUES DU FORAGE :

- Niveau statique : + 3.00 m.
- Mesure débit au compresseur : $Q = 80 \text{ l/s}$
- Essais réalisés avec pompe immergée de 37KW.
- Rabattement = 17.30 m.
- Débit (artésien) = 20 l/s
- Niveau dynamique : 14.30 m.
- Débits mesurés avec un débitmètre électronique.

VII.1. Essais de débit :

VII.1.1. Programme des essais de pompage.

Les essais de pompage ont été effectués en trois phases :

- La première phase comporte un essai à blanc de 12Hrs.
- La deuxième phase comporte 3 paliers enchainés de 4 heures chacun, suivi d'une remontée de niveau initial de 6 heures.

Les trois paliers enchainés :

- $Q_1 = 20 \text{ l/s}$ durée de 4 heures.
- $Q_2 = 30 \text{ l/s}$ durée de 4 heures.
- $Q_3 = 80 \text{ l/s}$ durée de 4 heures.
- La troisième phase comporte un essai définitif (longue durée) de 72 heures avec un débit de 80 l/s suivi d'une remontée de niveau de 6 hrs et prélèvement d'eau pour l'analyse chimique et bactériologique.

VII.1.2. Résultats des essais de pompage :**Tableau III.1 : résultats des essais de pompages**

PALIER N°	NIVEAU DYNAMIQUE (M)	RABATTEMENT Δ (M)	DEBIT L/S	DEBIT SPECIFIQUE
P ₁	/	/	20	/
P ₂	/	/	30	/
P ₃	14.30	17.30	80	4.6
P _{Ct}	/	/	40	/

Le débit spécifique = Q / Δ en l/s/m où 10-3m²/s

* Le niveau dynamique 14.30 m et le rabattement de 17.30 m correspondent au débit de 80 l/s

VII.2. Interprétation des résultats :

Le débit critique : est la limite de la zone de proportionnalité des débits avec les dénivellations

DEBIT CRITIQUE Q_{cri} = 70 l/s

VIII. AQUIFERE A CAPTER :

L'aquifère à capter est la nappe du complexe terminal (mio pliocène) nappe de sable jaunâtre à granulométrie variée et gravier siliceux avec grains ferrugineux légèrement gypseux.

IX. LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DE L'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.

Note : malgré nos recherches pour aboutir à ces analyses, nous n'avons pas trouvé l'archive en relation avec la qualité d'eau au niveau de la direction de ressource en eau de la wilaya.

X. CONCLUSION :

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 diagnostic des pannes et dysfonctionnements ultérieurement.

CHAPITRE IV

DIAGNOSTIC D'UN FORAGE D'EAU

I. INTRODUCTION :

Les forages d'eaux sont un capital important et plus chers 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.

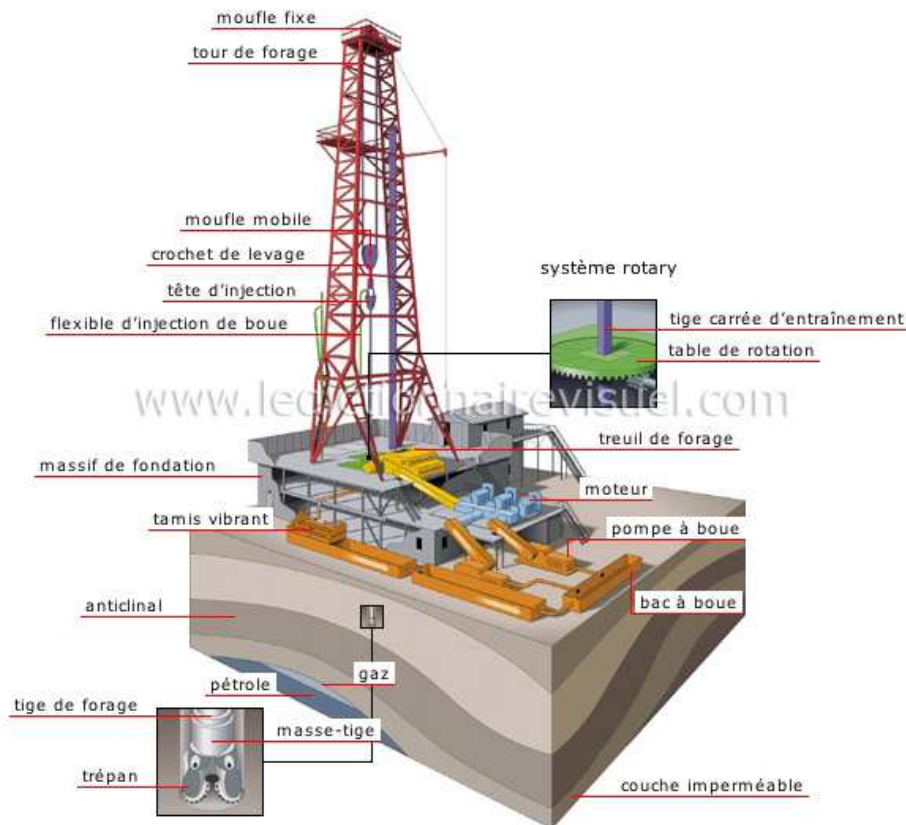


Figure IV.1 : Image appareil de forage

II. GENERALITE SUR LE DIAGNOSTIC D'UN FORAGE ET SON EQUIPEMENT :

II.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

II.2. Classification des causes techniques :

C'est la plupart du temps par la baisse de productivité de son forage que l'exploitant va prendre conscience de l'existence d'un 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 :

- **CATEGORIE 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 .1 - 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. ...).

- **CATEGORIE 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 .1 – 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,



Figure IV.2 : le colmatage de crépine en acier inoxydable

➤ **Type B 2 – LES MALFAÇONS ET CORROSIONS :**

Les malfaçons peuvent êtres d'origine : ruptures de colonnes, cimentations défectueuses collapse de crépines ou bien liées à des erreurs d'exploitation (collapse, destruction du massif filtrant, coup de bélier ...). Les corrosions attaquent les matériaux des colonnes de captage, non-appropriées a la qualité de l'eau exploiter ou qui gagneraient à être protégés contre les courants vagabonds (protection cathodique)



Figure IV.3 : Colonne de production

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

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

a. La camera en forage :

L'utilisation de camera pour l'inspection des colonnes de production et captage, ce qui explique les états de cette dernier.

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, cimentes 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

III. LA DEMARCHE PRELIMINAIRE 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 dans le forage.

L'expertise comprend :

- Mesures avec le matériel existant dans le forage, le niveau piézométrique après 12 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, gels, oxydes noirs ou rouges, dépôts calcaireux

- Enquête hydraulique : quels travaux récents sur les installations a l'aval du forage, date de la dernière révision de pompe, comptage de débit, production, historique d'exploitation et d'incidents éventuels. Apres le diagnostic préliminaire en fournit d'un compte rendu avec de conclusion d'un programme comme de solution (réhabilitation ou rénovation).

IV. LE DIAGNOSTIC DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES :

L'eau, entant que ressource stratégique et vitale, nécessite une bonne gestion à fin 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.

IV.1. 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 IV.4 : différents types de sectionneurs

IV.1.1-Sectionneurs:

Les sectionneurs isolent le circuit du moteur de celui de la source. Ils doivent pouvoir supporter indéfiniment le courant nominal ainsi que les courants de court-circuit pendant de courtes périodes. Ils comportent des contacts à couteaux et des fusibles. Ils s'ouvrent et se ferment manuellement.

IV.1.2-Disjoncteurs manuels:

Les disjoncteurs sont conçus pour ouvrir et fermer manuellement le circuit d'un moteur et pour ouvrir le circuit automatiquement si le courant dépasse une limite prédéterminée. On peut réenclencher le disjoncteur après une ouverture anormale. Souvent, on utilise le :

Disjoncteur manuel au lieu d'un sectionneur .



Figure IV.5 : différents types de disjoncteurs

IV.1.3-Commutateurs à cames:

Ces commutateurs comprennent une série de contacts fixes et autant de contacts mobiles actionnés par la rotation manuelle d'un arbre à cames. On les utilise pour la commande manuelle des moteurs de grues, calandres, pompes, etc.



Figure IV.6 : différents types de commutateurs

IV.1.4.-Boutons poussoirs:

Les boutons-poussoirs sont des commutateurs actionnés par une pression du doigt et qui ouvrent ou ferment deux ou plusieurs contacts. Habituellement, ils ouvrent ou ferment momentanément un circuit.



