

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE GHARDAÏA

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *hydraulique*

Spécialité : *hydraulique urbaine*

**Par :BENSLIMANE LAID
:LIMANE ABD-ELDHALIL**

Thème

**Influence De La Fluctuation De La Nappe Complexe
Terminal Sur La Remonté De La Nappe Phréatique Et Sa
Qualité Chimique (Cas De Amont D'Oued Righ)**

Soutenu publiquement le :19/06/2018

Devant le jury :

M^f :KATEB SAMIR	Maitre De Conférences A	Univ. Ouargla.	Président
M^f :MECHERI BACHIR	Maitre Assistance A	Univ. Ghardaïa	Examineur
M^f :AZZOUZ FATIMA ZAHRA	Maitre Assistance A	Univ. Ghardaïa	Examinatrice
M^f :RACHID ZAGAIT	Maitre Assistance A	Univ. Djelfa	Encadreur

Année universitaire 2017/2018

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER II

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : hydraulique

Spécialité : hydraulique urbain

Par :BENSLIMANE LAID

Thème

**Influence De La Fluctuation De La Nappe Complexe
Terminal Sur La Remonté De La Nappe Phréatique Et Sa
Qualité Chimique (Cas De Amont D'Oued Righ)**

Soutenu publiquement le :19./06/2018

Devant le jury :

KATEB Samir	.....	Univ. Ouargla.	Président
MECHRI Bachir	.....	Univ. Ghardaïa	Examineur
AZZOUZ Fatima Zahra	.....	Univ. Ghardaïa	Examinatrice
RACHID ZAGAIT	.....	Univ. Djelfa	Encadreur

Année universitaire 2017/2018

Algérienne Démocratique et Populaire



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *hydraulique*

Spécialité : *hydraulique urbain*

**Par :BENSLIMANE LAID
:LIMANE ABD-ELDHALIL**

Thème

**Contribution à l'étude de fluctuation De La Nappe
phréatique En Amont D' Oued Righ
(Région De TOUGGOURT)**

Soutenu publiquement le :...../06/2018

Devant le jury :

.....	.....	Univ. Ghardaïa	Président
.....	.....	Univ. Ghardaïa	Examineur
.....	.....	Univ. Ghardaïa	Examinatrice
Rachid Zagait	.....	Univ. Djelfa	Encadreur

Année universitaire 2017/2018

Remerciement

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de préparation de mémoire de fin d'étude. Tout d'abord je remercie vivement dieu de m'avoir donnée la force et le courage pour accomplir ce travail. Ma première pensée va tout naturellement à **RACHID ZAGAIT** d'avoir acceptée de m'encadrer.

Je la remercie pour la confiance qu'elle m'a témoignée en me confiant ce travail, malgré les contraintes et les conditions de l'expérimental connues à l'avance et qui n'étaient pas du tout facile a surmonté. merci pour son encouragement sa générosité, son soutien dans les moments difficile durant mes expérimentations ce qui m'a donné le courage pour poursuivre la réalisation de ce thème. Mes remerciements vont aussi à **Mr.Hicham Boutalli** pour sa contribution à l'élaboration de ce travail. Je présente mes remerciements aux membres de Jerry de bien vouloir accepter d'évaluer notre travail.

Je dois présenter mes remerciements les plus vifs à Mer **Diab Ismail avec Youcef Sayeh Lembarek chef du centre (A. N.R.H) TOUGGOURT**. J'adresse mes remerciements à **le doctor Brakbia Mouhamed** responsable de l'**hydraulique à I.N.R.A (TOUGGOURT)** pour m'avoir aidé à réaliser ma partie expérimentale au niveau de son laboratoire, je le remercie aussi pour sa gentillesse et ses conseils je remercie. Aussi tous les enseignants de notre département d'hydraulique.

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, sans oublier mes collègues de promotion 2018.

Enfin je tiens à remercier toutes personnes qui m'ont aidée et encouragée pour Compléter mon travail.

Tableau Des Matières

TABLEAU DE MATIERE	I
LISTE DES PHOTOS	II
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
REMERCIEMENT	01
INTRODUCTION GENERAL	02
N°	Titer
	Page
I : Cadre général	
I-1 Situation géographique et administrative de la region d'étude	04
I-2 Géomorphologie et Topographie	06
I-3 Climat et Végétation	07
I-4 Activités économiques	07
I-5 Besoin /Ressources en eau	08
I-6 Conclusion	11
II : L'hydrogéologie:	
II -1- Introduction	12
II -2 Hydrogéologie régionale	12
II -2-1 Le Continentale Intercalaire	13
A\ Limites et morphologie du continental intercalaire	13
B\Toit du réservoir	14
C\Alimentation	14
D\Les exutoires	15
E\Epaisseur du réservoir	15
II -2-2-Le Complexe Terminal .	16
II -2-3 La nappe phréatique	18
II -3 L'hydrogéologie locale (de l'Oued Righ)	20
II -3-1 La nappe phréatique	21
II -3-2 Les nappes du complexe terminal	21
A\La premières nappe des sables CT1	22
B\La deuxième nappe CT2	22
C\La nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT3	22
II -3-3 Nappe du Continental Intercalaire	23
II -4 Caractéristiques essentielles des nappes	23
II -7 Conclusion	25
III: L'hydro-climatologie	
III -1 Introduction	27
III -2 Représentation des stations utilisées	28

III -3 Analyse des paramètres climatiques	29
III -1 Précipitations	29
A\ Précipitation mensuelle	29
B\Précipitation interannuelle	30
III -3-2 L'humidité	31
III -3-3 Vitesse des vents	33
III -3-4 La durée d'insolation	34
III -3-5 Température	35
A\La température moyenne mensuelle	35
B\La température moyenne interannuelle	36
C\Relation température –précipitation	36
D\Indice de continentalité thermique	38
III -3-6 L'évaporation	38
III -3-7 :L'évapotranspiration	38
A\L'évapotranspiration réelle ETR	39
A-1 Formule de TURC	39
A-2 Formule de COUTAGNE	39
A-3 Formule de THORNTHWAITE	40
B\L'évaporation potentielle (ETP)	40
B-1 Formule de SERRA	41
B-2 Formule de THORNTHWAITE	42
C\Synthèse de l'évapotranspiration	42
III -4 Conclusion	43
IV: Technique Du Contrôle De La Nappe (Piézométrie)	
IV -1– Rappels sur les eaux souterraines	44
1-1-Aquifère	44
1-2-Nappe	44
1-3-Piézométrie	44
IV -2-La Piézométrie	45
IV -2-1 -Intérêt de la piézométrie	45
IV -2– 2– La Surface Piézométrique	46
IV -3– 1 – Comment observer la nappe : les sources.	47
IV -3– 2 – Comment observer la nappe : les puits	48
IV – 3– 3 – Comment observer la nappe : les piézomètres	49
IV – 4 –Choix Des Points De Mesure	50
IV – 4– 1– Mesures ponctuelles	50
IV – 4– 2–Mesures en réseau de piézomètres (réseau piézométrique)	50
IV – 5 – Comment Mesurer	51
IV – 5 –1– Sonde Manuelle	51

IV -5-2- Système Automatique	52
IV - 5 -3- Avantages et Inconvénients des systèmes automatiques	
5- -3- 1- Avantages	54
5- -3- 2- Inconvénients	54
IV - 5- Conclusion	55
V : La Partie Pratique (Etude Comparative des Carte Piézométrique):	
V -1- Introduction	56
V -2- Caractéristiques essentielles des nappes	56
V-3 La Piézométrie	58
V-3-1-Les Mesure De Carte Piézométrie	59
A/ détermination de la côte Z de chaque point.	59
B/Mesure de niveau statique	59
C/ mesure de niveau piézométrique	61
E/ La Comparaisant entre les deux niveau Piézométrique d'année (2015-2018)	62
D/Détermination du gradient hydraulique	65
V-4 Des problèmes actuels	65
A\ La remontée des eaux	66
A-1 : Les causes de ce problèmes du remonté des eaux	67
- La mauvaise gestion des eaux	67
- Plus de rejet et moins de prélèvement	67
- Structure de substratum	68
B/ La chute de l'artesianisme	68
V-5 Conclusion	69
VI: hydro-chimique	
VI-1 Introduction	70
VI -2- discussions le résultat des paramètres physico-chimiques	70
VI -2-1-Paramètres physiques .	70
1.Température.	70
2. le pH .	70
3.La conductivité électrique	71
VI -2-2-Paramètres chimiques	71
1-Résidu sec	71
2-Relation résidu sec-conductivité	72
3- La dureté	72
VI -2-3- Les différents éléments chimiques	73
- Le calcium Ca ⁺⁺	73
- Le magnésium mg ⁺⁺	73
- Le sodium et le potassium (Na ⁺ , K ⁺)	73
- Les chlorures cl ⁻	74

- Les sulfates (SO_4^{2-})	74
- Les bicarbonates HCO_3^-	74
VI- 3-L'histogramme de concentration des différents éléments	75
VI -4- Représentation graphique des données	76
VI -4-1-Aptitude des eaux à l'irrigation	76
VI -4-1-1-Diagramme de REVERSIDE	76
VI -4-1-2-Diagramme de WILCOX	77
VI -4-2-Classification des eaux naturelles	78
VI -4-2-1-Classification de STABLER	79
VI -4-2-2- Classification de PIPER	79
VI -4-2-3-vulnérabilité à la pollution	82
VI -5- Impacte de la nappe phréatique sur les autres nappes	82
VI-6- Conclusion	83
Conclusion générale	84
Recommandations	85
Références Bibliographies	86
Annexe	87
Résumé	88

Liste Des Figures

Titre	Page
I : Cadre général	
Fig I - 01 : Situation géographique de la région de l'Oued Righ para port l'Algérie	04
Fig I - 02 : Carte de situation géographique de la vallée de l'Oued Righ.	05
Fig I - 03 : Vue par satellite de la région d'étude	05
Fig I - 04 : Carte de découpage administratif du l'Oued Righ Sud.	06
Fig I - 06 : Schéma représentatif des différentes localités de l'Oued Righ.	10
II : L'hydrogéologie:	
Fig II -.07 : Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe terminal), extrait de recueil des communications1, 2002.	12
Fig. II -.08 : coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.	13
Fig II -.09: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972)	19
Fig II -. 10: Le bassin de l'Oued Righ et ses limites (ARNH Ouargla).	20
Fig. II -. 11 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued Righ	23
III : L'hydroclimatologie:	
Fig III -12 : Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98(Internet)	27
Fig III - 13: Carte de situation des stations de mesure (ANRH Ouargla)	28
Fig III -14 : graphique de Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2015)	29
Fig III -15 : graphique variation mensuelle de l'humidité relative moyenne à la station de Touggourt (1975-2015)	30
Fig III -16 : graphique variation de vitesses de vent mensuelle interannuelles à la station de Touggourt (1975-2015)	33
Fig III -17 : graphique variation des température moyenne interannuelles de la période (1975-2015) à la station de Touggourt.	35
Fig III -18 : Diagramme ombro-thermique	37
IV: Technique Du Contrôle De La Nappe (Piézométrie)	
Fig IV -19: La nappe phréatique et les eaux souterraines.	44
Fig.IV -20 : coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique.	45
Fig. IV -21 : Système De Référence Régionale	46
Fig. IV -22 : coupe hydrogéologique transversale de la surface piézométrique .	47

Fig. IV -23 : coupe de la surface piézométrique .	47
Fig. IV -24 : coupe hydrogéologique transversale des puits d'eau .	48
Fig. IV -25 : coupe Transversale De Puits Piézométrique .	49
V : Partie Pratique (Etude Comparatif des Cartes Piézométrique)	
Fig V -26 : Carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal de l'année 2015 Touggourt amont (Oued Righ).	63
Fig V -27 : Carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal de la année 2018	64
VI: L'hydrochimie :	
Fig VI - 28 : Relation résidu sec –conductivité de la nappe phréatique	73
Fig VI - 29 : Concentration moyenne des différents éléments chimiques majeurs dessous (nappe phréatique).	75
Fig VI - 32: Schéma représentant la communication entre les différentes nappes (ANRH)	83

Liste des photos

Titre	Page
I : Cadre général	
Photo (I. 01) : lac du Temacine	08
IV :Technique Du Contrôle De La Nappe (Piézométrie)	
Photo (IV .02) : Machine De Forage Piézométrique	50
Photo (IV .03) : pointe Piézométrique .	51
Photo (IV .04) : La Sonde Manuelle	52
Photo (IV .05) : Photo Des appareils de La système automatique	52
V : La Partie Pratique (Comparaissant Entre deux Carte Piézométriques):	
Photo (V .06) : sonde sonore lumineuse(Manuelle)	59
Photo (V .07) : piézomètre Zaouia Elabidia	60
Photo (V .09) : piézomètre Beldatomer	60
Photo (V .11) : piézomètre Temacine	60
Photo (V .13) : La remontée des eaux de la nappe phréatique (Merjaja) Touggourt	66
Photo (V .14): La remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Tatawine)	66

Liste des Tableaux

Titre	Page
I : Cadre général	
Tab (I .01): Récapitulatif des besoins et ressources en eau	08
Tab (I .02): Population Débit AEP et débit d'irrigation des différente localités.....	09
II : L'hydrogéologie:	
Tab .(II .03) : Données générales sur la nappe du continentale intercalaire	16
Tab.(II .04) : Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)	18
III : L'hydroclimatologie:	
Tab (III .05) : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2005	29
Tab (III .06) : Précipitations annuelles à Touggourt- <i>source (ONM, ANRH</i>	30
Tab (III .07) : Humidité moyenne mensuelle. – <i>source (ONM, ANRH)</i>	31
Tab (III .08) Humidité annuelle à Touggourt. – <i>source (ONM, ANRH)</i>	32
Tab (III .09) : Vitesse des vents moyenne mensuelle.	33
Tab (III .10) : La durée d'insolation mensuelle interannuelle	34
Tab (III .11) La température moyenne mensuelle	35
Tab (III .12) : Evaporation moyenne mensuelle (1975-2005).	36
Tab (III.13) : Calcul de ETR d'après THORNTHWAITE.	40
Tab.(III.14) L'ETP moyenne mensuelle, calculée par la formule de SERRA	41
Tab .(III .15) : Calcul de l'ETP d'après Thornthwaite.	42
V : Partie Pratique (Etude Comparatif des Cartes Piézométrique)	
Tab (V .17) : les Coordonnées géographiques et les Valeur du côte Z de chaque piézomètre .	59
Tab (V .18): les Valeur du niveau statique de piézomètre (2015-2018) .	61
Tab (V .19): les Valeur du niveau piézométrique de chaque piézomètre .	61
Tab (V .19'): les Valeur du niveau piézométrique de chaque piézomètre en (2015-2018)	62
Tab (V .20): Valeur de gradient hydraulique.	65
VI: L'hydrochimie	
Tab (VI .21) Les valeurs de PH de la nappe phréatique dans la région de Oued Righ sud Potabilité en fonction de la dureté	68
Tab (VI .22) potabilité en fonction de la dureté	72
Tab (VI .23) Classification de STABLER des eaux de la nappe phréatique	88
Tab (VI .24) Classification de la nappe phréatiques	89

Introduction générale

Les systèmes aquifères du Sahara Séptentrionale occupent une superficie de plus d'un million km^2 .

Ces systèmes sont partagés par l'Algérie, la Tunisie et la Libye.

Dans notre pays, ils sont représentés par la succession de deux grands ensembles :

1-La nappe de « Continentale Intercalaire »**CI**, très profonde dans le bassin Nord oriental et contenant des eaux chaudes $\leq 60^\circ$ et souvent très minéralisées [**1200-2200 m**] ^[3].

2-Les nappes du « Complexe Terminal »**CT**, moins profondes [**100-500m**] variablement chargées. ^[3]

➤ La nappe phréatique surmonte les deux nappes [**0-80m**] superficielle, elle se présente sous forme de petits lacs dans certaines régions, affleure presque dans toute la vallée.

Ces nappes se renouvèlent très peu, l'exploitation par puits en foggaras a permis le développement d'oasis ou' les modes de vie séculaires restent depuis longtemps en parfaite symbiose avec l'écosystème saharien.

➤ Au cours des trente dernières années, l'exploitation par forage a sévèrement entamée cette réserve souterraine, car les prélèvements sont passés de [**0,6 à 2,5 milliards de m^3 /an**] (**Sass 2002**), il en résulte l'abaissement progressif du niveau piézométrique dans les deux grandes nappes. En conséquence **l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH)** a cessée de donner les autorisations à forer. ^[2]

Cette étude est basée sur le comportement chimique et hydrodynamique des eaux de la nappe phréatique, en vue de leur utilisation pour l'irrigation, elle s'appui sur les documents existants et un complément de travail personnel.

Le but de ce mémoire est de présenter l'hydrochimie et l'hydrodynamique de cette nappe aquifère pour résoudre certains problèmes locaux.

Cette étude s'articule sur les chapitres suivants :

❖ **Cadre général** :

Expose les activités économiques de la région, l'aspect agricole, les besoins en eau.

❖ **L'hydrogéologie :**

Définit les différents complexes aquifères existants dans la région.

Décrit la colonne stratigraphique locale et les formations susceptibles d'être aquifères. ^[3]

❖ **Hydroclimatologie :**

Nous nous sommes basés sur des données climatologiques de la période (1975-2015). ^[2]

❖ **Technique Du Contrôle De La Nappe (Piézométrie) :**

Définit les différents matériels utilisés, et la définition de piézomètre .

❖ **Partie Pratique (Etude Comparatif des Cartes Piézométrique):**

Définit les particularités hydrodynamiques comme: ^[3]

- Les directions d'écoulement de la nappe, son exutoire...etc.
- Les caractéristiques hydrodynamiques.

