

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE
LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

**Contribution à l'étude de la pollution nitrique
de l'aquifère libre d'El-Oued.**

Soutenu publiquement par :

Dirar Tijani.

Devant le jury :

Président :	M. SAHRI Laila	M.A.A Univ. Ouargla
Promoteur :	M. BOUSELSAL Boualem	M. C. B Univ. Ouargla
Examineur :	M. FENAZI Bilal	M.A.A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciements

Langage tout d'abord à Dieu qui nous a donné la force

Pour terminer ce modeste travail.

Toutes nos infinies gratitudees à notre promoteur, Monsieur

BOUSELSAL BOUALEM pour son encadrement et ses

aides précieuses.

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait

l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du

département des sciences de la terre et l'univers

*Enfin nous remercions nos parents et tous ceux qui ont
contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste
travail, trouvent ici l'expression de nos profondes gratitudees*

et respects.



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GENERALE	1
 PARIE 01: GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE.	
1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	2
1.1. Situation géographique	2
1.2. Cadre sociologique d'El-Oued	2
1.3. Cadre économique d'El-Oued	3
1.3.1. L'artisanat:	3
1.3.2. Le commerce:	3
1.3.3. L'industrie: .	3
1.3.4. L'agriculture :	3
2. CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE	5
2.1. Introduction	5
2.2. Précipitation	5
2.3. Température	5
2.4. Vent	6
2.5. L'humidité	6
2.6. La durée d'insolation	7
2.7. La courbe pluvio-thermique	7
2.8. Bilan hydrique	8
3. CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	9
3.1. Introduction	9
3.2. Stratigraphie régionale	9
3.2.1. Formations de l'ère Secondaire (le crétacé). Le Barrémien .	10
3.2.2. Formations de l'ère Tertiaire	11
3.2.3. Formations du Quaternaire :	11
4. CONCLUSION	13
 PARITIE 02: ETUDE HYDROGEOLOGIQUE.	
1. PRESENTATION DE SYSTEME AQUIFERE DE SAHARA SEPTENTRIONAL.	14
1.1. Extension de système aquifère de Sahara septentrional.	14
1.2. Définition des nappes aquifères du SASS.	15

Table des matières.

1.2.1. Nappe libre :	15
1.2.2. Nappe du complexe terminal (CT) :	15
1.2.2.1. Nappe des Sables.	17
1.2.2.2. Nappe des Calcaires.	18
1.2.3. Nappe du Continental Intercalaire (CI) :	18
2. APPORTS D'ANALYSE DES LOGS DES FORAGES D'EAU.	20
2.1. Coupe 1:	20
2.2. Coupe 4 :	21
2.3. Lithostratigraphie des nappes aquifères d'El-Oued :	21
3. PIEZOMETRIE DE L'AQUIFERE LIBRE D'EL OUED.	22
3.1. Le réseau de surveillance d'Oued Souf :	22
3.2. Historique de la remontée des eaux dans la zone d'étude	23
3.3. Campagnes de mesure réalisées par BG.	26
3.3.1. Piézométrie de la nappe libre en mars-avril 2001	26
3.3.2. piézométrie de la nappe phréatique en avril 2002 :	26
3.4. Piézométrie de juin 2010	30
3.5. Piézométrie d'avril 2012	31
4. CONCLUSION.	32
PARTIE 03: Pollution nitrique de l'aquifère libre d'El Oued Souf	
1. FACIES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE LIBRE.	33
1.1. Compagne de mai-juin 2012.	33
1.2. Compagne de juin 2015.	34
2. QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE LIBRE.	35
2.1. Paramètres physico-chimiques	35
2.1.1. Température de l'eau	35
2.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)	35
2.1.3. La conductivité électrique (CE)	37
2.1.4. Le résidu sec	37
2.1.5. La dureté	37
2.1.6. Le Calcium (Ca ⁺²)	37
2.1.7. Le Magnésium (Mg ⁺²)	37
2.1.8. Le Sodium (Na ⁺)	37
2.1.9. Le Potassium (K ⁺)	37
2.1.10. Les Chlorures (Cl ⁻)	37

Table des matières.

2.1.11. Les sulfates (SO ₄ ²⁻) :	37
2.1.12. Les bicarbonates (HCO ₃ ⁻) et de carbonate (CO ₃ ²⁻) :	38
2.2. Les substances indésirables	38
2.2.1. Le fluor (F ⁻) :	38
2.2.2. Les métaux lourds.	40
2.3. Qualité microbiologique de l'eau.	40
3. APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION.	41
3.1. Conductivité.	42
3.2. La méthode de Richards :	42
4. QUALITE DES EAUX USEES ET SA POSSIBILITE D'UTILISATION EN AGRICULTURE.	43
4.1. Gestion des eaux usées dans la zone d'étude.	43
4.2. Présentation du lagunage aéré.	45
4.3. Qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation.	45
4.3.1. Matières en suspension(MES)	46
4.3.2. Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	46
4.3.4. Demande chimique en oxygène (DCO)	46
4.3.5. L'oxygène dissous :	46
4.3.6. La conductivité électrique (CE)	46
4.3.7. Le pH	47
4.3.8. Les nitrates et les nitrites	47
4.3.9. Les orthophosphates	47
5. POLLUTION NITRIQUE.	49
5.1. Cycle d'azote	49
5.2. Les nitrate dans l'eau et leurs effets	50
5.3. Les nitrates et la santé	51
5.4. Le nitrate dans les eaux de la nappe libre.	51
5.4.1. Carte de nitrates d'avril 2002.	51
5.4.2. Carte de nitrate dans la nappe libre en juin2010.	52
5.4.3. Carte de nitrates de mai 2012.	53
5.4.4. Le taux de nitrates de mars 2015.	54
6. CONCLUSION	55
CONCLUSION GENERALE.	
RECOMMANDATIONS	
BIBLIOGRAPHIE.	

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : situation géographique de la zone d'étude.	2
Figure 4: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1978-2010) d'El Oued.	5
Figure 5: Histogramme des températures moyennes mensuelles (1976-2010) d'Oued.	6
Figure 6: Histogramme de la vitesse moyenne mensuelle de vent (1976-2009).	6
Figure 7: Histogramme d'humidité moyenne mensuelle (1978-2010).	6
Figure 8: Histogramme de la durée d'insolation moyenne mensuelle (1997-2010).	7
Figure 9: Courbe pluvio-thermique de région d'El-Oued (1978/2010)	7
Figure 10 : histogramme des termes de bilan hydrique de la région d'El-Oued.	8
Figure11: Carte géologique d'El-Oued (G.Busson 1970)	9
Figure.12 : Colonne stratigraphique des forages de CI existant dans la zone d'étude.	12
Figure 13: Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).	15
Figure 14: Présentation des formations aquifères du complexe terminal à El Oued.	16
Figure 15: Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS 2003).	17
Figure 16 : Carte d'extension des Systèmes Aquifères (CT et CI) en Algérie	19
Figure 17: Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003).	19
Figure 18: Coupe hydrogéologique N°1.	20
Figure 19 : Coupe hydrogéologique N°4.	21
Figure 20: Colonne lithostratigraphique des aquifères d'El Oued (Bouselsal.2016).	22
Figure 21: Inventaire des forages de drainage vertical de la ville d'El-Oued (ONA 2006).	23
Figure 22: Etat des Ghouts d'El Oued en 2014 (Bouselsal 2016).	25
Figure 23: carte piézométrique de la nappe phréatique en mars-avril 2001	28
figure 24: carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002.	29
Figure 25: Carte piézométrique de la zone d'étude de juin 2010.	30
Figure 26: Carte piézométrique de la zone d'étude d'avril 2012.	31
Figure 27: Diagramme de Piper des eaux de la nappe libre (mai-juin 2012).	33
Figure 28: Diagramme de Piper des eaux de la nappe libre (mars 2015).	34
Figure 30: Histogramme de variations de fluor dans la nappe libre (Laouini, 2009).	38
Figure 29: Histogrammes des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe libre.	39
Figure 31: Histogramme de variation de Mn, Pb et Zn dans la nappe libre.	40

Liste des figures.

Figure 32: Le diagramme de Richards des eaux de la nappe libre de 2012 et 2015.	43
Figure 33 : Schéma directeur d'assainissement des eaux usées et pluviales de Souf	44
Figure 34 : Histogrammes de variation des paramètres physico-chimiques des eaux brutes et traitées dans la station de Kouinine (2012).	48
Figure.35: Cycle d'azote	50
Figure 36: Carte des taux de nitrates dans la nappe libre en avril 2002.	52
Figure 37: Carte des taux de nitrates dans la nappe libre en juin2010.	53
Figure 38: Carte des taux de nitrates dans la nappe libre en mai 2012.	54
Figure 39 : Histogramme de variation des nitrates dans la nappe libre (2015).	55

LISTE DES TABLEAUX.

Tableau.1: Répartition générale des terres pour l'année agricole 2012/2013.	4
Tableau 2 : Caractéristiques géographiques de station climatique de Guemar.	5
Tableau 3: données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.	7
Tableau 4: Bilan hydrique d'El Oued (1978/ 2010) selon la méthode de THORNTWAITE .	8
Tableau 5: Répartition des faciès chimiques de la campagne de mai-juin 2012.	34
Tableau 6: Normes algériennes pour l'eau minérale naturelle et l'eau de source. Arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00).	36
Tableau7: les paramètres microbiologiques des eaux de la nappe libre (ADE, 2010).	41

Résumé.

Dans la région d'El Oued (SE Algérie), l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, à provoquer la multiplication des nombres de forages dans les deux nappes captives (continental intercalaire et le complexe terminal), existants dans la région. La mauvaise gestion des ressources en eau dans la région à provoquer une augmentation de niveau piézométrique, jusqu'au surface de sol, ou près de surface. Les conséquences de cette augmentation sont néfaste sur l'homme et l'environnement. On note ; le noyage des palmeraies et leurs asphyxies, le noyage des fosses domestiques et la propagation de la pollution bactériologique dans la nappe, contamination des eaux par les nitrates d'origines domestique et agricole. Le taux de nitrates dans la nappe libre est dans la plupart des cas supérieur à la norme recommandée par l'OMS. Les valeurs élevées se localisent dans les dans les zones urbaines, et les zones agricoles irriguées à partir des puits dans la nappe libre. Les valeurs faibles se localisent dans les Ghouts inondés recouverts de roseaux, les régions isolées et le rejet de la ville d'El Oued.

Mots clés : El Oued, ressources en eau, OMS, pollution nitrique, nappe libre.

Résumé

Résumé

In the region of El Oued (Algeria), the increase of request on the water, for potable water supply, irrigation and for industry, to cause the multiplication of the numbers of drillings in both captive tablecloths (continental intercalary and the complex terminal), existent in the region. The mismanagement of resources in water in the region to cause an increase of level piézométrique, until surface of soil, or meadows of surface. Consequences of this increase are harmful on man and environment. We note; the flooding of palm groves and their asphyxia, the flooding of the domestic pits and the spread of bacteriological pollution in the tablecloth, pollution of waters by nitrates of domestic and agricultural origins. The rate of nitrates in the free tablecloth is in most cases the upper in the norm recommended by the OMS. High stocks become localized in in the urban zones, and the agricultural zones irrigated from wells in the free tablecloth. Weak stocks become localised in flooded Ghouts covered with reeds, insulated regions and rejection of the city of El Oued.

Key words: El Oued, resources in water, OMS, nitric pollution, free tablecloth.

ملخص

- في منطقة الوادي (جنوب شرق الجزائر) زيادة الطلب على المياه لتوفير مياه الشرب والري والصناعة، تسبب في تزايد عدد الآبار في طبقة المياه العميقة، الموجودة في المنطقة.
 - سوء إدارة الموارد المائية في المنطقة يؤدي إلى زيادة في مستوى المياه الجوفية، على سطح الأرض أو بالقرب من السطح. النتائج المترتبة على هذه الزيادة ضارة للإنسان والبيئة. نلاحظ، بساتين النخيل وحالات الاختناق، والحفر المحلية وانتشار التلوث البكتيري في المياه الجوفية، تلوث المياه بالنترات من أصول زراعية ومنزلية.
 - معدل النترات في طبقة المياه السطحية في معظم الحالات أعلى من المعيار الموصي به من قبل منظمة الصحة العالمية. والمعدلات العالية توجد في المناطق الحضرية، والمروية و المناطق الزراعية من الآبار في طبقة المياه السطحية. القيم المنخفضة توجد في الأغواط المغمورة المغطات بالقصب، والمناطق النائية والمعزولة عن مدينة الوادي.
- كلمات البحث: الواد والموارد المائية ومنظمة الصحة العالمية، والتلوث النترات، منسوب المياه الجوفية

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des 30 dernières années, la région d'El-Oued Souf a connu une remontée des eaux de la nappe superficielle. Les conséquences de ce phénomène sont néfastes pour l'homme et l'environnement. La conséquence est le noyage des palmeraies et leurs asphyxies, le noyage des fosses domestiques et la propagation de la pollution bactériologique dans la nappe, et contamination des eaux par les nitrates d'origines domestique et agricole. Aussi la remontée provoque la forte minéralisation d'eau de la nappe libre, conséquence de l'évaporation intense à partir des plans d'eau libre et la dissolution des sels qui sont l'origine d'affaissement des terrains à travers la région d'El-Oued.

La remontée a conduit également au changement progressif de l'occupation des sols. Ainsi la zone touchée par la remontée des eaux s'étend sur une superficie de 3 000 km². Sur laquelle habitent 380 000 habitants, qui sont répartis sur 18 communes. Les causes de la remontée des eaux de la nappe superficielle sont multiples; le pompage intensif des nappes profondes (Complexe terminal et Continental intercalaire) à des fins agricoles et d'approvisionnement en eau potable des populations. Ce phénomène est aggravé par l'insuffisance des infrastructures d'assainissement dans la Wilaya d'El-Oued et l'absence d'exutoire due à la faiblesse de la pente du relief.

Le présent travail est pour but d'étudier la pollution nitrique des eaux de la nappe phréatique et les facteurs qui intervenant dans cette dernière.

Le travail proposé est structuré selon quatre parties:

Dans la **Première Partie**, nous présentons des généralités sur la zone d'étude, relatives à la situation géographique, à l'occupation de sol, aux caractéristiques socio-économiques de la région, à la géologie et à la climatologie.

Dans la **Deuxième Partie**, nous présentons une étude hydrogéologique de la zone d'étude, en commençant par la présentation et la localisation de la zone d'étude dans le SASS, puis par l'identification de l'aquifère libre en utilisant l'analyse des logs stratigraphiques des forages hydrauliques existants dans la région. et en fin nous avons analysé la piézométrie de la nappe et son évolution dans le temps et dans l'espace.

La **Troisième Partie**, est consacrée à l'hydrochimie où nous avons évalué les qualités physico-chimiques et biologiques des eaux de l'aquifères libre d'El Oued par rapport aux normes algériennes et les normes de l'OMS, ainsi que son aptitude à l'irrigation. Et en fin la cartographie de la pollution nitrique et leurs évolution dans le temps.

A l'issue de ce travail nous présentons une **Conclusion générale** fait sortir les résultats de l'étude.

1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1.1. Situation géographique

La zone d'étude se trouve à la wilaya El-Oued (SE d'Algérie), limitée par ; Biskra, Khenchela et Tébessa au Nord, Djelfa au Nord-Ouest, Ouargla au Sud et Sud-ouest et la Tunisie à l'Est (Fig.1). La zone d'étude, occupe une superficie de 500 Km², elle se trouve entre les coordonnées UTM : X = 290000 E/315000 E, et Y = 3680000 N/3700000 N.

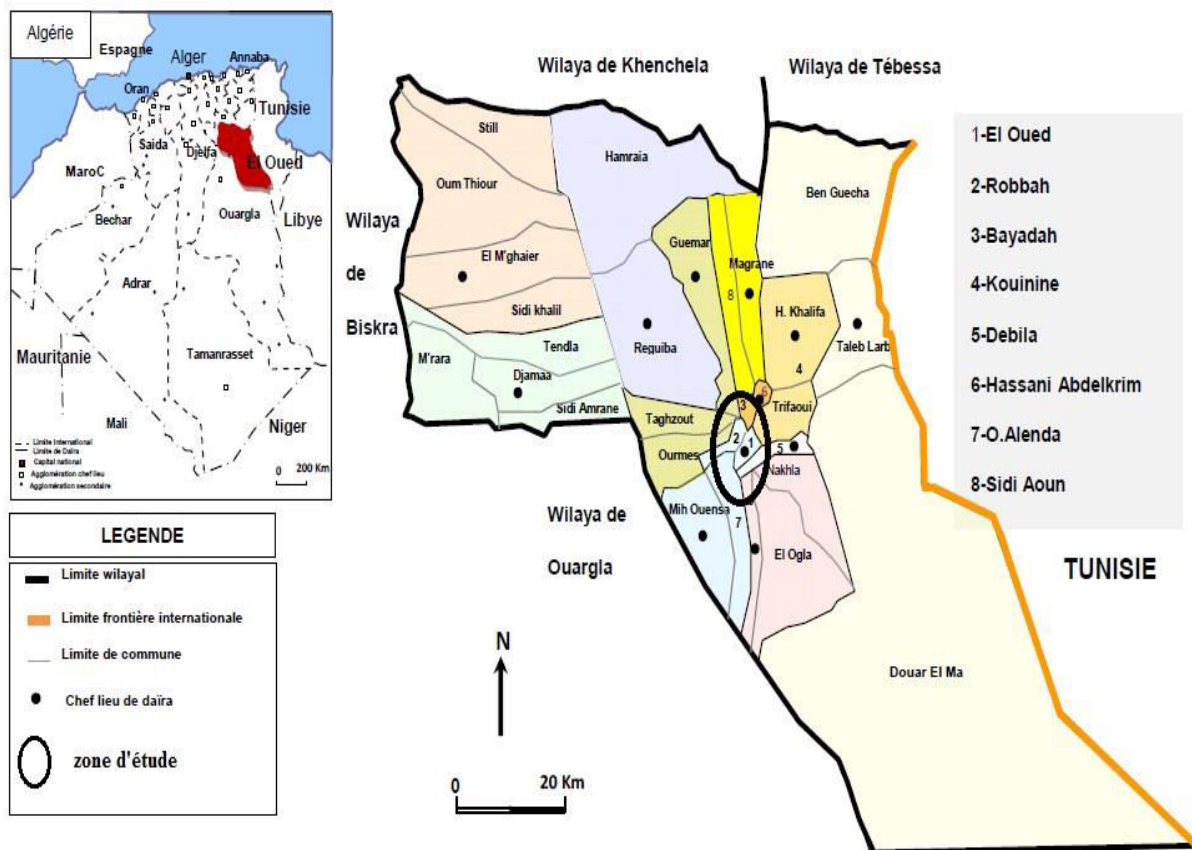


Figure 1 : situation géographique de la zone d'étude.

1.2. Cadre sociologique d'El-Oued

La zone d'étude fait partie de Souf, elle regroupe le centre urbain le plus importante d'El-Oued qui s'étendue de l'Ogla au sud à Kouinine au nord, avec des zones agricoles sur les bords l'est et l'ouest des centres urbains.

El-Oued devint une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984, ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement, aujourd'hui elle se repose sur une superficie égale à 44586 km² divisé en 30 communes avec une population de 750840 habitants et une densité de 15.23 hab/km², le taux d'accroissement de population égale à 3.4‰ selon le recensement de l'ONS de 2008. Les habitants d'El Oued sont imbus de culture religieuse ; l'art des lettres, beaucoup d'adolescents connaissant le Coran par cœur, des gens voyagent durant des années pour

s'instruire. La langue arabe reste très pure, permet même aux analphabètes, habitants sous la tente, de composer des poésies. Les manifestations de la vie quotidienne traduisent un système d'organisation qui tient compte des possibilités économiques, de la vocation agricole, commerciale et artisanale.

1.3. Cadre économique d'El-Oued

Les manifestations de la vie quotidienne traduisent un système d'organisation qui tient compte des possibilités économiques, de la vocation agricole, commerciale et artisanale. Les principales activités, il nous donne un aperçu général sur l'économie d'El-Oued sont :

1.3.1. L'artisanat: El Oued à toujours était un centre artisanal, notamment pour les objets liés à l'ancienne technologie de l'agriculture. On note les activités artisanales, il s'agit des tailleurs, des tapissiers, des maçons, des cordonniers, des menuisiers, des bijoutiers, des forgerons.

1.3.2. Le commerce: Grâce à la position géographique entre trois Etats (Algérie, Tunisie, Libye), El-Oued à acquis une position stratégique exceptionnelle, on peut dire que la ville d'El Oued est un centre d'échange commercial, très actif, ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région d'El-Oued, d' où l'importance de son marché. Cette activité commerciale se traduit également par le grand axe commerçant qui, sur plus de 15km, s'allonge le long de la Route Nationale de Kouinine-Robbah où la densité commerciale forte au centre 15 à 20 établissements pour 100 m pour décroître vers les extrémités 4 à 5.

1.3.3. L'industrie: Dans la foulée du commerce, un phénomène tout nouveau est apparu à El-Oued, l'industrie, depuis la décennie 1980, de petites unités privées se sont installer. On note des activités industriels dans cinq branches essentiels: les parfums et cosmétique, l'agro-alimentaire, les plastique, les matériaux de construction, les boissons. Aujourd'hui plus de 16000 personnes travaillent dans l'industrie.

1.3.4. L'agriculture : La Wilaya d'El Oued dispose d'une superficie agricole totale égale à 4458680 Ha, mais la superficie réellement exploitée est 2866811 Ha, la superficie irriguée est égale à 54534 Ha. L'agriculture est la principale activité dans la région d'El-Oued, comme culture dominante, la Pomme de terre, le tabac (Guemar), le Palmier dattier dans les ghouts (Tab.1).

Tableau.1: Répartition générale des terres pour l'année agricole 2012/2013.

Répartition des Terres		Superficie (Ha)
Terres labourables	Cultures herbacées	35 237
	jachères	1 310
Cultures permanents	Vignobles	140
	Arbres fruitiers	450
	Agrumes	43
	Oliviers	2 913
	Palmiers	36 317
Superficie agricole utile (SAU)		76 410
Dont SAU irriguée		75 100
Pacage et parcours		1.444.181
Terres improductives des exploitations		71 278
Terres utilisées par l'agriculture		1 591 869
Superficie totale de la wilaya		4.458.680

Les Ghouts saharienne fonctionne comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie; pour ne pouvant faire venir les eaux à eux, les soufis ont imaginé d'aller à elle, d'excaver suffisamment le sable pour que l'épaisseur restante soit 2m, planter alors les palmiers dans sol de façon à ce qu'ils aillent puiser l'eau par leurs propres racines, c'est le principe de la culture Bour (en sec), on n'importe pas d'eau d'irrigation mais les palmiers vont chercher eux-mêmes ce dont ils ont besoin.

Les limites des ghouts atteignent la frontière libyenne au sud et voisinent avec les Monts des Nemamchas, suivant une ligne passant par Negrine, s'étire à l'est à la frontière tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis d'Oued Righ. Actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 t/an.