Figure IV.7 : différents types de boutons poussoirs

IV.1.5-Relais de phase:

C'est un organe de commande qui se déclenche en cas de coupure d'une des trois phases ou dans le cas d'un déphasage prolongé. Dans un réseau triphasé, il surveille simultanément l'ordre des phases, l'absence d'une phase avec un taux de régénération maximum soit 70% de la tension affichée en face avant par le potentiomètre, la baisse symétrique en tension des 3 phases inférieure à 20% de la valeur pré réglée. Lorsque les 3 phases sont en ordre direct, le relais de sortie est excité et visualisé par une LED. Le relais de sortie retombe (LED éteinte) après une temporisation T, réglable en face avant de 0,2 à 10s.



Figure IV.8 : différents types de relais de phases

IV.1.6-Relais thermiques:

Les relais thermiques (ou relais de surcharge) sont des dispositifs de protection dont les contacts s'ouvrent ou se ferment lorsque la chaleur créée par le passage d'un courant dépasse une limite prédéterminée. Leur fonctionnement est temporisé car la température ne peut pas suivre instantanément les variations du courant.



Figure IV.9 : différents types de relais thermiques

IV.1.7-Relais de garde niveau d'eau :

C'est un organe de commande qui surveille le niveau d'eau dans le forage à l'aide de deux sondes immergées installées l'une en haut et l'autre en bas.

IV.1.8-Contacteurs magnétiques:

Les contacteurs magnétiques sont de gros relais destinés à ouvrir et à fermer un circuit de puissance, on les utilise dans la commande des moteurs dont la puissance est entre 0,5 kW et plusieurs centaines de kilowatts. Comme pour les moteurs, la grosseur et les dimensions principales des contacteurs sont standardisées par les organismes de normalisation.



Figure IV.10 : différents types de contacteurs

IV.1.9-Le temporisateur :

Le temporisateur électrique est un composant souvent utilisé dans l'industrie pour ajouter un délai dans un circuit électrique. Ce délai est parfois nécessaire pour retarder le départ ou l'arrêt d'un moteur. Le temporisateur électrique est en effet un relais au quel on peut retarder les effets. Le réglage du délai se fait à l'aide d'un bouton situé sur le temporisateur.



Figure IV.11 : différents types de temporisateurs

IV.1.10-Lampes témoins:

Les lampes témoins servent à indiquer l'état d'un système de contrôle. Ils servent comme indicateur pour l'opérateur, ils peuvent :

- Affiche plusieurs couleurs par LED extrêmement visibles sur chaque voyant.
- Plusieurs configurations pour des applications différentes.
- Affiche une à cinq couleurs, en fonction du modèle.
- Compatible avec les sorties vers automates programmables ou autres commandes logiques. Il est très important d'intégrer des voyants dans un système de commande et plus encore il est important de connaître le code des couleurs sur une armoire, ce la pour faciliter l'analyse du fonctionnement et sur tout en cas de défaillance, le tableau suivant nous montre les différents codes de couleur des voyants:

Tableau IV.1 : Code des couleurs pour les voyants lumineux

Vert/Bleu 	Moteur en marche (en service)
Rouge 	Moteur à l'arrêt (hors service)
Jaune/Orange 	Défaut (Problème d'une phase, surintensité,...)
Blanc 	Présence du courant (armoire alimentée)

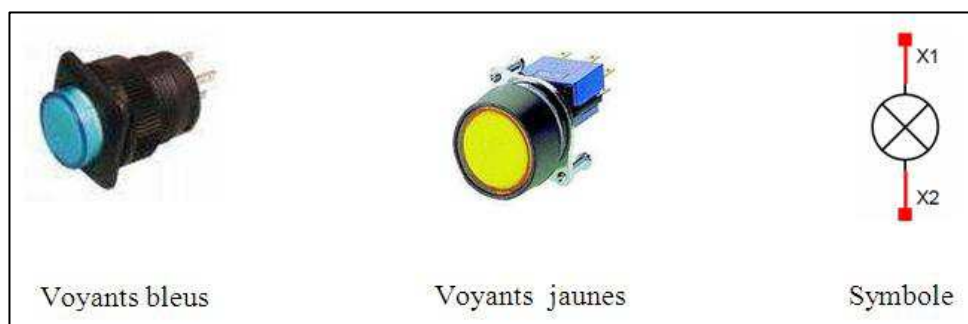


Figure IV.12 : différents types de voyants

IV.2. Quelques règles essentielles sur les schémas :

Un schéma électrique représente à l'aide de symboles graphiques, les différentes parties d'un réseau, d'une installation et d'un équipement qui sont reliées et connectées fonctionnellement. Un schéma électrique a pour but d'expliquer le fonctionnement de l'équipement, fournir les bases d'établissement des schémas de réalisation et faciliter les essais et la maintenance.

IV.3. Démarrage Industriel des Moteurs :

Plusieurs procédés industriels requièrent un démarrage lent afin d'atteindre graduellement le régime de fonctionnement normal. Dans d'autres cas, on ne peut pas brancher un moteur directement sur la ligne car le courant de démarrage risque de causer une chute de tension inacceptable non seulement pour l'utilisateur mais aussi pour ses voisins raccordés sur la même ligne. Dans ces circonstances, il faut limiter le couple de démarrage ou le courant de démarrage en réduisant la tension aux bornes du moteur.

On trouve plusieurs procédés de démarrage, les plus courants sont :

1. Démarrage direct
2. Démarrage statorique (*le plus utilisable*)
3. Démarrage rotorique
4. Démarrage étoile triangle
5. Démarrage par autotransformateur

IV.3.1. Démarrage Statorique :

Plusieurs dispositifs permettent de réduire la tension aux bornes des enroulements du stator pendant la durée du démarrage du moteur ce qui est un moyen de limiter l'intensité du courant de démarrage. Cette réduction se fait en intercalant des potentiomètres ou des résistances (rhéostats) en série avec les enroulements du stator, ou en utilisant un autotransformateur ou dans certain cas, par des systèmes à base de semi-conducteurs (Gradateur, redresseur commandé,...). Le courant de démarrage est limité, sans que le couple ne soit réduit.



Figure IV.13 : résistance statorique

V. 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 Guemar-Est :

Depuis quelques années, l'alimentation en eau potable de la commune de Guemar pose un ensemble de problèmes qui entraînent des coûts excessifs et un service de qualité relativement mauvais.

Nous exposons ci-après la situation actuelle de la ressource en eau potable :

Forage, les équipements électromécaniques (pompe immerge, armoire de commande) tuyauterie de refoulement, conduite d'adduction.

Nous examinons ensuite la possibilité de remise en état pour assurer l'alimentation en eau potable de la population.

VI.1. Réalisation du diagnostic :**VI.1.1. Première étape : le recueil des données existants :**

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

Tableau IV.2 : tableau de bord

Nu	Désignation	Les caractéristiques et observations
01	forage	Ns = -3 m, Nd = 14.3 m, rab=17.3m, Débit = 80 l/s Longueur colonne de production = 270 m en acier diamètre colonne de production en 13''3/8. Longueur colonne de captage = 66 m en acier inoxydable diamètre colonne de captage en 8''5/8. remarque : Age 38 ans (jaillissant 20 l/s en 1978)
02	Pompe immergée (installée)	Débit = 35 l/s hmt = 120 mce Puissance = 49 kw Dernière révision = 6 mois
03	Armoire électrique	Puissance 55 kW - câble de connexion 4*50mm Démarrage statique remarque : (état mauvais)
04	Tuyauterie de refoulement	Conduite en acier de diamètre 5'' Longueur de colonne = 80 ml
05	adduction	Appareillement sans fuite en PEHD diamètre 200 PN 16
06	La tête de puits	Vanne, clapet, compteur, baïonnette (état moyenne)
07	Température	22 C°
08	PH	7.40
09	conductivité	4.14 µs /cm
10	Faciès chimique	- Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne - Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique

VI.1.2. 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 1978 jusqu'au 2016, 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.

On a procédé à une étude comparative d'un nouveau forage réalisée en 2016 avec celui de Guemar Est se trouvant à une distance de 1.5 km vers l'Est près de la route de Zégoub.

Tableau IV.3 : Etude comparative

No	désignation	Etat initial du forage (1978)	Forage de comparaison (2016)	Etat actuel du forage (2016)	Observations
01	débit	20 l/s artésien (80 l/s par pompage)	30 l/s	30 l/s	débit a baissé
02	Débit spécif	4.62×10^{-3}	4.79×10^{-3}	8.63×10^{-4}	Rendement faible
03	NS	- 3	38.50	37.64	Rabatement
04	ND	14.30	44.76	72.40	Rabatement Important
05	rabatement	17.30	6.26	34.76	Endommagé
06	température	22.10	22.10	22.10	ne change pas
07	PH	7.40	7.40	7.40	ne change pas

08	Armoire électrique	Néant	55 kW	55 kW	Etat moyen
09	Source électrique	Néant	400 v	400 v	/

Résultats et discussion :

Après l'élaboration des données citées sur le tableau ci-dessus en va discuter les problèmes pour trouver des solutions pour essayer d'optimiser le rendement du forage en se référant à son état initial.