❖ **L'hydrochimie :**

Basée sur les analyses obtenues par les prélèvements sur le terrain **avril 2005** et les données précédentes. ^[2]

En fin vue son importance sur les écoulements et la qualité des eaux de la nappe phréatique,

❖ **Conclusion générale.**

❖ **Recommandation.**

I-1. Situation géographique et administrative de la région d'étude :

Notre région se situe au Sud-Est du pays, plus précisément au Nord-Est du Sahara sur la limite Nord du Grand Erg Oriental, et la bordure Sud du massif des Aurès, la partie sud de la vallée de l'Oued Righ (étudiée ici) commence au Sud par le village de **Goug** (Touggourt) et se termine sur une distance de **60 km** par la commune de **Sidi Slimane** et la partie nord de la valle **90km** plus au Nord par le village d'Oum-Thiours [**100 km** de la wilaya de Biskra]. [2]

Elle s'étend sur un axe Sud- Nord entre les altitudes Nord **32°54'**et **34°9'**, et longitudes **Est 5°30'** et **6°20'**

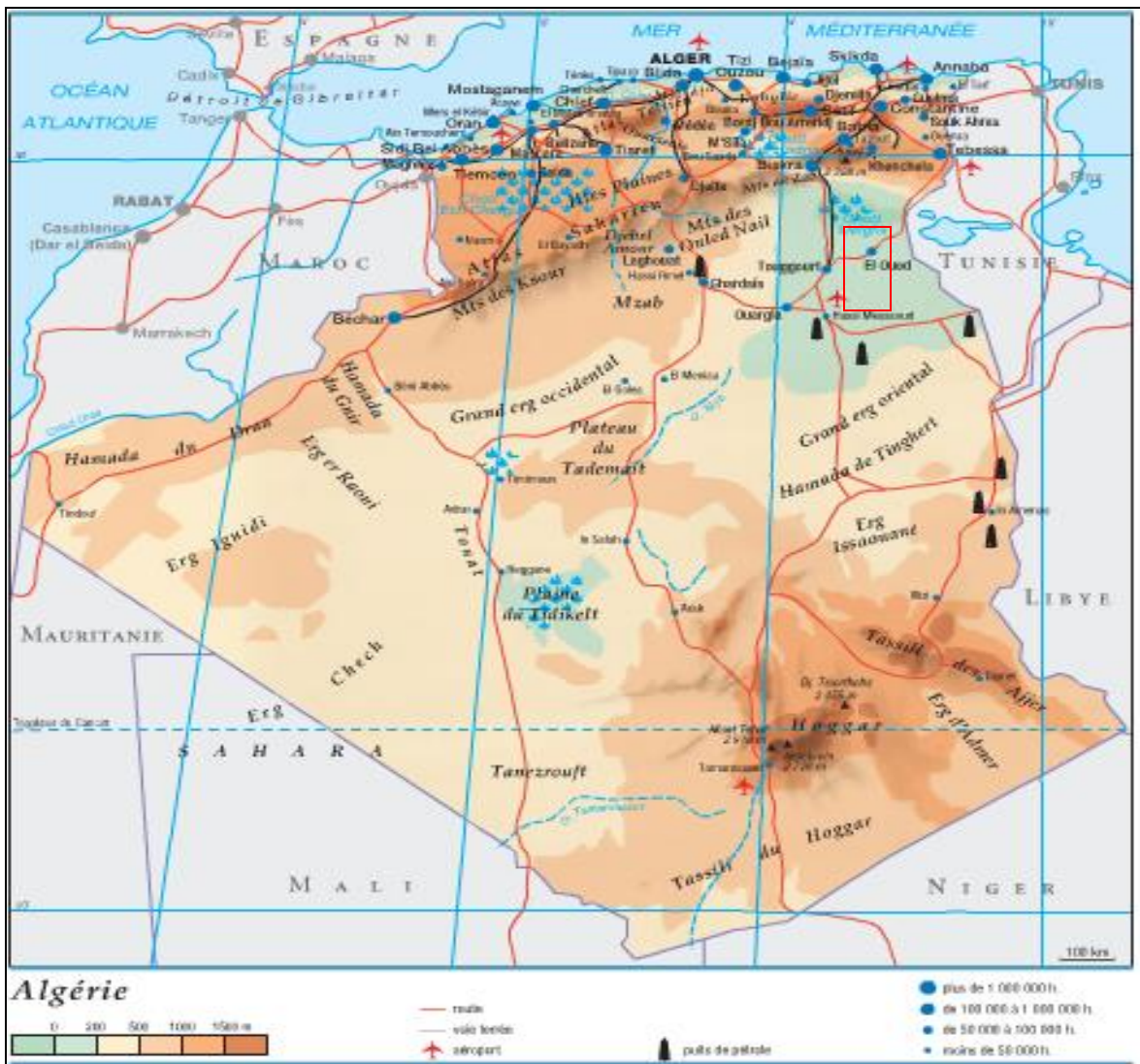


Figure (I.01) : Situation géographique de la région de l'Oued Righ para port l'Algérie
(Internet :www.rove.com)

Géographiquement, elle est encadrée par les Zibans entre Biskra et Tolga ; au Nord, au Sud-Ouest : les oasis de Ouargla, à l'Est la vallée de l'Oued Souf.

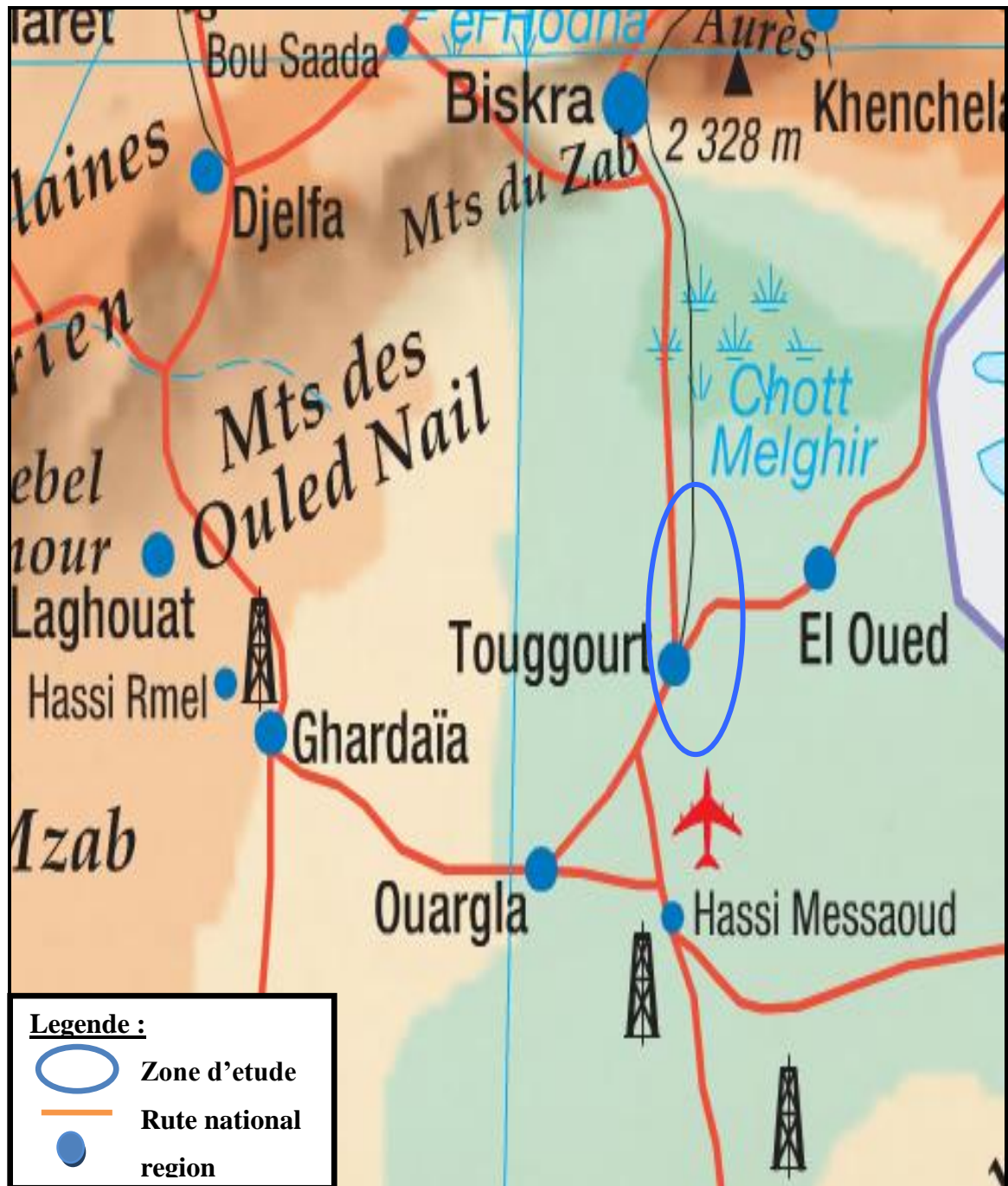


Figure (I. 02) : Image de situation géographique de la vallée de l'Oued Righ.

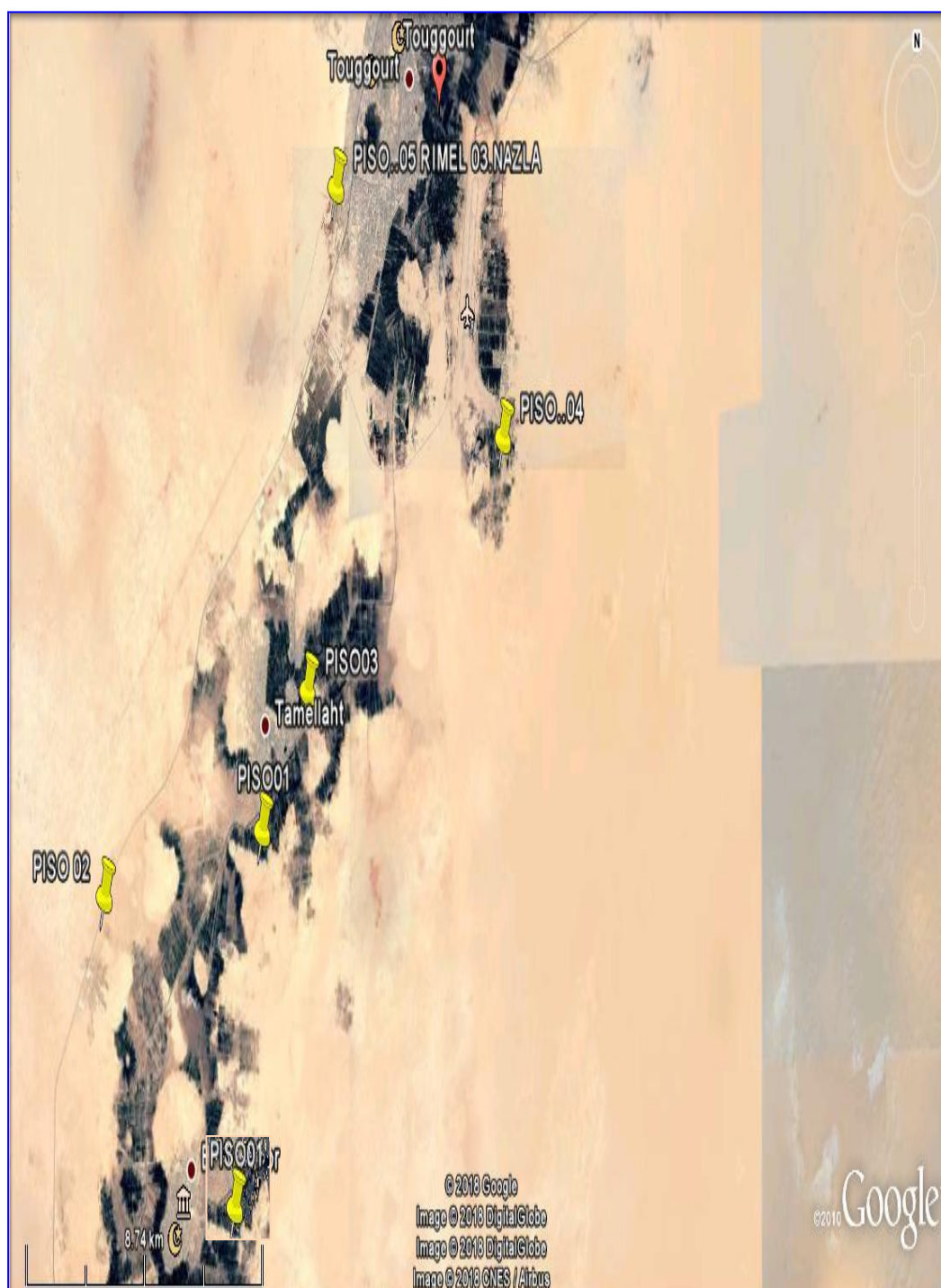


Figure (I .03) : Vue par satellite de la région d'étude

Du point de vue administratif, elle fait partie de deux wilaya [Ouargla- ElOued] passant par six daïras, du Sud vers le Nord : Témacine, Touggourt, Sidi Slimane, Mégarine appartiennent à Ouargla, Djamaa, El Meghaier à la wilaya d'ElOued.

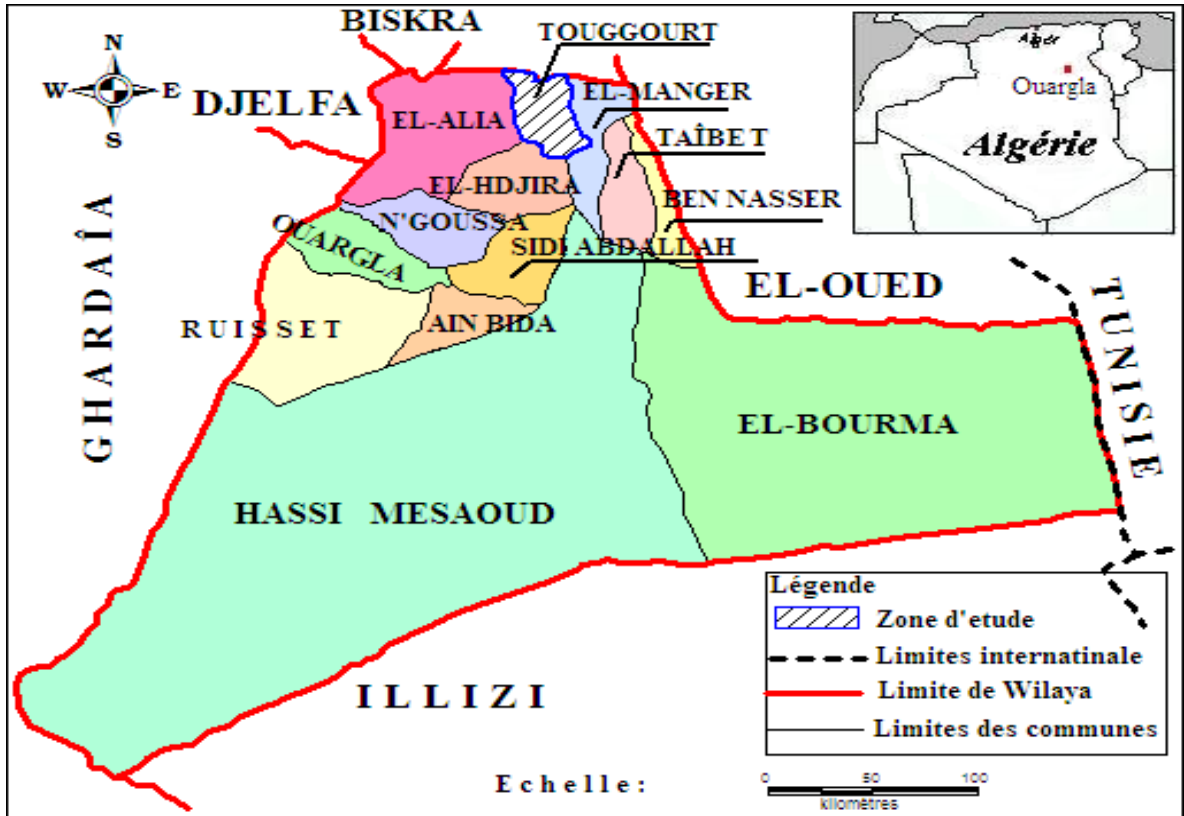


Figure (I .04) : Carte de découpage administratif du l'Oued Righ Sud.

I-2 Géomorphologie et Topographie :

Cette région a une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui s'étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions.

La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement de **90m** à Goug, atteint la cote **0 m** à El Meghaier et **(-20m)** à Ourir, passant par la cote de **45 m** à Djamaa.

Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord ou' les altitudes sont inférieures au niveau de la mer.

I-3.Climat et Végétation :

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité ou la pluviométrie est aléatoire de l'ordre de **60 mm**, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation .La température est très élevée en été et une humidité faible.

La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région de l'Oued Righ, elle est développée et occupe entre **10% à 15 %** de la superficie de la région.

I-4. Activités économiques :

La vallée regroupait **50** oasis couvrant **15000** hectares en **1988 (I.N.R.AA) Institut National des Recherches Agricoles Algérien.**

Le domaine agricole qui était jadis la principale activité est un peu délaissé actuellement à cause du faible rendement des palmiers dû aux effets néfastes de la « salinisation » des eaux et des sols, des phénomènes de : la remontée de la nappe phréatique, le vieillissement des palmiers »...etc. de plus les sociétés pétrolières offrent des emplois plus rémunérés.

Les dernières statistiques (**1988**) montrent que l'agriculture n'occupe dans notre région d'étude qu'un faible main d'œuvre **38%**, étant donné le contexte climatique hyperaride,l'agriculture est très consommatrice d'eau.

Parmi les espèces cultivées; la variété de « Deglat Nour » prédomine, suivie par « Ghars », « Degla Bayda ».

On note aussi l'existence d'élevage et quelques espèces animales typiques (généralement Ovins et Caprins), les chèvres sont élevées pour leur lait et les brebis pour leur chair.

Dans le domaine de l'industrie, il existe plusieurs petites usines surtout des briqueteries implantées à proximité de la source de matière primaire ,ainsi que des complexes de transformations hydrocarbures ,[DTP],transformation des plastiques (département de transport et production) ; fabrique d'aluminium ,ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes.

Le tourisme existe aussi,de part l'existence de quelques repères touristiques comme les oasis, le lac de Temacine, les anciennes Medinas, les tombeaux des rois...etc. Et surtout la Zaouia Tidjania qui accueille de nombreux visiteurs chaque année



Photo (I. 01) : lac du Temacine

I-5 Besoin /Ressources en eau :

Les prélèvements d'eau dans cette région s'élèvent environ à **350** millions de m^3 /an, provenant essentiellement des deux complexes, celui du complexe terminal (CT) et celui du continentale intercalaire (CI).