L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suite :

- 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 : 27500000 Œufs/an;
- Une production laitière : 44000000 litres/an.

2. CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

2.1. Introduction

La connaissance des caractéristiques climatiques est nécessaire pour l'étude hydrogéologique, il est indispensable pour évaluer l'alimentation des eaux souterraines par infiltration, et pour l'établissement d'un bilan hydrique. Les données climatologiques que nous allons traiter relevées de l'Office National Météorologique d'El-Oued (ONM), sont réparties sur une période de 33 ans (1978-2010). La station climatique (ONM) est située dans la Daïra de Guemar (Tab.2), au Nord de ville d'El Oued.

Tableau 2 : Caractéristiques géographiques de station climatique de Guemar.

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

2.2. Précipitation

Selon les données, nous avons établi l'histogramme de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (Fig.4). On constate que le mois de janvier est le plus arrosé avec 16,53 mm, et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0,48 mm. La moyenne annuelle interannuelle est d'ordre de 74,9 mm.

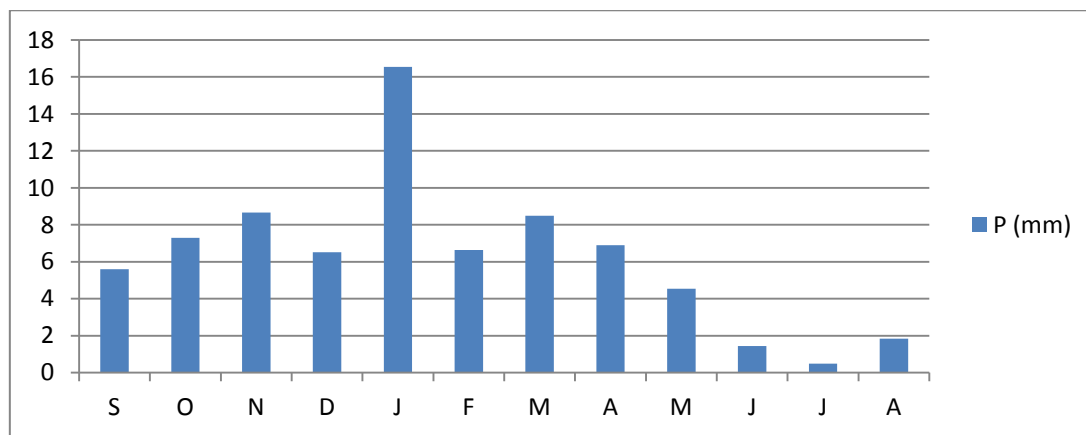


Figure 4: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1978-2010) d'El Oued.

2.3. Température

Les températures moyennes journalières oscillent entre 29 et 42°C à l'ombre pendant l'été. Durant la période allant de 1978 à 2010, la moyenne mensuelle des températures est 21,3°C. D'après l'histogramme des variations moyennes mensuelles des températures (Fig.5), on remarque que la température moyenne mensuelle est maximale au mois de Juillet et Aout avec une valeur d'ordre de 32,35 °C et minimale au mois de Janvier avec une valeur d'ordre de 10,27 °C.

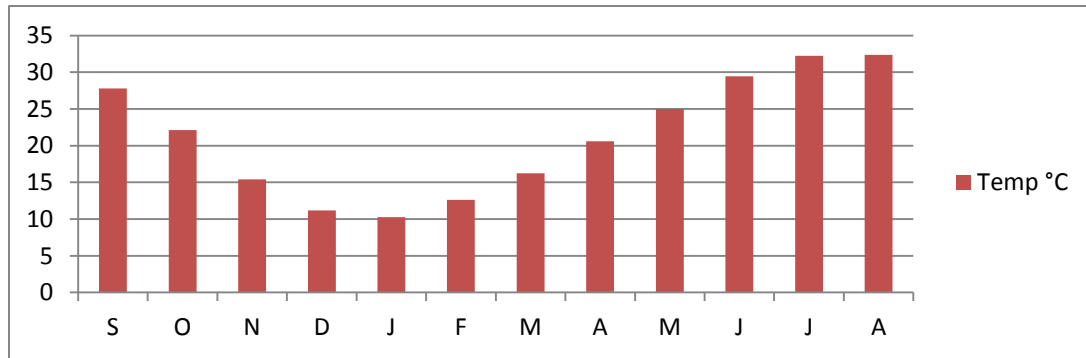


Figure 5: Histogramme des températures moyennes mensuelles (1976-2010) d'Oued.

2.4. Vent

Les vents sont fréquents dans la région, surtout en période printanière, le vent maximum atteint ses valeurs maximales durant la période de Mars à Mai avec (Fig.6) des vitesses de 20 à 30 m/s avec une dominance de direction Nord – Nord Est et Est-Ouest.

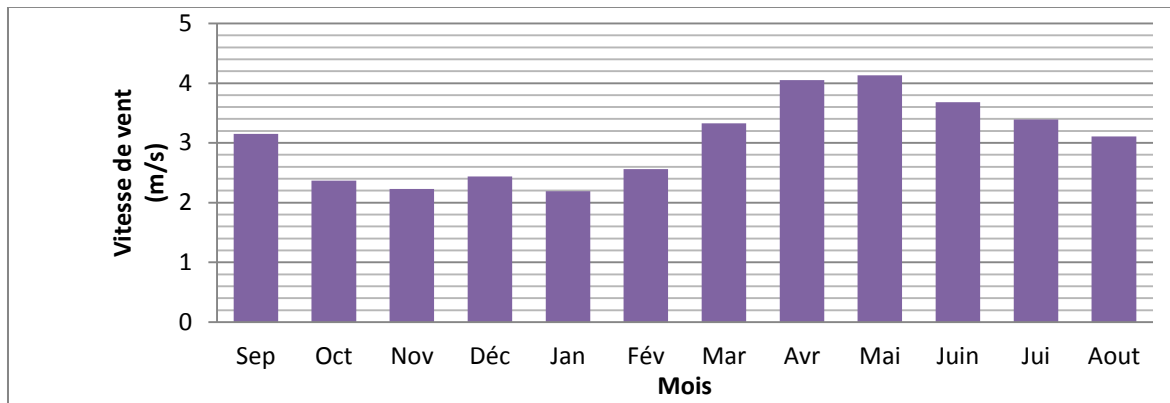


Figure 6: Histogramme de la vitesse moyenne mensuelle de vent (1976-2009).

2.5. L'humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère. L'humidité moyenne est minimum au mois de juillet (Fig.7) avec une valeur de 32,19 % et maximum au mois de décembre avec une valeur de 65,33 %.

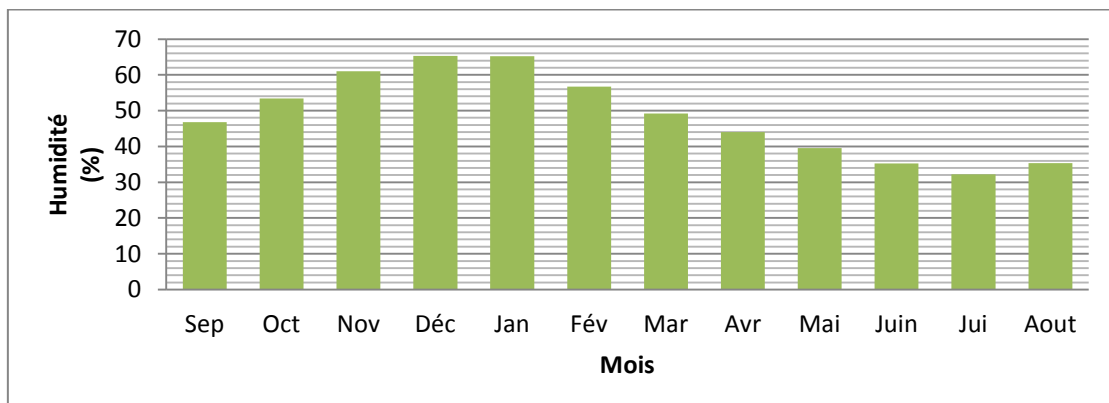


Figure 7: Histogramme d'humidité moyenne mensuelle (1978-2010).

2.6. La durée d'insolation

La région d'El-Oued reçoit une quantité de lumière solaire relativement très forte, le maximum est atteint au mois de Juillet (Fig.8), avec une durée d'insolation de 353.29 heures et le minimum enregistré au mois de Décembre avec une durée de 227.35 heures.

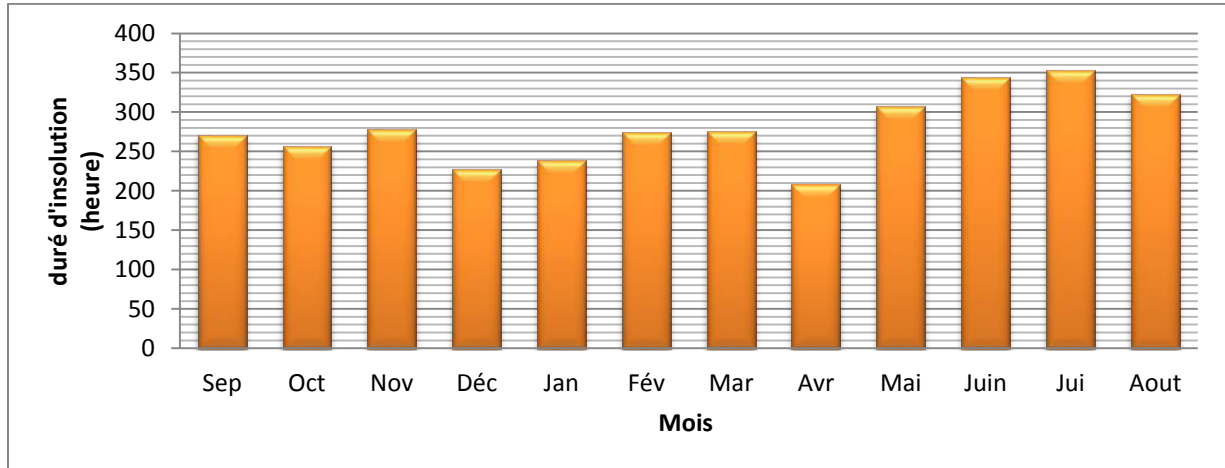


Figure 8: Histogramme de la durée d'insolation moyenne mensuelle (1997-2010).

2.7. La courbe pluvio-thermique

Suivant Gaussen et Bagnouls (in Rkiouak, 1996), un mois est dit sec lorsque $P < 2T$ avec P la précipitation et T la température. La variation de ces deux paramètres au cours d'une année hydrologique moyenne est figurée sur le diagramme ombro-thermique (Fig. 9). On en déduit que la période sèche est étendue pendant toute les douze mois.

Tableau 3: données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.

M	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	5,60	7,29	8,66	6,51	16,53	6,63	8,49	6,90	4,53	1,44	0,48	1,83
2T (°c)	55,60	44,20	30,84	22,36	20,54	25,20	32,44	41,20	49,96	58,90	64,48	64,70

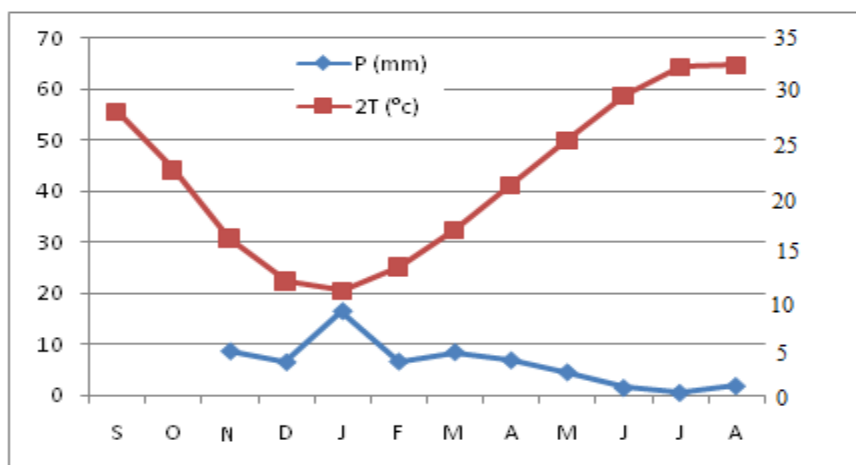


Figure 9: Courbe pluvio-thermique de région d'El-Oued (1978/2010)

2.8. Bilan hydrique

Le bilan hydrique d'El-Oued (Tableau 11), dans la période (1978-2010) suivant la méthode de Thorntwaite est déficitaire ; la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel l'ETP est plus importante que les précipitations (Figure 10), sauf au mois de janvier, le réserve facilement utilisable est nulle pendant les onze mois de l'année (Fig.10). Le déficit agricole est présent pendant onze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 222.5mm.

Tableau 4: Bilan hydrique d'El Oued (1978/ 2010) selon la méthode de THORNTWAITE.

	Tp	ETPC	Pr	RU	ETPR	Def	Exc
S	27,8	131,6	5,6	0,0	5,6	126,0	0,0
O	22,1	72,9	7,29	0,0	7,3	65,6	0,0
N	15,4	28,2	8,66	0,0	8,7	19,5	0,0
D	11,2	12,6	6,51	0,0	6,5	6,1	0,0
J	10,3	11,1	16,53	5,4	11,1	0,0	0,0
F	12,6	17,5	6,63	0,0	12,0	5,4	0,0
M	16,2	37,9	8,49	0,0	8,5	29,4	0,0
A	20,6	70,3	6,9	0,0	6,9	63,4	0,0
M	25	120,7	4,53	0,0	4,5	116,2	0,0
J	29,5	178,0	1,44	0,0	1,4	176,6	0,0
J	32,2	223,0	0,48	0,0	0,5	222,5	0,0
A	32,4	210,3	1,83	0,0	1,8	208,4	0,0
Annuel	21,3		74,9		74,9		0,0

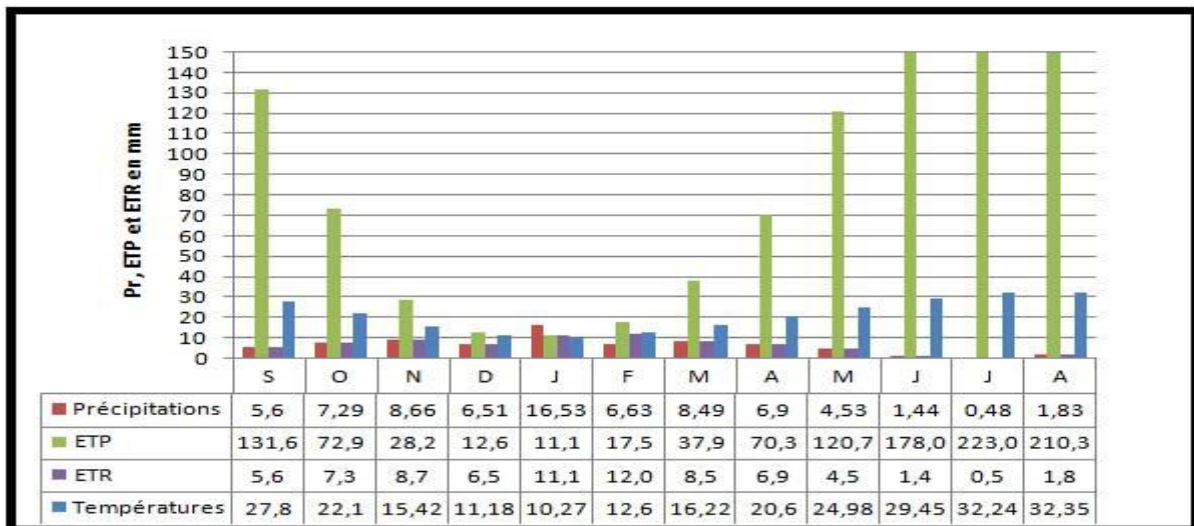


Figure 10 : histogramme des termes de bilan hydrique de la région d'El-Oued.

3. CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

3.1. Introduction

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

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

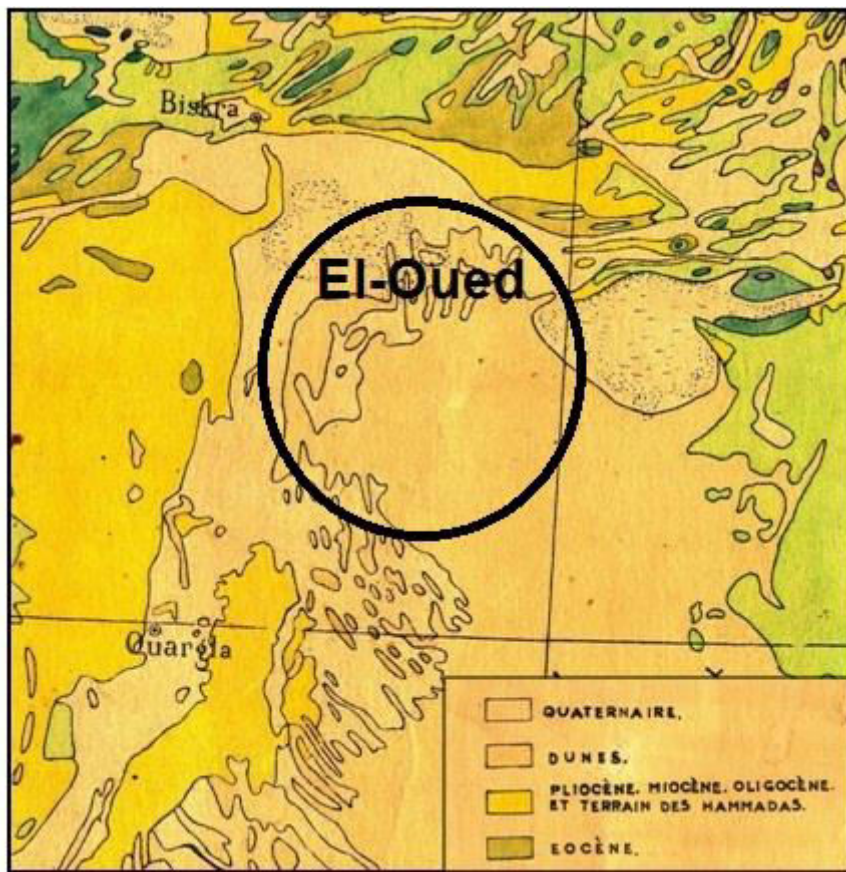


Figure 11: Carte géologique d'El-Oued (G. Busson 1970)

3.2. 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 faite par l'ANRH(1993) sur la région d'El-Oued, nous citons les principales strates répétées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente (fig.12) :

3.2.1. L'ère Secondaire (le crétacé):

Le Barrémien : Cet étage est capté par tous les forages du Continental Intercalaire réalisés dans cette région ; il présente une lithologie d'alternance de grès 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.

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 30 mètres.

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.

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 de grès 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.

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.

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.

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.

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.

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.

3.2.2. Formations de l'ère Tertiaire :

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.

Le Mio-pliocène : Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'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.

3.2.3. 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.

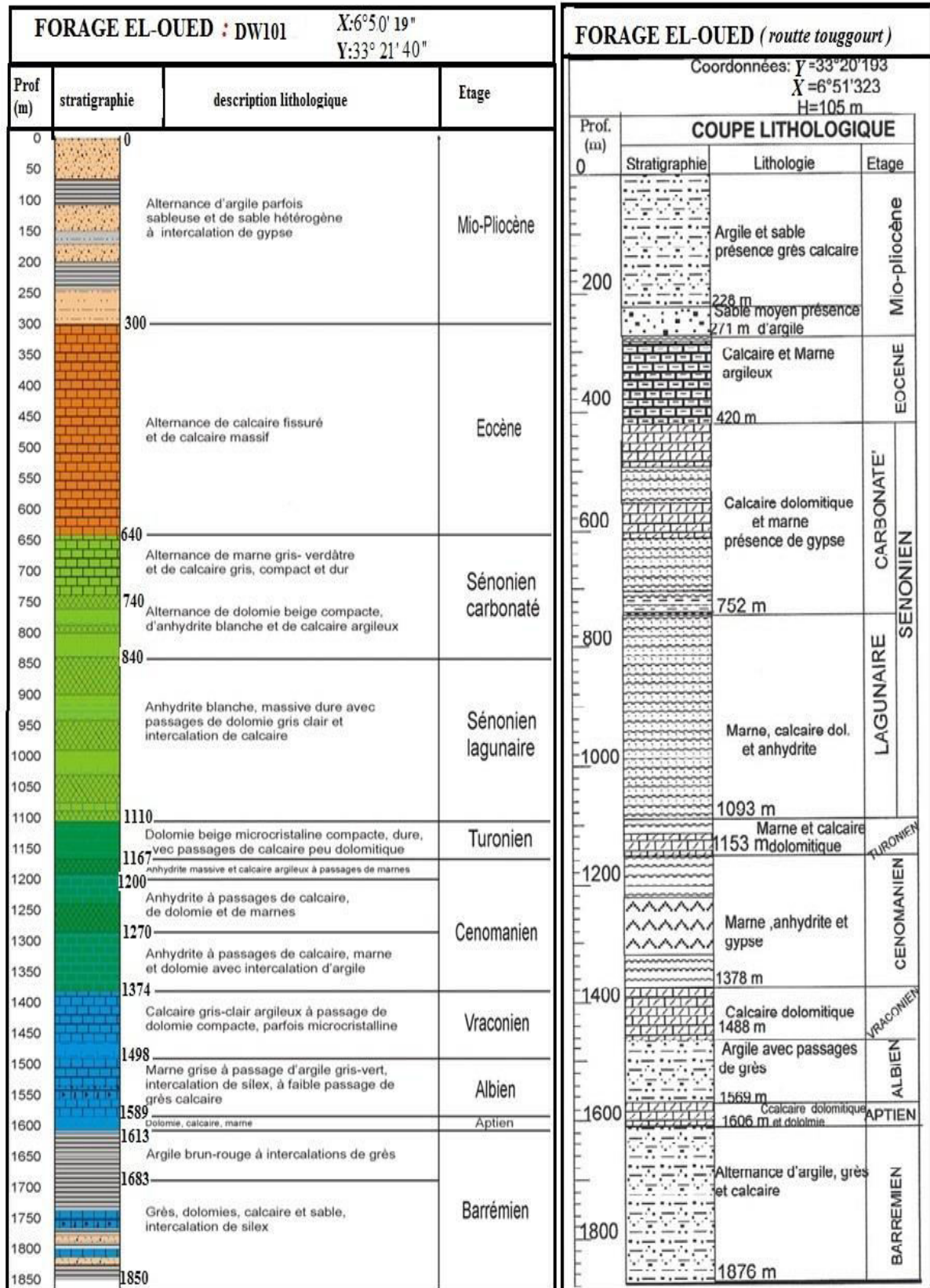


Figure.12 : Colonne stratigraphique des forages de CI existant dans la zone d'étude.