- Le résultat de la mesure du niveau statique de l'eau = 37.64 m(2016)



Figure IV.14 : la mesure par sonde piézométrique (forage)

On remonte la pompe immergée et les colonnes montantes pour contrôler et visualiser l'étendue des dégâts sur le tubage et la crépine du forage, à l'aide d'une opération d'endoscopie (camera).

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 et des sédiments, en réduisant le diamètre du tubage du forage ce qui a bloqué le passage de la caméra au niveau de la cote 105 m.

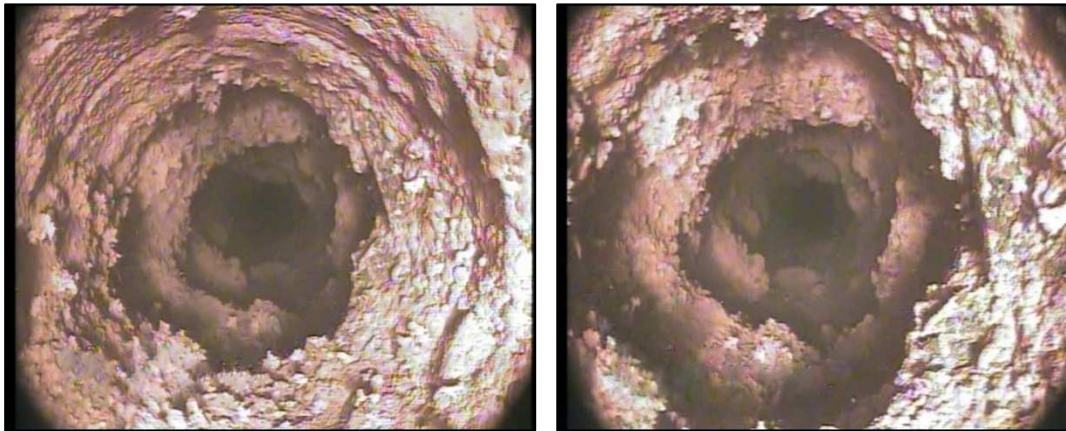


Figure IV.15 : incrustation dans le tubage 13''3/8. (profondeur 105 m)

Solution : elle consiste à une opération de nettoyage du tubage 13''3/8 et grattage par un outil 12''1/4 pour chemiser le puits par un tubage 9''5/8.

VI.1.3. 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 IV.4 : Estimation et évaluation financière (DRE 2016)

No=	Désignations des travaux	Quantité (ml)	Prix Unitaire (Da/ml)	Montant total (Da)
01	Réhabilitation de forage par chemisage en 9''5/8	350	40.000,00	12.250.000,00
02	Réalisation d'un forage de remplacement en 13''3/8	350	50.000,00	17.500.000,00

a)-la première variante :

L'opération de chemisage en 9''5/8 de la totalité 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 6'' :

- Débit maximum 25 L/S
- La HMT est égale à 80 mce.

Ces caractéristiques ne permettent pas un rendement satisfaisant du forage car le débit des besoins est 35 L/S. ainsi le coût de Réhabilitation = **12.250.000,00DA** avec une différence de moins de **5.250.000,00 DA** par rapport à nouveau forage.

b)-la deuxième variante :

Réalisation d'un nouveau forage de remplacement dans le même site par un coût de réalisation = **17.500.000,00DA**, avec une différence de plus de **5.250.000,00 DA** par rapport à la première variante, avec les avantages suivant :

- Un rendement optimisé (un grand débit)
- Une durée de vie plus longue
- Une conception moderne

c)-Choix de la variante :

Après la comparaison, il est clair que la deuxième variante est la plus avantageuse.

La décision finale est de réaliser un autre forage dans le périmètre du château d'eau avec la programmation du bouchage de l'ancien forage pour éviter la contamination de la nappe.

VII. FORAGE DE REMPLACEMENT :

Un forage de remplacement est destiné à l'alimentation en eau potable (AEP) de la région Est sud de Guemar commune de Guemar.

VII.1. Stratigraphie :

La coupe géologique a été réalisée à partir de l'analyse des échantillons du terrain (cuttings) prélevés par mètre durant le forage.

COUPE LITHOLOGIQUE

000-024m	Sable fin, moyen gypseux blanchâtre.
024-036m	Gypse sableux blanchâtre.
036-045m	Sable fin, moyen jaunâtre et légèrement gypseux (Nappe phréatique).
045-055m	Argile brune sableuse.
055-273m	Argile brunâtre plastique.
273-339m	Nappe de complexe terminal, sable jaunâtre à Granulométrie variée et gravier siliceux avec grains Ferrugineux légèrement gypseux.
339-348m	Argile pâteuse brunâtre.

Remarque : la même coupe lithologique de l'ancien forage

VII.2. Construction du forage :

D'après la coupe lithologique en remarque que l'équipement de forage (colonne de production et captage) son identique par rapport à l'ancien forage.

- Gravillonnage avec gravier siliceux lavé calibré 4 à 06mm, soit 6m³.
- Lavage par circulation à l'eau claire jusqu'à obtention d'une eau claire.
- Injection à deux reprises d'une solution d'hexametaphosphate de sodium d'une concentration de 07% soit au total 200Kgs.
- Pistonnage avec un piston pour améliorer le débit d'eau
- Attente réaction pendant 12Heurs.
- Développement à l'air lift jusqu'à obtention d'une eau claire et propre.

VII.3. Caractéristique du forage :

- - Niveau statique : 37.54m.
- - Mesure débit au compresseur : Q = 42 l/s

- Essais réalisés avec pompe immergée de 37KW.
- Niveau dynamique : 47.70m.
- Débits mesurés avec un débitmètre électronique.

VII.4. Essais de débit :

VII.4.1. Programme de pompage d'essais :

- ✚ Les pompages d'essai ont été effectués en trois phases.
- ✚ La première phase comporte un essai à blanc de 12Hrs.
- ✚ La deuxième phase comporte 3 paliers enchainés de 4 heures chacun suivi d'une remontée de niveau initial de 6 heures.

Les trois paliers enchainés :

- ✚ - $Q_1 = 20 \text{ l/s}$ durée de 4 heures.
- ✚ - $Q_2 = 30 \text{ l/s}$ durée de 4 heures.
- ✚ - $Q_3 = 40 \text{ l/s}$ durée de 4 heures.

La troisième phase comporte un essai définitif (longue durée) de 72 heures avec un débit de 40 l/s suivi d'une remontée de niveau de 6 hors.

Tableau IV. 5 : Résultats des essais de pompage

PALIER N°	NIVEAU DYNAMIQUE(M)	RABATTEMENT Δ (M)	DEBIT L/S	DEBIT SPECIFIQUE
P ₁	42.26	4.72	20	4.23
P ₂	44.40	6.86	30	4.37
P ₃	47.62	10.08	40	3.96
P _{Ct}	47.70	10.16	40	3.93
P _{Ext.}	51.54	14.00	50	3.57

Le débit spécifique = Q / Δ en l/s/m où $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

* Le niveau dynamique 51.54m et le rabattement de 14.00m correspondent au débit de 50 l/s par extrapolation. (Voir l'annexe n° 1)

VII.4.2. Interprétation des résultats :

Le débit critique : est la limite de la zone de proportionnalité des débits avec les dénivellations.

DEBIT CRITIQUE $Q_{cri} = 38.00 \text{ l/s}$

a. Débits spécifiques:

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits-rabattement à un temps de 240 minutes (4h). Le rabattement à 20l/s est de 4.23m, celui à 30l/s est de 4.37m, celui à 40l/s est de 10.08m et celui à 40 l/s (essai longue durée) est de 10.16m, celui à 50 l/s (débit extrapolé) est de 14m.

$$\text{Débits spécifiques (m}^2/\text{s)} = \text{débit (m}^3/\text{s)} / \text{rabattement (m)}$$

$$\text{Débit spécifique} = 3.57 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

b. Perméabilité :

"La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique" (G.CASTANY). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m² et le m³, K est exprimé en m/s.

$$\text{Perméabilité} = 2.86 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

c. La transmissivité :

La transmissivité est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. Elle représente la capacité de l'aquifère à transmettre l'eau à travers une unité de surface. Elle peut donc nous situer sur la perméabilité du milieu. Selon que cette valeur est élevée ou faible l'aquifère peut être jugé bon ou mauvais, T est exprimé en m²/s

$$\text{Transmissivité} = 1.89 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

Note : en remarque le même rabattement (14m) entre le forage qui est réalisé en 1978 et le nouveau forage de remplacement qui est réalisé en 2016.