Tab (I.01) : Récapitulatif des besoins et ressources en eau

COMPLEXES	CT	CT	CI	CT+CI
USAGE/	Irrigation	AEP	AEP	Total
Nombre de forage exploité	338	4	7	349
Nombre de forage non exploité	89	13	/	102
Nombre total de forage	427	17	7	451
Débit Q hec/m/an	210	02	30	243Hm3/An

(Source ANRH Ouargla 2015)

Tab (I.02) : Population Débit AEP et débit d'irrigation des différente localités

LOCALITES	POPULATIONS	DOTATION EN L	AEP L/S	IRRIGATION L/S
B.Amor	12345	150	50	1234.5
Temacine	15802	170	70	687.82
Nezla	42477	200	120	1590.44
Tougourt	37237	200	120	417
Tebesbest	30597	200	120	535.26
Zaouia labidia	16200	200	120	543.52
Megarine	11452	200	120	653.84
S/Slimane	7152	240	120	663
S/Amrane	9018	60	60	2655.43
Djamaa	34798	186.66	140	3462.1
Tindla	8049	220	30	986.71
S/khlil	5934	145	76	565.48
Meghaier	39432	111.66	120	2111.35
Oum Tiour	10500	125	30	742
Total	280993		1296	16848.45

(Source ANRH, Ouargla 2015)

Dans la région de l'Oued Righ, le débit extrait destiné à l'A E P est supérieur aux besoins .La dotation journalière mesurée est en moyenne de **(172,02 l/j/h)** qui dépasse les normes de l'**Organisation de la santé (OMS) [100-150 l/j/h]**, de même le débit extrait destiné à l'irrigation est supérieur aux besoins actuels. La dotation mesurée pour l'agriculture est en moyenne **1.12(L/S/Hec)**, elle dépasse les normes **1 (L/S/Hec)** pour les plantes mixtes et **0.7(L/S/Hec)** pour les palmiers.

I-6 Conclusion :

La région de TOUGGOURT montre des altitudes qui s'abaissent progressivement et régulièrement du Sud vers le Nord, d'où le rôle d'un collecteur de toute les eaux d'origine diverses et lointaines aboutissant à l'exutoire naturel

Elle couvre une superficie de **3186.78** km² et sa population est de **280993** habitants.

Cette région est caractérisée par un climat hyperaride marqué par des températures élevées, de faibles précipitations annuelles.

L'exploitation des différents systèmes aquifères fait dans notre région que le manque d'eau ne se pose pas. En revanche, les rejets d'eau domestiques et le surplus d'irrigation posent d'énormes problèmes.

En conséquence seule la nappe phréatique peut prétendre à une certaine réalimentation à la faveur des eaux.

II -1.Introduction :

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes.

L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- ◆ Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès, donc le régional de Biskra.
- ◆ Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :
 - Continentale Intercalaire. (C I)
 - Complexe Terminal.(C T)

Ces deux systèmes hydrauliques fond du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressource hydrique.

II -2.Hydrogéologie régionale :

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de **780000 km²**. On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques, constituant deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses ou évaporitiques de la base du Crétacé Sud. [2]

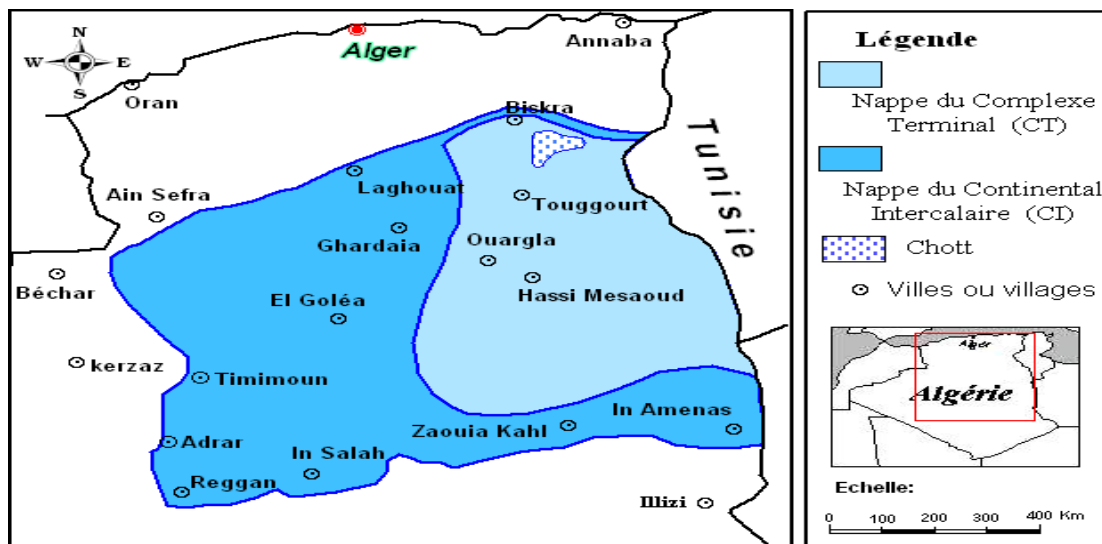


Fig (II .06) : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications.¹

¹ Journées d'étude sur : *L'eau de l'Albien et ces problèmes techniques actuels*, communication de la direction régional sud/ANRH/ Ouargla, 27 avril 2002.

II -2.1 .Le Continentale Intercalaire :

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'algerie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continentale Intercalaire couvre **600000 km²**. Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à **3.5x10⁹** milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d' «Albien ». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigner l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara entre deux cycles marins, c'est le plus puissant aquifère du Sahara (**250 -1000 m** épaisseur).^[2]

A\ Limites et morphologie du continental intercalaire :

Est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar Réggan et au Sud par l'axe Reggan- Ain Amenas ; à l'Est il se prolonge au delà des frontières Algéro-Libyenne et Algéro-Tunisienne. Il est partage par la dorsale du M'zab en deux bassins :

- Le bassin Occidental Oriental.
- Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara.

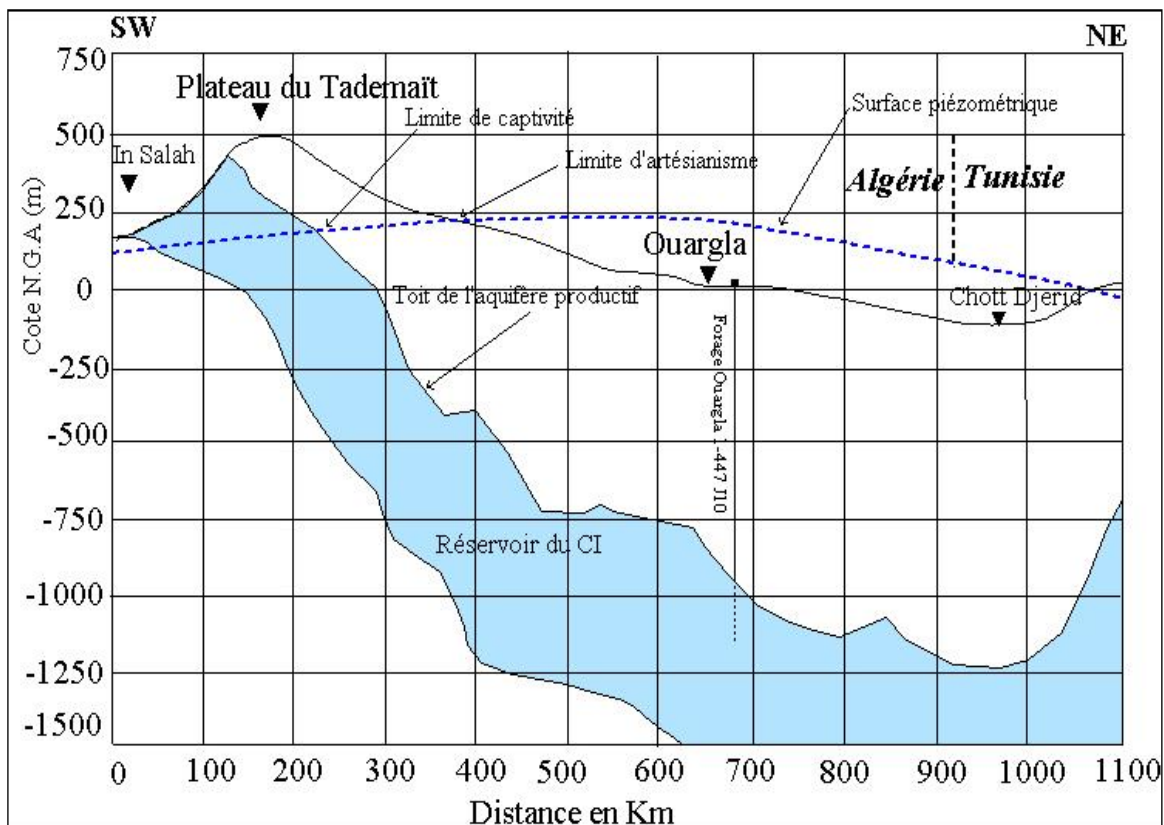


Fig (II .07) : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.

La transgression Cénomaniennne donne au Continentale Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure.

A la périphérique, le Continentale Intercalaire, se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

Au sens large, le Continentale Intercalaire recoupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien [la définition donnée par l'UNESCO dans « l'étude sur les ressources en eau du Sahara Septentrional »].^[2]

B\Toit du réservoir :

Le toit du **CI** débute presque toujours au toit du Albien +**2000m** par apport au sol, le mur de **CI** coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tadmaït et du Tinhert.

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara-Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras .à l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression de l'Oued Righ.

Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas Saharien.

C\Alimentation :

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. actuellement , elle reçoit une faible recharge , surtout à partir du piémont de l'Atlas Saharien ; la quantité d'eau qui tombe annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée en **2,5** milliards m^3 /an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés :

Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à **3.5×10^9** milliards m^3 , ce qui se signifie qu'il faudrait un débit continu de **$1000m^3$** /s pendant **1000 ans** pour le remplir.

D\Les exutoires :

Ils sont constitués par :

- **Les foggaras :** longues galeries drainantes, fonctionnant sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental).
- **Les puits artésiens** (bassin oriental).
- **Les sébkhas :** vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

E\Epaisseur du réservoir :

Son épaisseur utile est souvent déterminé à partir des diagraphies, cette épaisseur utile correspond à la sommation des horizons perméables gréseux et des couches calcaires dolomitiques de l'Aptien immergées au sein de cette série gréseux-sableuse.

Les plus fortes épaisseurs sont localisées de l'Est d'El Goléa ou elles sont comprises entre **750m** et **1000m**. La vallée de l'Oued Righ et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à **350 m**.^[2]

D'après, les caractéristiques du réservoir montrent que les niveaux argileux ne constituent jamais des horizons continus de grandes extensions qui permettraient la formation d'un système aquifère multicouche.

L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la patrie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie).

Le Continentale Intercalaire proprement dit nappe d'eau douce comprise dans les grès Albo-Barremiens.

Tab (II .03): Données générales sur la nappe du continentale intercalaire

Etendue	600 000 km^2
Epaisseur total (m)	50 à 100
Profondeur (m)	60 à 2400
Profondeur au toit (m)	20 à 2000
Epaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par apport au sol (m) (Menaia)	Artésien (25 bars)
Rabatement par apport au N.S (m)(toute la région)	Artésien
Transmissivité ($10^{-3} m^2 / s$)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement (10^{-4})	6 à 1200
Alimentation moyenne ($h.m^3 / an$)	270
Réserve théorique calculée (m^3)	50000×10^9
Température ($^{\circ}C$)	25 à 70
Salinité des eaux	0,5 à 6g/l

II -2.2.Le Complexe Terminal :

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le CI néanmoins, il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara Septentrional, sur environ **350.000 km^2** ; sa profondeur oscille entre **100** et plus de **500m** et son épaisseur, en moyenne de **220 m**.

Sont désignées sous le nom de Complexe Terminal (CT) les formations les plus récentes, déposées au Bas-Sahara. Il se compose de deux ensembles aquifères principaux d'âge et lithologie différentes, séparées par des formations semi-perméables ou imperméables ce sont :

⇒ Au sommet, des sables du Mio-Pliocène, couvrant en discordance pratiquement la totalité de l'Erg Oriental depuis la dorsale de M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar Tunisien à l'Est, l'épaisseur de l'aquifère des sable **50-100m** en moyenne, minimale dans la région de Hassi Messaoud **30m**, augmente vers le Sud **400 m**, et le Nord ou elle peut atteindre **600 m**.

- ⇒ Les formations carbonatées des Sénonien supérieur, s'étendent sur l'ensemble du Bassin Oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne de Djamaa – Tozeur.
- ⇒ Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne de réservoir carbonaté est de **100 à 200 m** augmentant vers le Nord, atteint **500 m** sous le chott Melghir et **600 m** dans la fosse Atlasique.
- Le complexe terminal d'après **l'ERESS (1972)** comprend les formations les plus récentes déposées au bas Sahara est limité à l'Ouest par la dorsale de M'zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par une ligne passant au Nord de l'axe In Saleh-Zarzaitine sous l'Erg oriental.
 - Le substratum du complexe aquifère est d'une manière générale, constitué par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est formée par les argiles plus au moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.
 - La couverture est constituée par des argiles plus au moins sableuses du sommet du Mio Pliocène et marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.
 - La nappe est en charge au Nord et libre dans sa partie Sud. sa porosité dépend de la lithologie, elle est estimée à **30%** dans les sables du Mio-Pliocène et à **20%** dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur.
 - Les études consultées montrent que l'écoulement se fait :
 - Du Sud vers le Nord (dans le bassin oriental), il converge des zones d'alimentations vers les chotts Merouane et Melghir ainsi que vers l'exutoire souterraine du Golg de Gabes.
 - Dans la partie de la Chébkha de direction Ouest est un vidage de la nappe vers la ligne de sébkhas de l'Oued Mya et chott Melghir.
 - Dans le bassin occidental, une partie importante de l'écoulement rejoint les séries sous-jacentes du **continental intercalaires** et contribué à l'infero-flux de l'oued Saoura.
 - L'alimentation de la nappe du complexe terminal se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellements apportées par les oueds qui descendent les reliefs des bordures. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre de grand erg oriental.

II -2.3. La nappe phréatique :

Elle est continue dans les niveaux sableux et argilo-évaporitiques du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par rapport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène.

Tab (II .04): Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)

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

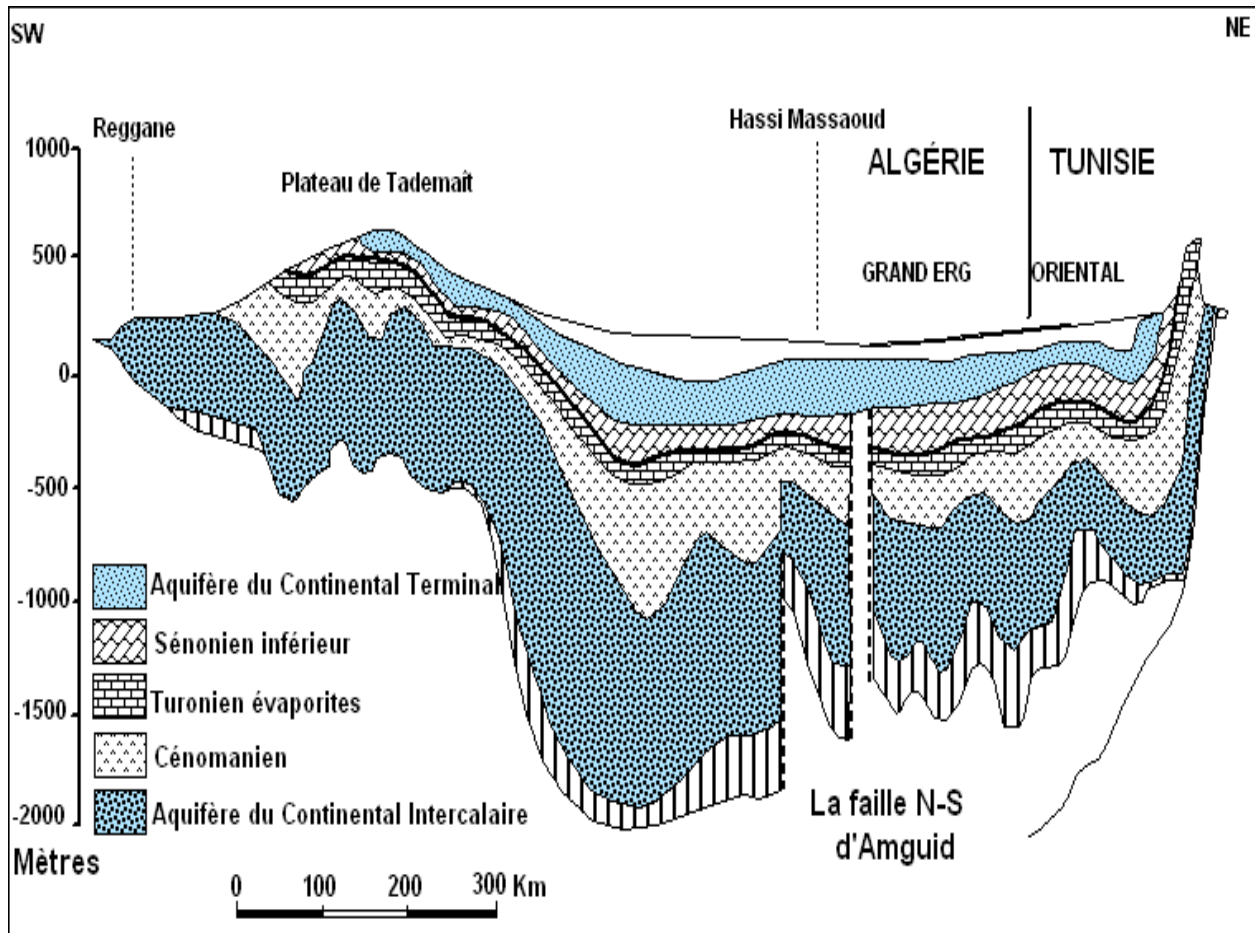


Fig.(II .09):Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).^[2]

II -3. L'hydrogéologie locale (de l'Oued Righ) :