CONCLUSION

La zone d'étude se trouve à la wilaya El-Oued, elle occupe une superficie de 5000Km², elle regroupe le centre urbain le plus importante d'El-Oued qui s'étendue de l'Ogla au sud à Kouinine au nord, avec des zones agricoles sur les bords l'est et l'ouest des centres urbains.

Le climat de la région est saharien où la période sèche est étendue pendant toute les deux mois de l'année, le mois de janvier est le plus arrosé avec 16,53 mm et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0,48mm. La température moyenne mensuelle est maximale au mois de Juillet et Aout avec une valeur d'ordre de 32,35 °C et minimale au mois de Janvier avec une valeur d'ordre de 10,27 °C. Le bilan hydrique d'El-Oued suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire à cause de faible précipitation et très forte évaporation.

La géologie d'el-oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. Leur description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau. Elle est représentée par des terrains allant du crétacé au quaternaire.

1. PRESENTATION DE SYSTEME AQUIFERE DE SAHARA SEPTENTRIONAL.

1.1. Extension de système aquifère de Sahara septentrional.

Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS) est partagé entre trois pays : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Il recouvre une étendue de plus d'un million de km², dont 70 % se trouvent en Algérie, 6 % en Tunisie, et 24 % en Libye. Le SASS est la superposition de deux principales couches aquifères; la formation du Continental Intercalaire, CI, la plus profonde et celle du Complexe Terminal, CT (Fig.13).

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional (BG, 2002) couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin possède une envergure de 1800 km E-W et de 900 km N-S (OSS, 2003). Il est limitée au Nord-ouest par les piémonts du versant Sud de l'Atlas saharien, au Nord par l'accident sud atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golf de Gabès par la faille d'El Hamma - Médenine. A l'Ouest, la limite se situe au niveau de l'Oued Saoura-Reggane, au Sud par un alignement Est-ouest, de plateaux (Hammadas) du Tinrhert et du Tademaït. Enfin, la limite Nord-est se situe un peu après les reliefs du Dahart et celle du Sud-est parcourt la région de Syrte et va jusqu'à la ville de Hun en Libye (Castany, 1982). Ce bassin, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique (Fig.10). La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux. Les pendages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone bordière située au nord-est du bassin (Busson.G, 1970 ; Fabre.J, 1976 ; SASS 2002). Celui-ci comporte, à sa base, des formations paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède. Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques centaines de mètres. Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique.

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

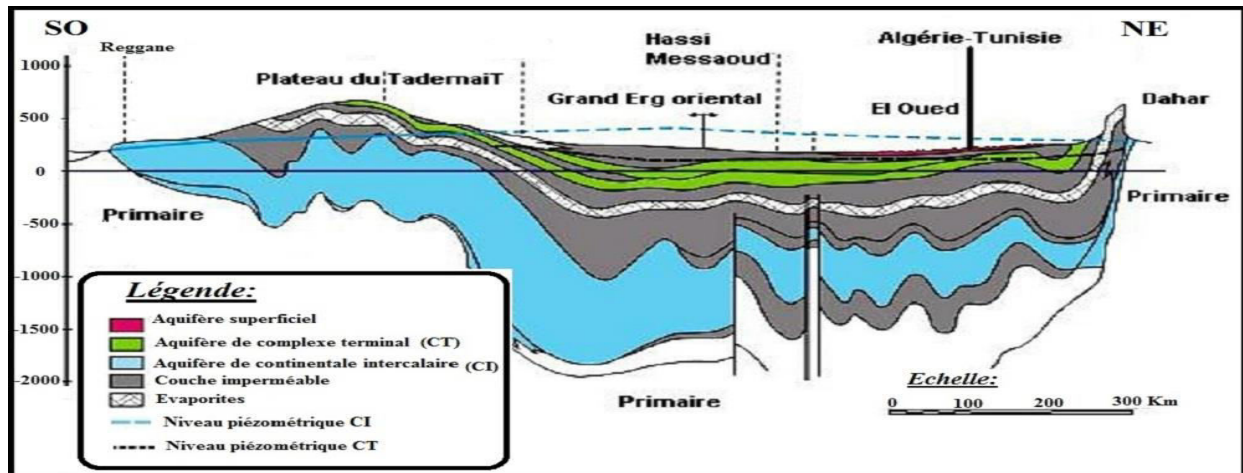


Figure 13: Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

1.2. Définition des nappes aquifères du SASS.

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

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

Les principales sources d'alimentation de cette nappe sont les pluies torrentielles, l'infiltration des eaux domestiques sous les zones urbaines, viennent s'ajouter depuis quelques années, les eaux d'irrigation provenant des nappes profondes (CT et CI).

1.2.2. Nappe du complexe terminal (CT) : Le terme de complexe terminal regroupe sous une même dénomination un ensemble de nappes aquifères qui sont situées dans des formations géologiques différentes allant du Sénonien supérieur (carbonaté) au Mio-Pliocène (détritique). Dans le bassin oriental, la nappe du complexe terminal s'étale sur près de 350

000 Km², et limitée à l'Ouest par la dorsale du M'zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par la ligne passant au Nord de l'axe d'In Salah-Zarzaïtine sous l'Erg oriental. D'après (D.H.W, 2005), nous rappelons l'existence de 3 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes des sables d'âge mio-pliocène et pontien (Fig.14), alors que la dernière correspond à la nappe des calcaires d'âge sénonien à éocène supérieur.

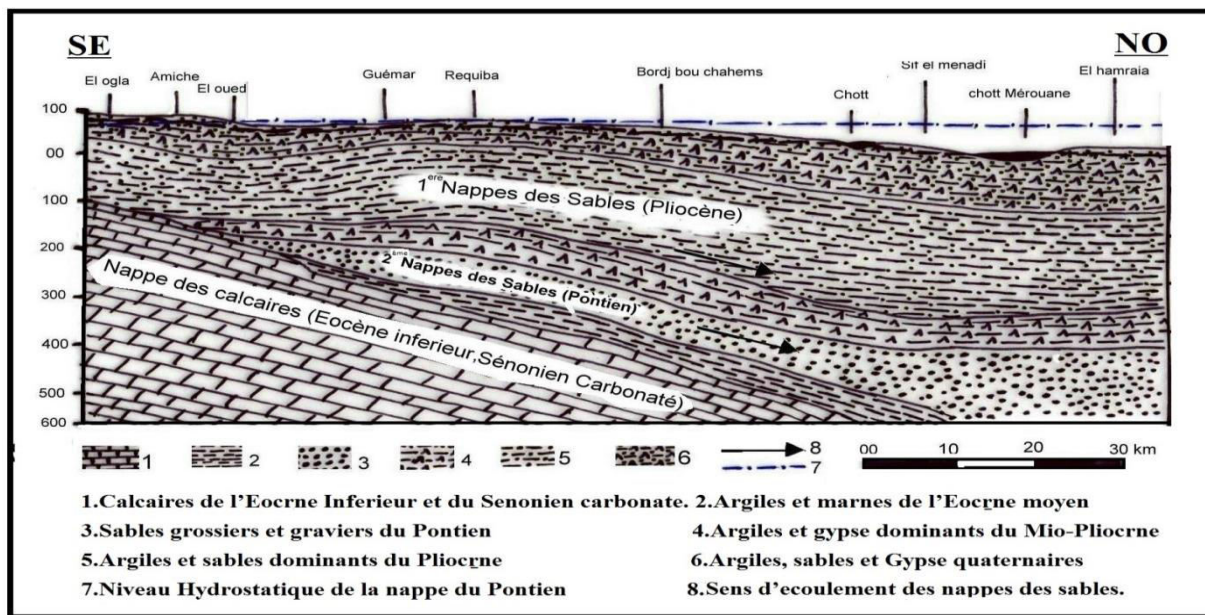


Figure 14: Présentation des formations aquifères du complexe terminal à El Oued.

L'écoulement des eaux de la nappe du CT (Fig.15) s'oriente vers les chotts du Sahara Oriental ; Melghir et Merouane en Algerie, Rharsa et Djerid en Tunisie. Alors que dans le bassin occidental les eaux de la nappe se mélangent avec celles du Continental Intercalaire (OSS 2003 ; Guendouz et al 1992-1995).

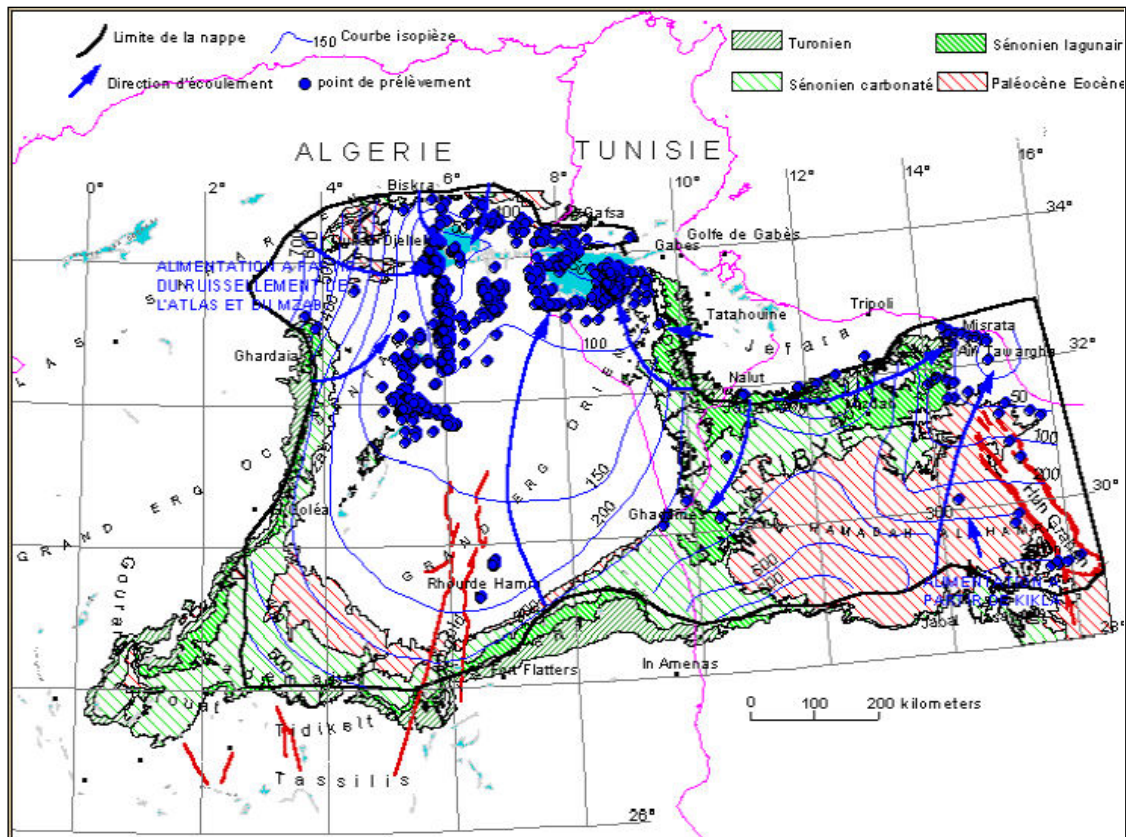


Figure 15: Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS 2003).

1.2.2.1. Nappe des Sables.

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

L'écoulement des eaux dans ces deux dernières nappes se fait du Sud-ouest vers le Nord-est, autrement dit vers la zone des Chotts (Melghir et Merouane).

Dans les zones à fortes exploitations telles que la ville d'EL Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Larbi et Douar EL Maa, la nappe est artésienne : c'est le cas de la nappe de Pontien.

1.2.2.2. Nappe des Calcaires.

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

Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses en passant par des argiles (rouges).

Les forages profonds captant cette nappe, nous montrent que sa profondeur varie entre 350 et 700 mètres, mais il faut mentionner également que cette dernière n'est pratiquement pas exploitée dans la région du Souf.

1.2.3. Nappe du Continental Intercalaire (CI) : Le terme du Continental Intercalaire, correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur, qui ne peut être que la période continentale intercalée entre deux cycles sédimentaires; la régression marine suivie d'une transgression du Crétacé supérieur.

Le Continental Intercalaire (C.I) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. Le réservoir aquifère du continental intercalaire est considérable, il représente le plus important aquifère dans le Sahara septentrional, du à son extension (plus de 600 000 Km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. L'intérêt majeur de ce système aquifère réside dans la grande quantité d'eau stockée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire et peut être maintenant exploitée, il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoires.

Le réservoir est constitué par des sables et des grès d'âge crétacé inférieur. La nappe est confinée entre un toit, constitué par une épaisse couche d'argiles et de marnes d'âge Cénomaniens, alors que le mur est constitué des argiles d'âge néocomien. L'épaisseur totale du réservoir dépasse 250 m dans les plus grandes parties du Sahara Septentrional. Elle atteint 1000 m au Nord-Ouest.

Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-ouest (Fig.16) par contre il plonge en profondeur vers le Nord-est, captive sous le M'Zab, le Tademaït, le Grand Sud tunisien et la Hamada Al Hamra, et artésienne dans l'oued Rhigh-Souf-Djerid-Fedjej (Besbes M et al 2007).

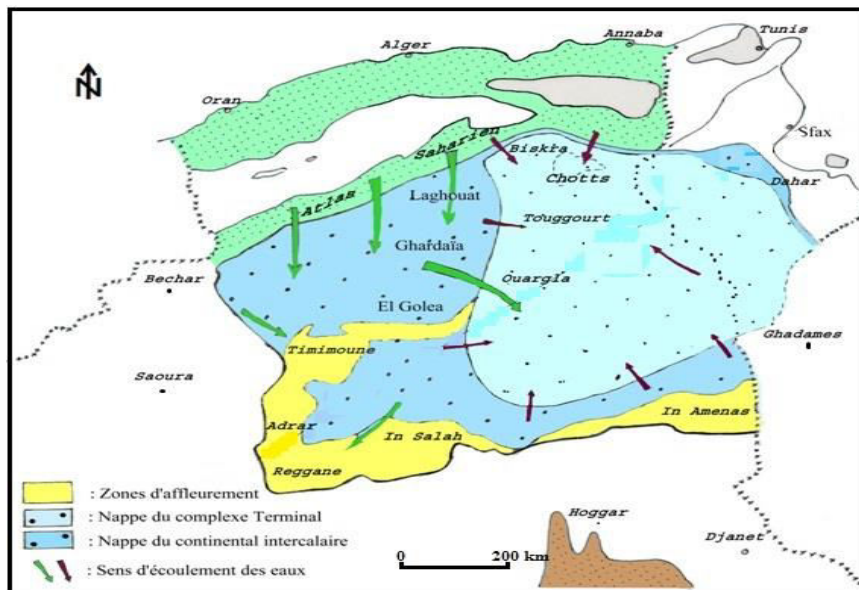


Figure 16 : Carte d'extension des Systèmes Aquifères (CT et CI) en Algérie

L'écoulement de la nappe du CI (Fig.17) se produit du piedmont de l'Atlas vers les zones des Foggaras au sud, du Tinhert et du Djebel Hassaouna vers le golfe de Syrte et vers l'exutoire tunisien du golfe de Gabès. Les exutoires naturels du CI sont formés par les bordures occidentales et méridionales du Tademaït où se trouvent les foggaras du Gourara, du Touat et du Tidikelt et les remontées dans la zone du Chott Fedjaj.

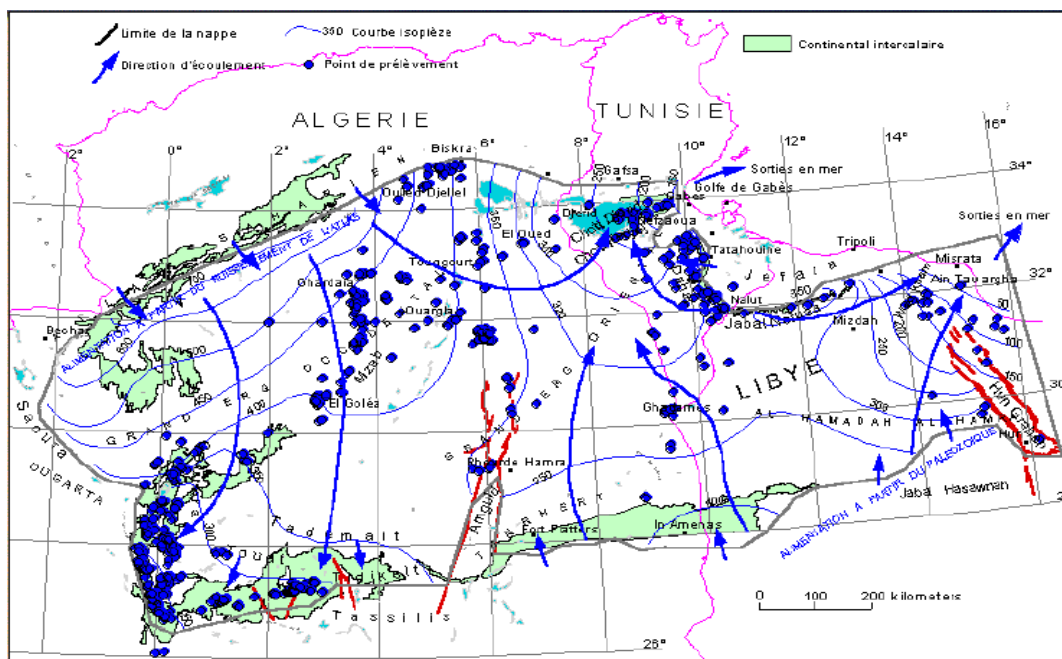


Figure 17: Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003).

2. APPORTS D'ANALYSE DES LOGS DES FORAGES D'EAU.

Les données des logs de forage hydraulique réalisés dans la zone d'étude, offrent une source importante et exacte pour comprendre la structure de sous sol et identifiés les aquifères d'El-Oued. Les corrélations lithostratigraphiques des forages hydrauliques permettent d'établissement de deux coupes hydrogéologiques dans la zone d'étude.

2.1. Coupe 1: La coupe (Fig.18) est orientée O-E, en allant de Ouermes vers Trifaoui, on remarque la même succession des formations géologiques que la coupe 1, l'Eocène se trouve à la base constitué d'une intercalation de calcaire et de marne, le Mio-Pliocène est représenté en général par intercalations de deux niveaux sableux et un niveau argileux. Le premier niveau est sableux avec des passés de gypse, de grés et de calcaire, correspond au première nappe de sable de CT, son épaisseur varie de 30 m à 60 m, suivi d'un niveau argileux compact avec des intercalations de grés à Trifaoui et argileux marneux faiblement gypseux à El-Oued et Kouinine, à la base de Mio-Pliocène on rencontre une formation sableuse avec des intercalations de grés et de graviers, corresponde au deuxième nappe de sable de CT. Le Quaternaire est représenté à la surface par une couche de sables intercalés avec des lentilles d'argiles sableuses, de grés et de gypses, son épaisseur est d'environ 60 m, représente la nappe superficielle. À la base du Quaternaire, il ya un niveau argileux faiblement sableux d'une épaisseur qui varie de 25 m vers Ouermes à plus de 80 m vers El-Oued et Trifaoui.

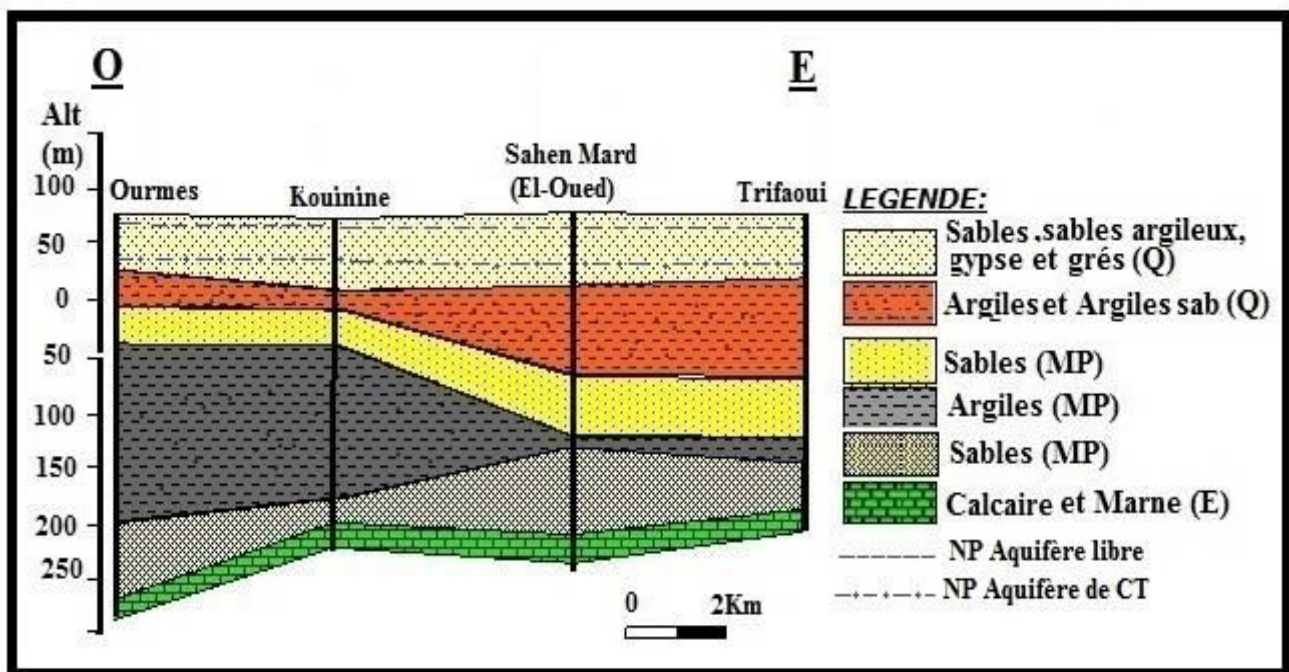


Figure 18: Coupe hydrogéologique N°1.

2.2. Coupe 4 : La coupe (Fig.19) a été réalisée sur la base de logs de forages captant la nappe superficielle, elle est orientée SE-NO, en allant de El Ogla vers Kouinine, On constate que le Quaternaire est représenté par des sables fins éoliens avec des passées de gypse de la surface jusqu'au 25m de profondeur, suivis de grés à ciments gypseux friables. Par endroits, on remarque l'absence des grés qui ont été remplacés par des argiles sableuses, la couche la plus basse est constituée par des argiles sableuses avec un pourcentage de sable décroissant vers le bas. On signale aussi l'existence des bancs de grés calcaireux et de marne d'épaisseur décimétriques. A la base on trouve une formation argileuse plastique et compacte contenant une légère proportion de sable, sa profondeur moyenne est de l'ordre de 60 m.