VII.5. Les analyses physico-chimique et bactériologique de l'eau :

Les analyses ont pour but de définir l'origine de l'eau du forage, les éléments majeurs dissous dans l'eau et ces origines, ceux-ci par la quantification des divers éléments chimiques dissous dans l'eau, le faciès chimique, la dureté, la potabilité.

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.

Tableau IV.6 : Résultat d'analyse physico-chimique d'eau du CT (forage Guemar Est).

Nom	SO ₄ [—] (mg/l)	NO ₃ [—] (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl [—] (mg/l)	HCO ₃ [—] (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	pH	TC°	CE (ms /cm)
Guemar	1195.3	22.64	236.5	182.3	801.3	367.15	701,27	30,73	7,40	22.1	4,14

(DRE /Mars 2016)

VII.6. Caractéristiques chimiques des eaux :

VII.6.1. Représentation graphique de faciès hydro chimique :

Dans le but de bien identifier le faciès hydro chimique et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif de l'eau du forage Guemar est la représentation graphique de résultat d'analyse s'avère un outil inévitable pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de PIPER et à ce lui de SCHOELLER–BERKALOFF. La réalisation de ces diagrammes ont été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

a. Diagramme de PIPER:

La présentation d'analyse chimique de l'eau du forage sur ce type de diagramme (Figure IV.15) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines. Le tableau IV.5, montre que l'eau de forage Guemar est présente en deux familles dominantes sont:

- Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne
- Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique

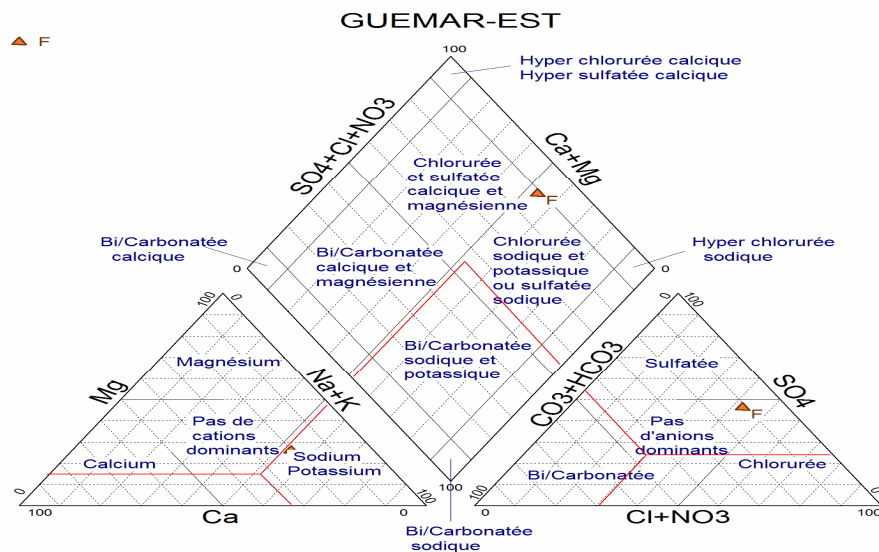


Figure IV.16 : Diagramme de PIPER

b. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF :

Le diagramme a été établi par H.SCHOELLER en 1932, et révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé d'une échelle logarithmique verticale correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Le diagramme logarithmique a permis d'identifier la grande famille chimique suivante : à première vue, on remarque une dominance de chlorure ou de sulfate qui semble être liée à la géologie ou à la forte évaporation.

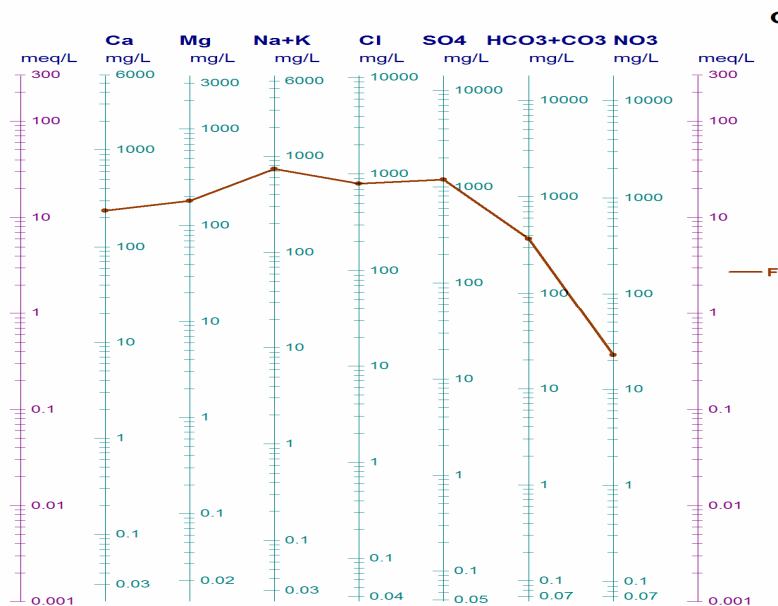


Figure IV.17: Diagramme de SCHOELLER-BER KALOFF

VII.6.2. Aptitude de l'eau à la potabilité :

VII.6.2.1. Selon l'O.M.S

Cette norme définit deux types de concentration maximale (Tableau IV.6) qui traduit la limite de potabilité. On distingue :

- ✚ Une concentration maximale acceptable à partir de laquelle une eau provoque une certaine réticence chez les consommateurs;
- ✚ Une concentration maximale admissible qui correspond à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse à la santé.

Tableau IV.7 : Normes de potabilité de l'O.M.S et CEE.

Eléments chimiques	Concentration maximale acceptable (mg/l) O.M.S	Concentration maximale acceptable (mg/l) C.E.E
Calcium	75	100
Magnésium	50	50
Sodium	200	150
Sulfates	400	250
Chlorures	250	200
Nitrates	50	44

L'examen du tableau, montre que l'échantillon analysé a des teneurs en SO_4^{--} , Ca^{++} , Na^+ , Cl^- , Mg^{++} supérieure à la norme maximale admissible. Pour le nitrate, reste inférieure à la norme maximale admissible.

En résumé, d'après l'analyse physico-chimique effectuée sur terrain et au laboratoire pour la nappe du Complexe Terminal qui alimente le forage de Guemar-Est on constate ce qui suit :

- ✚ -La température est de 22.1°C elle est conforme aux normes (20°C-25°C).
- ✚ -Le pH est de 7.40 il est conforme à la norme (6.5-8.5) ;
- ✚ - La valeur de la conductivité électrique est 4141µs/cm, elle dépasse la norme admise (200 à 1000µs/cm).
- ✚ -La teneur en calcium (Ca^{++}) est de 236.5 mg/l, il dépasse la norme qui est de 75 mg/l.
- ✚ -la teneur de magnésium (Mg^{++}) est de 182.3 mg/l il dépasse la norme qui est de 50 mg/l.
- ✚ -La concentration en chlorure (Cl^-) dans le forage est de 801.3 mg/l, elle

dépasse la norme 250 mg/l.

- ✚ -La concentration en sulfate (SO_4^{--}) est de 1195.30 mg/l, elle dépasse la norme préconisé qui est de 400 mg/l.
- ✚ -En ce qui concerne le sodium (Na^+), est de 701.27 mg/l, elle dépasse la norme 200 mg/l.
- ✚ -La concentration en potassium (K^+) est de 30.73 mg/l, elle dépasse largement la norme qui est 12 mg/l.
- ✚ -La concentration en nitrate (NO^{3-}) reste conforme à la norme 50 mg/l, qui est de 22.64 mg/l.

VII.6.2.2. Selon le degré hydrométrique total (D.H.T)

Le degré hydrométrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en Calcium et en magnésium.

$$\text{DHT} = r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++} \text{ (en méq/l)}.$$

$$\text{DHT} = (r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++}) * 5 \text{ (en degré français}^\circ\text{F)}.$$

Le Tableau IV.7, montre que l'eau qui est analysée est très dure, le D.T.H est supérieur à 54°F. Cette dureté a de conséquence plus ou moins néfaste telle que la consommation excessive du savon, la mauvaise cuisson de légume sec et le goût inacceptable, ce qui oblige les citoyens à acheter l'eau à des propriétaires.