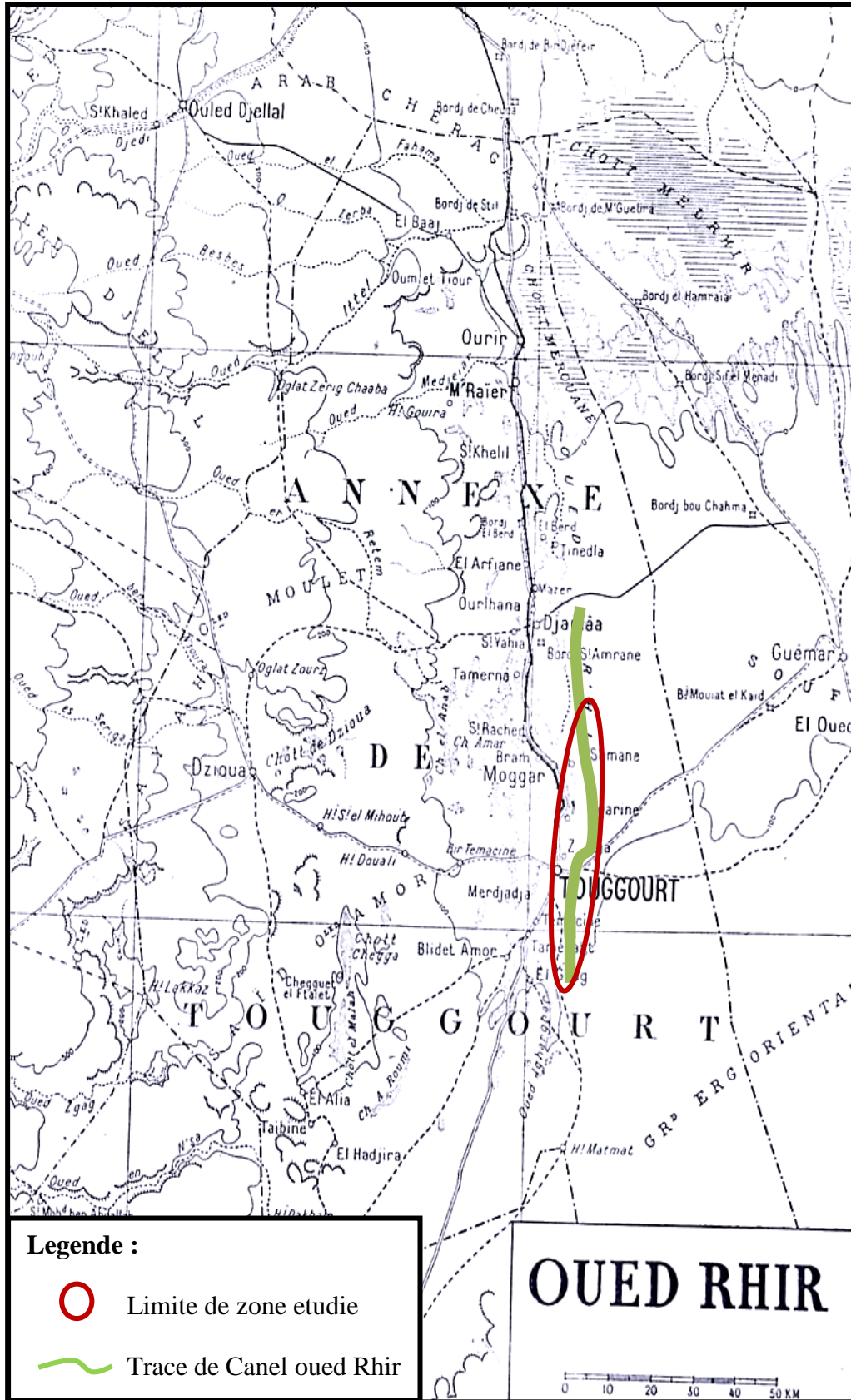


Fig.(II .10): Le Bassin De L'Oued Righ Et Ses Limites (A N R H Ouargla)

Dans la région étudiée, il existe deux systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base de Crétacé supérieur, il s'agit du :

A/.Continental intercalaire **CI**, aquifère profond compose de sable gréseux ou gréseux argileux.....

B/.Complexe terminal **CT** compose de trois nappes superposées :

- l'une dans les sables et argiles du Pliocène **CT1**.
- L'autre dans les sables grossiers à graviers, du Miocène supérieur **CT2**.
- La troisième dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques de l'Eocène inférieur **CT3**.

C/.Au dessus existe un aquifère superficiel à nappe libre, la nappe phréatique.

II -3.1. La nappe phréatique :

La nappe phréatique est présentée dans toutes les oasis de la vallée.

Elle est contenue dans les sables fin à moyens, d'âge Quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du Sud vers le Nord et sa puissance moyenne est d'une vingtaine de mètres.

les analyses des eaux de cette nappe montrent qu'elles sont très salées, la conductivité électrique est de l'ordre de **4.91ms/cm** à **13.44 ms/cm**.

La nappe phréatique est « gonflée » par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du **CI** et du **CT**. C'est pour drainer cet excès que le réseau de drainage artificiel a été réalisé dans la dépression de l'oued righ. Elle est principalement alimentée par l'infiltration des eaux d'excès d'irrigation et des eaux d'assainissement, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés par les faibles précipitations et par les percolations des nappes du complexe terminal. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.

II -3-2 Les nappes du complexe terminal :

Le complexe terminal est constitué de deux grands ensembles, l'un continental au sommet, l'autre marin à la base.

A\La première nappe CT1 :

Cette nappe est la moins profonde, sa puissance varie entre **50 à 100 m**.^[2]

Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Mio-Pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum, et son toit est constitué par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive. Elle était jadis très exploitée avec des débits faibles à moyens, de l'ordre de **20 à 40 l/s** (le débit global d'exploitation proche à **6 m³ / s**) cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

B\La deuxième nappe CT2 :

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement de grès, de gravier et de sable avec la présence de quelques lentilles argileuses. Son épaisseur est de **20 à 36m**, elle est très exploitée avec un débit variant entre **25-45 l/s**. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.^[2]

- Ces deux nappes sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface (de la nappe phréatique et du canal de l'Oued Righ), et les percolations des nappes artésiennes sous-jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seul exhaure.
- Ces deux nappes surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal ; constituant la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur Sémonien supérieur.

C\La nappes des calcaires du Sémonien Eocène CT3 :

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse, sa puissance est de **350m**, **200m** à Touggourt, **360m** à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artisanisme étant à l'origine plus important au Nord.^[2]

À la base, le Sémonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux.

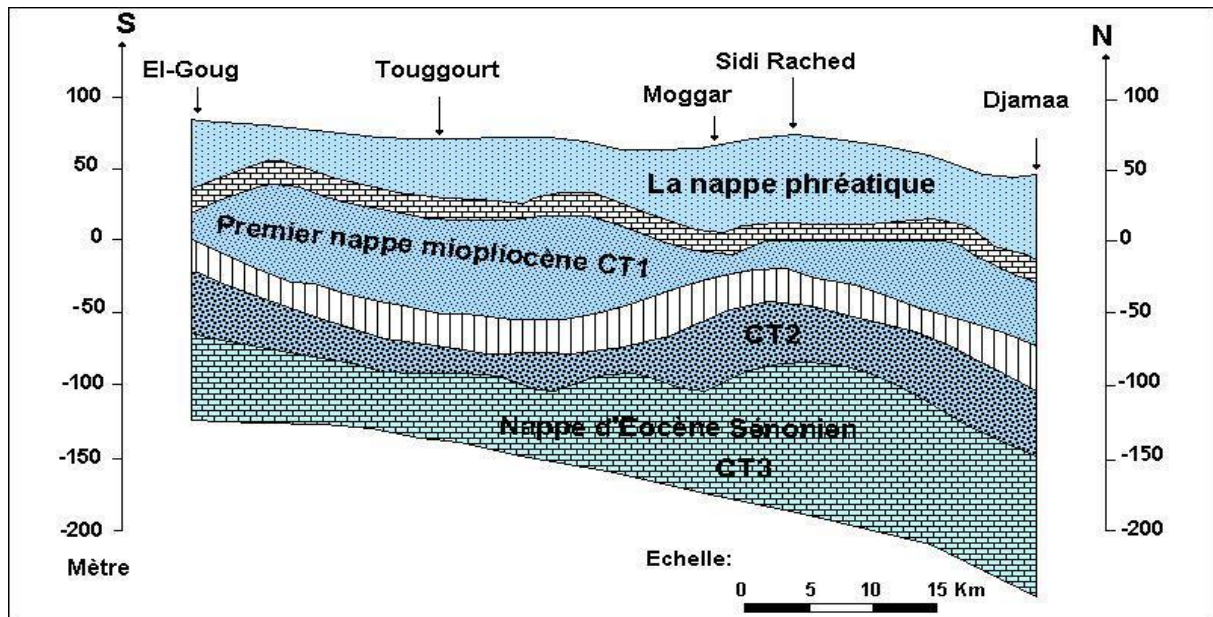


Fig.(II .11): Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued Righ

II -3-3 Nappe du Continental Intercalaire :

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. Son épaisseur varie d'une région à une autre des valeurs inférieures à **350 m (200 m à Touggourt)**.^[2]

Il est contenu dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Barrémien Albien).

Le mur constitue par le socle ou Primaire déformé par l'orogénèse hercynienne et très irrégulière.

Les apports d'eau au système aquifère s'effectuent par:

- _ L'infiltration des eaux de ruissellement des reliefs situés à la périphérie du domaine et par des précipitations sur les affleurements.
- _ Le piémont de l'Atlas saharien, au Nord.
- _ Le plateau de Tihert, au Sud.

Pour **CORNET** cette alimentation est estimée à **25 m³/s**, **BURGEAR** la fixait à **15 m³/s** .elle provient en grande partie du piémont de l'atlas mais elle reste très faiblement alimentée par rapport au volume d'eau qu'elle contient.

Son exutoire est la zone des chotts avec un sens d'écoulement souterrain Sud Nord (dans le bassin oriental).

II -4. Caractéristiques essentielles des nappes :

On se rend compte que cette dénomination correspond cependant à une réalité :

L'Oued Righ n'est pas un cours d'eau, mais en le survolant.

Le tracer de l'Oued Righ est marqué par l'échelonnement de petits chotts exutoires des eaux de la nappe phréatique.

Aux environs des oasis d'Ourir et de El-Meghier, les eaux de la nappe phréatique exhaurent dans le chott Merouane et s'y évaporent en donnant une croûte gypso saline.

A l'Ouest, la vallée de l'Oued Righ est plus au moins bien délimitée sur la moitié de sa longueur par les collines Miocènes, qui forment du Nord au Sud une sorte de chaîne, derrière cette chaîne s'étend la dépression Dzioua ou le Miocène est très peu épais, il s'agit d'une ondulation dont le cœur est formé d'Eocène moyen, qui s'allonge du Nord au Sud entre les Oueds Djellal et Dzioua. ^[2]

Au Sud de l'oasis de Djamaa entre Touggourt et Ouargla, l'ondulation de Dzioua est très peu marquée, elle doit cependant exister car les points d'eau qui s'alimentent de la nappe phréatique sont très rares, il y a donc séparation entre la nappe phréatique de l'Oued Righ et celle de Ouargla.

Au Sud de Touggourt, les points d'eau exploitant la nappe phréatique deviennent particulièrement nombreux et s'étalent en éventail sur une très large zone.

L'extension des eaux très profondes suit celle de la nappe phréatique tout en étant de moins grande ampleur.

La limite Ouest des nappes souterraines est suffisamment nette, elle est marquée par les collines Miocènes qui bordent la vallée de l'Oued Righ entre Ourir et Djamaa, correspondant à la remontée du substratum argileux imperméable de l'Eocène moyen. ^[3]

Les ressources artésiennes de l'Oued Righ se répartissent en trois nappes ou plutôt en trois faisceaux des nappes circulant dans les niveaux sableux et graveleux du Miocène continental.

- Zone d'alimentation : l'eau des nappes provient :
 - L'infiltration d'eau météorique dans les sables poreux.
 - L'infiltration pluviale dans l'Erg.
 - L'infiltration directe dans les fissures des couches affleurant au sol.
- Les zones d'alimentation des nappes artésiennes de l'oued sont très lointaines et très vaste, il existe d'autres zones moins connues vers l'Ouest et le Nord-Ouest de la vallée.
- Le sens d'écoulement des eaux est Sud Nord jusqu'au chott Merouane.
- ❖ Nous avons utilisé de logiciel de cartographe automatiques.

Surfer : pour dessiner les courbes isopiezés

II -7. Conclusion :

Dans le bassin de l'Oued Righ, il existe deux systèmes aquifères :

❖ Le premier profond étendu, dit le Continentale Intercalaire (**CI**), constitué en grande partie par des sables et des grès d'âge Albien

❖ Le deuxième est multicouche, peu profond, moins étendu que le premier dit Le Complexe Terminal (**CT**), constitué de deux ensembles différents:

- L'un marin constitué par les calcaires d'âge Sénonien-Eocène **CT3**
- L'autre continentale constitué par des sables, graviers et des grés d'age Mio-

Pliocene caractérise la **1ère** et la **2ème** nappe du Complexe Terminal (**CT1**) (**CT2**)

Un aquifère superficiel qui surmonte ces deux ensembles dit nappe Phréatique contenue dans les sables fins à moyens d'age Quaternaire à récent.

III -1 Introduction :

Le climat affecte une bonne partie des activités humaines, telle que la production agricole, la production et la consommation d'énergie, l'utilisation de certaines ressources telles que l'eau, les aspects essentiels de l'environnement relevant immédiatement de la climatologie.

L'objet de ce chapitre est l'étude des paramètres hydro climatologiques représentatifs du climat régnant dans la zone d'étude.

La carte ci-dessous configure les différents sous bassins versants du Sahara algérien, ainsi que les principales stations météorologique actuellement en activité.

• Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), la zone étudiée appartient au sous bassin versant N° :04, incluse dans grand bassin saharien N°13 ^[2]

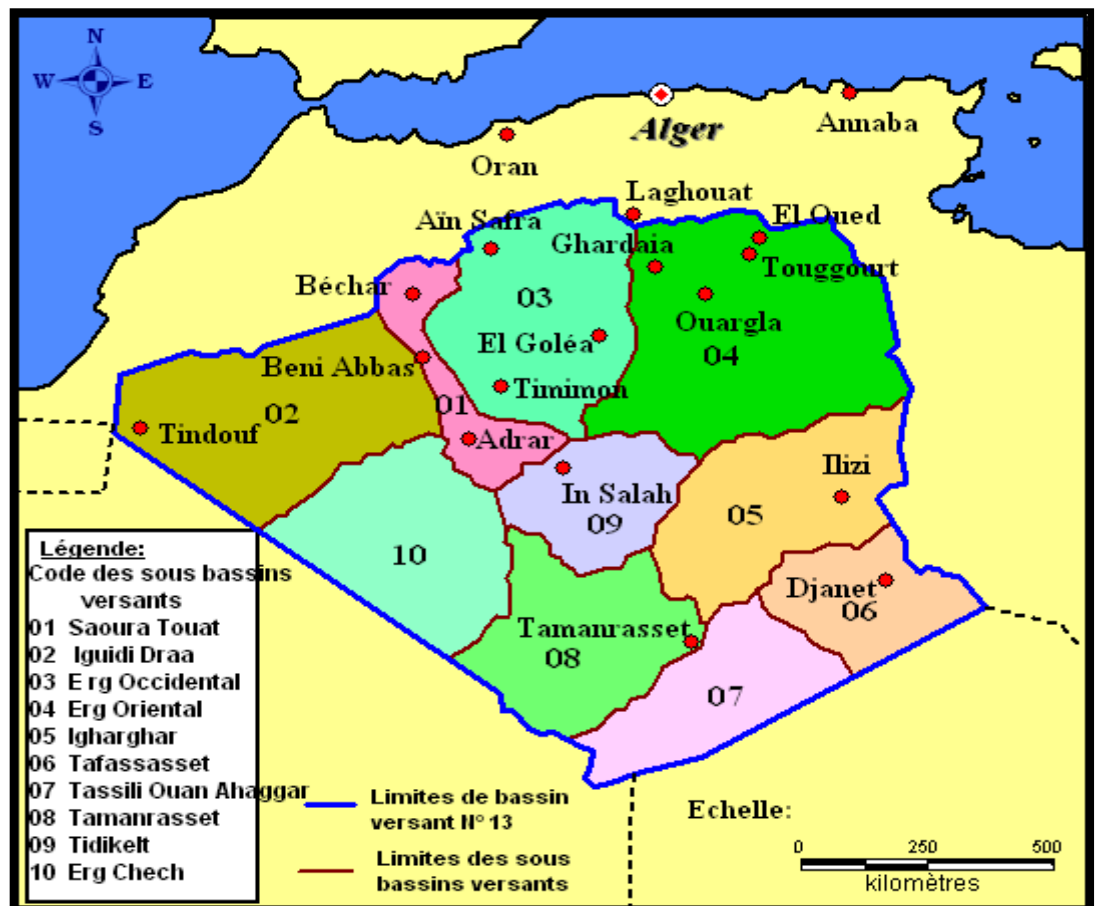


Fig (III.12): Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse,)

III -2 Représentation des stations utilisées :

Nous nous sommes basée sur des données climatiques portées sur l'intervalle des années hydrologique (1975-2015) selon les paramètres enregistrés par la station de Touggourt dont les coordonnées sont les suivants [2]:

Attitude : 33°11'N

Longitude : 06°13'E

Altitude: 85m

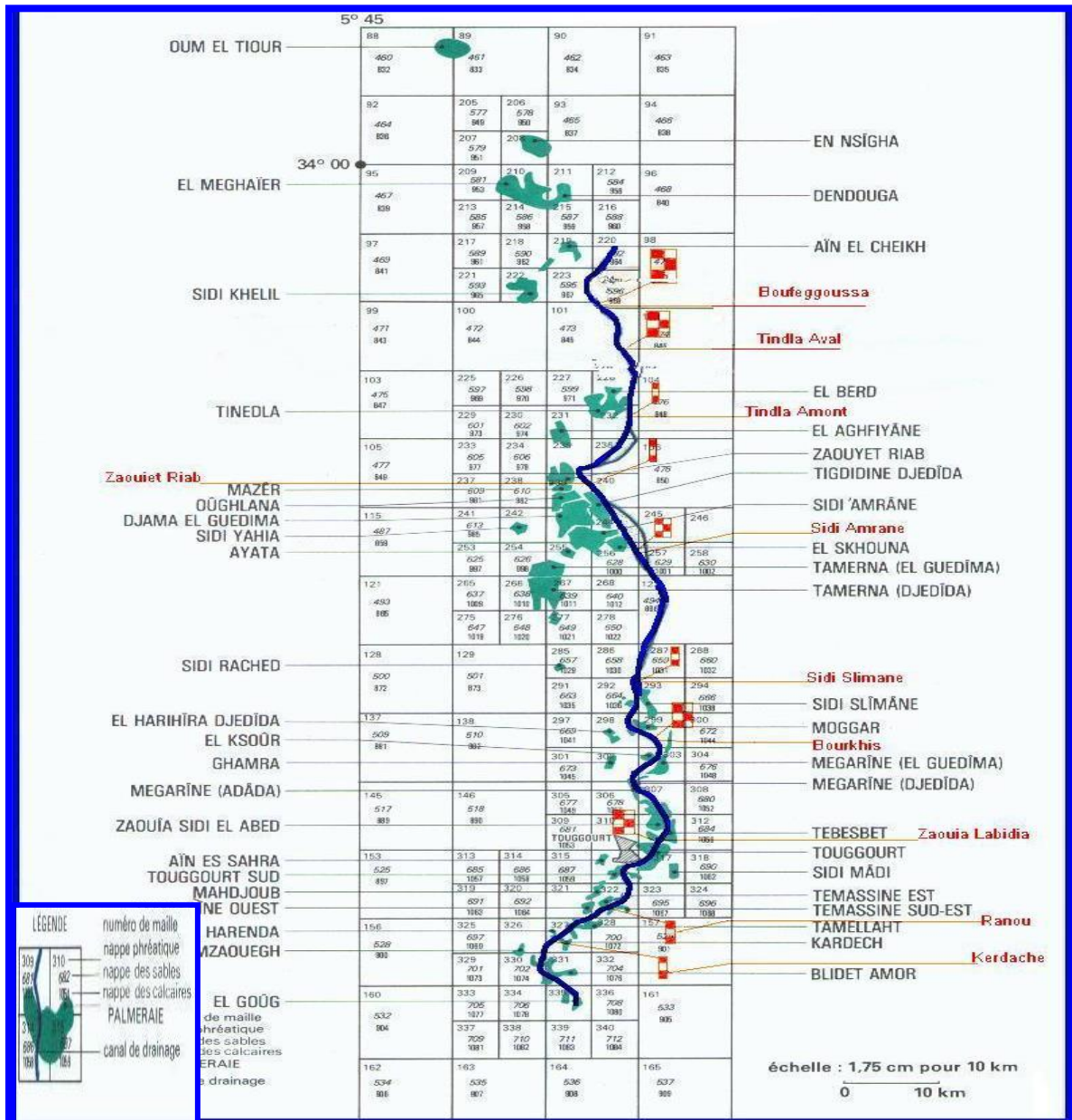


Fig (III.13): Carte de situation des stations de mesure (ANRH Ouargla)

Nous analyserons successivement les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations, température de l'air, l'humidité relative et évaporation, vitesse du vent, insolation....etc.