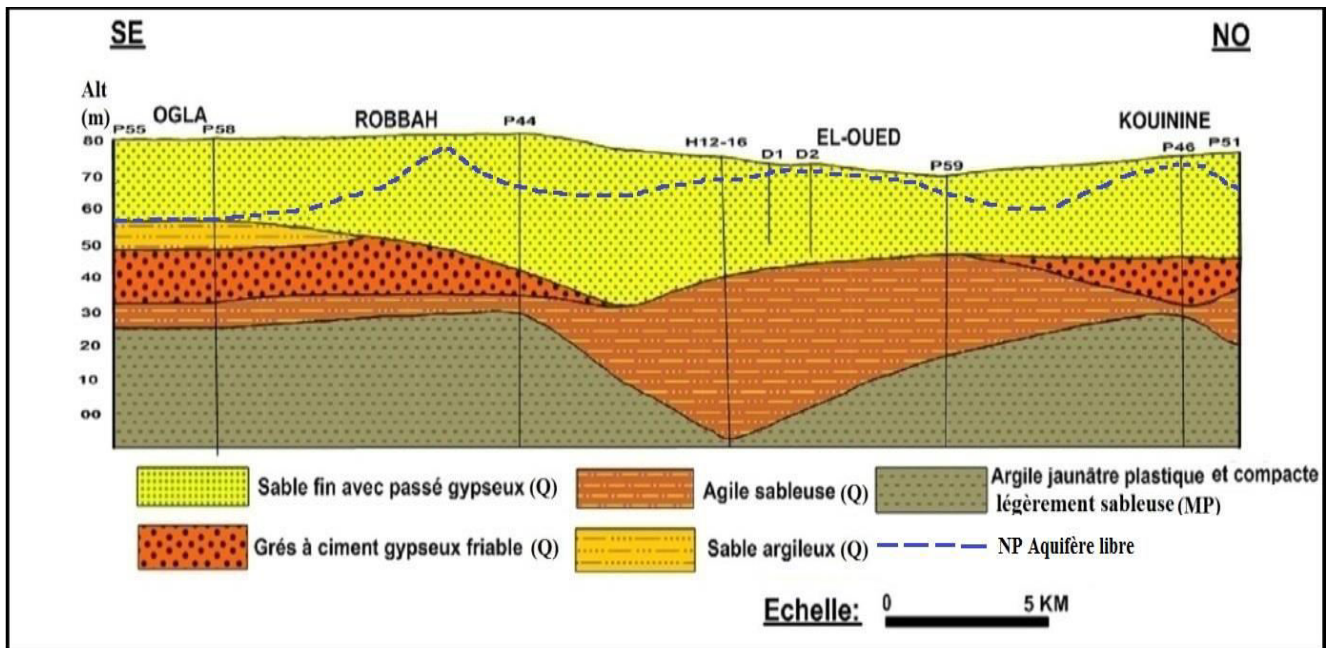


Figure 19 : Coupe hydrogéologique N°4.

2.3. Lithostratigraphie des nappes aquifères d'El-Oued : A l'instar des coupes hydrogéologiques réalisées dans la zone d'étude, nous avons établi une colonne lithostratigraphique (Fig.20) qui montre la répartition des aquifères et les caractéristiques hydrogéologiques des formations représentées dans la zone d'étude.

Nature hydrogéologique	Nom de la Nappe	Nature lithologique	Sous Syst et Etage		Syst	Ere
Niveau perméable	nappe libre	Sables				Quaternaire
Niveau Imperméable		Argiles				
Niveau perméable	1 ^{ère} nappe de sable	Sables	Pliocène		Néogène	Tertiaire
Semi-perméable		Argiles gypseuses				
Niveau perméable	2 ^{ème} nappe de sable	Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène		
Niveau perméable	nappe des calcaire	Calcaire fissuré	Inférieur	Éocène	paléogène	
Semi-perméable			Évaporites, argiles	Sénonien lagunaire	Sénonien	Crétacé
Niveau imperméable		Marne, Dolomie et Calcaire	Turonien			
Niveau imperméable		Argiles, marne	Cénomanién			
Niveau perméable		Calcaire dolomitique	Vraconien			
Niveau perméable	Le continental intercalaire (CI)	Sables et Grés	Albien			
Semi-perméable		calcaire, marne	Aptien			
Niveau perméable		calcaire, sable	Barrémien			

Figure 20: Colonne lithostratigraphique des aquifères d'El Oued (Bouselsal.2016).

3. PIEZOMETRIE DE L'AQUIFERE LIBRE D'EL OUED.

3.1. Le réseau de surveillance d'Oued Souf : Le réseau de surveillance de l'aquifère libre d'El Oued est mis en place en 1993 par l'ANRH, elle est composé originellement de 152 points : 112 puits (H) et 40 piézomètres répartis dans la région d'El-Oued. En septembre 2001, 104 points demeurent opérationnels dont 83 des 112 puits et 21 des 40 piézomètres. Ce réseau donne une vue générale des caractéristiques de la nappe phréatique, mais ne permet pas de mettre en évidence le phénomène de la remontée de la nappe phréatique par le manque de points de mesures dans les zones affectées, en particulier au niveau des agglomérations. Pour y remédier, 107 nouveaux points (G) ont été implantés sur recommandation du bureau d'étude suisse (BG 2001 et BG 2002) en septembre 2001; 69 dans le couloir Ogla-Kouinine, 9 dans les environs de Z'goum, 7 dans la zone du rejet et 22 répartis dans les autres agglomérations principales, dans des lieux qui avaient subi une montée de la nappe.

En 2006, COCIDER propose un réseau de drainage vertical dans la ville d'El-Oued (Fig.21), pour évacuer le surplus d'eau et maintenir le niveau de la nappe phréatique à une cote admissible par pompage permanent à travers 58 forages (utilisés aussi comme piézomètres), répartis dans la ville, jusqu'à le 15 juin 2011 après quatre mois de fonctionnement, le réseau de drainage vertical a évacué 1360417 m³ vers chott El-Haloufa, avec une moyenne de 131 l/s. le drainage vertical au niveau de la ville d'El-Oued, rend l'établissement des cartes piézométriques impossibles à cause de l'incapacité de mesurer le niveau statique dans les piézomètres.

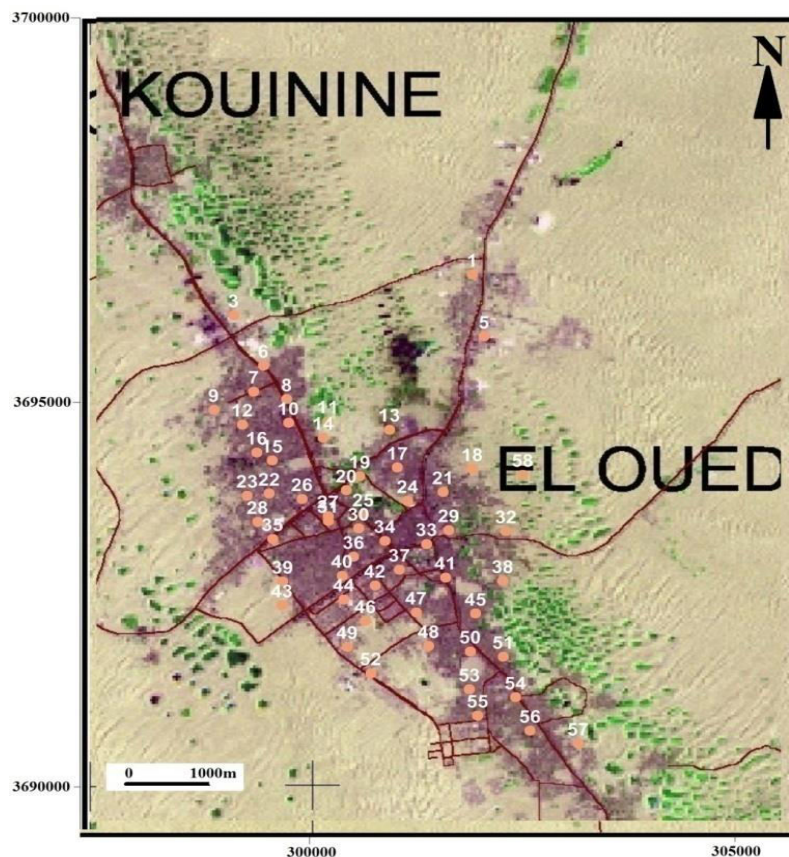


Figure 21: Inventaire des forages de drainage vertical de la ville d'El-Oued (ONA 2006).

3.2. Historique de la remontée des eaux dans la zone d'étude

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle. Avant 1956, toute l'eau utilisée pour l'alimentation humaine, animale et l'agriculture provenait de la nappe phréatique. L'augmentation de la population et l'extension des cultures ont conduit à creuser en 1956 le premier forage au Complexe Terminal pour l'AEP d'El Oued, entre 1957 et 1969, environ un nouveau forage par an a été exécuté dans le Complexe Terminal, de 1970 à 1980, environ 2 forages par année ont été réalisés dans le CT, dès 1980, on observe les premiers ghouts

ennoyés à El Oued et une montée progressive et persistante de la nappe phréatique aux portes d'El Oued, ce qui en 1985 alarme les Autorités. Entre 1980 et 1987 une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le CT et trois forages dans le Continental Intercalaire, ces derniers sont fortement artésiens, et à débits de 200 l/s, soit de 5 à 10 fois plus importantes que CT.

En 1993, la nappe avait ennoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine –Robbah. La zone touchée par la remontée des eaux s'étend sur une superficie de 3 000 km². Sur laquelle habite 380 000 habitants, qui sont répartis sur 18 communes dont ; Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Ogla, Nakhla, Ourmes et Trifaoui.

A partir de 1993 jusqu'au 2004, une série d'investigations à été entreprise pour connaître les caractéristiques géométriques et géologiques de l'aquifère, et recenser les forages existants. A la fin d'investigation une série de mesures telles que ; l'arrêt de nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI, et remplacés par des puits dans la nappe phréatique, la réduction des allocations d'AEP à la population, la construction pour l'agriculture de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique et la mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles. La commune d'El Oued a lancé également un projet de réalisation du réseau de drainage horizontal, qui est devenu opérationnel en 2001, il est destiné essentiellement pour les zones touchées par l'inondation (cité Choot, El-coutar, Nazla et Sidi Mestour). Il présente 4050 m de longueur, les collecteurs sont des conduites d'amiantes ciments perforées des trous. La collecte est gravitaire et aboutit à une station de pompage située dans la même enceinte que la station de relèvement ST10 pour les eaux usées, à partir de laquelle les eaux de drainage sont évacuées vers l'extérieur de la ville via une canalisation de 400 mm parallèle à celle des eaux usées (Zine, 2009). Ses mesures ont eu un impact positif avec une stabilisation ou une baisse du niveau piézométrique dans certaines zones affectées, alors que dans la ville d'El Oued, la nappe continue à monter de 40 à 60 cm par année dans les quartiers les plus touchés de la ville.

Devant ce problème la solution adoptée est la réalisation d'un drainage vertical sur l'ensemble de l'Aire de l'étude. Ce procédé nécessite rien que pour la région d'El Oued, la mise en place d'un système de drainage et la réalisation d'une batterie de 51 forages équipés de pompes pour un débit d'exploitation global de 348 l/s et ainsi la mise en place d'un réseau de drainage de 34 km indépendant du réseau d'assainissement de la ville. L'ensemble des eaux drainées aboutit à la station de pompage qui à son tour refoulera plus loin vers le Chott Halloufa situé à 47 km au nord de la ville d'El Oued. Le réseau de drainage est opérationnel depuis 2011, en

conséquence on note la stabilité du niveau d'eau à 1m de profondeur sous les zones les plus basses (ghouts).

Depuis la mise en service du projet d'El-Oued (4 ans), le volume d'eau excédentaire extrait de la nappe phréatique (dans le centre ville d'El-Oued seulement) par 51 forages du drainage vertical est de l'ordre de 15 millions de mètres cubes. A cela, il faut ajouter le volume d'eau épurée par les quatre stations d'épuration, qui est de l'ordre de 28 millions de mètres cubes. Le système d'évacuation des eaux usées a transféré ces eaux vers le rejet final de chott Halloufa. En dépit de ces mesures le problème de la remontée des eaux est encor non maitrisé jusqu'à nos jours (Fig. 22), car un arrêt de réseau de drainage d'un mois peut provoquer une augmentation de niveau de la nappe phréatique de plus d'un mètre.

Les causes de la remontée des eaux de la nappe phréatique sont multiples, on note, la véritable révolution agricole des dernières années qui a engendré le pompage intensif des nappes profondes (CT et CI), la croissance démographique des agglomérations d'El Oued a augmenté la demande sur l'eau potable. Ce phénomène est aggravé par l'absence quasi-totale d'infrastructures d'assainissement (le taux de couverture en réseaux d'assainissement est 10%) et de drainage des eaux d'irrigation dans la wilaya d'El-Oued et l'absence d'exutoire due à la faiblesse de la pente de relief.

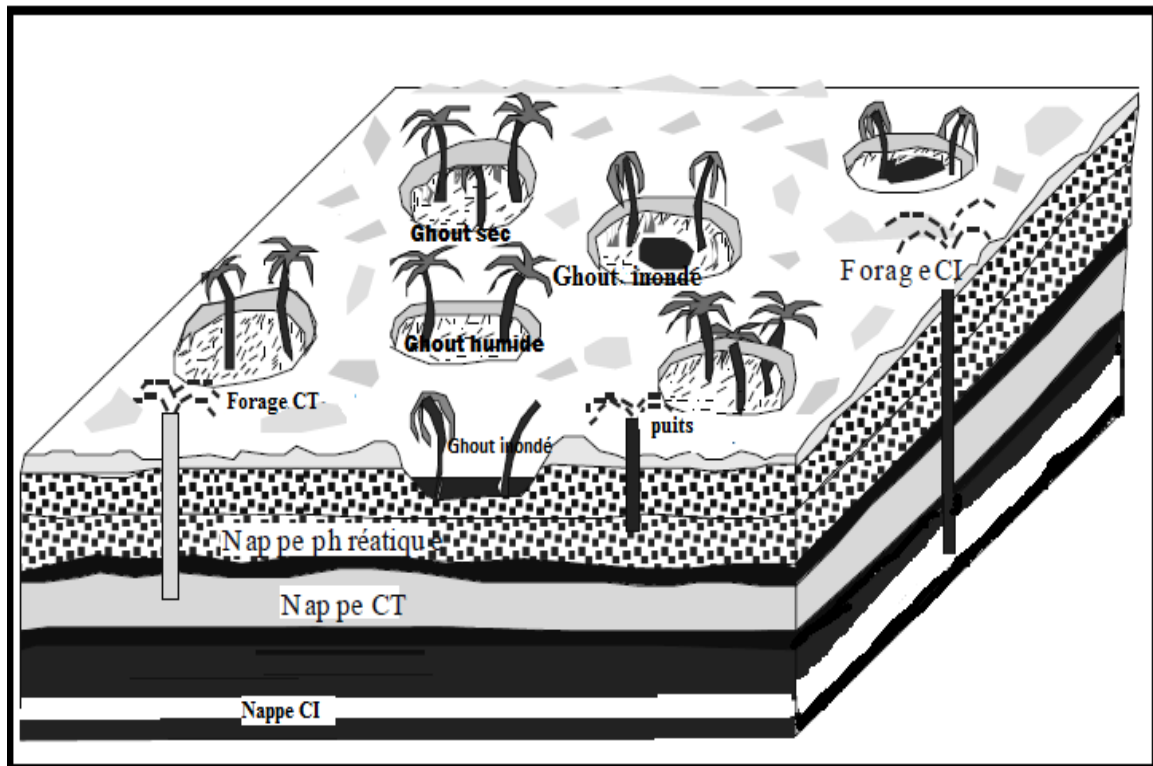


Figure 22: Etat des Ghouts d'El Oued en 2014 (Bouselsal 2016).

3.3. Campagnes de mesure réalisées par BG.

3.3.1. Piézométrie de la nappe libre en mars-avril 2001 : La partie haute de la nappe (Fig.23) est située au Sud avec une cote de près de 90m au piézomètre P39, implanté sur la route de Touggourt au Sud-Ouest de Mih Ouensa. La partie basse est située au Nord-Ouest, avec une cote d'une trentaine de mètres au puits H1 à Foulia et -6m au piézomètre P36 à la limite Nord-Ouest sur la route de Biskra. La pente de la nappe est faible au Sud d'El-Oued (un peu moins de 0.9%) par contre elle est plus prononcée au Nord avec 1.8% au puits H1. Elle augmente encore au-delà de H1 pour atteindre un maximum de 2.9% aux piézomètres P38 et P36. La carte des niveaux piézométriques présente :

- des dômes piézométriques correspondant à la palmeraie Mehri située près du P17, ainsi que près du rejet (H90) au Nord de l'hôpital d'El-Oued, aux alentours de Z'goum et du couloir de Kouinine-Robbah. Ces zones hautes correspondent à un surplus d'eau venant de l'infiltration des eaux d'irrigation et les eaux des rejets domestiques.
- des dépressions piézométriques au niveau des cultures de surface du triangle Reguiba-Hassi Khalifa-Taghzout qui correspondent à un déficit en eau à cause des pompages intenses dans la nappe libre pour l'irrigation des cultures.

3.3.2. Piézométrie de la nappe phréatique en avril 2002 : Des mesures sur 117 points du réseau de surveillance ont servi à la réalisation de la carte dont les courbes ont été déterminées par krigeage linéaire. La carte piézométrique (Fig.24), met en évidence des anomalies localisées, à faibles rayons de courbure dont on sait par ailleurs, d'après les cartes de variations des niveaux piézométriques notamment, qu'elles peuvent correspondre à des interventions humaines récentes telles que l'AEP et l'irrigation à partir des nappes profondes pour les anomalies hautes et l'irrigation à partir de pompages dans la nappe phréatique pour les anomalies basses.

- des dômes piézométriques sont constatés (BG, 2003):
 - Au niveau de 12 chefs-lieux de communes. les anomalies sont de : El-Oued, Bayadha, Oued Alenda Sud et Oued Alenda Nord, Nakhla, Robbah, Kouinine, Guemmar, Trifaoui, Magrane, Reguiba, Debila, Hassi Abdelkrim et Zgoum.
 - Les chefs-lieux de commune d'Ourmes, Sidi Aoun, Hassi Khalifa, Taghzout, Mihounsa et El-Ogla ne présentent pas des anomalies positives, probablement à cause d'une forte activité agricole dans les agglomérations et/ou à une restriction dans la dotation en eau à partir des forages profonds.
 - Au niveau des zones agricoles irriguées par des forages au complexe terminal, les anomalies hautes sont de 5 m au domaine Daouia près d'El-Oued et 3 mètres à Foulia.

- Au niveau de la zone industrielle de Kouinine, l'anomalie est de l'ordre de 11 m
- Au niveau du rejet de la ville d'El-Oued, l'anomalie est de 7 m environ.
- L'anomalie haute entre Debila, Hassi Abdelkrim et Trifaoui où la plantation d'Akfadou est irriguée par des forages du complexe terminal
- L'anomalie au niveau d'Arfsi Nord est due à une irrigation de certaines plantations par le forage AEP
- des dépressions piézométriques ont été constatées :
 - Au niveau des zones agricoles elles sont de l'ordre de 3 m aux environs d'Ogla-Aguila et 3 m entre Guemmar, Djedida Nord, Ghour Debaa et Dmitha
 - Au niveau du village d'Oued Turk, elles sont de l'ordre de 2 m. A noter que ce village est approvisionné par des forages implantés dans la nappe phréatique pour l'AEP.

Toutes les anomalies sont le résultat d'un mauvais transfert hydraulique de la nappe phréatique, à cause de sa faible pente.