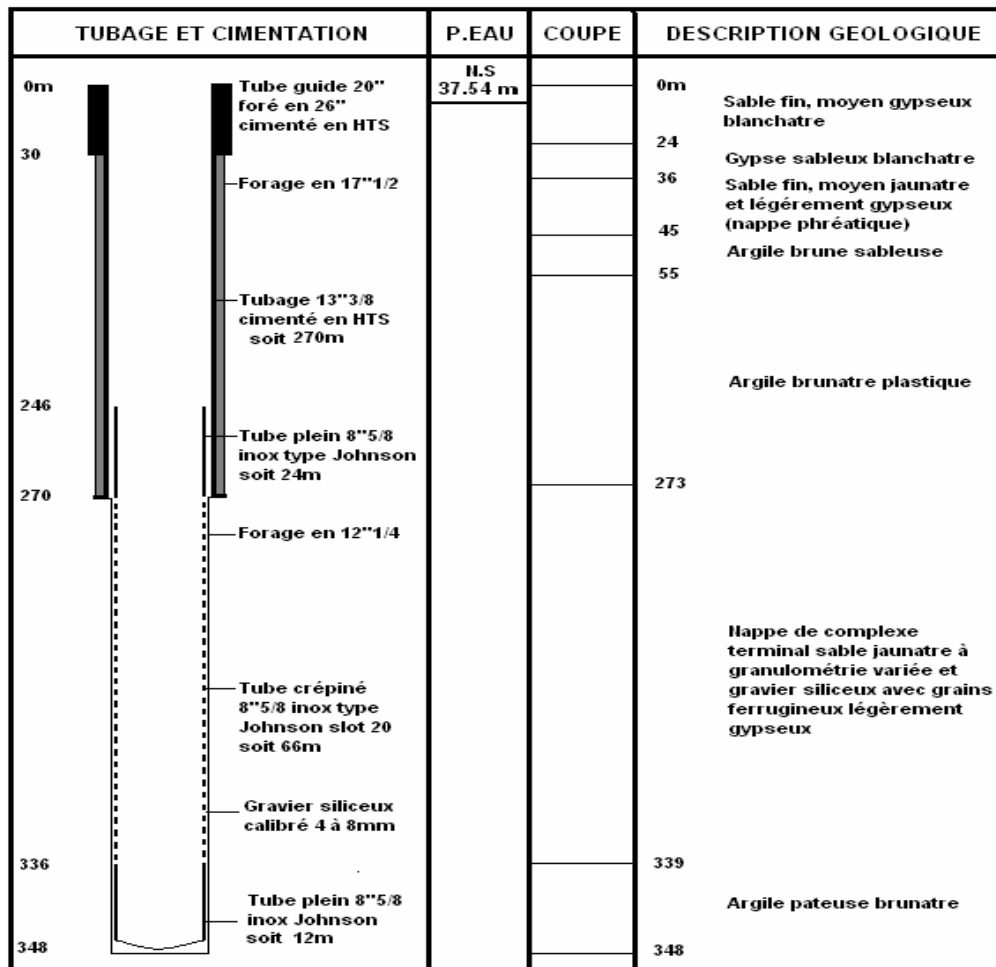
Tableau IV.8: Dureté des eaux en °F.

D.H.T (en °F)	0 -7	7 -22	22 -32	32 -54	>54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Nous pouvons donc dire que l'eau de la nappe du Complexe Terminal de forage Guemar-Est est de qualité chimique médiocre à mauvaise et impropre à la consommation selon la norme de l'OMS.

Par sa qualité bactériologique, l'eau souterraine doit être destinée prioritairement à l'AEP, malheureusement ce n'est pas le cas pour la nappe du Complexe Terminal d'Oued Souf à cause de sa qualité impropre. A fin d'estimer l'influence de cette eau sur le sol de la région.

FICHE TECHNIQUE FORAGE D'EAU GUEMAR EST



(DRE 2016)

Figure IV.18: Fiche technique forage d'eau Guemar-Est

VIII. LA POMPE :

On appelle pompes les machines qui réalisent l'écoulement d'un liquide en utilisant une quantité d'énergie mécanique fournie par un moteur. Cette dépense d'énergie est nécessaire parce que l'écoulement a lieu dans le sens des pressions croissantes, la pompe doit par conséquent vaincre une certaine résistance dont la nature varie suivant l'utilisation de l'appareil. (Voir annexe n° 2)

Les critères qui guident le choix d'une pompe sont les suivants :

- ✚ La nature du liquide pompé, viscosité, température, présence de corps solides.
- ✚ Le débit et la pression souhaités.
- ✚ L'énergie consommée.

Calculs relatifs au choix de la pompe du forage :

Actuellement les groupes électropompes immergés constituent le moyen de pompage le plus économique, le plus simple et le plus sûr pour l'exploitation des forages de nappes souterraines.

VIII.1. Paramètres de choix du groupe électropompe :

Type de puits : c'est un forage de 348m de profondeur avec une chambre de pompage de 13 ⅜ de diamètre dont le fond se situe à 270m et chambre de captage de 8 ⅝ de profondeur 48m.

- ✚ Niveau statique = 37.54m
- ✚ Niveau dynamique = 46m
- ✚ Le réservoir (château d'eau) est situé à 30m d'altitude au niveau de forage
- ✚ Diamètre extérieur de la pompe immergée 8''
- ✚ Tuyauterie de refoulement :
- ✚ Longueur horizontale à la sortie du forage 50m diamètre 200mm en PEHD
- ✚ Tuyauterie de refoulement depuis le groupe électropompe : Longueur verticale par rapport au niveau de forage = 60m diamètre 125mm en ACIER
- ✚ Le besoin (débit 35 l/s pour la zone d'étude guemar est) la source DRE

VIII.2. Calcul de la hauteur manométrique total (HMT) :

C'est la force qui permet le transport de l'eau dans la tuyauterie et son utilisation au point le plus élevé de l'installation.

$$HMT = H_r + J + P_r$$

HMT	hauteur manométrique total (mce)
H_r	hauteur de refoulement (m)
J	perte de charge (linaire et singulière)
P_r	pression résiduelle (mce) pression à la sortie du tube de refoulement, égale 1bars = 10.33 mce dans les conditions normales de température et de pression

VIII.3. Estimation de perte de charge H_f :

Rugosité $\epsilon = 1\text{mm}$

Diamètre intérieur de colonne montante $(d) = 114\text{mm}$

Longueur de colonne montante $L = 60\text{m}$

Hauteur de château d'eau = 30m

Diamètre intérieur de l'adduction 200mm

Longueur de l'adduction $L = 50\text{m}$

Débit d'eau = 35 l/s

D'après la formule de colebrook WHITE en obtient la perte de charge (linaire et singulière)

$$J = 13\text{m} (J = j_l + j_s)$$

j_l : perte de charge linaire.

j_s : perte de charge singulière.

$$HMT = H_r + J + p_r$$

$$= (60 + 30) + 13 + 10.33$$

$$= 113.33 \text{ m} \approx \mathbf{114\text{m}}$$

Choix de la pompe de forage dans le catalogue PANELLI, voir (annexe1)

On recherche une pompe capable de débiter 35 l/s à 113.33m

En obtient la pompe 180 REC130/6 le plus proche qui comporte les caractéristiques suivant :

Débit = 35 l/s

Hmt = 114 m

Pw pompe = 48 kW

Pw motor = 55 KW

Armoire = 55 KW (résistance statique)

Rendement = 0.8

(Voir l'annexe n° 3, 4, 5 et 6)

IX.CONCLUSION :

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 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 la meilleure condition d'exploitation en eau potable aux populations. Mais pour la qualité :

* diagramme de PIPER : montre que l'eau de cette forage caractérisée par une dominance de faciès suivant :

-  Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne
-  Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique
-  La dominance de ce faciès est liée d'une part à la géologie locale de la région d'étude.

* diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF : montré que la eau de cette forage caractérisée par une dominance de faciès suivant :

Chlorure ou de sulfate qui semble être liée à la géologie ou à la forte évaporation.

Sur le plan de la qualité chimique et la potabilité, l'eau de forage est minéralisé et extrêmement dures, confirmé le caractère très minéralise. La potabilité reste loin aux normes O.M.S, elle est classée au-delà de la mauvaise qualité.

La durée moyenne du forage au complexe terminal dans la zone de Souf et 50 ans parce que l'eau très chargée suivront la classification des diagrammes de PIPER et SCHOELLER – BERKALOFF (DRE, El- oued, 2016).