III -3 Analyse des paramètres climatiques :

III -3-1 Précipitations :

A\Précipitation mensuelle :

Le tableau suivant ci dessous donne la précipitation moyenne, mensuelle observée durant la période (1975-2015).

Tab (III .05): Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
p (mm)	6.3	4.8	2.1	4.2	13.8	4.9	5.3	8.6	1.4	0.7	0.1	3.8

Source (ONM-2015-)

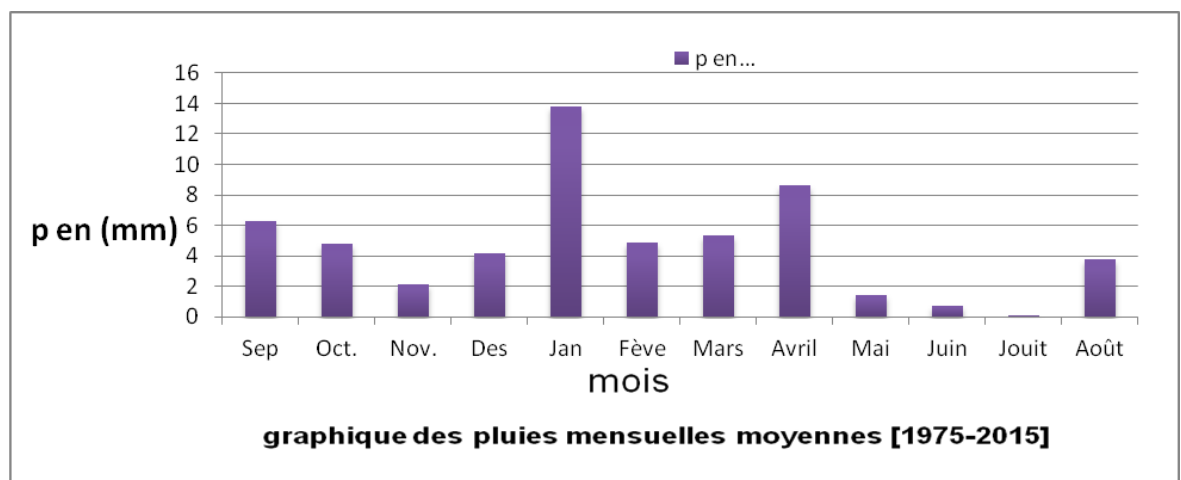


Fig (III .14):graphique de Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2015)

L'histogramme de précipitations moyennes mensuelles montre que les précipitations se produisent du mois de **Novembre** à **Mars** surtout au mois de **janvier (13,08 mm)**, alors que le reste de l'année est relativement sec (particulièrement au mois du **juillet 0,1 mm** et au **juin 0.7 mm**).

B\Précipitation interannuelle :**Tab (III .06): Précipitations annuelles à Touggourt***- source (ONM,2015)-.*

Année	P en mm	Année	P en mm	Année	P en mm	Année	P en mm
1975	118,1	1985	33,7	1995	61,4	2005	25.7
1976	107	1986	79,4	1996	88,5	2006	84.9
1977	44,7	1987	41,7	1997	64,2	2007	77.1
1978	44,9	1988	54,5	1998	46,4	2008	55.8
1979	51,9	1989	115	1999	118,1	2009	155.9
1980	153,0	1990	148,4	2000	58,6	2010	27.8
1981	43,4	1991	42,8	2001	141,2	2011	21.3
1982	72,4	1992	132,2	2002	322,1	2012	18.2
1983	31,8	1993	55,2	2003	69,22	2013	55.7
1984	30,9	1994	48,7	2004	161,8	2014	24.7
						2015	66.3
						Moyenne	64.26 mm

D'après le tableau , on constate que l'année la plus pluvieuse est l'année hydrologique (2002-2003) avec un cumule de précipitation de **322,1 mm** et l'année la plus sèche est l'année (2012-2013) avec une précipitation de **18.2 mm** .on remarque donc que la pluviométrie dans notre région d'étude est caractérisée par une grande irrégularité avec de grand écart.

III -3.2.L'humidité :

Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relatives moyennes observées en **41 ans** d'observation le graphe qui en découle permet de distinguer les mois secs, et les mois relativement humides.

Tab (III .07): Humidité moyenne mensuelle –source (ONM,)-

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
H %	64,38	54,96	48,96	43,70	40,19	35,06	32,93	34	43,87	51,83	61,29	65,87

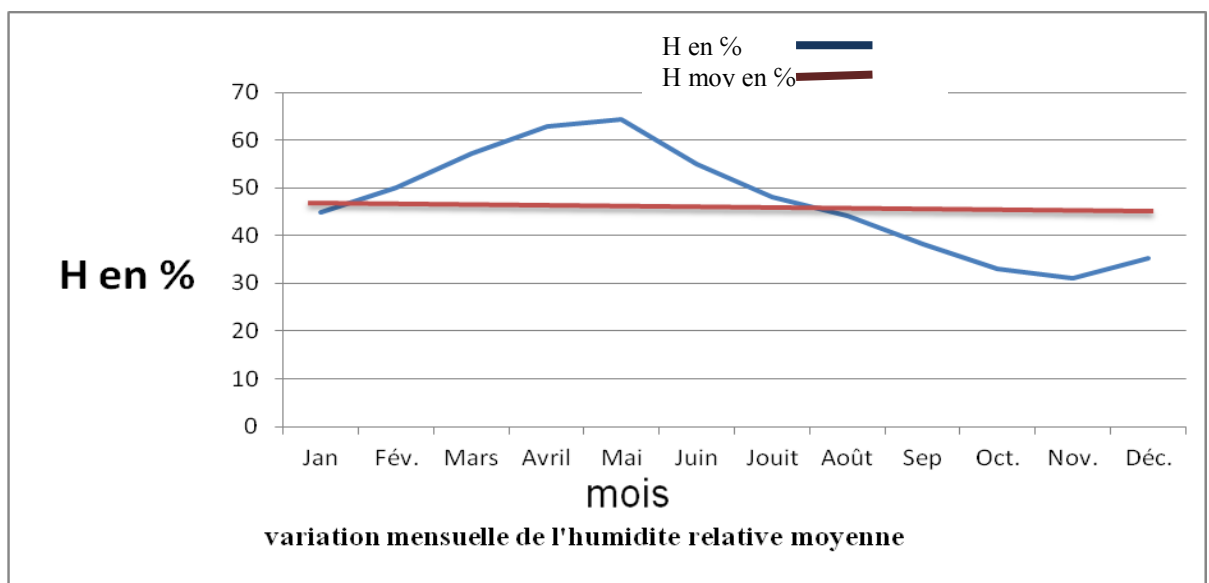


Fig (III .15):graphique variation mensuelle de l'humidité relative moyenne à la station de Touggourt (1975-2015)

On remarque d'après le graphe que les mois « humides » ($H > 48,08\%$), sont **janvier, février, mars, octobre novembre et décembre** et les mois « secs » caractérisant le reste de l'année.

• **Variation interannuelle de l'humidité relative moyenne à la station de Touggourt :**

Tab (III .08): Humidité annuelle à Touggour –source (ONM-,2015)

Année	H (en %)	Année)	H (en %)	Année	H (en %)	Année	H (en %)
1975	52,7	1985	43,1	1995	49,7	2005	47
1976	54,5	1986	49,5	1996	47,9	2006	45
1977	50	1987	46,8	1997	48,6	2007	45
1978	50,2	1988	47,8	1998	47,3	2008	49
1979	46,6	1989	48,9	1999	48,5	2009	48
1980	48,4	1990	53,3	2000	47,2	2010	45
1981	45,1	1991	46,3	2001	44,9	2011	50
1982	48,7	1992	49,1	2002	45,7	2012	42
1983	42,2	1993	48,7	2003	46,9	2013	43
1984	45,2	1994	50,3	2004	50,42	2014	46
						2015	57
						moyenne	47.25%

En ce qui concerne les variations interannuelles, on remarque que les taux de l'humidité oscillent autour de sa valeur moyenne (**47,25%**) sauf en **2015** avec un pic à (**57,00%**) et en **1983** un minimum de (**42,2%**).

III -3.3.Vitesse des vents :

Vitesse des vents en m/s (1975-2015) :

Tab (III .09): Vitesse des vents moyenne mensuelle

—source (ONM-2015,)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Vitesse m/s	19.82	15.64	15.83	14.64	17.64	17.91	21.73	21.91	22.00	19.27	19.55	20.18

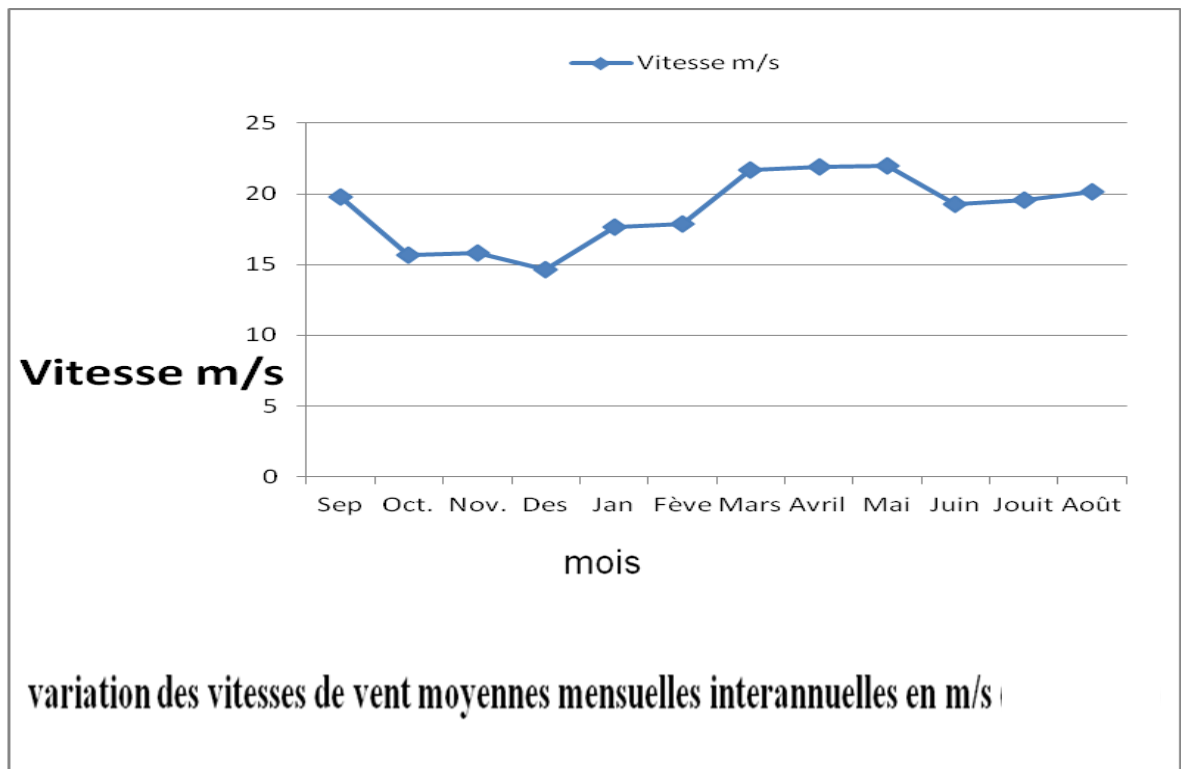


Fig (III .16): graphique variation de vitesses de vent mensuelle interannuelles à la station de Touggourt (1975-2015)

On remarque d'après le graphe, que le maximum du vent enregistré au mois du **mais** avec une vitesse **22,00 m/s** et le minimum en **décembre** avec une vitesse de **14,64 m/s**.

Ces vents soufflent dans des directions différentes.

Ils sont relativement fréquents dans la vallée, mais leur vitesse n'est importante que de **septembre** à **Août**.

III -3-4 La durée d'insolation :

L'insolation est la durée d'apparition du soleil, elle est exprimée en heure. Elle varie en fonction de l'altitude qui détermine la longueur des jours et le degré d'obliquité des rayons solaires.

- La durée d'insolation moyenne mensuelle interannuelle :

Le tableau suivant donne les valeurs d'insolation moyennes observées en **41 ans** d'observation (**1975-2015**).

Tab (III .10): La durée d'insolation mensuelle interannuelle. –source (ONM,-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Inso en h	271.8	272.8	255.4	240.5	247.1	237.7	265.4	284.5	328.6	324.4	359.9	336.0

D'après le tableau de répartition des insolutions mensuelles (**1975-2015**), on remarque que les mois **d'avril, mai, juin, juillet, août** et **septembre** correspondent aux mois les plus chauds, et les mois de **novembre, janvier, décembre** et **février** sont les plus froids, donc le maximum atteint la durée de **359.9 heures** d'insolation au mois de **juillet** et le minimum au mois de **Fèvrier** avec une durée de **237.7heures**.

III -3-5 Température :

La température joue un rôle primordial sur le climat. Dans notre zone d'étude, de type désertique, elle a plus d'ampleur et influe grandement sur les autres paramètres météorologiques telle que l'évaporation et le taux de l'humidité de l'atmosphère. Elle est donc le paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrique.

A\La température max moyenne mensuelle :

Tab (III .11): La température max moyenne mensuelle .

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
T en c°	36.6	31.1	23.9	18.5	18.4	19.7	24.7	29.8	34.6	39.2	42.6	41.6

T max moyenne =30.06 c°

-source (ONM-2015,-)

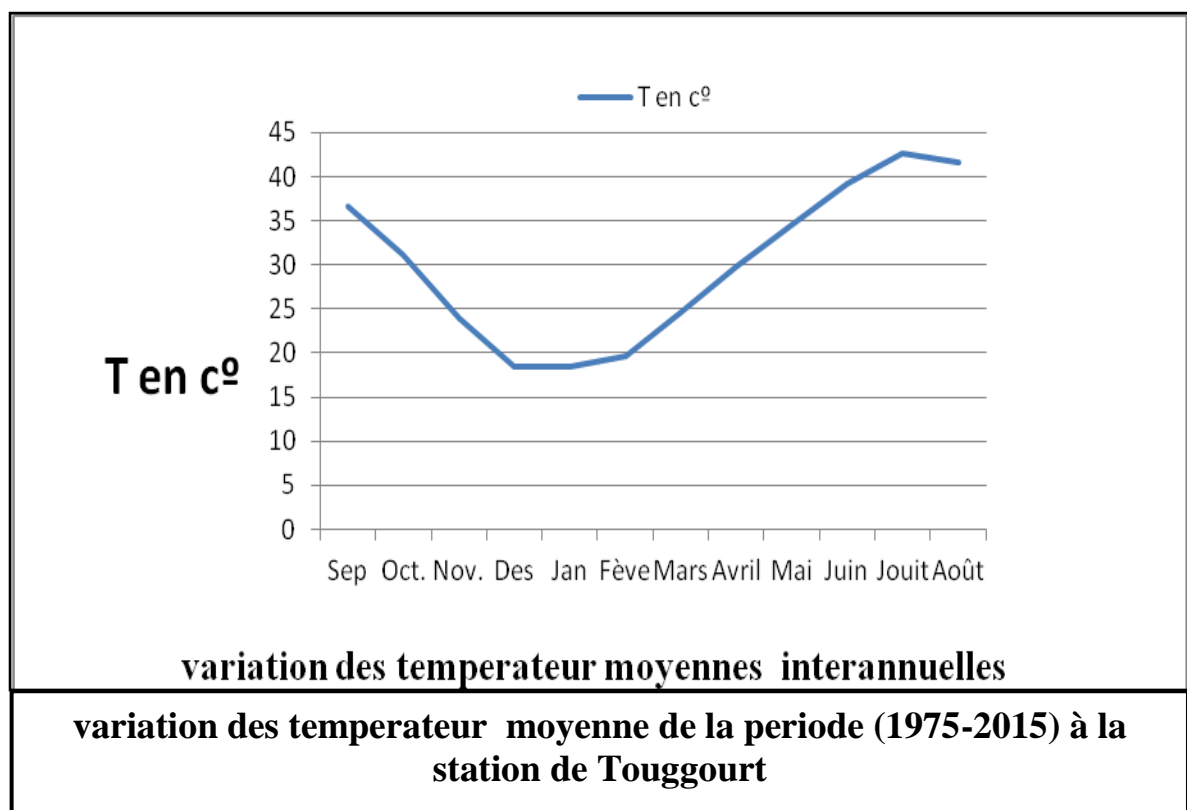


Fig (III .17):graphique variation des temperature moyenne de la periode (1975-2015) à la station de Touggourt.