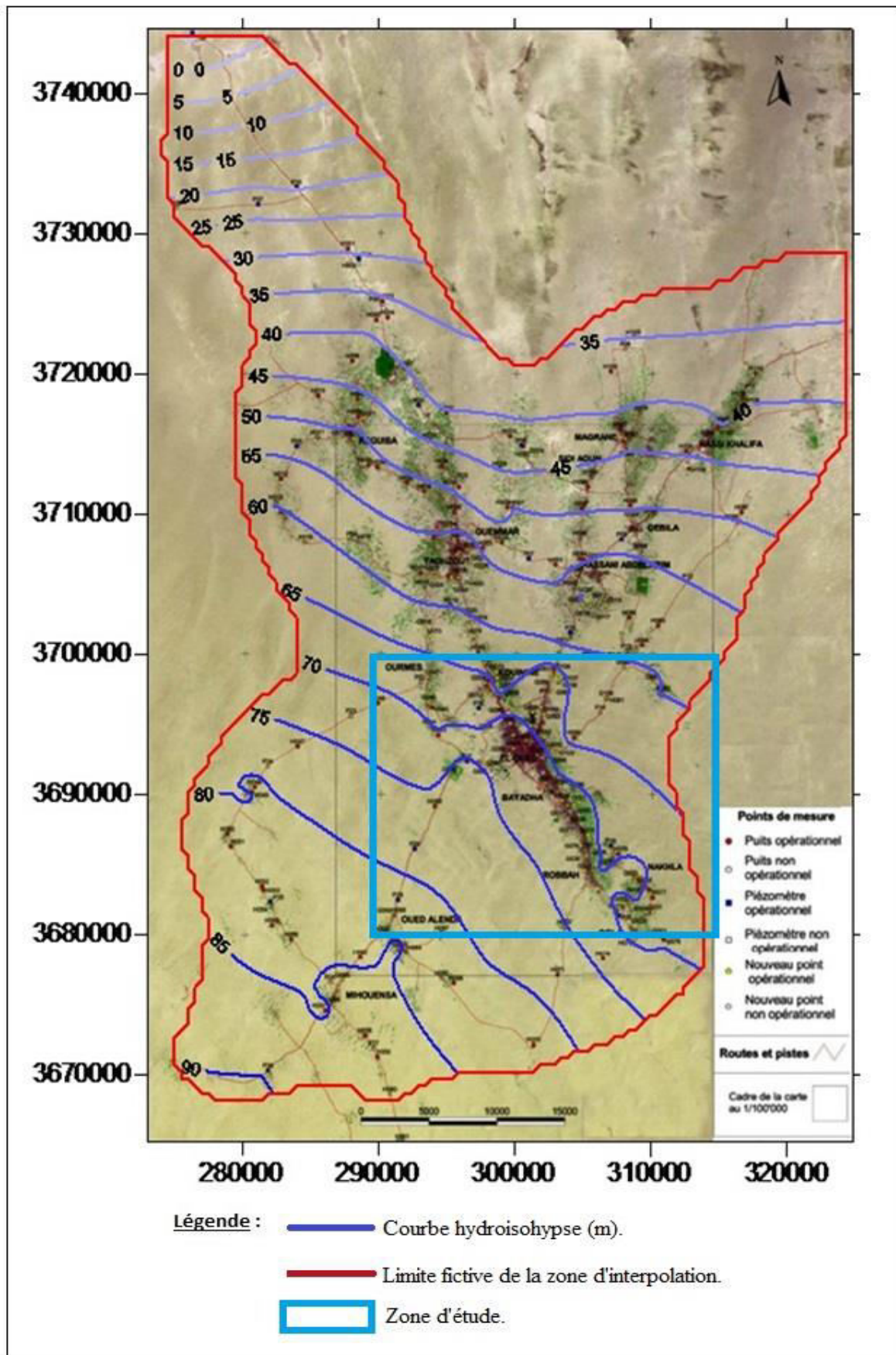


Figure 23: Carte piézométrique de la nappe phréatique en mars-avril 2001

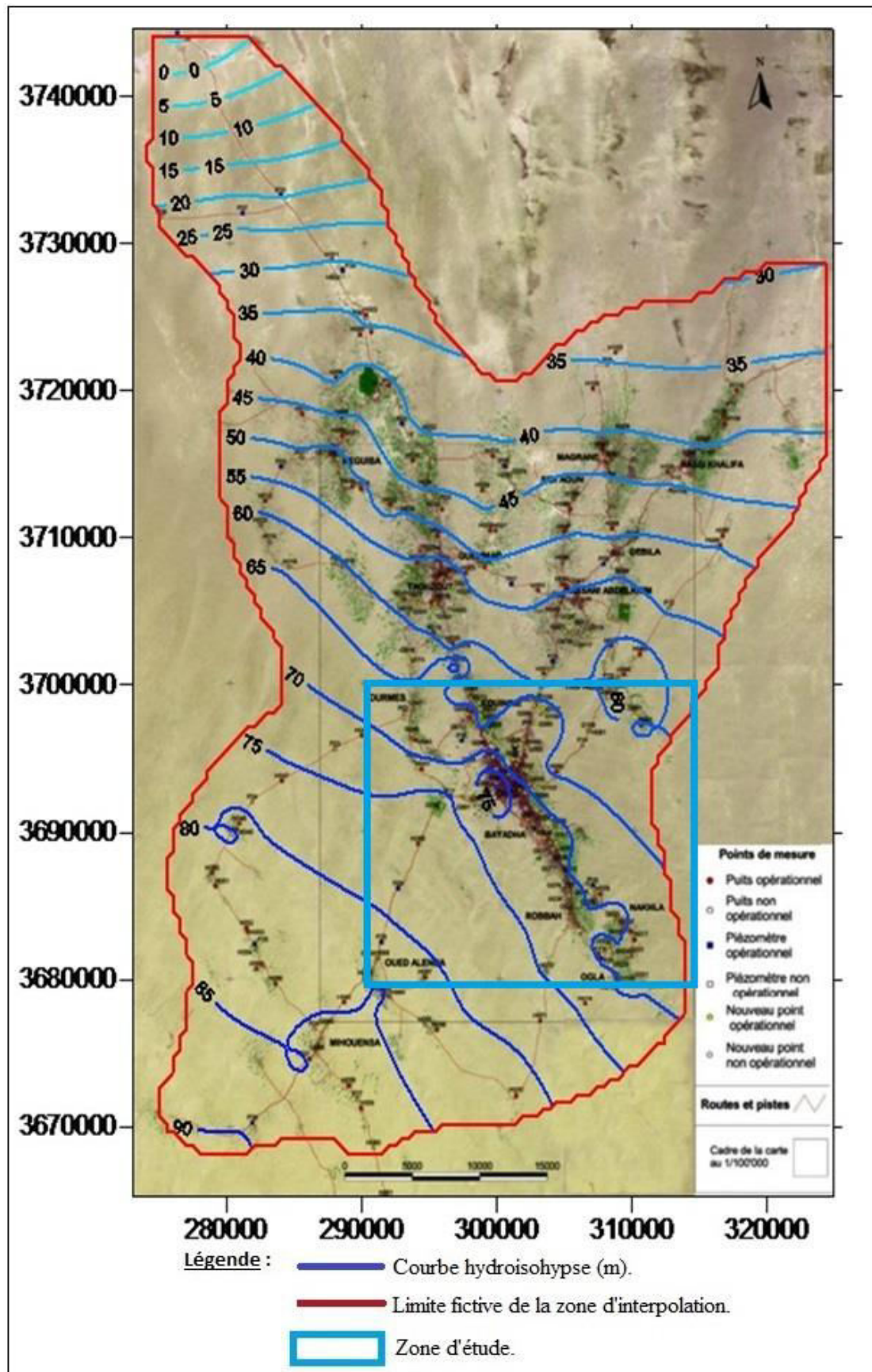


Figure 24: Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002.

3.4. Piézométrie de juin 2010 : La carte piézométrique de juin 2010 (Fig25.), montre que la partie haute de la nappe, représentée en couleur grise foncée, est située au sud-ouest avec une cote de près de 82 m et une zone basse au Nord-est, représentée en bleu, avec une cote de 60m, l'écoulement de la nappe se fait en général de SO vers NE. Le gradient hydraulique oscille entre 0.66% et 0.08, comme titre d'exemple nous donnons les valeurs de gradient hydraulique dans quelques points sur la carte : (A =0.62%), (B = 0.09%) (C= 0.08%), (D = 0.66%) et (E=0.11%). Les centres urbains et les zones agricoles irriguée à partir des nappes profondes, apparaissent sur la carte piézométrique comme des zones de divergence ; c'est le cas des plantations de Mahri au NO, Teksebt au centre, Nakhla et Bayadha au sud. par contre les zones irriguées à partir des puits dans la nappe libre, apparaissent sur la carte comme des zones de convergences c'est le cas de ; Nakhla Gharbia et Hai Nasr au sud, Sidi Abdelah au nord est, et au Ouest de Bayadha, on ajoute à cette dernière les zones de dépressions de Chott, hôtel Louss et la zone de rejet d'El-Oued.

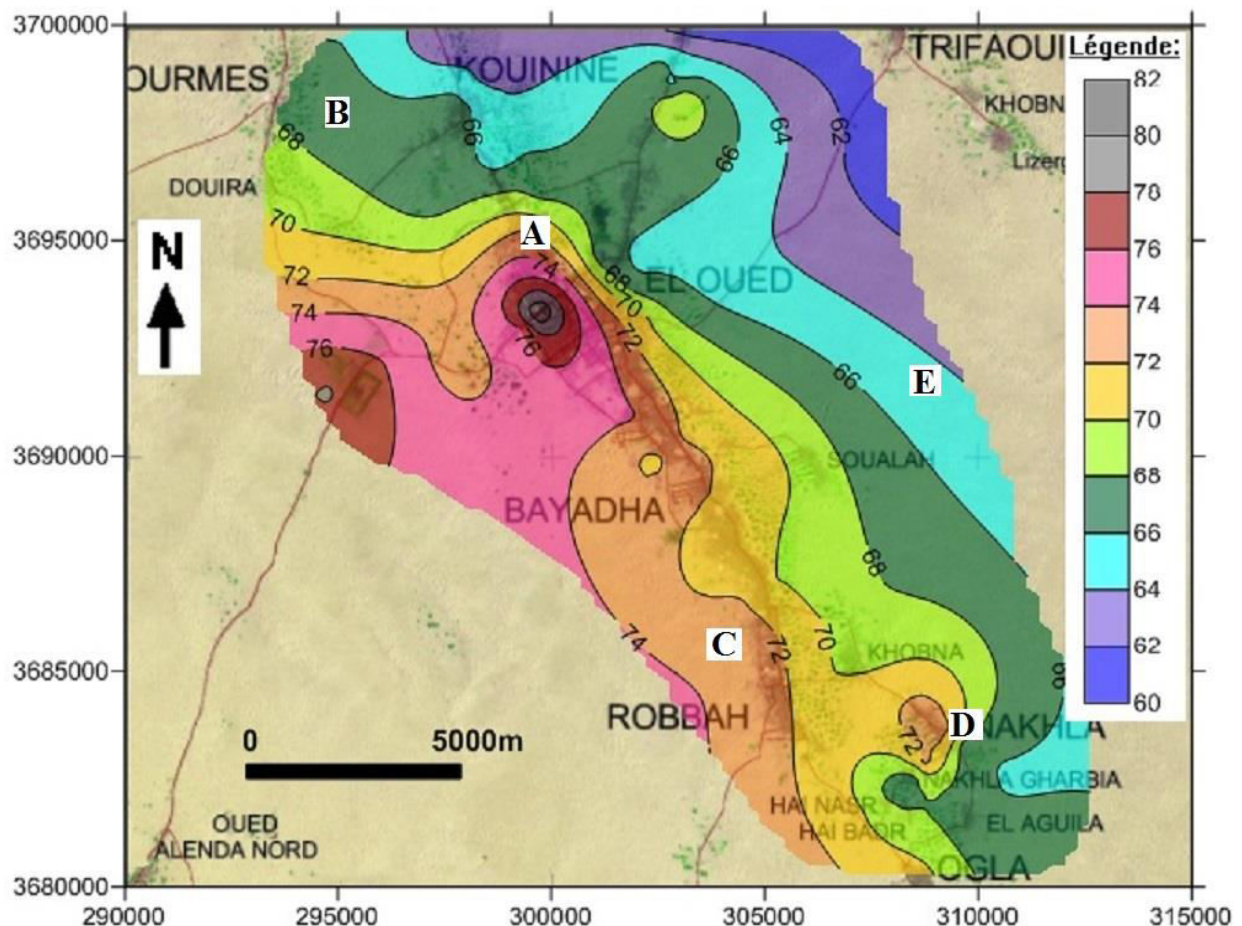


Figure 25: Carte piézométrique de la zone d'étude de juin 2010.

3.5. Piézométrie d'avril 2012 : La campagne de mesure piézométrique effectuée en avril 2012, par l'ANRH dans la zone de souf compte 108 points de mesure, dont 28 points seulement se trouvent dans la zone d'étude. La carte piézométrique (Fig.26) réalisée semble manquée de détail en comparaison avec celle de 2010, mais elles ont la même allure, le sens d'écoulement de la nappe est toujours orienté Sud-ouest vers Nord est. Cependant on remarque une diminution de niveau piézométrique d'ordre de 4 m, dans la partie nord-est, due à l'effet de pompage dans le réseau de drainage vertical de la ville d'El Oued où on constate que l'apport d'eau diminue vers le sens d'écoulement (Trifaoui). Dans la ville d'El Oued après la mise en marche du réseau de drainage vertical (51 forages équipés de pompes pour un débit d'exploitation global de 348 l/s), on peut plus parler d'une carte piézométrique qui reflète l'état naturel de la nappe car le niveau est toujours dynamique, il est maintenu à 1m de profondeur sous les zones les plus basses (ghouts). Il nous reste que de mesurer les volumes d'eau pompés pour garder le niveau piézométrique stable, mais ces quantités d'eau sont prélevées des nappes profondes ce qui signifie des pertes non renouvelables traduites par le

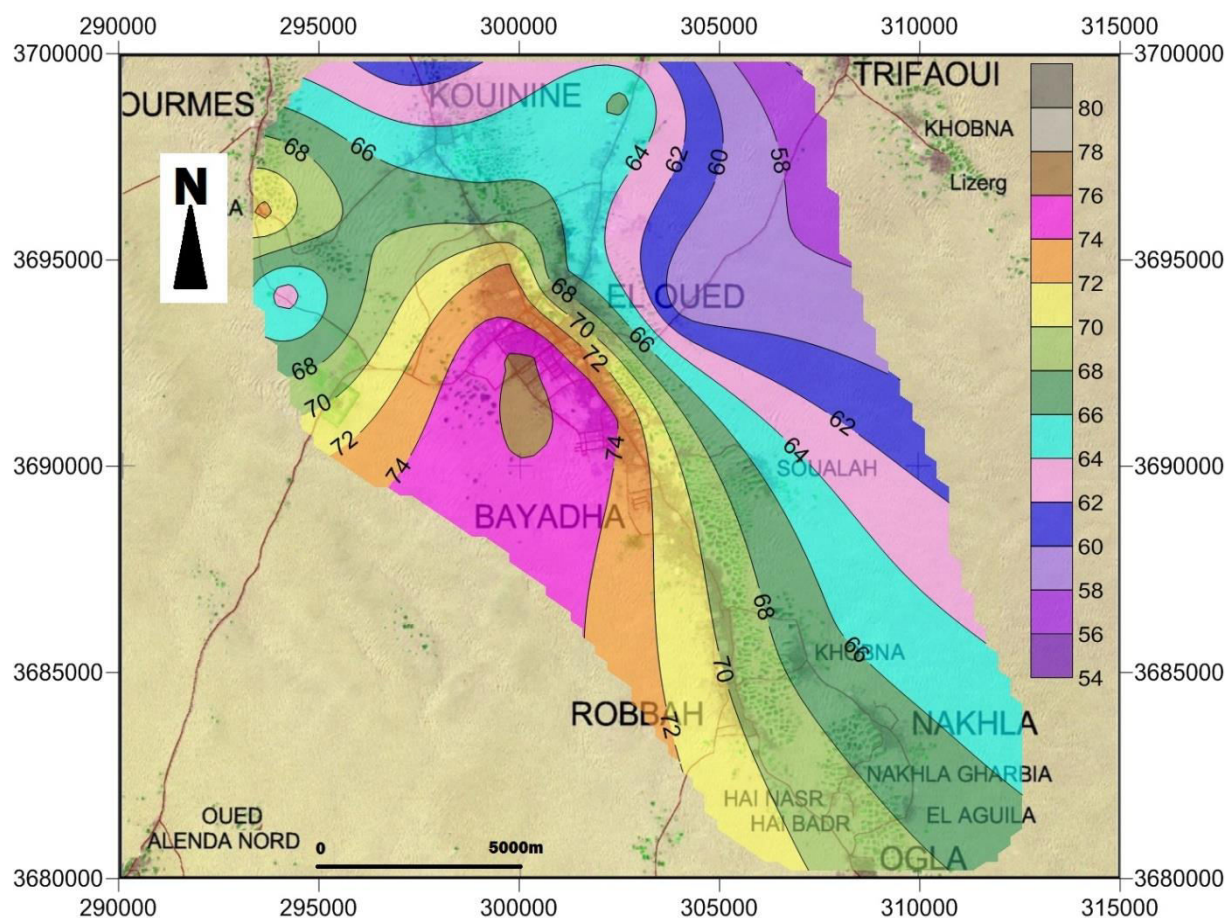


Figure 26: Carte izométrique de la zone d'étude d'avril 2012.

CONCLUSION.

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

L'interprétation des coupes hydrogéologiques réalisées sur la base de logs de forages d'eau, montrent que l'aquifère libre d'El Oued est constitué de sables fins, de grès à ciment gypseux friable, des sables moyens et grossiers, et des argiles sableuses. Le substratum est argileux, sa profondeur oscille entre 40m et 70m. Les limites latérales de l'aquifère libre, n'ont pas été atteintes étant donné que cette dernière s'étend au-delà de la zone d'étude.

L'examen des cartes piézométriques (de 2001, 2002, 2010 et 2012), montrent que la partie haute de la nappe est située au sud-ouest et la partie basse est située au nord-est, l'écoulement de la nappe se fait en général de sud-ouest vers nord-est. Le gradient hydraulique est faible (< 0.7 %). Les centres urbains et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes de CT, présentent sur la carte des dômes piézométriques, à cause d'une alimentation forte de la nappe par les eaux d'infiltrations (les eaux domestiques et les eaux d'irrigations), ces zones étendues de Sud-Est à Nord-Ouest de la zone d'étude le long de l'axe Nakhla-Kouinine, on ajoute à ces dernières les zones de dépressions de Chot, hôtel Louss et la zone de rejet d'El-Oued. Par contre les zones irriguées à partir des puits dans la nappe phréatique, apparaissent sur la carte piézométrique comme des zones de dépressions piézométriques, c'est le cas de ; Nakhla Gharbia et Robah au sud, les plantations de Mehri au NO et au sud de Trifaoui.

La carte piézométrique de 2012, établie après la mise en marche de réseau de drainage vertical (51 forages équipés de pompes pour un débit d'exploitation global de 348 l/s), montre une diminution du niveau piézométrique d'ordre de 4 m, dans la partie nord-est, due à l'effet de pompage dans le réseau de drainage vertical de la ville d'El Oued où on constate que l'apport d'eau diminue vers le sens d'écoulement (Trifaoui). Alors que la forme générale de la carte piézométrique reste la même.

1. FACIES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE LIBRE.

La composition chimique des eaux souterraines dépend essentiellement de la géologie ainsi que des processus géochimiques qui ont eu lieu au sein du système des eaux souterraines. Le diagramme Piper (1944) a été utilisé dans le but de caractériser l'eau de la nappe libre. En outre, ce diagramme de Piper permet également de représenter les compositions de cations et d'anions d'un grand nombre d'échantillons sur un seul graphique dans lequel les grands groupes ou les tendances dans les données peuvent être discernés visuellement. Il est aussi utilisé pour évaluer les faciès hydrogéochimiques.

1.1. Campagne de mai-juin 2012.

La représentation des éléments chimiques des 25 échantillons sur le diagramme de Piper (Fig.27 et Tab.5) montre que la majorité des échantillons se coïncident sur les pôles caractérisant par les faciès sulfaté calcique et sulfaté sodique. La répartition des faciès chimiques des 25 échantillons de la campagne de 2012, est comme suit :

- 36% échantillons ont un faciès chimique sulfaté sodique.
- 32% échantillons présentent un faciès chimique sulfaté calcique.
- 20% échantillons montrent un faciès chimique sulfaté magnésique.
- 8% échantillons caractérisent un faciès chimique chloruré sodique.
- 4% échantillons affichent un faciès chimique chloruré calcique.

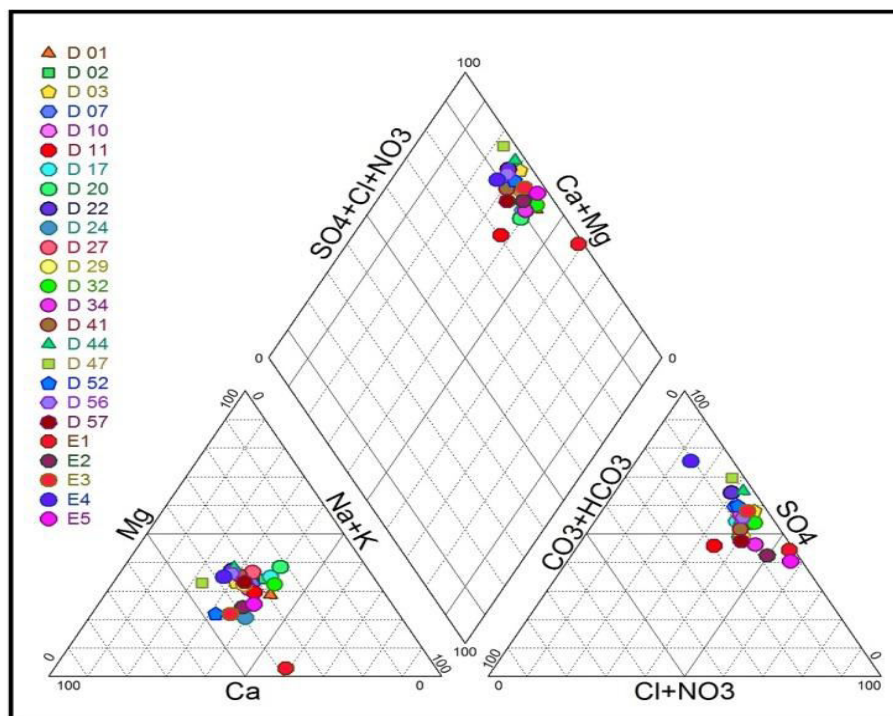


Figure 27: Diagramme de Piper des eaux de la nappe libre (mai-juin 2012).

Tableau 5: Répartition des faciès chimiques de la compagne de mai-juin 2012.

Echantillon (puits)	Nombre de puits	Formules ioniques	Faciès chimique
D ₀₂ , D ₀₇ , D ₁₇ , D ₂₀ et D ₃₂ .	05	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2}$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté sodique
D ₂₄ , D ₅₂ , D ₅₇ et E ₃ .	04	$r\text{Ca}^{+2} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Mg}^{+2}$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté calcique
D ₂₂ , D ₄₁ , D ₄₄ et D ₅₆ .	04	$r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté magnésique
E ₁ et E ₅ .	02	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$ $r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{-2} > r\text{HCO}_3^-$	Chloruré sodique
D ₀₁ , D ₁₀ , D ₁₁ et D ₃₄ .	04	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté sodique
D ₀₃ , D ₂₉ , D ₄₇ et E ₄ .	04	$r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté calcique
E ₂	01	$r\text{Ca}^{+2} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Mg}^{+2}$ $r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{-2} > r\text{HCO}_3^-$	Chloruré calcique
D ₂₇	01	$r\text{Mg}^{+2} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Ca}^{+2}$ $r\text{SO}_4^{-2} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$	Sulfaté magnésique

1.2. Compagne de juin 2015.

La représentation des éléments chimiques de 8 échantillons d'eau de forage analysés en mars 2015 sur le diagramme de Piper (Fig.79) montre que tous les échantillons se projettent sur le pôle caractérisé par le faciès sulfaté calcique.

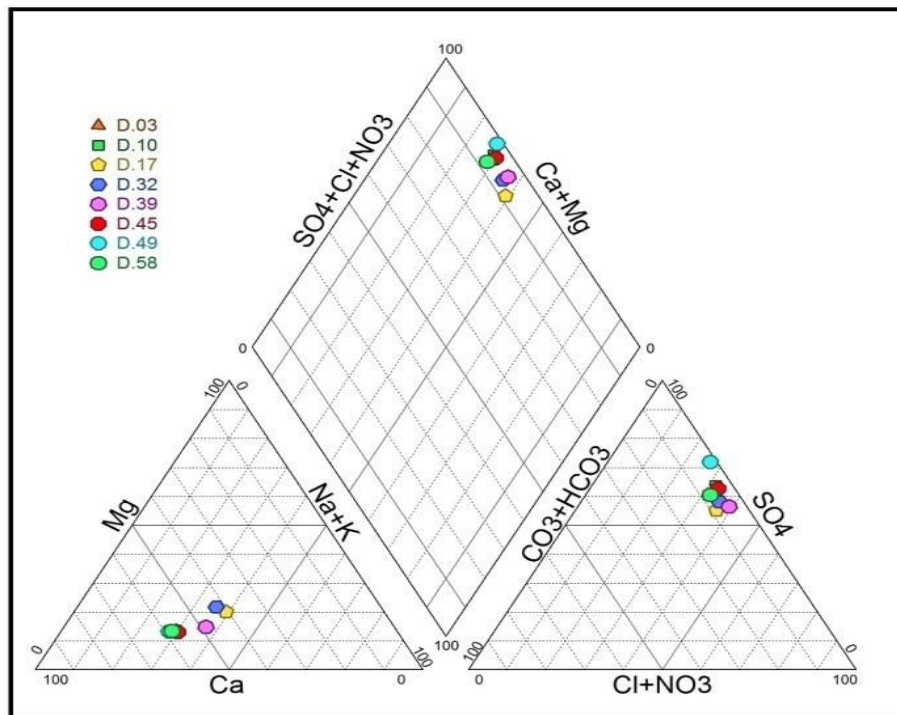


Figure 28: Diagramme de Piper des eaux de la nappe libre (mars 2015).

2. QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE LIBRE.

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricte fixée par les responsables de la santé. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon le degré de développement des pays, c'est pour cette raison que les normes des pays développés (les Etats unis, Canada, l'Union Européen etc.) sont plus sévère en comparaison avec les pays en voie de développement (Algérie, Egypte, Tunisie etc.), où les moyens techniques de traitement des eaux sont moins disponibles. L'OMS fixe des normes moins sévères que celles des pays développés. Il existe ainsi près de 63 critères pour une eau propre à la consommation : ces critères, décidés selon le principe de précaution maximale qui permet de protéger les personnes dont la santé est la plus fragile, portent sur plusieurs paramètres fixés avec l'aide de l'U.E. En Algérie, l'article 10 du 26 juillet 2000 fixe la norme algérienne pour l'eau potable (Tab.6).

Art.10. l'état assure une surveillance des différentes composantes de l'environnement. L'état doit définir les valeurs limites, les seuils d'alerte, et les objectifs de qualité, notamment pour l'air, l'eau, le sol et le sous-sol, ainsi que les objectifs de surveillance de ces milieux récepteurs et les mesures qui doivent être précisées par voie réglementaire. Sur cette base, l'Algérie a établi des normes de potabilité pour l'eau de boisson définies par l'arrêté du 26 juillet 2000 (JO n°51/00) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation émanant du ministère du commerce. Ces normes ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 4 catégories: les paramètres organoleptiques, les paramètres physico chimiques, les substances indésirables et les substances toxiques.

2.1. Paramètres physico-chimiques (Fig.29)

2.1.1. Température de l'eau : Les températures de l'eau de la nappe libre sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol. La valeur maximale est de l'ordre de 30.4 °C dans le point de mesure E₁, le niveau statique se trouve à 0.45 m de la surface de sol, alors que la valeur minimale est d'ordre de 19°C, mesurée dans le forage D₀₃. Seulement deux mesures dépassent la norme algérienne de l'eau potable (25°C).

2.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH) : le pH des eaux de la nappe libre varie entre 6.68 et 8.83. Les points de mesure ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (6.5 à 8.5), sauf le point E₁ (pH=8.83).

Tableau 6: Normes algériennes pour l'eau minérale naturelle et l'eau de source.

Arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00).

Paramètres	Teneur	Unité
PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES		
Couleur	25	mg/l
Odeur	Doit être accessible	Taux de dilution
Turbidité	1 - 2	NTU
Saveur	Doit être accessible	Taux de dilution
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES		
Température	25	°C
pH	6.5 - 8.5	-
Conductivité électrique	2 800	µS.cm ⁻¹
Résidu sec (110 °C)	2 000	mg/l
Calcium	75 - 200	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Sodium	200	mg/l
Potassium	20	mg/l
Chlorures	200 - 500	mg/l
Sulfates	200 - 400	mg/l
Carbonates - bicarbonates	-	-
SUBSTANCES INDESIRABLES		
Aluminium	0.2	mg/l
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l
Ammonium	0.05 - 0.5	mg/l
Phosphates	0.5	mg/l
MO (permanganate)	3.5	mg/l
Bore	0.3	mg/l
Fer	0.3	mg/l
Cuivre	0.05 - 1.5	mg/l
Zinc	1 - 5	mg/l
Manganèse	0.5	mg/l
Baryum	0.7	mg/l
Phénols	-	-
Fluorures	0.8 - 2	mg/l
Argent	-	-
COT	-	-
Azote Kjeldahl	2	mg/l
SUBSTANCES TOXIQUES		
Arsenic	0.05	mg/l
Cadmium	0.01	mg/l
Cyanure	0.05	mg/l
Mercure	0.001	mg/l
Plomb	0.05	mg/l
Chrome	0.05	mg/l
Nickel	0.02	mg/l
Antimoine	0.005	mg/l
Sélénium	0.01	mg/l

2.1.3. La conductivité électrique (CE) : Les eaux de la nappe libre affichent des conductivités électriques très élevées dépassant la norme algérienne de l'eau potable ($2800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). La plage des conductivités rencontrées s'étale entre $3334 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et $47200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

2.1.4. Le résidu sec : Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau après évaporation à 110°C . Elle donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau. Les eaux de la nappe libre affichent des conductivités électriques très élevées dépassant la norme algérienne de l'eau potable (2000mg/l). La plage des conductivités rencontrées s'étale entre 3256mg/l et 6024mg/l .

2.1.5. La dureté : La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. La présence du CO_2 favorise cette dissolution. On distingue :

- La dureté totale $\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$
- La dureté calcique $\text{TCa} = [\text{Ca}^{2+}]$
- La dureté magnésienne $\text{TMg} = [\text{Mg}^{2+}]$

Les valeurs de la dureté (TH) de la nappe libre sont comprises entre 104.2°F pour le puits D_{47} et 1513.6°F , pour le point E_1 , donc c'est une eau dure à très dure selon la classification de l'OMS ($\text{TH} > 50^\circ\text{F}$), traduisant ainsi une forte minéralisation de nappe libre.

2.1.6. Le Calcium (Ca^{+2}) : Le calcium est un élément alcalino-terreux, il peut provenir des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) et la dissolution de calcaire (CaCO_3).

La teneur en calcium dans les eaux de la nappe libre dépasse la norme algérienne de l'eau potable (200mg/l), elle varie entre 200mg/l et 3200.7mg/l .

2.1.7. Le Magnésium (Mg^{+2}) : Les eaux de la nappe libre renferment des concentrations élevées de Mg dépassant dans la majorité la norme algérienne de l'eau potable (150mg/l); la teneur maximale est de l'ordre de 1408mg/l alors que la valeur minimale est de 81.9mg/l .

2.1.8. Le Sodium (Na^+) : Les eaux de la nappe libre renferment des concentrations de sodium très élevées dépassant la norme algérienne de l'eau potable (200mg/l) ; la teneur maximale est de l'ordre de 9562.5mg/l mesurée au point E_1 alors que la valeur minimale est de 130mg/l mesurée dans le puits D_{47} .

2.1.9. Le Potassium (K^+) : A l'exception de puits D_{47} , tous les puits montrent des concentrations de potassium dépassant la norme algérienne de l'eau potable (20mg/l); la teneur maximale est de l'ordre de 1408mg/l alors que la valeur minimale est de 81.9mg/l .

2.1.10. Les Chlorures (Cl^-) : La concentration de cet élément chimique présente des teneurs variables et souvent très fortes qui varient entre 240mg/l dans le puits D_{47} et 13650mg/l dans

E₁. Excepté le puits D₄₇ tous les points de mesure dépassent la norme algérienne de l'eau potable qu'est 500 mg/l.

2.1.11. Les sulfates (SO₄⁻²) : L'histogramme de teneurs des sulfates, montre des valeurs très élevées variant de 15125 mg/l à 960 mg/l, ils peuvent être liés à la dissolution des évaporites montrée par l'étude géologique et hydrogéologique de la zone d'étude. Une deuxième origine serait attachée à l'activité anthropique liée à l'agriculture utilisant des produits chimiques à base de sulfates. Les valeurs de sulfate mesurées dans les eaux de la nappe libre dépassent largement la norme algérienne de l'eau potable qu'est 400 mg/l.

2.1.12. Les bicarbonates (HCO₃⁻) et de carbonate (CO₃⁻²) : Les eaux de la nappe libre renferment les concentrations de bicarbonates qui varient largement dans la zone d'étude. La teneur maximale est de l'ordre de 741.15 mg/l au point E₅, alors que la valeur minimale est d'ordre de 57.95 mg/l. Nous rappelons que la valeur guide de l'OMS pour l'eau de boisson est 300 mg/l. Le carbonate CO₃⁻² est mesurable dans un seul point E₁ où le pH=8.83, la valeur mesurée est 75mg/l.

2.2. Les substances indésirables

2.2.1. Le fluor (F⁻) : La teneur en fluor dans les eaux de la nappe libre d'El Oued est supérieure à la norme de l'OMS (1.5mg/l) et à la norme algérienne de l'eau potable (2 mg/l), elle varie entre 2 et 6 mg/l, plus de 60% des forages montrent des teneurs en fluor comprises entre 3 et 4mg/l. la partie située à l'est de la vallée se distingue par une forte teneur de 4 à 6 mg/l. la faible teneur en fluor (2 mg/l), se localise à l'extrémité nord de l'aire d'étude.

Plusieurs auteurs confirment l'excès de fluor dans les eaux de la nappe libre d'El Oued (Achour, S. 1990 ; Guendouz, A. 2006; Saibi, H. 2003 et Laouini, S E. 2009). A titre d'exemple les résultats publiés par Laouini, S E (2009), montrent que les valeurs mesurées varient entre 2.21 mg/l et 3.61mg/l, elles dépassent la norme algérienne (2mg/l).

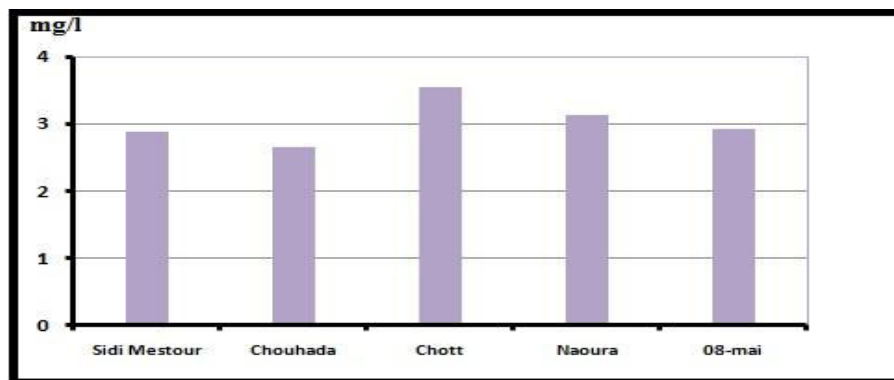


Figure 30: Histogramme de variations de fluor dans la nappe libre (Laouini, 2009).

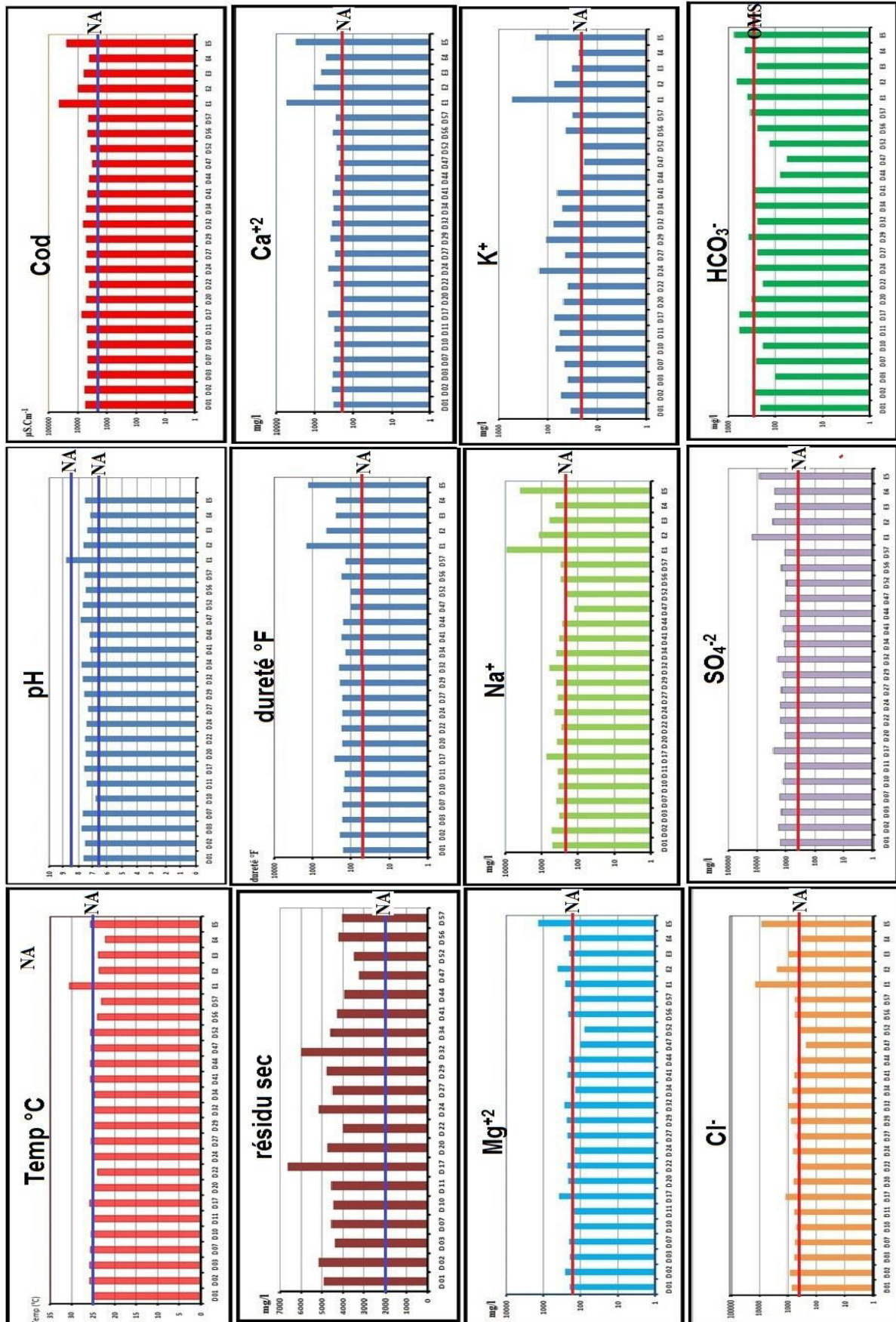


Figure 29: Histogrammes des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe libre.

2.2.2. Les métaux lourds.

Durant la campagne de mesure en mars 2015, nous avons analysé cinq (5) métaux lourds (Fe, Cu, Mn, Pb, et Zn). Les deux premiers éléments donnent des concentrations inférieures à la limite de détection de l'appareil utilisé (spectrophotomètre d'absorption atomique) qui est 20µg/l, par contre les autres éléments montrent des concentrations mesurables (Fig.31).

La teneur en manganèse dans les eaux de la nappe libre montre que les valeurs varient entre <20 µg/l et 586 µg/l. La figure 94 montre une grande variation de la teneur en manganèse. L'ensemble des teneurs dans les eaux de la nappe libre se trouvent inférieures à la limite fixée par l'OMS et la norme algérienne pour l'eau de consommation humaine qui est la valeur de 500 µg/l, sauf pour les eaux de puits D₅₈.

La teneur en zinc dans les eaux de la nappe libre varie entre <20 µg/l et 2778 µg/l. La norme algérienne adopte comme valeur limite du zinc 5 mg/l de 3 mg/l et la norme de l'OMS est 3 mg/l, l'ensemble des teneurs en zinc sont inférieures à cette limite.

Les teneurs en plomb dans les eaux de la nappe libre varient entre 154 µg/l et 309 µg/l, elles sont très supérieures à la norme algérienne de l'eau potable (50 µg/l).

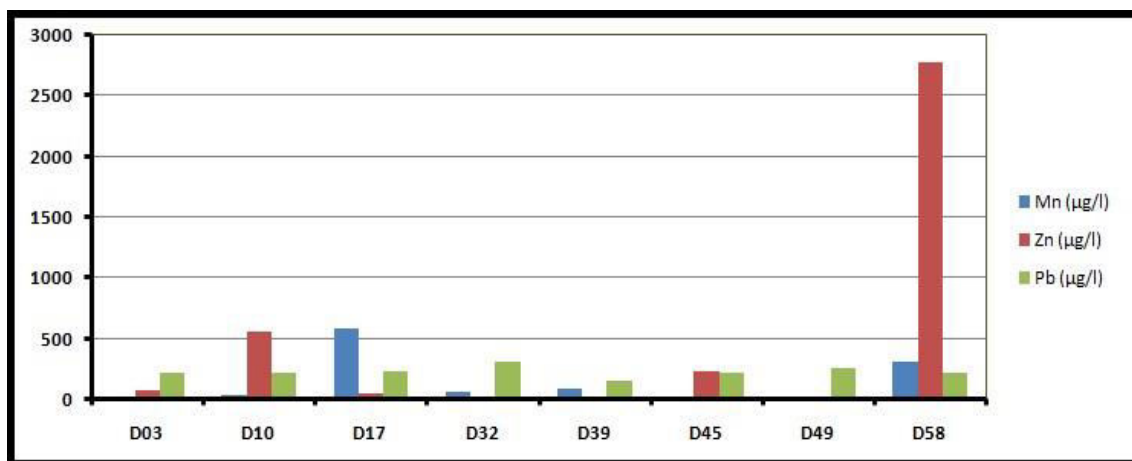


Figure 31: Histogramme de variation de Mn, Pb et Zn dans la nappe libre.

2.3. Qualité microbiologique de l'eau.

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau, mais les conditions anaérobiques généralement rencontrées dans les eaux souterraines en limitent cependant la diversité. Les bactéries, les virus et les autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles.

La grande majorité de ces microorganismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffuse dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales. Les pollutions microbiologiques se rencontrent surtout dans les aquifères à grande perméabilité (sable dunaire).

L'analyse microbiologique des eaux de la nappe libre d'El-Oued (Tab.7), révèle que la majorité des forages analysés, sont contaminés par les coliformes thermotolérants (*Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, etc.), les streptocoques fécaux (genres *Enterococcus* et *Streptococcus*) et les bactéries aérobies.

Suite à ces résultats et de point de vue microbiologiques les eaux des forages analysés sont inaptes à la consommation humaine à l'exception des forages D₄, G₁ et G₂ se situent loin du centre ville.

Tableau7: les paramètres microbiologiques des eaux de la nappe libre (ADE, 2010).

Nom forage	Paramètres microbiologiques				
	GT 37°	CT	CD	SD	SR
D1	Abs (-)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Abs (-)
D2	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₃	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₄	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)
D ₅	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Abs (-)
D ₇	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Abs (-)
D ₉	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₁₄	Abs (-)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Abs (-)
D ₁₈	Abs (-)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₂₀	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₃₂	Abs (-)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₃₇	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Prés (+)
D ₃₈	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₃₉	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₅₁	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
D ₅₂	Abs (-)	Abs (-)	Prés (+)	Prés (+)	Abs (-)
D ₅₆	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)	Prés (+)
G ₁	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)
G ₂	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)	Abs (-)

3. APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION.

Les sels minéraux contenus dans l'eau en quantités ont des effets néfastes sur le sol et les plantes. Ils peuvent perturber le développement des plantes, agissent sur le processus osmotique, en causant des réactions métaboliques, ils induisent également des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le

développement de la plante (Person, 1978; Sedrati, 2011). Donc il est impératif dans ce cas d'étudier les paramètres définissant les eaux destinées à l'irrigation, tel que:

- la concentration totale du sel dissous dans l'eau.
- la concentration réelle de Na^+ par rapport aux autres cations.
- la concentration des éléments toxiques.
- dans certains cas la concentration de HCO_3^- par rapport au Ca^{+2} et Mg^{+2} .

3.1. Conductivité.

Les sels contenus dans les eaux d'irrigation, s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes :

- inférieure à $250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau ne présente aucun risque.
- varie entre 250 et $750 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau ne peut être utilisée que s'il y a de drainage.
- supérieure à $2250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau est considérée impropre à l'irrigation.

les eaux de la nappe libre dans les trois compagnes de mesures affichent des conductivités supérieures à $2250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, donc elles sont impropres à l'irrigation.

3.2. La méthode de Richards :

Le SAR : est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en

sodium; il est calculé par l'équation :
$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{(\text{Mg}^{++} + \text{Ca}^{++})^{1/2}}$$

- SAR: Sodium Adsorption Ratio.
- Na^+ , Ca^{+2} , et Mg^{+2} représentent les concentrations en mg/l, les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

La méthode de Richards (1954) est basée sur la combinaison des deux méthodes: du SAR et la conductivité électrique.

Les résultats de la classification de la qualité chimique des eaux de la nappe libre d'après le diagramme de Richards, montrent que ; 6 sur 25 de compagne de 2012 et 5 sur 8 puits de la compagne de 2015 présentent une conductivité $\text{CE} > 5000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (*extrêmement salés*) et/ou un $\text{SAR} > 30$ (*très fortement sodiques*). Cependant le reste de nos échantillons s'arrangent selon trois classes (Fig.32) :

a. eaux médiocres (C_4S_1): elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

b. eaux médiocres (C_4S_2): les eaux faisant partie de cette classe sont fortement chargées en sels. Elles sont susceptibles de convenir à l'irrigation des plantes tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

c. eaux mauvaises (C_4S_3): les eaux qui font partie de cette classe ne conviennent pas à l'irrigation, Leur utilisation pour l'irrigation doit être soumise certaines conditions: sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel.

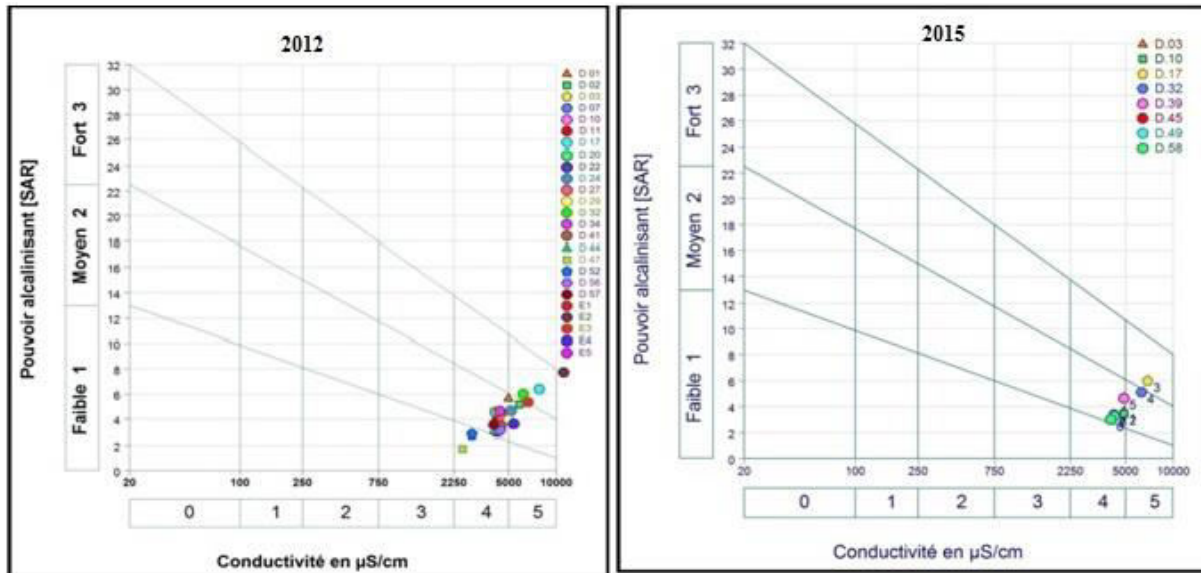


Figure 32: Le diagramme de Richards des eaux de la nappe libre de 2012 et 2015.