BIBLIOGRAPHIE

A.D.E. (2016), Fiche d'analyses physico-chimiques de forage Guemar Est

ACHOUR. S et T'ABOUCHE N, (2004), Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara Septentrionale Algérien ISSN1112-3680 n°03 pp99-113.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya d'Ouargla) Note de synthèse de campagne piézométrique 2010-2011.

ANRH (2010), Note relative aux ressources en eau de la wilaya d'El-Oued, Mai 2007.

BOUSALSAL B. (2007).Contribution à l'étude hydrogéologique et hydro chimique de la nappe libre de la vallée d'Oued-Souf (sud-est Algérien), Mémoire de Magister Institut des sciences de la terre Université d'Annaba.

Boualem, Bousalsal techniques de forage.

DAOUD. A (2002). Les ressources en eaux en Tunisie Bilan et perspective département de Géographie. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax.

DAVID Et CHEVERRY (2001), Une approche déterministe des distributions des temps de transit de l'eau souterraine par la théorie des réservoirs. Thèse de Doctorat. Institut de Géologie Université de Neuchâtel.

D.R.E. (Direction des ressources hydriques Wilaya d'El-Oued) (2016), Enquête sur l'exploitation et le besoin en AEP de la commune de Guemar Wilaya d'El-Oued.

Florent agboton projet de fin d'étude. Réhabilitation du forage d'eau, école polytechnique de Thiès Sénégal.

Hydraulique urbaine par A. DUPONT tome 1 Castany G(1968): Principes et méthodes de l'hydrogéologie Edition Dunod (1982) Université Pierre et marie – curie paris.

ISESCO (Organisation Islamique pour l'éducation, les sciences et la culture), (2002) stratégie pour la gestion des ressources en eaux dans le monde islamique p4-58.

KETTAB. A. Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision (2001) ? École Nationale Polytechnique (ENP) Alger, Laboratoire de Recherche des sciences de l'eau (LRS-EAU).

KHECHANA. S, (2007), Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée

d'Oued-Souf, Mémoire de Magister en hydrogéologie. Université d'Annaba, 133p.

KHECHANA. S et al, (2010), la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf; Enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, RSFA, ISSN1112 9867 pp 22-36.

KHECHANA. S, (2008), ressources en eau et essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf; Colloque international Terre et Eau.

KHELEF K (2006). Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique d'Oued-Souf (Sud-Est Algérien). Thèse de Master d'école de Management EURO-MED. Université de Marseille.108 p.

MESSEKHER,I (2009), Etude hydrogéologique de la vallée de Souf soumise à la remontée des eaux et perspective des solutions palliatives, Mémoire de Magister en géologie, option : géologie du génie civil et des milieux aquifère. Université de Batna, 114 p.

ONM (Office National Météorologique), station de Guemar, données climatiques, (1976-2008).

OUALI Salima, mémoire de magister en géophysique université Mohamed bougera boumerdes en 2006.

Organisation mondiale de la santé (oms) préparé une fiche technique de nettoyage, et réhabilitation des forages, en 2013, suisse.

Piper A.M.1944.A graphique procédure inthegeochemical interprétation of water analyses".
Aquifère test logiciel pour déterminer les paramètres hydrodynamique.

RAISEMCHE Aziz thème de magister, machines et commandes électriques université de Sétif.

RETIMA. N(2009), Gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant de la Seybouse, mémoire de magister en hydrogéologie, option : hydrogéologie et ouvrage hydraulique. Université d'Annaba, 125 pages.

Revue technique, Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines appliquées aux forages.

Revue technique, réalisation et réhabilitation de forages dans les conditions du terrain, comité international de la croix – rouge Genève, suisse.

Revue technique, diagnostic et réhabilitation des -forages, bureau de recherches géologiques et minières, novembre 1986, France.

Ricolvi et steenhoudt, projet de réhabilitation et de valorisation des points d'eau modernes réalisent en milieu rural, évaluation technique et financière, en France.

Robert, P. Chapuis (2007), Guide des essais de pompage et leur interprétation, Dunod ISBN 978-2-550-50664-5.

ROUABHIA Abdelkader, (2006), Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables Miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod nord-est Algérien. Thèse de Doctorat en hydrogéologie. Université d'Annaba. 189p.

SAIBI. H(2003), Analyse qualitative des ressources en eau de la vallée du Souf et l'impact sur l'environnement, région aride à semi-aride d'El-Oued, Mémoire de Magister en hydrogéologie. Université d'Alger ; 177p

Système aquifère du Sahara septentrional, observatoire du Sahara et du sahel en 2003.

ZAIZ ISSAM, mémoire de magister, étude qualitative des eaux de la nappe du complexe terminal dans la vallée d'oued–Souf (sud-est algérien).

ANNEXE

Annexe n° 01 : essais des débits forage de remplacement Guemar-Est

Palier n°1**Durée : 4Hrs****Débit : 20 l/s**

Date	Heure	Minute	Niveau dynamique	Observation
	00	00	37.54	Ns=37.54m
		01	38.40	
		02	41.41	
		03	42.07	
		05	42.11	
		07	42.15	
		09	42.16	
		11	42.17	
		13	42.17	
		15	42.19	
		20	42.19	
		25	42.20	
		30	42.20	
		40	42.21	
		50	42.22	
	H	00	42.22	
		15	42.22	
		30	42.23	
		45	42.24	
	H	00	42.25	
		30	42.25	
		00	42.26	
	H	00	42.26	

Palier n° 2**Durée : 4Hrs****Débit : 30 l/s****(suite)**

Date	Heure	Minute	Niveau dynamique	Observations
	00	00	44.26	
		01	44.27	
		02	44.27	
		03	44.28	
		05	44.29	
		07	44.30	
		09	44.31	
		11	44.31	
		13	44.31	
		15	44.32	
		20	44.33	
		25	44.33	
		30	44.33	
		40	44.34	
		50	44.34	
	H	00	44.35	
		15	44.37	
		30	44.38	
		45	44.38	
	H	00	44.39	
		30	44.40	
	H	00	44.40	
	H	00	44.40	

Palier n°3**Durée : 4Hrs****Débit : 40 l/s****(suite)**

Date	Heure	Minute	Niveau dynamique	Observations
	00	00	44.40	
		01	47.11.	
		02	47.16	
		03	47.20	
		05	47.25	
		07	47.27	
		09	47.30	
		11	47.32	
		13	47.33	
		15	47.36	
		20	47.39	
		25	47.41	
		30	47.46	
		40	47.49	
		50	47.53	
	H	00	47.56	
		15	47.58	
		30	47.60	
		45	47.61	
	H	00	47.61	
		30	47.62	
	H	00	47.62	
	H	00	47.62	

Remontée des trois paliers.**Durée : 6 Hrs****(suite)**

Date	Heure	Minute	Niveau	Observations
	00	00	47.62	
		01	38.00	
		02	37.93	
		03	37.88	
		05	37.86	
		07	37.85	
		09	37.84	
		11	37.83	
		13	37.82	
		15	37.81	
		20	37.78	
		25	37.77	
		30	37.76	
		40	37.74	
		50	37.73	
	H	00	37.72	
		15	37.71	
		30	37.70	
		45	37.68	
	H	00	37.66	
		30	37.61	
	H	00	37.59	
		30	37.58	
	H	00	37.57	
		30	37.56	
	H	00	37.55	
	H	00	37.54	

Palier constant. Durée : 72 Hrs Débit : 40 l/s (suite)