La courbe qui découle de ce tableau illustre les variations mensuelles de la température max , on constate que les valeurs les plus élevées s'observent entre **mai** et

septembre ≥ 25 c° et les plus basses en décembre et janvier avec respectivement 18.50 et 18.40 c°.

La moyenne annuelle est de 22.60 c°.

B) Relation température –précipitation :

Les températures constituent avec les précipitations les éléments majeurs qui régissent le climat d'une région, à l'aide d'un diagramme ombro-thermique. On va faire la relation température précipitation.

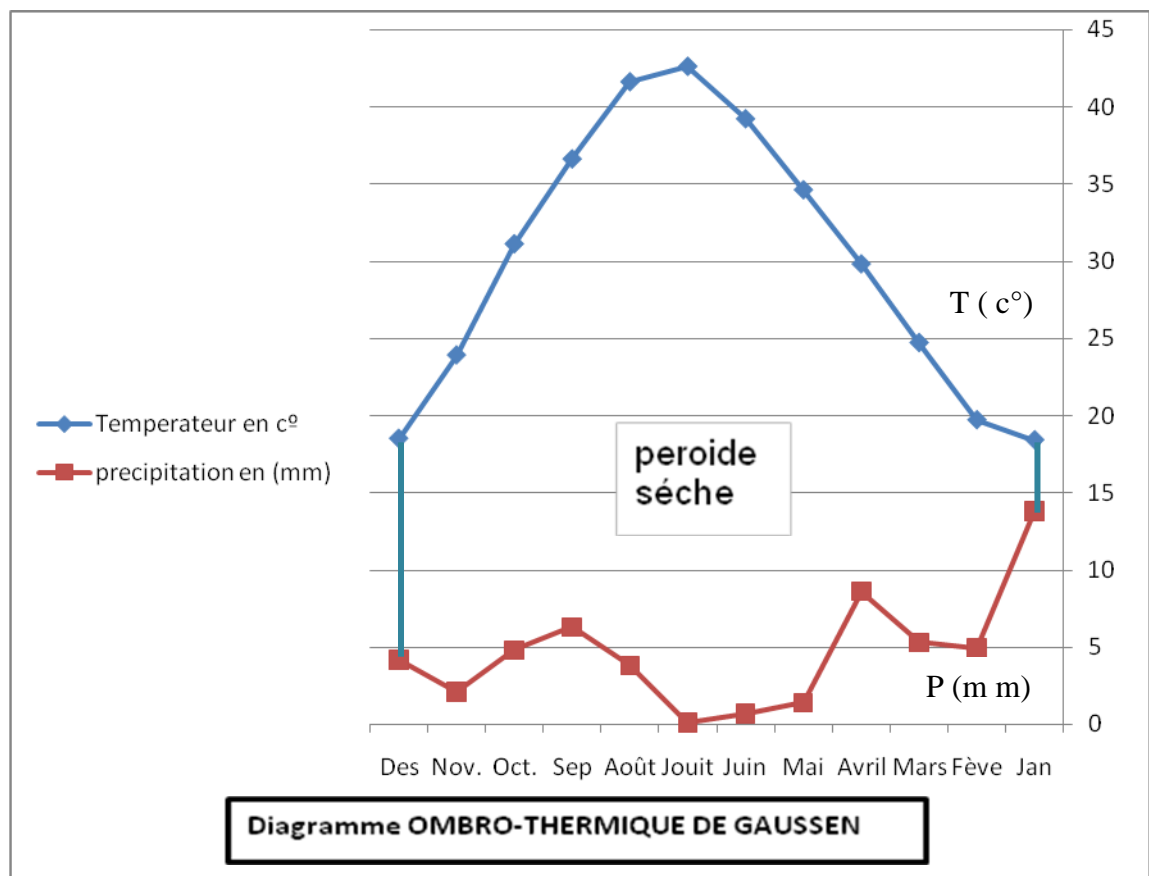


Fig (III .18):Diagramme OMBRO-THERMIQUE DE GAUSSEN

*Diagramme ombro-thermique :

Pour l'établissement de ce diagramme, les températures y sont portées à l'échelle double des précipitations, il met en évidence la période sèche selon **Gausсен** et **Bagnouls**,

est considérée sec, le mois pendant lequel la totalité des précipitations est inférieure ou égale au double de la température moyenne du même mois $p \text{ mm} \leq 2t^{\circ}$.

La période déficitaire en eau, ou sèche, correspond à la zone où la courbe des températures est au dessus de la courbe des précipitations.

Ce diagramme montre que pour un climat saharien, il n'y a pas une période humide, et que toute l'année est déficitaire.

C\ Indice de continentalité thermique :

L'éloignement de la mer est un facteur qui intervient dans l'augmentation du degré d'aridité parmi les différentes formules empiriques qui ont été proposées pour déterminer l'indice de continentalité thermique, nous avons choisi la formule de **Katner**.

$$k = \frac{[(t_0 - t_a) \cdot 100]}{A}$$

Avec : **k** : indice de continentalité thermique.

K = 100% => climat océanique.

K = 0% => climat continentale.

t_0 : Température moyenne d'octobre en °c.

t_a : Température moyenne d'avril en °c.

A : amplitude thermique annuelle en °c (température moyenne du mois plus chaud, moins la température moyenne du mois le plus froid).

Dans notre station de Touggourt :

T octobre : 31.10 °c.

T avril : 29.80 °c.

A = 42.60 – 18.40 = 24,20.

Donc **k = 5,37**

III -3-6 L'évaporation :

D'après le tableau ci-dessous l'étude des phénomènes d'évaporation intervient dans le cycle de l'eau au moment où les précipitations atteignent la surface du sol.

Le maximum de l'évaporation est enregistré au mois de **juillet** et **août** avec respectivement **424,96** et **396 mm** et le minimum au mois de **décembre** avec **112,16 mm**.

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août	Sep	Oct.	Nov.	Des
EV(mm)	79.6	115.3	151.1	197.2	229.2	268.6	325.5	281.1	211.9	170.5	124.7	84.0

Tab (III .12): Evaporation moyenne mensuelle (1975-2015). -source (ONM, ANRH)-

EV (moyenne) = 186.60 mm

III -3-7 :L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des processus d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique). On distingue alors l'évapotranspiration potentielle (**ETP**) qui correspond à la quantité d'eau pouvant être restituée par la transpiration des végétaux et l'évaporation à partir du sol ; et l'évapotranspiration réelle (**ETR**) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée par le sol, végétauxetc.

A\L'évapotranspiration réelle ETR :

Pour le calcul de l'**ETR** nous avons utilisé plusieurs formules : de **Turc**, de **Coutagne** et le bilan de **Thornthwaite**.

A-1 Formule de TURC :

Cette formule est applicable dans tous les climats, elle est fonction de précipitation moyenne annuelle et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

Avec ETR : l'évaporation réelle en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

L : pouvoir évaporant de l'atmosphère telle que $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$

T : température moyenne.

Pour la vallée de l'Oued Righ on a :

$$\bar{P} = 64,26 \text{ mm}, T = 22,26, L = 10913,12$$

Donc **ETR= 67,73 mm**

A-2 Formule de COUTAGNE :

Ce déficit découlement est rapproché de l'**ETR**, cette formule fait intervenir la pluviométrie et la température selon l'équation suivant :

$$ETR = D = P - \lambda P^2, \quad \lambda = \frac{1}{0,8} + 0,14 T$$

Ou : D : déficit d'écoulement en mm.
 P : précipitation moyenne annuelle en mm.
 T : température moyenne annuelle en °c.

Cette formule est applicable pour les valeurs 1 de λ comprise entre $\frac{1}{8}\lambda$ et $\frac{1}{2}\lambda$.

Dans la vallée de l'Oued Righ

P = 64.26 mm **T = 22,60 °c**

$$\text{ETR} = \text{D} = P - \lambda P^2, \quad \lambda = \frac{1}{0,8} + 0,14 T$$

$$\frac{1}{8} \lambda = 0,46 \quad \frac{1}{2} \lambda = 1,85 \quad \lambda = 0,27$$

La formule de **Coutagne** n'est pas applicable car la valeur de λ n'est pas comprise entre $\frac{1}{2} \lambda$ et $\frac{1}{8} \lambda$.

A-3 Formule de THORNTHWAITE :

Le calcul du bilan d'après la méthode de **Thornthwaite** fait intervenir l'évapotranspiration potentielle et la pluviométrie, le principe est le suivant :

- lorsque $p \geq \text{ETP}$: l'**ETR** sera égale à l'**ETP**.
- lorsque $p \leq \text{ETP}$: l'**ETR** sera égale à l'**ETP** aussi longtemps que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance, au delà il y aura déficit.

Thornthwaite, dans ces calculs, utilise une valeur moyenne de la réserve utile (**RU**) égale à **100 mm** mais dans notre cas (région saharienne), on prend (**RU**) égale à **50 mm** (d'après les agronomes de l'institut national d'agronomie d'Alger)

Tab (III .13): Calcul de ETR d'après THORNTHWAITE

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc
P en mm	16.02	5.74	10.59	6.05	6.27	1.64	0.98	2.05	6.24	7.52	12	5.92
ETP c mm	10,28	17,85	40,05	75,80	147,99	240,68	292,78	273,14	171,88	85,07	29,42	12,81
P-ETP	5,74	-12,11	-29,46	-69,75	-141,72	-239,09	- 291,20	-271,09	-165,64	-77,55	-17,42	-6,89
ETR mm	10,28	5,74	10,59	6,05	6,27	1,64	0,98	2,05	6,24	7,52	12	5,92
Ru	5,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D=ETP- ETR	0	12,13	29,46	69,75	141,72	239,04	291,19	271,09	165,64	77,55	17,42	6,89
ETP mm	11,82	21,08	38,89	68,91	122,31	197,28	241,47	235,47	166,88	87,70	34,21	15,25

Le déficit atteint son maximum au mois de **juillet 291,19 mm**.

Il nous donne une approximation des besoins en eau d'irrigation des cultures.

B\L'évaporation potentielle (ETP) :

De nombreux auteurs ont établis des formules empiriques donnant une approximation de l'**ETP** à partir de paramètres climatiques facilement accessibles.

L'**ETP** se calcule par deux formules :

⇒ La formule de **Serra**.

⇒ La formule de **Thornthwaite**.

B-1 Formule de SERRA :

L'**ETP** exprimée par la formule de **Serra** s'écrit :

$$ETP = 1,6 \cdot \left(\frac{10 T}{I} \right)^\alpha \quad I = \sum_{l=i}^K i \quad i = 0,09 T^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{Avec : } \alpha = \left(1,6 \cdot \frac{I}{100} + 0,5 \right)$$

$$\text{Et } \alpha = 2,33$$

Avec : **ETP** : évapotranspiration potentielle.

T : température mensuelle moyenne.

I : indice thermique annuel

I : indice thermique mensuel.

Tab (III .14): L'ETP moyenne mensuelle, calculée par la formule de SERRA

Mois	T (en °c)	I	ETP en mm	K	ET P C en mm
Jan	18.4	2,89	11,98	0,87	10,42
Fév.	19.7	4,07	20,3	0,85	17,29
Mars	24.7	5,86	35,87	1,03	36,94
Avril	29.8	8,23	60,74	1,1	66,81
Mai	34.6	11,57	103,04	1,21	124,67
Juin	39.2	15,36	160,0	1,22	195,2
Jouit	42.6	17,32	192,7	1,24	238,9
Août	41.6	17,06	188,37	1,16	218,5
Sep	36.6	13,91	137,18	1,03	141,29
Oct.	31.1	9,50	75,84	0,97	73,56

Nov.	23,9	5,43	31,87	0,86	27,40
déc.	18,5	3,36	15,14	0,84	12,71
	24,39	114,56	1033,39		1157,69

B-2 Formule de THORNTHWAITE :

C'est l'une de plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée en hydrologie car sa résolution ne nécessite que la connaissance de la température moyenne mensuelle :

L'ETP par la formule de **Thornthwaite** s'écrit :

$$ETP_c = ETP \times k = 1,6 \left(\frac{10 T}{I} \right)^\alpha \times k$$

Avec : k : coefficient d'ajustement mensuel.

$$I: \text{indice thermique mensuel } i = \left(\frac{T}{I} \right)^{1,514}$$

$$I: \text{indice thermique annuel } I = \sum 12 i$$

α : Exposant climatique :

$$\alpha = 0,49239 + [1792 \cdot 10^{-5} \cdot I] - [771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2] + [675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3]$$

Tableau (III .15): Calcul de l'ETP d'après Thornthwaite.

T : température moyenne mensuelle du mois considéré en °c.

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août	Sep	Oct.	Nov.	Des
P mm	16,02	5,74	10,59	6,05	6,27	1,64	0,98	2,05	6,24	7,52	12	5,92
T c°	18,4	19,7	24,7	29,8	34,6	39,2	42,6	41,6	36,6	31,1	23,9	18,5
I	2,90	1,67	5,92	8,35	11,67	15,66	17,68	17,41	14,17	9,64	5,50	3,38
K	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
Etp	11,82	21,08	38,89	68,91	122,31	197,28	241,47	235,47	166,88	87,70	34,21	15,25
Etpc	10,28	17,85	40,05	75,80	147,99	240,68	292,78	273,14	171,88	85,07	29,42	12,81

ETPc totale = 1397,14.

C\Synthèse de l'évapotranspiration :

Tableau (III .16) : synthèse de l'évapotranspiration

Méthode	ETP et ETR	Valeur
---------	------------	--------

SERRA	ETP	1157,69
THORNTHWAITE	ETP	1397,148
TURC	ETR	93,43
THORNTHWAITE	ETR	75,27

III -4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé l'aspect climatique de la région de l'Oued Righ caractérisée par un climat désertique. On hyperaride :

Les précipitations sont faibles et irrégulières, de l'ordre **8,6 mm** et ne jouent aucun rôle dans la recharge directe des nappes, à l'exception de quelques orages violents qui génèrent des ruissellements.

L'évapotranspiration potentielle calculé par la formule de **THORNTHWAITE** nous donne **1397,148 mm** pour la période, l'évapotranspiration réelle est de **75,27 mm** pour la même période, tant que l'évapotranspiration réelle calculé par la formule de turc est de l'ordre de **93,43 mm**, pratiquement toute l'eau précipitée retourne vers l'atmosphère.

Les températures sont élevées **42,6 c°** en moyenne annuelle et **22,60 c°** au mois le plus chaud, ce qui explique la forte évaporation.

L'humidité relative moyenne annuellement est de **48,08%**, avec **65,87%** mois de **décembre** et **32,93** au mois de **juillet**. Tandis que l'évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de **252,33 mm/an**.

IV-1 .Rappels sur les eaux souterraines :

1-1-Aquifère : formation géologique ou roche, fissurée (fracturée) ou suffisamment poreuse pour stocker de l'eau, et perméable pour laisser l'eau circuler.

1-2-Nappe : eau contenue et circulant dans les pores ou les fissures d'un aquifère. La nappe peut être exploitée pour approvisionner les réseaux d'eau potable, pour l'agriculture etc...

1-3-Piézométrie : mesure de la profondeur de la surface de l'eau souterraine.

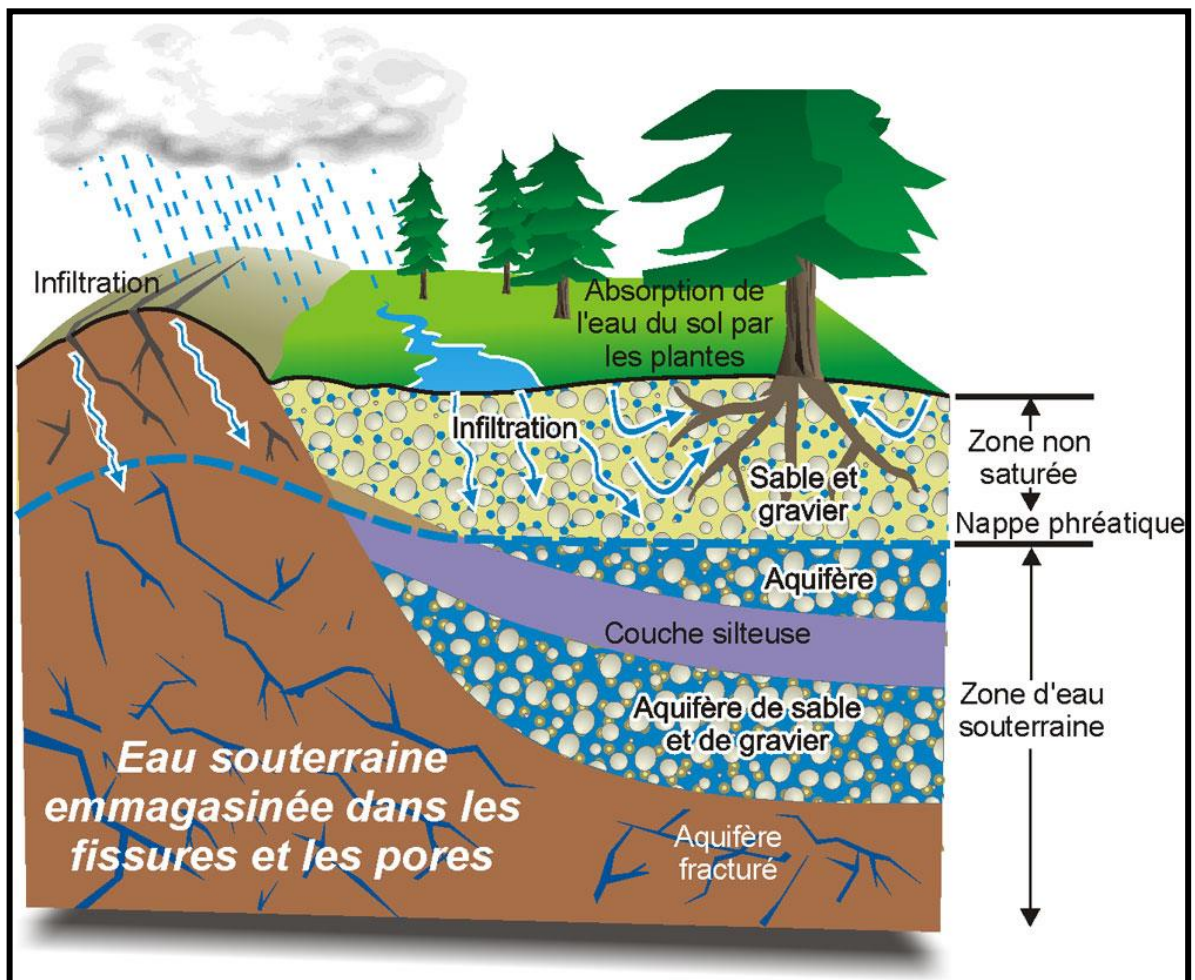


Fig.(IV .18): La nappe phréatique et les eaux souterraines.