4. QUALITE DES EAUX USEES ET SA POSSIBILITE D'UTILISATION EN AGRICULTURE.

4.1. Gestion des eaux usées dans la zone d'étude.

Pour juguler la remontée de la nappe phréatique, en tout état de cause, et dans la perspective de remédier à ce problème, l'Etat a entrepris des mesures concrètes par un projet titanesque susceptible de réhabiliter l'équilibre écologique du Souf, avec un coût total de **31 milliards de dinars**. Le projet supervisé par l'Office national de l'assainissement (ONA) a été réceptionné, graduellement, dès la fin de l'été 2009 et totalement achevé et réceptionné en 2013. Quatre stations de pompage pour l'évacuation des eaux indésirables (eaux stagnantes et eaux usées) ont été installées grâce à un dispositif considérable de canalisations vers la dépression du Chott El-Haloufa. Entre autres, la rénovation des réseaux d'assainissement des eaux usées et des canalisations d'eau potable.

Le lagunage aéré est retenu par BG comme solution technique d'épuration. Le lagunage est une technique adaptée aux conditions climatiques algériennes et pouvant atteindre un rendement épuratoire et une décontamination microbienne satisfaisants. Dans la zone d'étude

il existe une station d'épuration (STEP1) au Kouinine qui collecte les eaux usées des agglomérations d'El Oued, Bayada, Kouinine, Robbah, afin de les traités avant le rejet à chott El Haloufa. Pendant leur trajet, les eaux épurées peuvent être utilisées par les agriculteurs grâce à des dispositifs de picage d'eau.

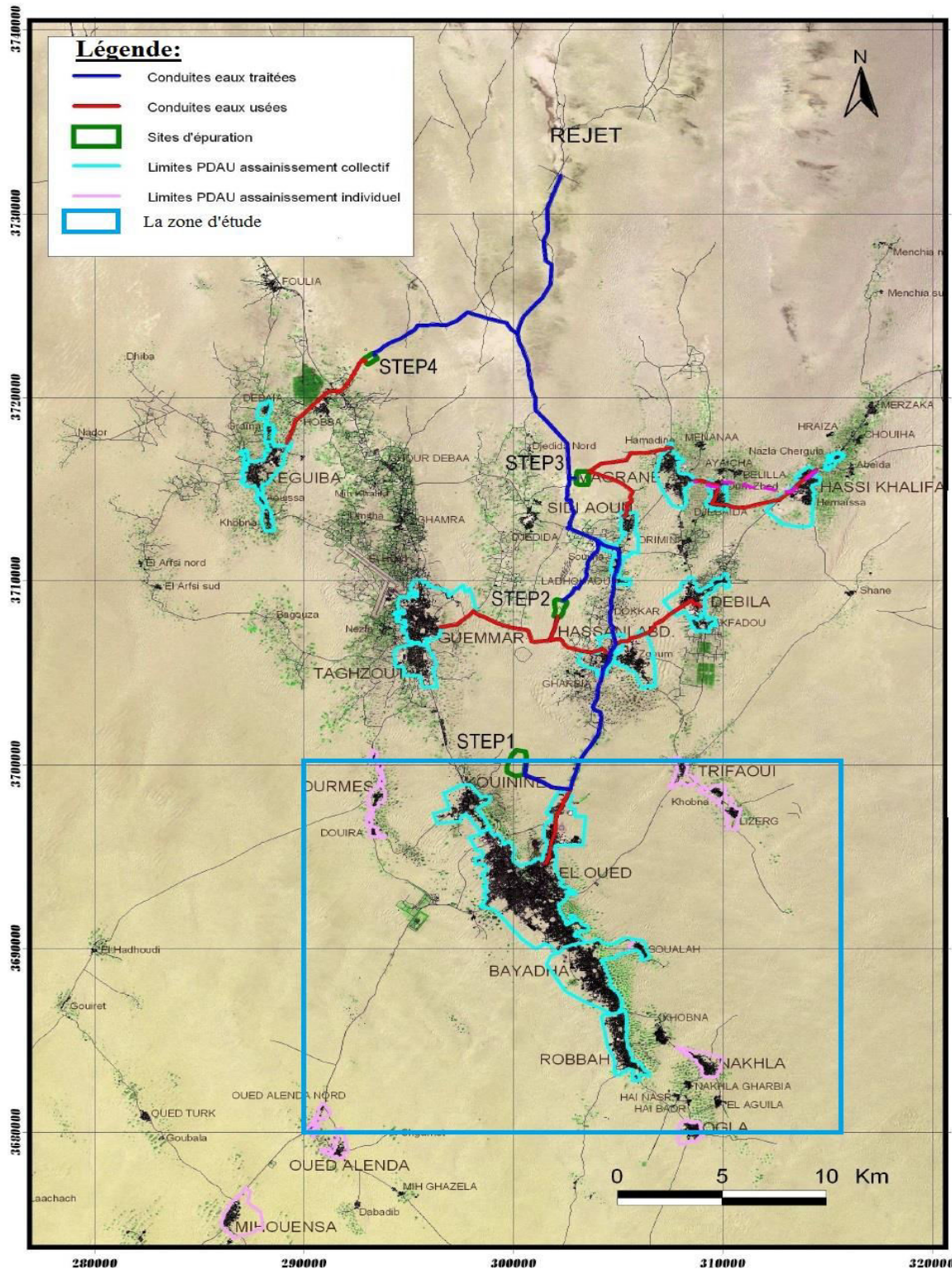


Figure 33 : Schéma directeur d'assainissement des eaux usées et pluviales de Souf

4.2. Présentation du lagunage aéré.

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec apport artificiel d'oxygène, elle est classée comme procédé extensif. Dans les étapes d'aération, les eaux usées sont dégradées par des microorganismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactérie faible et l'absence de recirculation d'oxygène est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air.

Dans la station de Kouinine, les eaux usées à traiter arriveront à la station d'épuration par l'intermédiaire des conduites débouchent dans un regard de dégazage. Ce dernier assure une oxygénation naturelle des eaux brutes. Le prétraitement des eaux usées se fait par dégrillage et dessablage, en suite les eaux usées sont réparties vers les lagunes du premier étage.

Dans le premier étage du traitement les effluents sont répartis entre les quatre lagunes grâce à un répartiteur. Dans l'étage d'aération, l'oxygénation est assurée par un aérateur de surface. Cette aération mécanique favorise le développement des bactéries qui dégradent la matière organique et assimilent les nutriments.

Au deuxième étage, le nombre d'aérateurs et de bassins est inférieur au premier. Les eaux en cours de traitement transitent de façon gravitaire des lagunes aérées de 1er étage vers les lagunes aérées du deuxième étage. Les eaux sortant des lagunes aérées du deuxième étage sont dirigées vers les deux lagunes de finition. C'est le lieu de séparation physique d'eau épurée et de la boue biologique. Cette dernière est formée après une lente agglomération des matières en suspensions. Un système consiste à sécher les boues décantées au fond des lagunes à l'air libre sur des lits de séchage.

4.3. Qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation.

La réutilisation des eaux usées est non seulement fournir des quantités supplémentaires d'eau mais assurer la protection du milieu naturel. On peut dégager cinq classes de réutilisation des eaux épurées ; la production d'eau potable, la réutilisation industrielle, la réutilisation en zone urbaine (arrosage, lavage, réservoirs anti-incendies.etc.), la recharge des nappes et la réutilisation agricole.

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales présentées par le FAO et l'OMS peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques (Djeddi, 2007).

Nous avons effectué une série de mesure de 9 paramètres physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration de Kouinine en février, mars et avril 2012, pour évaluer l'aptitude des eaux épurées à l'irrigation, les résultats de mesure sont représentés en histogramme dans la figure 98 .

4.3.1. Matières en suspension (MES) : Les matières en suspension, sont des matières insolubles, fines, minérales ou organiques, biodégradables ou non, leur principal effet est de troubler l'eau. Les valeurs de MES pour les eaux brutes, varient entre 275 mg/l et 239.1 mg/l, et pour les eaux traitées ils varient entre 34.2 mg/l et 39.98 mg/l. Cette dernière dépasse les normes de l'OMS appliquées en Algérie (30 mg/l) (*journal officiel de l'Algérie 1999*).

4.3.2. Demande biologique en oxygène (DBO₅) : La demande biologique en oxygène, mesure la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes après 5 jours, pour oxyder les matières organiques biodégradables. Les valeurs de DBO₅ pour les eaux brutes varient entre (230.9 et 275) mg/l et pour les eaux traitées varient entre (2 et 37.8) mg/l. la valeur moyenne mensuelle du mois d'avril dépasse les normes appliquées en Algérie (30 mg/l).

4.3.4. Demande chimique en oxygène (DCO) : La demande chimique en oxygène, représente la quantité d'oxygène qui serait nécessaire pour oxyder les substances organiques dissoutes ou en suspension. Lorsque des matières organiques sont présentes dans l'eau, leur oxydation entraîne une chute de la quantité d'oxygène dissous, ce qui peut nuire en cas d'excès, à la survie de la faune et la flore.

Les valeurs de DCO pour les eaux brutes varient entre (484 et 609) mg/l et pour les eaux traitées varient entre (77 et 96) mg/l. les deux valeurs de février et mars passent au-dessous de les normes de l'OMS appliquées en Algérie (90 mg/l), mais la valeur moyenne d'avril dépasse les normes algériennes de l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation.

4.3.5. L'oxygène dissous : L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'environnement aqueux puisqu'il est le facteur limitant de la principale voie de biodégradation anaérobie et la pollution organique. Sa concentration est très faible dans les eaux usées brutes.

Les valeurs de l'oxygène dissous dans les eaux brutes varient entre 1.32 et 1.51 mg/l, pour les eaux épurées les valeurs varient entre 7.4 et 8.09 mg/l. ces valeurs dépassent les normes de rejet (5mg/l) établies par l'OMS (1999).

4.3.6. La conductivité électrique (CE) : La conductivité électrique des eaux brutes varie entre un minimum de 5050 $\mu\text{S/cm}$ et un maximum de 5160 $\mu\text{S/cm}$, tandis que celle des eaux épurées varie entre un minimum de 5.32 mS/cm et maximum de 5.51 mS/cm. La conductivité

des eaux usées épurées est très forte et dépasse les normes internationales des eaux d'irrigation de la FAO ($<3000 \mu\text{S/cm}$).

4.3.7. Le pH : Les valeurs de pH mesurées soit pour les eaux brutes ou pour les eaux traitées sont comprises entre 8.06 et 8.46. Ces valeurs sont conformes aux normes des rejets algérienne ($6.5 < \text{pH} < 8.5$).

4.3.8. Les nitrates et les nitrites : La concentration des nitrates dans les eaux brutes varie entre un minimum de 87 mg/l et un maximum de 120 mg/l, tandis que celle des eaux épurées varie entre un minimum de 40 mg/l et maximum de 65 mg/l. Ces valeurs sont supérieures aux normes internationales des eaux d'irrigation de la FAO ($<30\text{mg/l}$) (Ayes, 1985) et à la norme de l'OMS (50 mg/l) sauf pour le mois d'avril.

Les valeurs de nitrite mesurées soit pour les eaux brutes, soit pour les eaux traitées dépassent les normes internationales des eaux d'irrigation de la FAO et à la norme de l'OMS ($<1 \text{ mg/l}$).

4.3.9. Les orthophosphates : Les valeurs des orthophosphates mesurées soit pour les eaux brutes, soit pour les eaux traitées dépassent les normes internationales des eaux d'irrigation de la FAO ($<0.94 \text{ mg/l}$) et à la norme de l'OMS ($<2 \text{ mg/l}$).

Donc les eaux usées traitées dans la station d'épuration de Kouinine sont non convenables à l'irrigation des terres agricoles et les objectifs de traitement sont loin d'être réalisés surtout pour la conductivité.

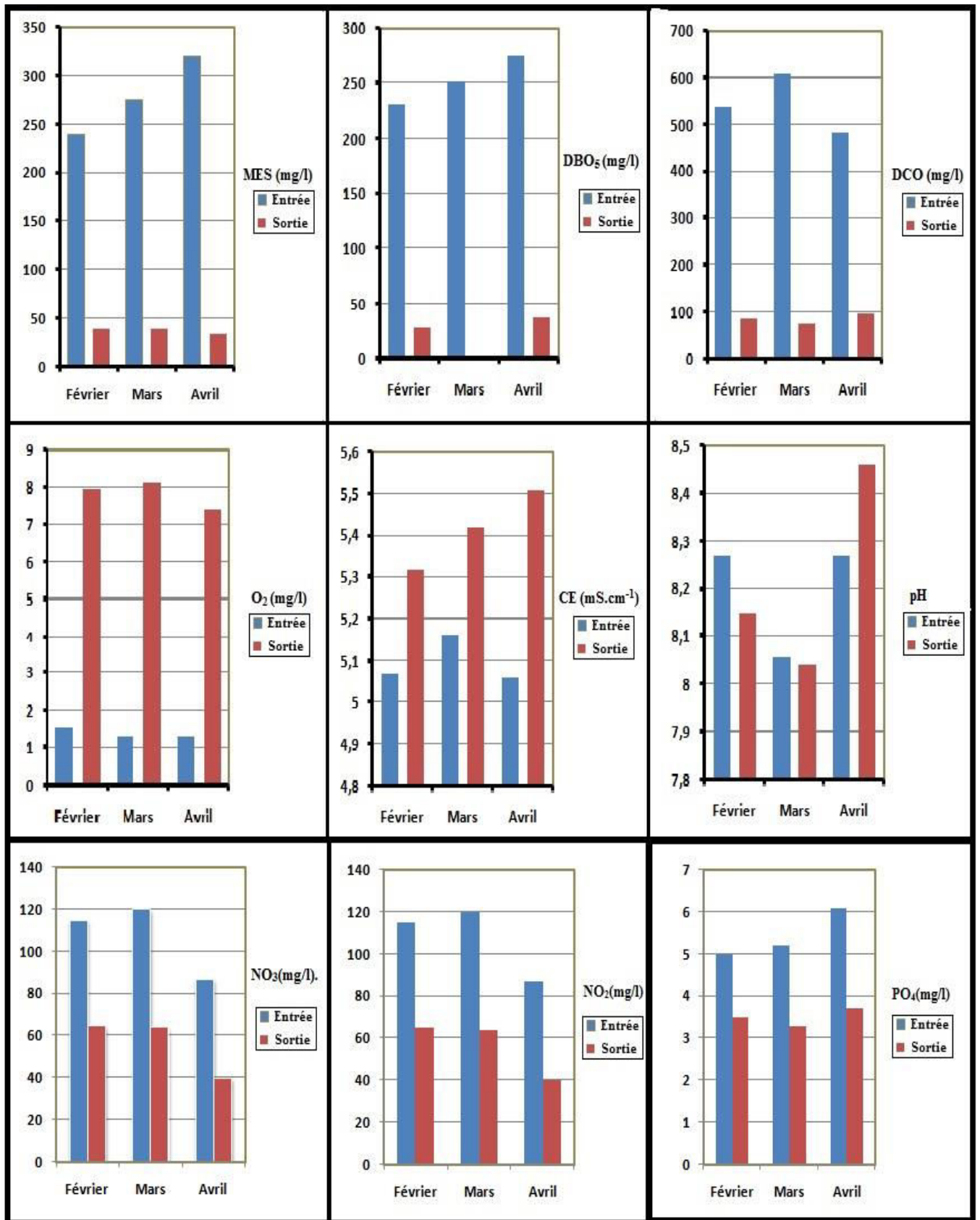


Figure 34 : Histogrammes de variation des paramètres physico-chimiques des eaux brutes et traitées dans la station de Kouinine (2012).

5. POLLUTION NITRIQUE

5.1. Cycle d'azote

L'atmosphère terrestre constituée de 78% de désazotées, la principale source d'azote. L'azote est assimilable par les plantes, principalement sous forme de nitrate (NO_3^-). La décomposition d'organismes morts ou de déjections (azote organique) est une autre source d'azote qui après transformation peut produire du nitrate. L'azote sous forme d'ammoniac et de nitrite est très toxique pour de nombreux êtres vivants. Le nitrate est une forme stable de l'azote. Les ions nitrates (NO_3^-) entrent ainsi dans l'ensemble des chaînes alimentaires.

Le changement de l'occupation du sol entraîne une libération de nitrate, mais la principale source d'origine humaine provient des apports d'engrais azotés (d'origine animale ou chimique). Même si une bonne partie de l'azote apportée est consommée directement par les cultures, une partie notable peut être lessivée par l'eau de pluie. Les ions nitrate, très solubles dans l'eau, sont mobiles dans les écosystèmes. Le ruissellement, l'érosion et les pluies tendent à ramener les nitrates non captés par la biomasse terrestre vers les rivières, les lacs, les nappes phréatiques et les océans (Fig.35). Ce phénomène, absolument naturel, a été fortement amplifié par l'utilisation d'engrais de synthèse et l'évolution des techniques de travail du sol depuis le milieu du XXème siècle. Toutes les sources d'azote sont des sources potentielles de nitrate. Dans l'eau, ces substances peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles, des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles. La concentration en nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface peut atteindre des niveaux élevés à cause du lessivage des terres cultivées ou de la contamination par des déchets d'origine humaine ou animale. Selon différentes procédures d'évaluation, l'agriculture est responsable de plus de 95% des émissions de NO_3^- et de plus de 60% des pertes d'azote vers les eaux. Les flux d'azote liés aux nitrates arrivant en mer représentaient en France seulement 600 000 tonnes en 2008. Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA(France), 68 p.4 : Commissariat Général au les apports annuels d'azote pour fertiliser les sols proviennent pour un peu plus de la moitié des engrais de synthèse (2110 Kt), pour le reste des effluents d'élevage (1820 kt) et des boues de stations d'épuration et de composts (21 kt). L'enrichissement généralisé des milieux par l'azote s'accompagne de nombreux problèmes environnementaux : contamination nitrique des eaux, eutrophisation des écosystèmes aquatiques, émission d'ammoniac et formation d'aérosols, aggravation de l'effet de serre.

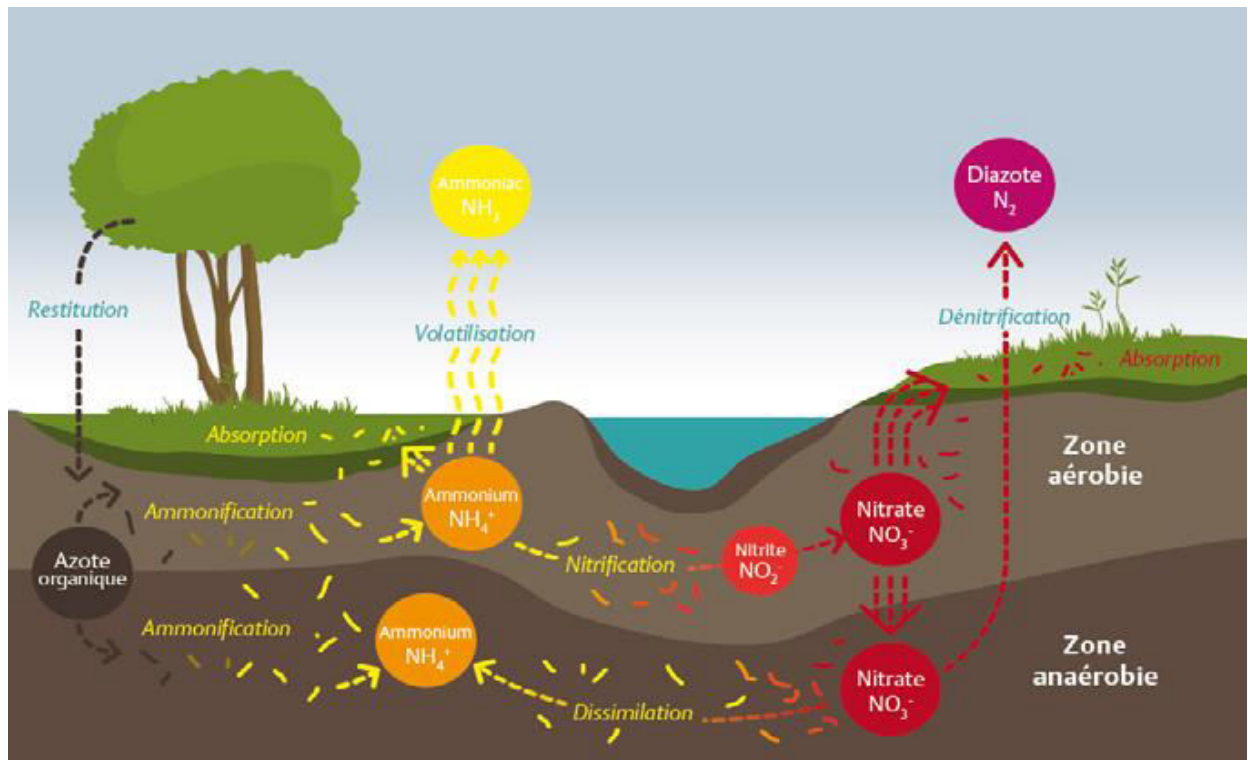


Figure.35: Cycle d'azote

5.2. Les nitrates dans l'eau et leurs effets

Dans les nappes les nitrates modifient les conditions chimiques d'oxydo-réduction du milieu et donc la teneur en certains autres éléments en solution. Il se pourrait aussi que l'écologie de ces milieux souterrains soit affectée (bactéries, micro-invertébrés souterrains vivant dans les nappes), mais ceci a été peu étudié jusqu'ici.

Dans les eaux douces bien oxygénées, le processus de dénitrification ne se produit pas. L'effet majeur des nitrates sur les eaux de surfaces est de les conduire à l'eutrophisation. Ce processus se produit lorsque les eaux sont trop chargées en nitrates et en phosphates, ces deux nutriments étant nécessaires à la croissance des végétaux. Les grandes concentrations d'algues perturbent les milieux, entraînant de grande variation du taux d'oxygène entre le jour et la nuit. Lorsque de grandes quantités d'algues meurent, leur décomposition consomme la totalité de l'oxygène présent dans l'eau, induisant ainsi l'anoxie (absence d'oxygène). Dans ces conditions, les poissons et les invertébrés du milieu meurent en grand nombre. Ce manque d'oxygène est très aigu dans les zones où le transit de l'eau est fortement ralenti (lacs, bras mort, estuaires...). Le phénomène d'eutrophisation survient généralement au printemps et en été lorsque l'ensoleillement est fort et les températures élevées, favorisant la photosynthèse.

Le rapport entre nitrates et phosphates est un facteur important dans le développement des végétaux. Lorsque l'un des deux nutriments vient à manquer, le développement des végétaux est stoppé. En général, dans les parties amont des cours d'eau, les phosphates sont le facteur limitant de la

productivité des écosystèmes aquatiques. En zones estuariennes, les nitrates sont toujours le facteur limitant de l'eutrophisation. Les teneurs en nitrates qui permettent d'éviter l'eutrophisation des cours d'eau sont beaucoup plus basses que les teneurs admissibles pour l'eau potable. Au lieu des 50 mg/l (norme de potabilisation de l'eau), c'est à partir de seulement 1 mg/l dans les rivières ou les lacs que le risque d'eutrophisation peut survenir, en commençant par les eaux stagnantes.