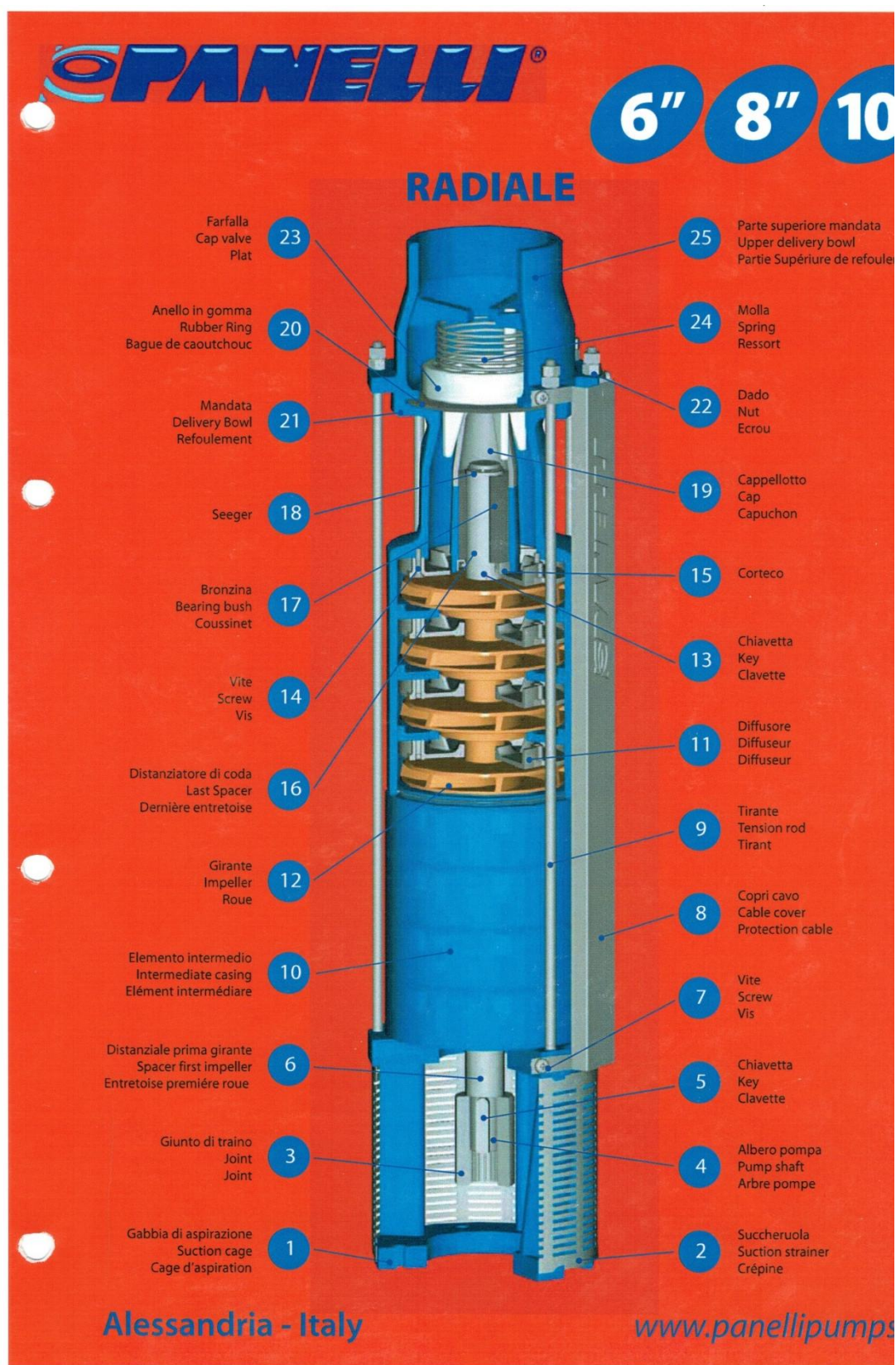
Date	Heure	Temps cumulé (min)	Niveau dynamique	Observations
	00	00	37.54	
		01	46.12	
		02	46.35	
		03	46.43	
		05	46.51	
		07	46.59	
		09	46.70	
		11	46.78	
		13	46.86	
		15	46.91	
		20	46.95	
		25	46.99	
		30	47.02	
		35	47.05	
		40	47.08	
		45	47.11	
	H	00	47.13	
		75	47.15	
		90	47.17	
		105	47.19	
	H	120	47.20	
		135	47.21	
		150	47.22	
		165	47.23	
	H	180	47.24	
		195	47.25	
		210	47.26	
		225	47.27	
	H	240	47.28	
		270	47.29	
	H	300	47.30	
		330	47.31	
	H	360	47.32	
		390	47.33	
	H	420	47.34	
		450	47.35	
	H	480	47.36	
	H	540	47.37	
	H	600	47.38	
	H	660	47.39	
	H	720	47.40	
	H	780	47.41	
	H	840	47.42	
	H	900	47.43	
	H	960	47.44	

	H	1020	47.46	
	H	1080	47.48	
	H	1140	47.50	
	H	1200	47.52	
	H	1260	47.54	
	H	1320	47.56	
	H	1380	47.58	
	H	1440	47.59	24 Heures
	2H	1560	47.60	
	2H	1680	47.61	
	2H	1800	47.62	
	2H	1920	47.63	
	2H	2040	47.64	
	2H	2160	47.65	
	2H	2280	47.66	
	2H	2400	47.67	
	2H	2520	47.67	
	2H	2640	47.67	
	2H	2760	47.68	
	2H	2880	47.68	48 Heures
	3H	3060	47.69	
	3H	3240	47.69	
	3H	3420	47.69	
	3H	3600	47.69	
	3H	3780	47.70	
	3H	3960	47.70	
	3H	4140	47.70	
	3H	4320	47.70	72 Heures

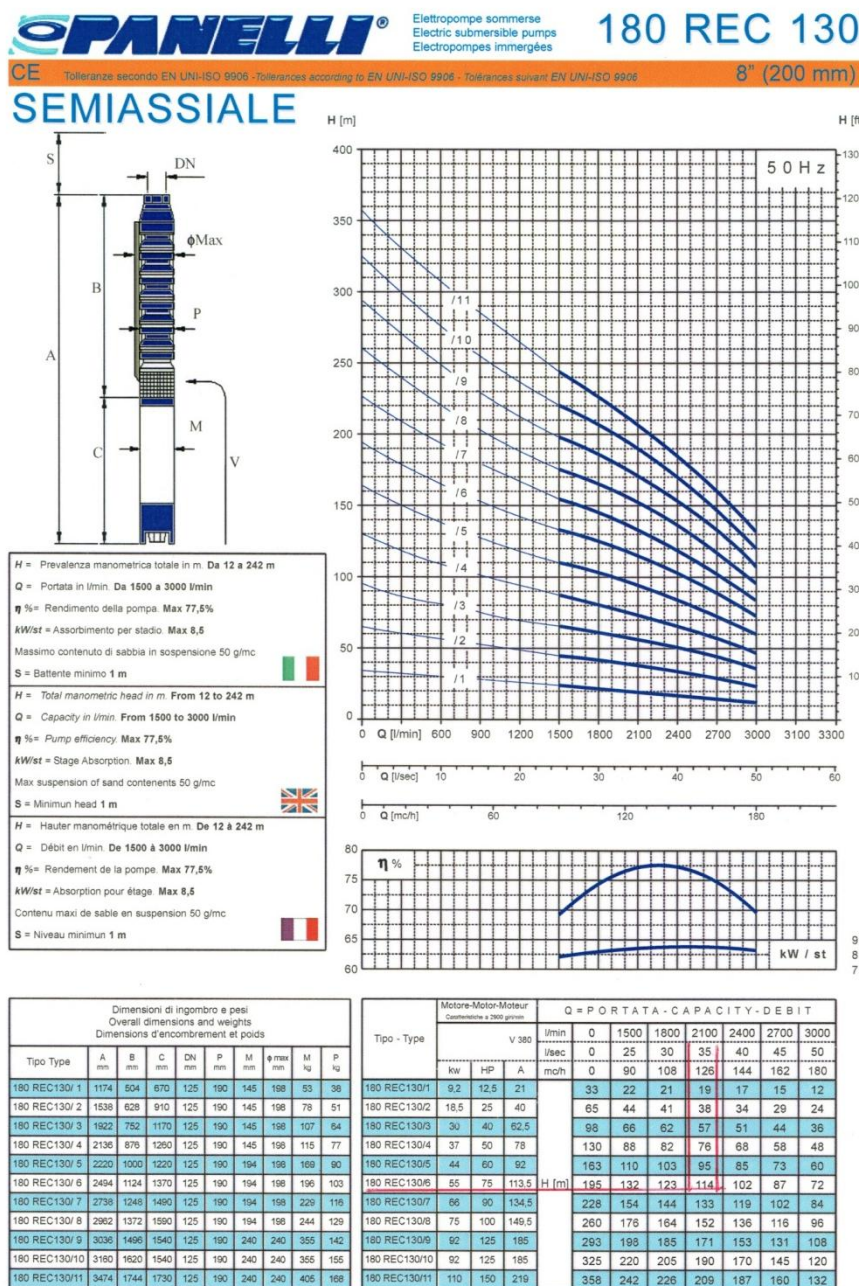
Remontée (Palier constant)**Durée : 6 Hrs.****(suite)**

Date	Heure	Minute	Niveau (m)	Observations
	00	00	47.70	
		01	39.41	
		02	38.72	
		03	38.47	
		05	38.31	
		07	38.19	
		09	38.10	
		11	38.04	
		13	38.00	
		15	37.96	
		20	37.93	
		25	37.90	
		30	37.88	
		40	37.85	
		50	37.82	
	H	00	37.79	
		15	37.76	
		30	37.73	
		45	37.70	
	H	00	37.67	
		15	37.65	
		30	37.63	
		45	37.61	
	H	00	37.59	
		30	37.58	
	H	00	37.57	
		30	37.56	
	H	00	37.55	
	H	00	37.54	