IV -2.La Piézométrie :

IV -2-1 .Intérêt de la piézométrie :

- Définir le sens de l'écoulement souterrain .
- Estimer le débit d'une nappe .
- Evaluer la capacité d'un aquifère (réserves en eau) .
- Evaluer la recharge naturelle (fluctuations de la surface piézométrique), régime. d'alimentation de l'aquifère .
- Explorer, apprécier les caractéristiques d'une nappe sur un territoire (propriétés hydrodynamiques, limites de l'aquifère, études géotechniques avant réalisation d'un ouvrage...)
- Surveiller une nappe exploitée (durabilité de l'exploitation) .
- Etudier les relations de la nappe avec la surface (recharge, décharge) .
-

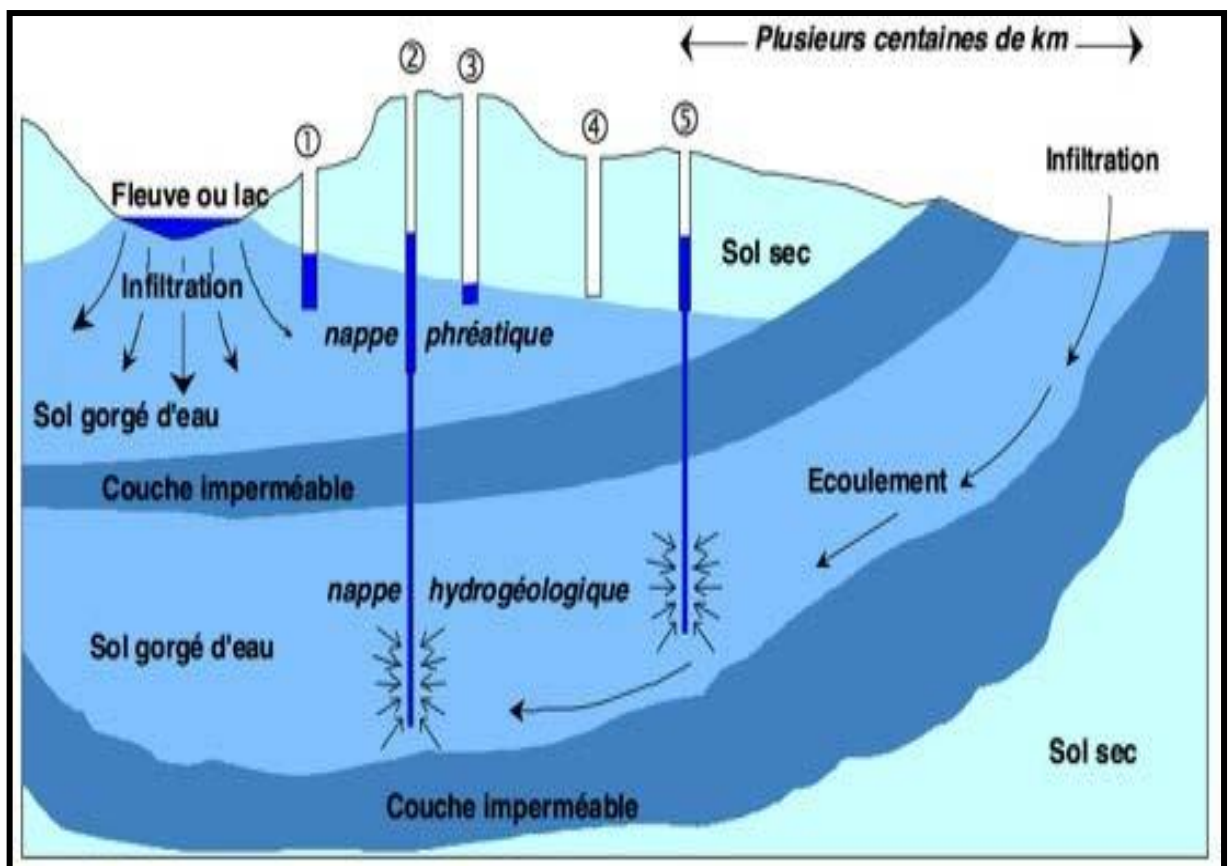


Fig. (IV .19): COUPE hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique .

IV -2. 2. La Surface Piézométrique :

Expression sous deux formes de la surface piézométrique:

- la profondeur par rapport au sol/référence de lecture
- l'altitude selon une référence régionale

! À l'échelle d'un territoire, d'une nappe, la piézométrie n'aura d'intérêt scientifique et opérationnel que si elle est exprimée en altitude selon une référence régionale !

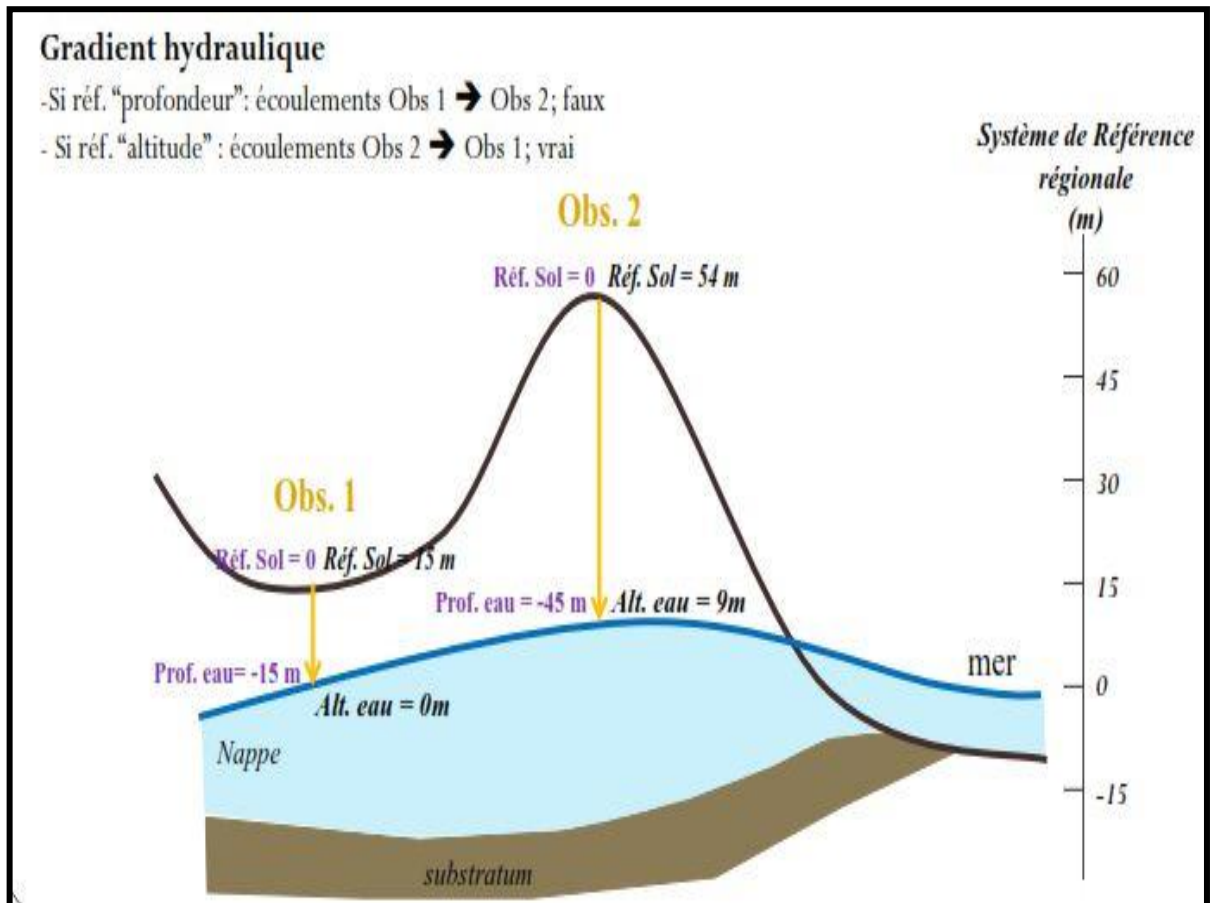


Fig. (IV .20): Systeme De Reference Regionale

IV - 3 .1 .Comment observer la nappe :(les sources)

Les observations directes aux exutoires (intersections surfaces piézo/topo) :

- Les sources de dépression (nappe libre)
- Les sources d'affleurements (nappe "perchée": le socle et la surface piézométrique, ligne de source)
- les émergences (nappe profonde: point de fissure, filon).

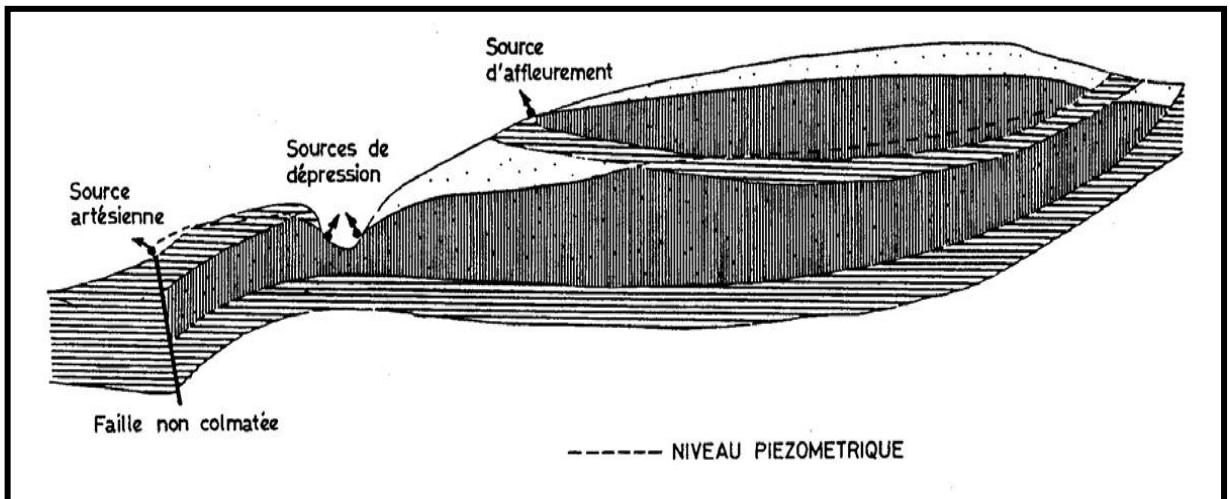


FIG.(IV .21): COUPE hydrogéologique transversale de la surface piézométrique .

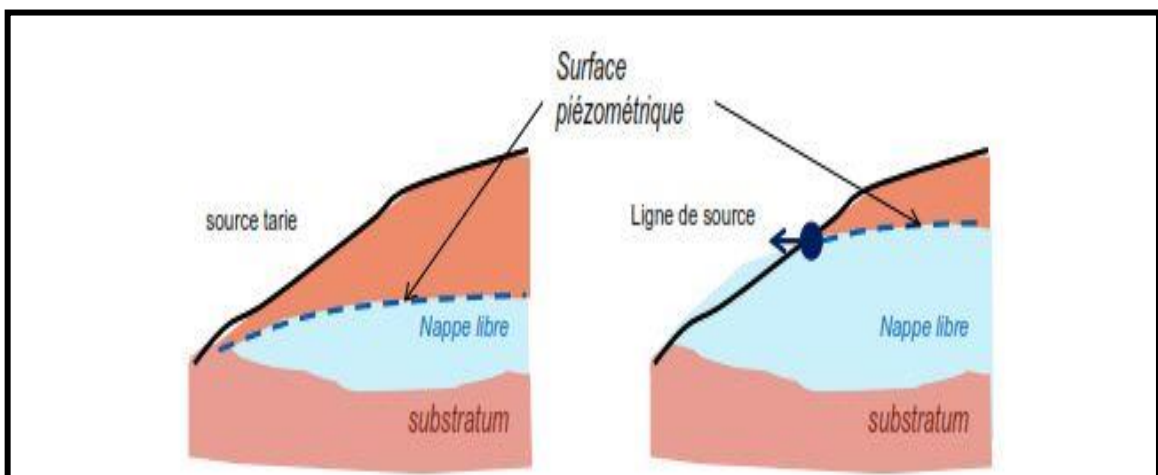


Fig. (IV .22):: Coupe de la surface piézométrique .

IV -3 .2 .Comment observer la nappe : (les puits)

- **Existants, nombreux, faciles d'accès** : Coût faible ou nulle, mise en œuvre simple
- **Usages et ouvrages mixtes** : exploitation domestique agricole (pompage) , traditionnels , puits abandonnés, piézométrie...)
- **Observation non complète** : seulement la "surface" de la zone saturée, souvent que la nappe libre (phréatique)
- **Manque de réactivité** possible aux variations de la nappe : colmatage, effet capacitif
- **Difficulté de la mesure** : margelles non planes, protection capteurs...
- **Risque de perturbations** par des éléments extérieurs (déchets, pluies, ruissèlement...)

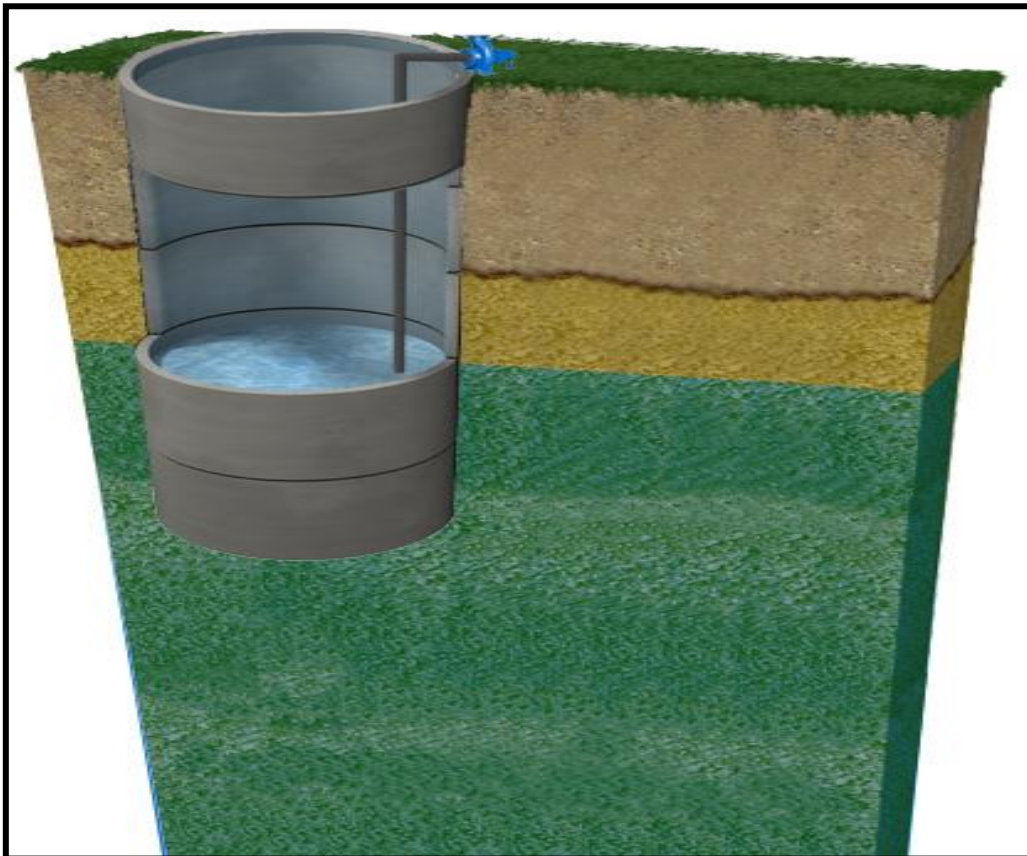


Fig. (IV .23):: Coupe hydrogéologique transversale des puits d'eau .