5.3. Les nitrates et la santé

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) fixe la concentration maximale en nitrates dans l'eau potable à 50mg/l. En eux-mêmes les nitrates ne sont pas toxiques pour l'homme. En revanche, leur transformation en nitrite dans le tube digestif, sous l'action de bactéries, peu poser problème. Des études scientifiques confirment le risque d'effets nocifs aigus (méthémoglobinémie aiguë du nourrisson : syndrome du bébé bleu) à partir de 50 mg/l de nitrates dans l'eau de consommation humaine.

Ce risque de réduction des capacités de transport de l'oxygène par l'hémoglobine du sang, pour l'adulte, est faible. A côté de cela, lors d'expositions répétées sur le long terme, les nitrates participent à la formation de nitrosamines, molécules dont le caractère cancérigène est avéré. Plus de 10 millions d'européens sont exposés à des taux de nitrates dans l'eau potable dépassant les seuils réglementaires avec un risque de cancer accru s'ils la boivent régulièrement. Le seuil de nitrates dans l'eau potable est fixé à 50mg/l. La recherche des nitrates dans les eaux constituent un bon indicateur de qualité des eaux brutes. Considérant leur origine anthropique : apport d'engrais, de déjection animale, ou rejets d'eaux usées, ils doivent faire suspecter la présence d'autres contaminants biologiques ou chimiques comme les pesticides.

5.4. Le nitrate dans les eaux de la nappe libre.

5.4.1. Carte de nitrates d'avril 2002.

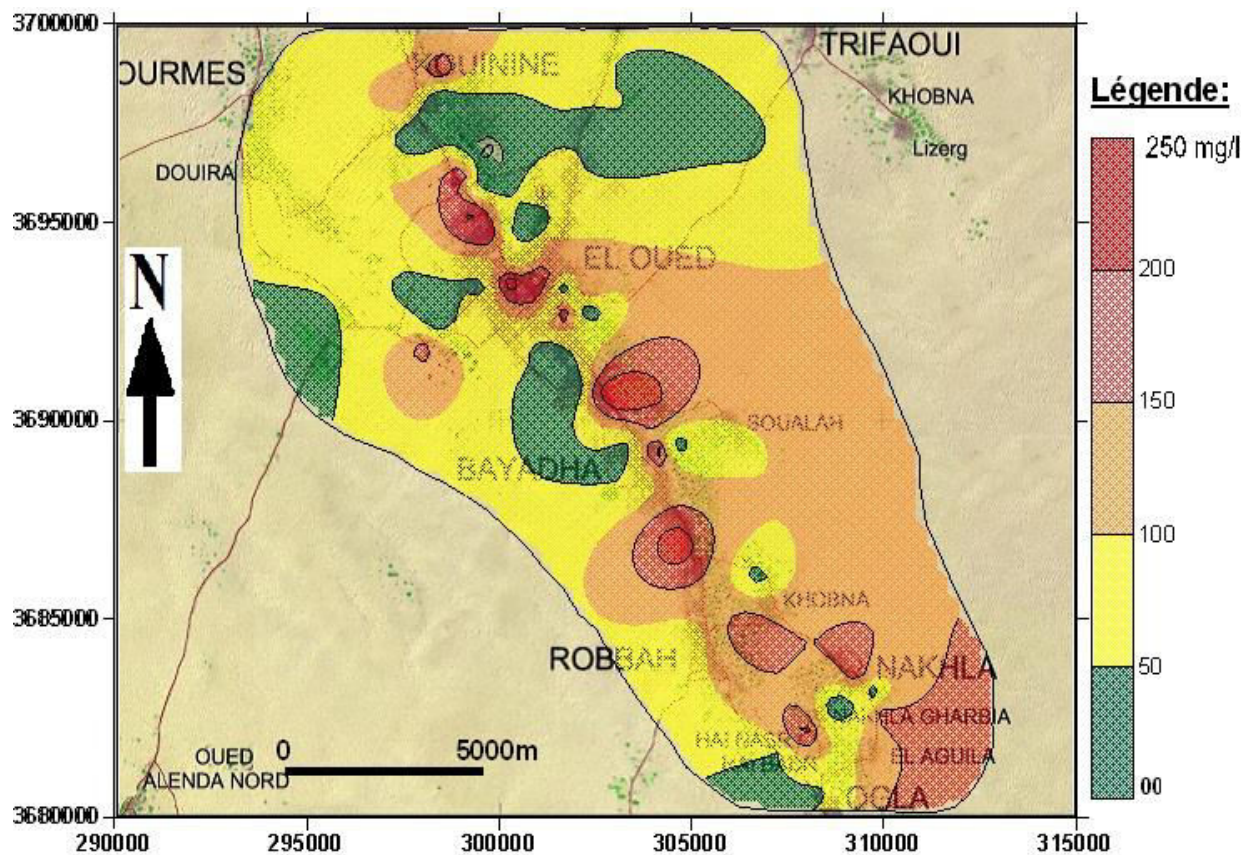
La carte de nitrates d'avril 2002 réalisée par BG (Fig. 36), met en évidence les fortes variations dans la répartition spatiale des teneurs en nitrates. Les plus fortes valeurs ne semblent pas dépendre de la densité de la population mais plutôt de l'activité agricole ou de la proximité immédiate (une vingtaine de mètres) de W.C .publics (école, mosquée, etc.).

On remarque une très forte variation d'un point à l'autre, sans qu'une tendance générale ne se dégage vraiment : un puits en ville peut présenter une valeur supérieure à 120 mg/l et le puits voisin de 40 mg/l ou même inférieur à 5 mg/l (comme c'est le cas entre Bayada et Kouinine). Dans la plus grande partie de la zone, le taux de nitrates est au-dessus du taux acceptable pour l'eau de boisson (50 mg/l selon l'OMS), à l'exception des zones suivantes :

- Les plantations irriguées par des forages au CT au doumaïne Daouïa, à Foulia et à Hobba par dilution des nitrates par l'eau des nappes profondes.
- Dans les Ghouts ennoyés recouverts de roseaux.

d'El-Oued, où l'oxygène nécessaire à la respiration des microorganismes est assuré par la dénitrification des nitrates.

Les valeurs de NO_3 dans la plupart des forages sont supérieures à la norme (50 mg/l), Ils proviennent essentiellement des eaux usées et des fosses perdues, dans les zones urbaines, surtout à la partie sud est comme ; l'est Bayadha, El-Oued et Robbah, et des activités agricoles dans d'autres régions comme les plantations de Ogla, Nakhla et Khobna.



5.4.3. Carte de nitrates de mai 2012.

La carte des taux de nitrates de la campagne mai-juin 2012 (Fig.38) (Bouselsal, 2016), montre une grande ressemblance avec la carte de nitrates de juin 2012. On remarque que le niveau de nitrates dans la nappe varie entre 1 et 250 mg/l. Parmi 82 forages et puits, qui ont fait l'objet d'analyses chimiques, 71.95% des points d'eau dépassent largement la limite admissible de l'OMS (50mg/l) (WHO, 2006; WCCR, 1991). Les endroits où le taux de nitrates est inférieur à 50 mg/l sont ; les plantations Mahri, sud de Kouinine, Bayada, Soualah et au nord et à l'ouest d'Ogla, à la suite de dilution des eaux de nappe libre par l'eau des nappes profondes, dans les Ghouts inondés recouverts de roseaux (suite à leur utilisation par les plantes) et dans les zones anaérobies comme le rejet de la ville d'El-Oued, où l'oxygène nécessaire à certaines

réactions chimiques n'est plus apporté par l'oxygène mais par la dénitrification des nitrates. Les valeurs les élevées sont mesurées aux forages de; Teksabt, Chott, Sahenne et hôtel Louss, ils proviennent essentiellement des eaux usées et des fosses perdues, dans les zones urbaines (Djidel, 2008), surtout au Sud est de la région; à l'est Bayadha, El-Oued et Robbah, et des activités agricoles dans d'autres régions comme les plantations de Ogla, Nakhla et Khobna.

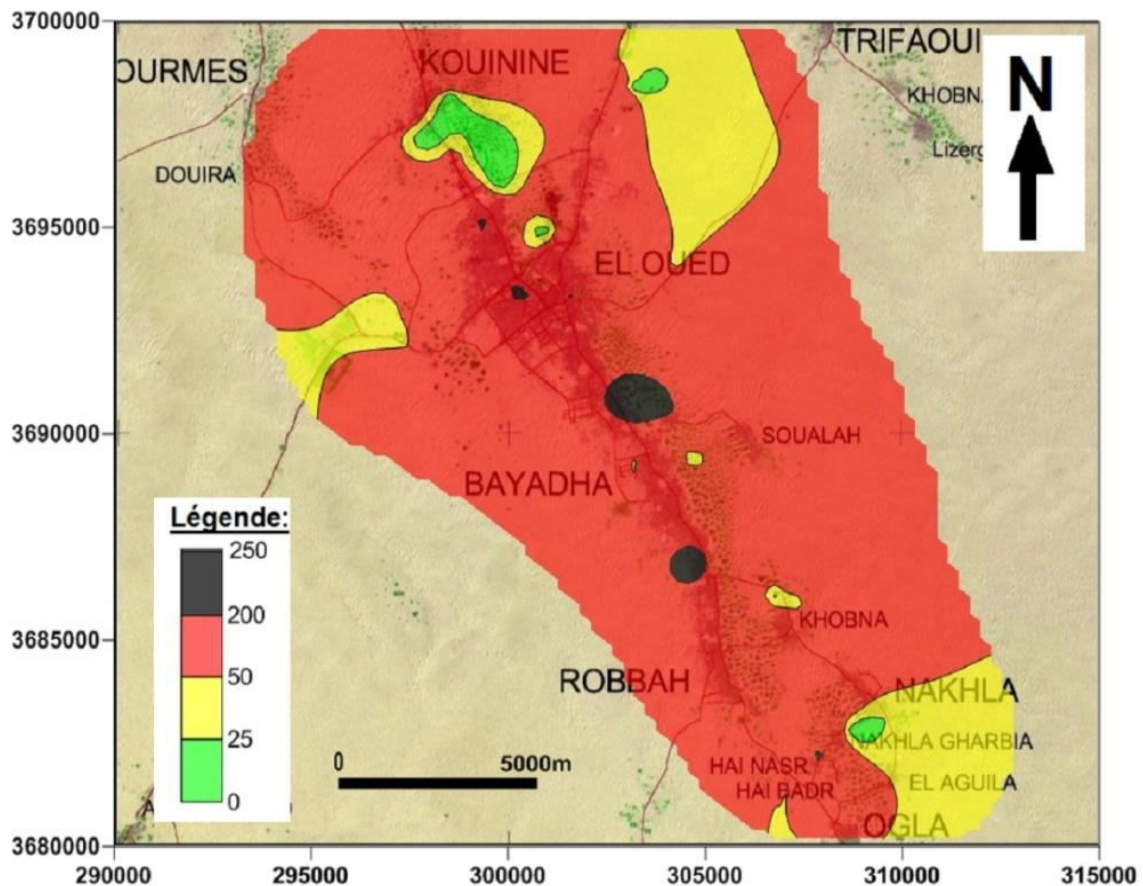


Figure 38: Carte des taux de nitrates dans la nappe libre en mai 2012.

5.4.4. Le taux de nitrates de mars 2015.

Nous avons effectué trois campagnes de prélèvement et de mesures hydrochimiques dans les puits et les forages de la nappe libre en mars 2015. Les puits échantillonnés appartiennent au réseau de drainage vertical de la ville d'El Oued. Les échantillons prélevés ont été analysés au niveau de laboratoire de radio-analyses et environnement de l'école nationale d'ingénieurs de Sfax (Tunisie). Les données de la qualité bactériologique des eaux sont recueillies à partir de l'ADE d'El-Oued.

La concentration rencontrée s'étale entre 0 mg/l (E₁₇, E₃₉ et E₅₈) et 62 mg/l (D₀₃) (Fig.39). A l'exception de 1 puits, tous les autres puits mesurés présentent des concentrations en nitrates ne dépassant pas la norme algérienne de l'eau potable.

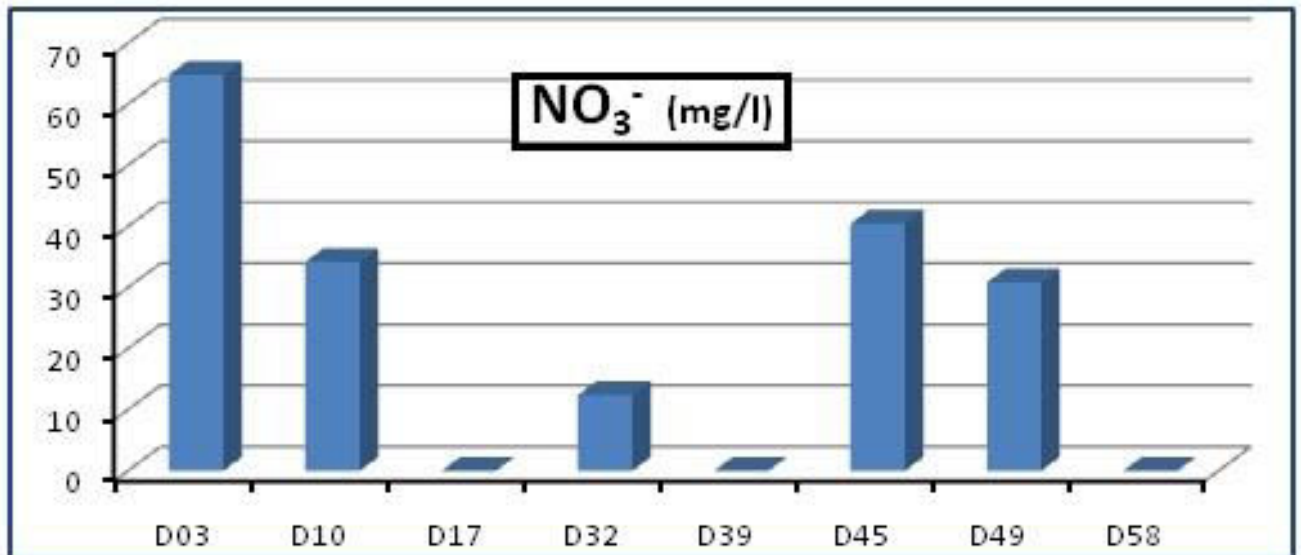


Figure 39 : Histogramme de variation des nitrates dans la nappe libre (2015).

6. CONCLUSION

Les eaux de l'aquifère libre sont non potable et de qualité médiocre à mauvaises pour l'irrigation, elles sont fortement minéralisées, très dures et présentent des teneurs en fluor, en nitrates et en métaux lourds (Pb) dépassant les normes algériennes pour l'eau potable. En plus la majorité des forages analysés, sont contaminés par les germes microbiens pathogènes. L'évaluation de l'aptitude des eaux épurées à l'irrigation montre que les eaux traitées sont non convenable à l'irrigation des terres agricoles en référence aux normes internationale des eaux d'irrigation de la FAO et à la norme de l'OMS. La minéralisation des eaux de la nappe libre est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier), au mélange avec les eaux des nappes profondes (CT et CI) et des apports anthropiques (pollution). On note aussi la forte évaporation qui a conduit également à la minéralisation excessive des eaux jusqu'à la saturation pour les minéraux carbonatés, le gypse et l'anhydrite.

Le taux de nitrates dans la nappe libre est dans la plupart des cas supérieur aux normes recommandés par l'OMS. Les valeurs élevées se localisent dans les zones urbaines et les zones agricoles irriguées à partir des puits dans la nappe libre. Les valeurs faibles se localisent dans les Ghouts inondés recouverts de roseaux, les régions isolées et le rejet de la ville d'El Oued.

CONCLUSION GENERALE

La zone d'étude se trouve à la wilaya El-Oued, elle occupe une superficie de 5000Km², elle regroupe le centre urbain le plus importante d'El-Oued qui s'étendue de l'Ogla au sud à Kouinine au nord, avec des zones agricoles sur les bords l'est et l'ouest des centres urbains. Le climat de la région est saharien où la période sèche est étendue pendant toute les deux mois de l'année, le mois de janvier est le plus arrosé avec 16,53 mm et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0,48mm. La température moyenne mensuelle est maximale au mois de Juillet et Aout avec une valeur d'ordre de 32,35 °C et minimale au mois de Janvier avec une valeur d'ordre de 10,27 °C. Le bilan hydrique d'El-Oued suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire à cause de faible précipitation et très forte évaporation. La géologie d'el-oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. Leur description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau. Elle est représentée par des terrains allant du crétacé au quaternaire.

La zone d'étude fait partie au système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est constitué de trois aquifères, un aquifère libre, et deux aquifères captifs; (le Complexe Terminal (CT) et le Continentale Intercalaire (CI)). l'aquifère libre d'El Oued est constitué de sables, de grés à ciment gypseux friable et des argiles sableuses. Le substratum est argileux, sa profondeur oscille entre 40m et 70m. Les limites latérales de l'aquifère libre, n'ont pas été atteintes étant donné que cette dernière s'étend au-delà de la zone d'étude.

L'examen des cartes piézométriques, montre que l'écoulement de la nappe se fait en général de sud-ouest vers nord-est. Les centres urbains et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes de CT et CI, présentent sur la carte comme des dômes piézométriques, à cause d'une alimentation forte de la nappe par les eaux d'infiltrations, on ajoute aussi les zones de dépressions et la zone de rejet d'El-Oued. Par contre les zones irriguées à partir des puits dans la nappe libre, apparaissent sur la carte piézométrique comme des zones de dépressions piézométriques.

Les eaux de l'aquifère libre sont non potable et de qualité médiocre à mauvaises pour l'irrigation, elles sont fortement minéralisées, très dures et présentent des teneurs en fluor, en nitrates et en métaux lourds (Pb) dépassant les normes algériennes pour l'eau potable. En plus la majorité des forages analysés, sont contaminés par les germes microbiens pathogènes. L'évaluation de l'aptitude des eaux épurées à l'irrigation montre que les eaux traitées sont non convenable à l'irrigation des terres agricoles en référence aux normes internationale des eaux

d'irrigation de la FAO et à la norme de l'OMS. La minéralisation des eaux de la nappe libre est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier), au mélange avec les eaux des nappes profondes (CT et CI) et des apports anthropiques (pollution). On note aussi la forte évaporation qui a conduit également à la minéralisation excessive des eaux jusqu'à la saturation pour les minéraux carbonatés, le gypse et l'anhydrite.

Le taux de nitrates dans la nappe libre est dans la plupart des cas supérieur aux normes recommandés par l'OMS. Les valeurs élevées se localisent dans les zones urbaines et les zones agricoles irriguées à partir des puits dans la nappe libre. Les valeurs faibles se localisent dans les Ghouts inondés recouverts de roseaux, les régions isolées et le rejet de la ville d'El Oued.

BIBLIOGRAPHIE

Achour, S. 1990. La qualité des eaux du Sahara Septentrional en Algérie. Etude de l'excès en fluor. Tribune de l'eau, Cebedeau, 42 (542), 53-57.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). 1993. Etude hydrogéologique de la région d'El-Oued: contribution au problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique. RepTech. ANRH, Ouargla, 47 pp.

ANRH .1999. Inventaire de forages et enquête sur les débits extraits de la wilaya d'El Oued. Agence nationale des ressources hydrauliques, Direction régionale Sud-est, Ouargla.

Bel. F., et Demargne F. 1966 : Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches, 22p.

BG (Bureau d'étude Bonard et Gardel). 2002. Vallée du Souf : Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II. (2002). 111p.

BG (Bureau d'étude Bonnard et Gardel). 2003. Rapport sur les essais de pompages dans la nappe phréatique du souf. 96p

BG (Bureau d'étude Bonnard et Gardel). 2004. Vallée du Souf. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation - Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe Phréatique.

Bouchahm. N., Achour.S. 2008. Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique. La houille blanche, N° 02, pp76-82.

Bouselsal, B. 2016. Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère libre d'El Oued souf (SE Algérie). Th. Doctorat, Univ. d'Annaba, 204 p.

BUSSON, G. 1967. Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.

Busson, G. 1970 : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

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

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

Cote, M. 1993. Une région saharienne malade de trop d'eau. Le Souf. Rapport, 17p.

Cote, M. 2001. Souf 2001 : l'Agriculture peut-elle résoudre le problème de la remontée de la nappe ? BG. Lausanne

Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S. et Goldscheider. 2002. Main concepts of the "European approach" to karst-groundwater-vulnerability assessment and mapping. Hydrogeology Journal 10, 340-345.

Debieche, Taha-Hocine. 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien. Thèse doc. Univ Franche-Comté (France). 235p.

Derradji, F., Kherici, N., Romeo, M. et Caruba, R. 2004. Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). Sécheresse 2004 ; 15 (4) : 353-60.

Djidel, M. 2008. Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Th. Doctorat, Univ. d'Annaba, 208 p.

Emberger, L. 1955. Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot. Montpellier, 7, 3-43.

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

Fehdi Chemseddine, Boudoukha Abderrahmane, Rouabhia Abdelkader et Salameh Elias.2009. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien). Afrique SCIENCE 05(2) (2009) 217 – 231.

Khechana, S. 2014. Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyperaride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien). Th. Doctorat, Univ.de Annaba, 148 p.

Nezli Imed Eddine. 2009. Approche hydrogéochimique a l'étude des aquifères de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla). th. Doctorat, univ.de Biskra, 143 p.

OMS. 2002. "Fluoride in drinking water." Environmental health information section, WHO Headquarters Office in Geneva, 20 Avenue Appia, 12 11 Geneva 27, Switzerland.

OSS (Observatoire Sahara et Sahel). 2003. Système aquifère du Sahara septentrional: gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.

Piper, A.M. 1994. Graphical interpretation of water analysis, Transactions of the American Geophysical Union. 25:914 -928.

B. REMINI, B. 2006. La disparition des ghouts dans la région D'EL OUED (Algerie). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, Juin 2006, pp.49-62.

Richard L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural handbook 60. Washington, DC: USDA, 160p.

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

WCCR (Water Contamination Control Regulations), 1991. Official Paper. Ankara, No. 19919.

Wilcox, L.V. 1948. "The quality of water for irrigation use". Technical Bulletin 962. Washington, U.S. Department of Agriculture, 40p.

World Health Organisation (WHO). 2006. Guidelines for Drinking-water Quality. Recommendations, 3rd edition, vol. 1. WHO, ISBN 92 4 154696 4, 595 pp.

Yahia, Alwathaf. and al. 2011. Assessment of Aquifer Vulnerability Based on GIS and ARCGIS Methods: A Case Study of the Sana'a Basin (Yemen). Journal of Water Resource and Protection, 2011, 3, 845-855.

ZINE, Brahim. 2009. La remontée des eaux souterraines en surface: mécanisme et l'impact sur l'environnement (Cas de Oued Souf). Mémoire magistère en hydraulique. Univ Batna. 145p.