Annexe n°02 : corps de pompe immergée type panelli

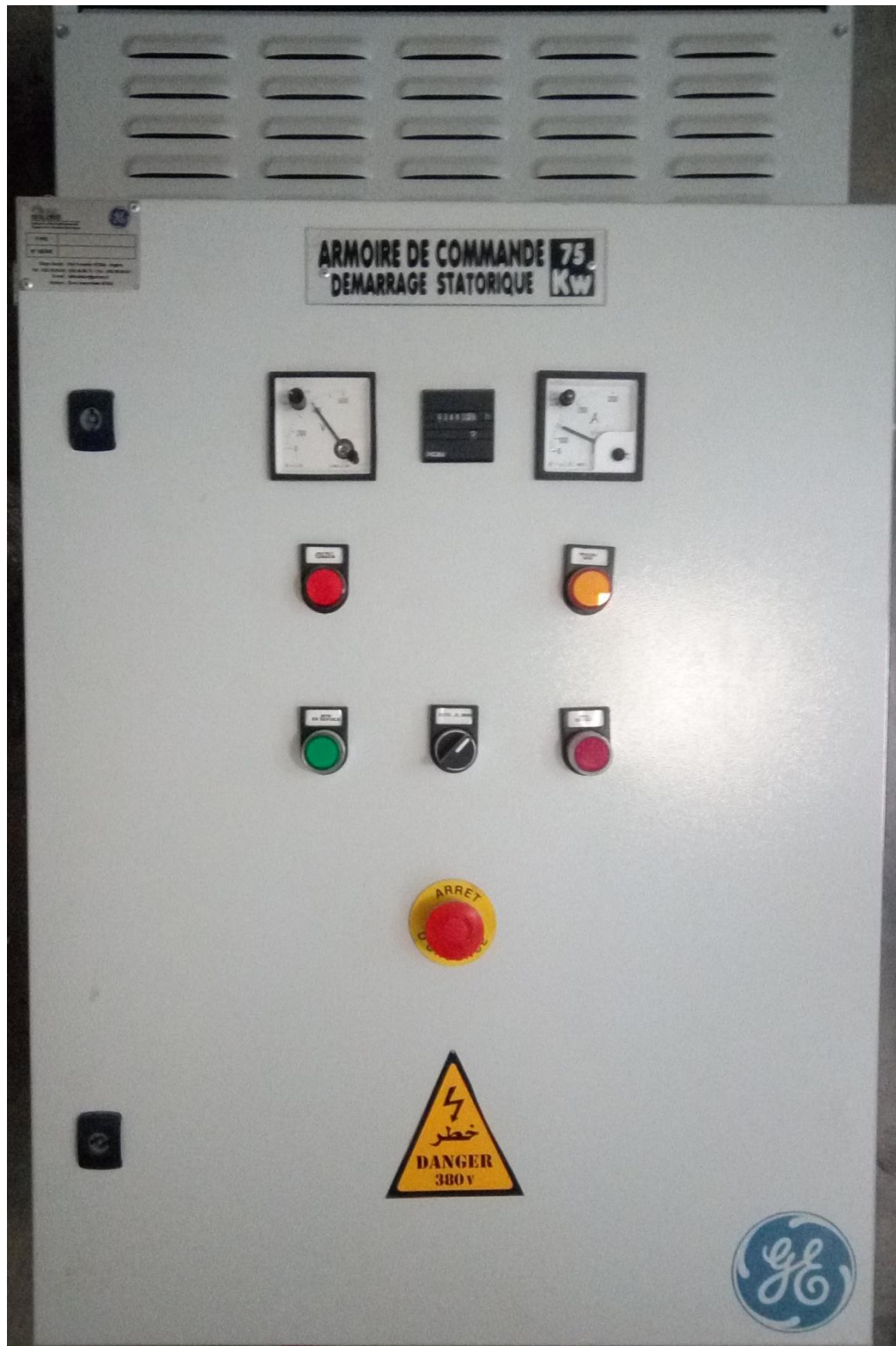


Annexe n°03 : courbes des pompes immergées type panelli

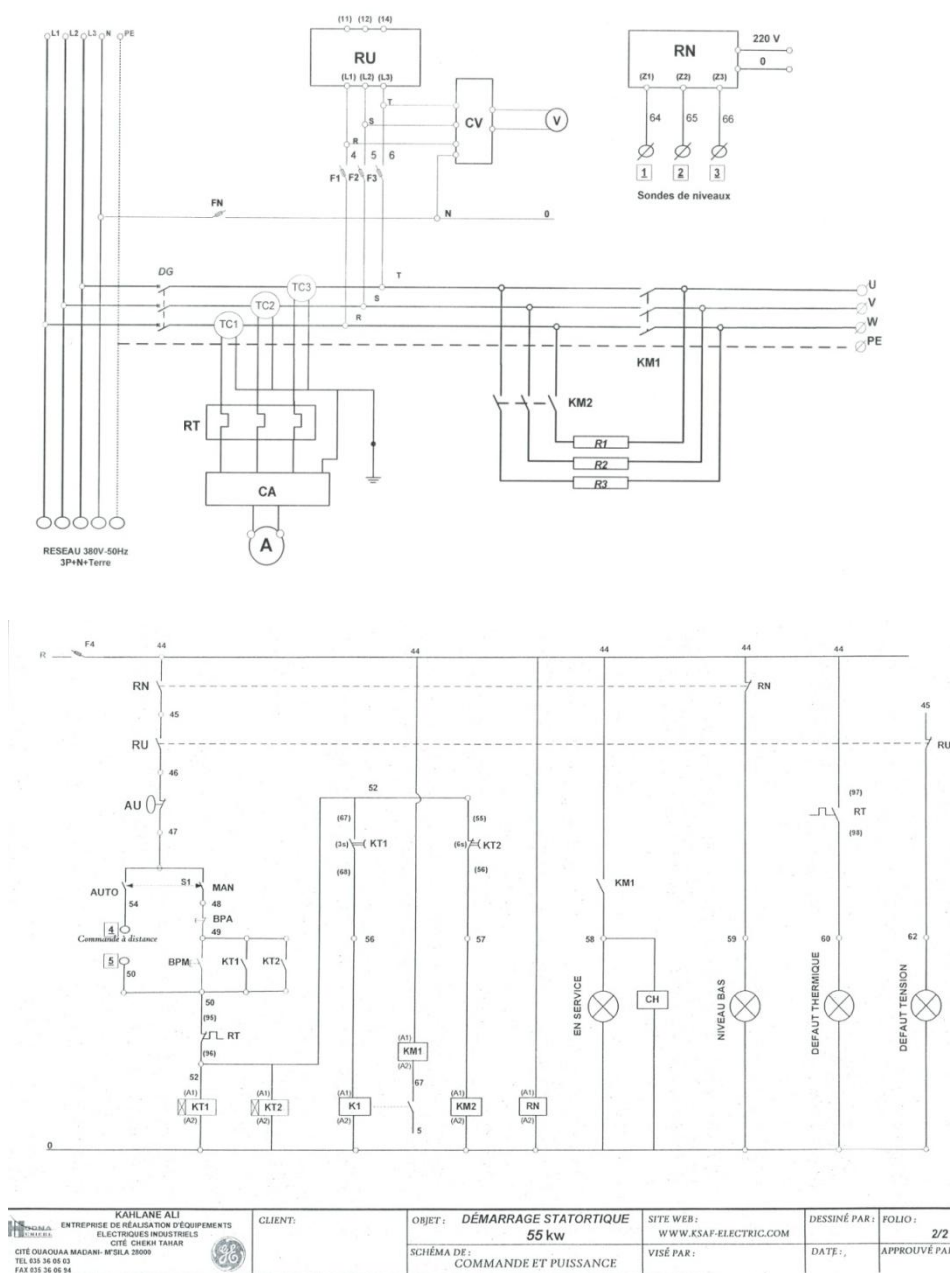


Strada Rana - Z.I. D5 - 15047 Spinetta M.go - Alessandria - ITALY - tel. +39 0131 619506 - fax +39 0131 619017 - E-mail: panelai@tin.it - www.panellipumps.it

Annexe n°04 : armoire électrique



Annexe n° 05 : schéma électrique d'un armoire type hodna (général électrique)



Annexe n°06 : photo forage d'eau potable