IV– 3 .3 . Comment observer la nappe :(les piézomètres)

- Ouvrages dédiés **uniquement à la piézométrie**
- **Observation de toute la zone saturée** jusqu'au substratum (écoulements profonds, de surface, interactions)
- **Choix de la nappe/aquifère** à observer (nappe libre, captive) et connaissance du souterrain
- **Réactivité** forte aux variations de la nappe
- **Nivellement**, références connues
- **Milieu fracturé** : prise en compte de la **transmissivité**
- Risque de perturbations extérieures presque nul

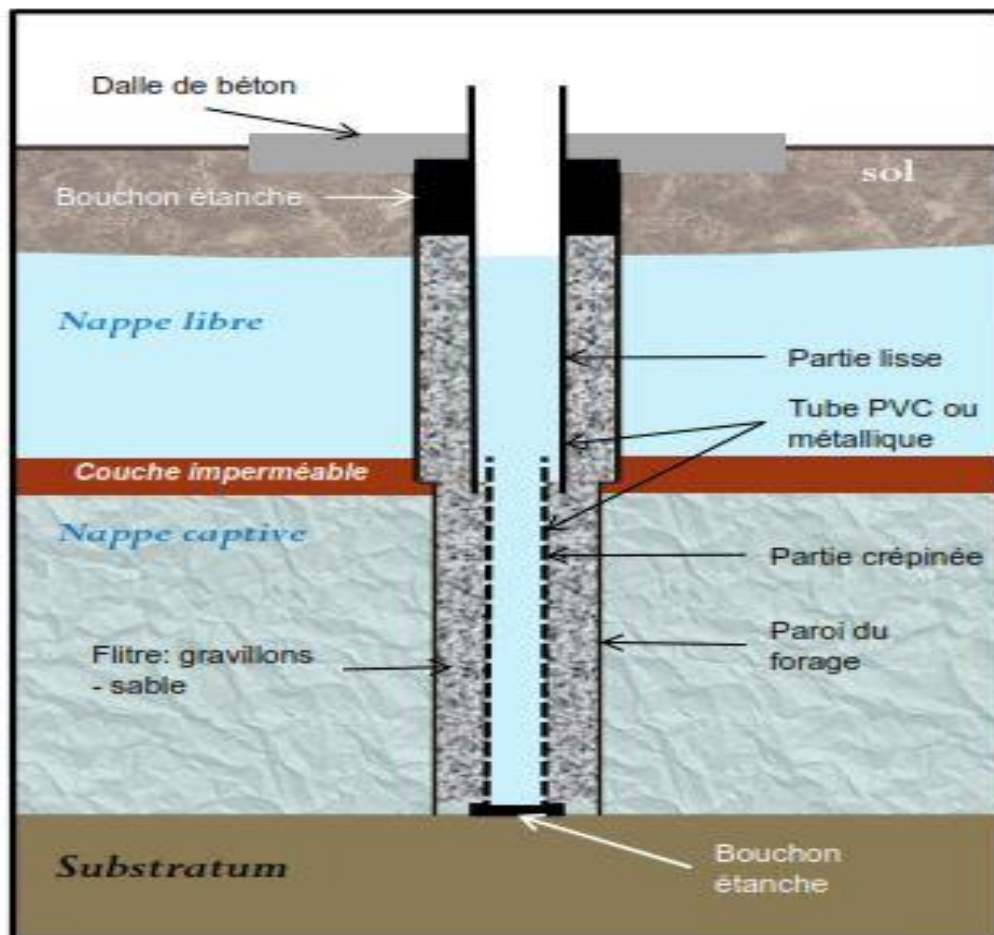


Fig. (IV .24): Coupe Transversale De Piézométrie .

IV– 4 . Choix Des Points De Mesure :

4-1- Mesures ponctuelles : – piézomètre comme point d'accès à la nappe (puits, forage) permettant le suivi périodique de cette nappe.

- Suivi temporel en général.
- Observer l'influence d'un point sur un autre (ex : essai de pompage, pollutions...).

Contraintes d'implantation:

- loin des **perturbations éventuelles** .
(pompage, drainage, marécage, haies d'arbres, topographie, géologie...).
- **dimension humaine** (habitants, agriculteurs, exploitants, operateurs...).

4-2-Mesures en réseau de piézomètres (réseau piézométrique) : pour le suivi périodique du niveau de l'eau des nappes souterraines .

- Suivi spatialisé et vue d'ensemble
- Localisation (horizontalement et verticalement) et nombre de piézomètres :
- représentativité du territoire – de la nappe :
- surface, géologie, topographie, réseau hydrographique
- dynamique (à l'échelle de la réponse hydrogéologique)
- quel(s) aquifère(s) observé(s) – suivi(s)
- objectifs du réseau (scientifique, opérationnel...)



photo (IV .02): Machine De Forage Piézométrique



photo (IV .03): pointe Piézométrique .

IV– 5 . Comment Mesurer :

5-1- sonde manuelle :

- Sonde manuelle capacitive (sonore)
- Différentes longueurs du ruban
- La lecture manuelle : procédé
- Indispensable au contrôle & traitement des données automatiques

Avantage :

- Fiabilité de la mesure
- Précision au cm près
- Observation directe du niveau, état du piézomètre
- Peu de panne

Inconvénients :

- Fréquence faible de mesure (déplacements physiques d'un observateur, coût)
- Références de la lecture (métadonnées, quelles données "écrites"?)
- État/entretien de la sonde (fiabilité):
 - ruban (coupé, effacé...)
 - Électrode
- Changements d'opérateurs : décalages
- Risque d'erreurs lors du passage au numérique

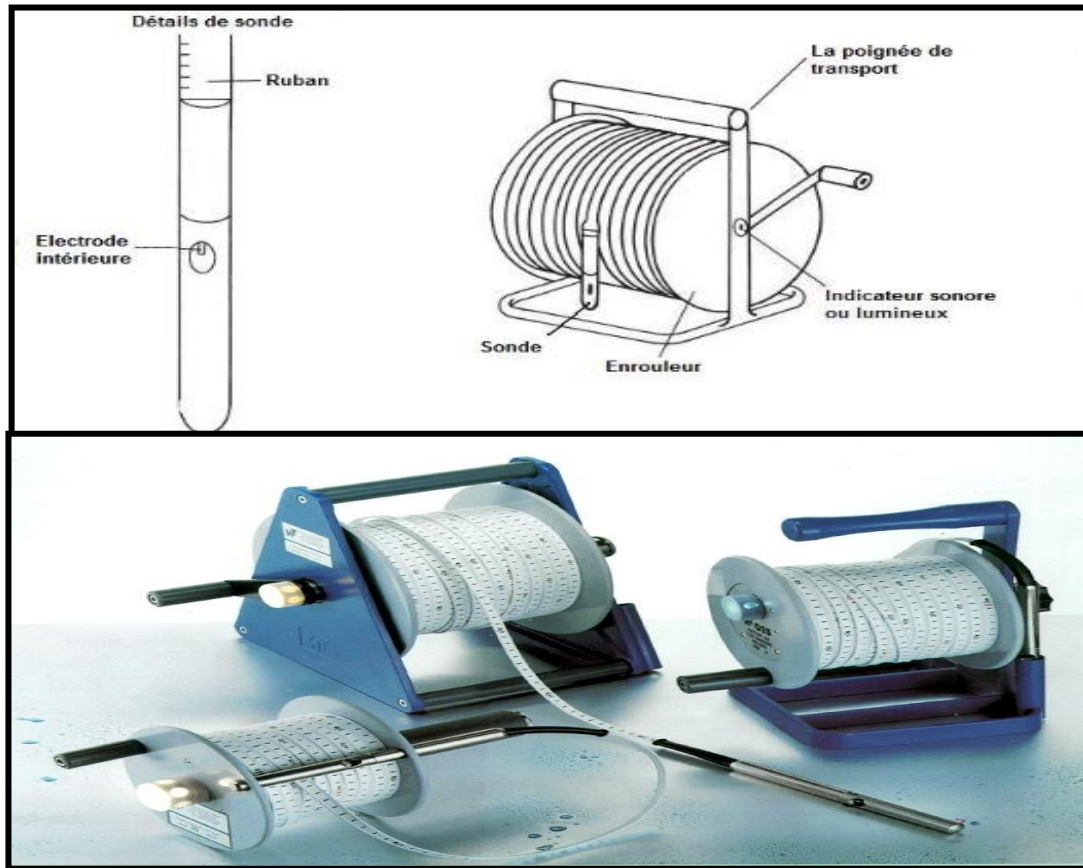


photo (IV .04): Photo De La Sonde Manuelle photo

IV. 2. Système Automatique :

Systèmes de mesure automatiques :

- Couple: capteur + logger (numérique ou papier, interne ou externe)
- Déchargements (manuels, télétransmission)
- Flotteur Thalimède
- Capteurs de pression immergés:
avec mise à air libre ou pression absolu

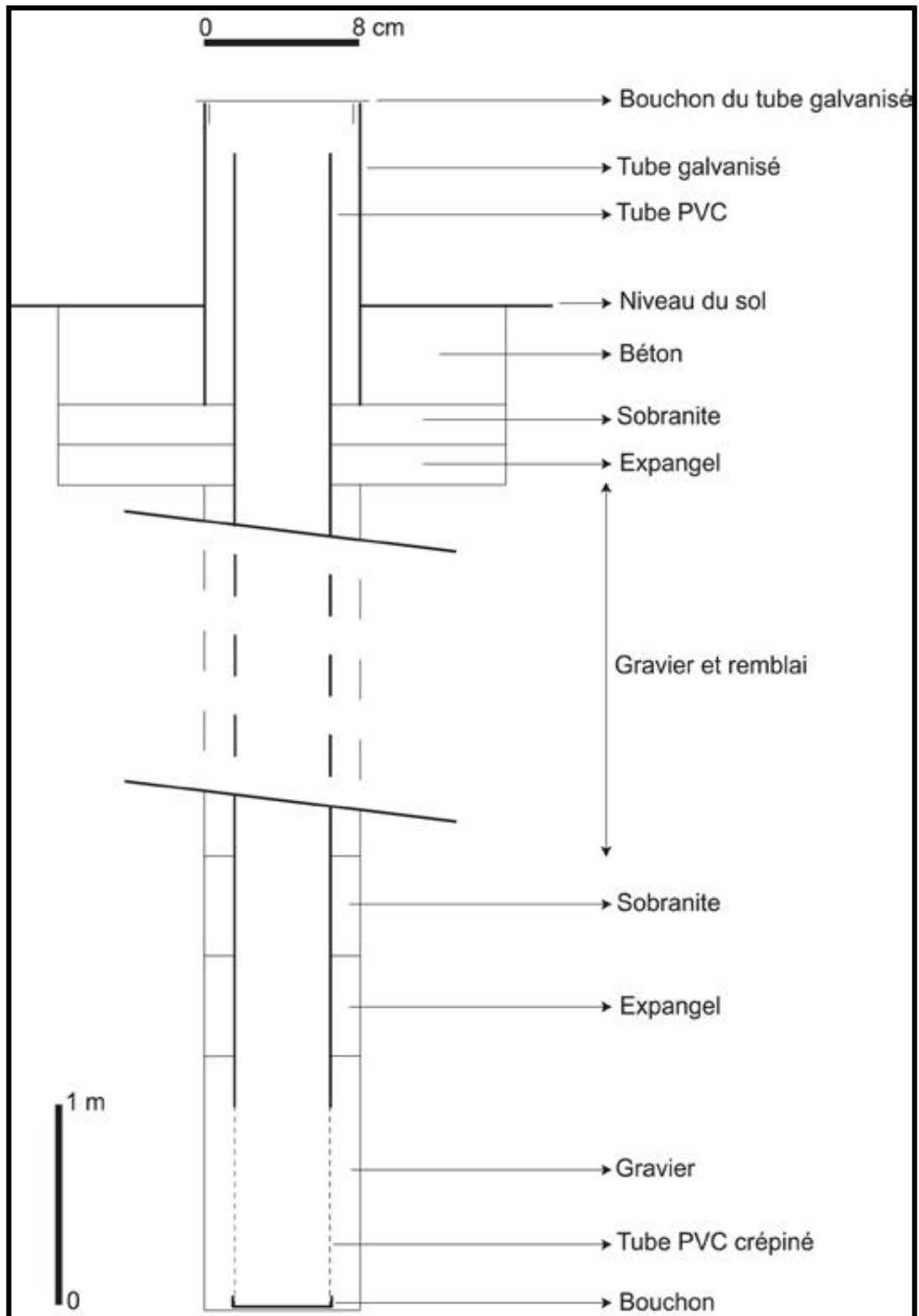


Fig.(IV .25): Coupe Transversale De Piézométrie .

5-3-1-Les avantages des piézomètres :

- **Représentativité de l'aquifère** (temps et espace): fréquence élevée et réseau important
- **Programmation à l'évènement** possible via un logger externe: au-delà d'une variation, déclenchement via un autre capteur
- **Précision** de la donnée (capteur)
- **Interface numérique:** traitement et valorisation simplifiés, base de données
- **Métadonnées** inscrites automatiquement dans fichier de chroniques
- **Structuration** en BDD, **archivages** automatiques et **visualisation** directe des données
- **Main d'œuvre limitée** / quantité de données; **mise en œuvre facile**

5-3-2-Les inconvénients des piézomètres :

- **Lacunes:** mémoire pleine (capacité de la mémoire) problèmes d'alimentation (batterie, piles), **pannes, dysfonctionnements** (capteur, logger) par rapport à la fréquence de déchargements (lacunes)
- **Dérives** possibles des capteurs: identification, corrections
- **Stabilité** du capteur (système de fixation: colliers, fils non extensibles...)
- **Références** de mesures (niveau du capteur, logger papier)
- **Risques d'erreurs : conversion** et changements de **formats, numérisation** (logger papier)
- **Obstruction:** tube de mise à l'air, cellule de capteur
- **Compensation:** localisation et fréquence du capteur depression atmosphérique (influence altitude, topographie)

IV– 6 . Conclusion :

La piézométrie ou mesure de la profondeur de la surface des nappes , et sa voir les déférences du nappe . avec la qualité des eaux qui existe .

V -1.Introduction :

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hypèraride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes.

L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- ◆ Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès, donc le régional de Biskra.

- ◆ Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :

- ⇒ Continentale Intercalaire.

- ⇒ Complexe Terminal.

Ces deux systèmes hydrauliques fond du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressource hydrique.

V -2. Caractéristiques essentielles des nappes :

On se rend compte que cette dénomination correspond cependant à une réalité : L'Oued Righ n'est pas un cours d'eau, mais en le survolant.

Le tracer de l'Oued Righ est marqué par l'échelonnement de petits chotts exutoires des eaux de la nappe phréatique.

A l'Ouest, la vallée de l'Oued Righ est plus au moins bien délimitée sur la moitié de sa longueur par les collines Miocènes, qui forment du Nord au Sud une sorte de chaîne, derrière cette chaîne s'étend la dépression Dzioua ou le Miocène est très peu épais, il s'agit d'une ondulation dont le cœur est formé d'Eocène moyen, qui s'allonge du Nord au Sud entre les Ouleds Djellal et Dzioua.

Au Sud de l'oasis de Djamaa entre Touggourt et Ouargla , l'ondulation de Dzioua est très peu marquée , elle doit cependant exister car les points d'eau qui s'alimentent de la nappe phréatique sont très rares, il y a donc séparation entre la nappe phréatique de l'Oued Righ et celle de Ouargla.

Au Sud de Touggourt, les points d'eau exploitant la nappe phréatique deviennent particulièrement nombreux et s'étalent en éventail sur une très large zone.

L'extension des eaux très profondes suit celle de la Complexe Terminal tout en étant de moins grande ampleur.

La limite Ouest des nappes souterraines est suffisamment nette, elle est marquée par les collines Miocènes qui bordent la vallée de l'Oued Righ entre **Goug** et **Sidi Slimane**, correspondant à la remontée du substratum argileux imperméable de l'Eocène moyen.

Les ressources artésiennes de l'Oued Righ se repartissent en trois nappes ou plutôt en trois faisceaux des nappes circulant dans les niveaux sableux et graveleux du Miocène continental.

- Zone d'alimentation : l'eau des nappes provient :
 - L'infiltration d'eau météorique dans les sables poreux.
 - L'infiltration pluviale dans l'Erg.
 - L'infiltration directe dans les fissures des couches affleurant au sol.
- Les zones d'alimentation des nappes artésiennes de l'oued sont très lointaines et très vaste, il existe d'autres zones moins connues vers l'Ouest et le Nord-Ouest de la partie étudiée de la vallée.
- Le sens d'écoulement des eaux est Sud Nord jusqu'au dernier point.
 - Nous avons utilisé deux logiciels de cartographe automatiques.

Surfer : pour dessiner les courbes isopiezes

Corrélation hydro-géologique : une corrélation entre **10** puits piézométrique alignés **N-S**, elle donne un aperçu sur les variations latérales des épaisseurs, on note que dans notre région d'étude, il n'y a pas de changement considérable des faciès et d'âge, on remarque aussi que la profondeur des couches augmente du Sud vers le Nord.

V-3. La Piézométrie :

Notre projet aborde précisément les aspects hydro-chimiques et hydro-dynamiques de la nappe **Complexe Terminal** de la région de l'Oued Righ.(**Touggourt Amon**)

Nous avons comparé entre deux carte piézométrique des années **2015 et 2018**, un séjour de **15** jours sur le terrain, au cours du quel nous avons réalisé un certain nombre d'enquête.

Ce stage nous permit d'effectuer des différentes observations et mesures sur quelques puits de cette nappe le long de la vallée où on a suivit une dix puits dans des localités différentes pour établir une carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal.

⇒ La détermination de la côte Z de chaque point à l'aide d'un GPS.

⇒ Mesure de niveau statique dans chaque puits, à l'aide d'une sonde sonore lumineuse.

⇒ La mesure de niveau piézométrique

$$[\mathbf{NP=NS-Z}]$$

NP : niveau piézométrique.

NS : niveau statique.

Z : cote, niveau naturel du sol.

⇒ Détermination du gradient hydraulique est donné par la formule :

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Les niveaux piézométrique H_1 et H_2 sont déterminés par les courbes iso-piezes et la distance **L** entre ces deux points par l'échelle de la carte.

V-3-1. Les Mesure De Carte Piézométrie :**A/ détermination de la côte Z de chaque point :**

La détermination de la côte Z de chaque point à l'aide d'un GPS. Avec logiciel de google earth

Et notée les résultat dans le tableau suivant :

Tab .(IV.17)::les Coordonnées géographiques et les Valeur du côte Z de chaque pizometre

N°PIZOMETRE	LAT	LONG	LAT DD	LONG DD	Z
PZ01-GOUG	32°54'36"	6°00'23"	32.91	6.01	88.00
PZ02-BELDATOMAR	32°59'03"	6°06'40"	32.98	6.11	78.00
PZ03-TEMACINE	33°00'48"	6°01'30"	33.01	6.03	78.00
PZ04-SIDI MAHDI	33°04'22"	6°05'42"	33.07	6.09	84.00
PZ05-RIMEL03(Nezla)	33°04'51"	6°02'10"	33.08	6.04	70.00
PZ06-TEBESBEST	33°08'00"	6°07'06"	33.13	6.12	63.00
PZ07-ZAOUIA LABIDIA	33°09'43"	6°03'58"	33.16	6.07	61.00
PZ08-MEGGARINE	33°12'58"	6°06'40"	33.22	6.11	67.00
PZ09-HERIHIRA	33°15'32"	6°02'34"	33.26	6.04	60.00
PZ10-SIDI SLIMANE	33°16'59"	6°06'56"	33.28	6.12	65.00

B/Mesure de niveau statique

Le Mesure de niveau statique dans puits piézométrique , et Aide à l'outil manuel et est (le sonde sonore lumineuse).



Photo (IV .06): sonde sonore lumineuse(Manuelle)



Photo (V .07): pizometre Zaouia Elabidia

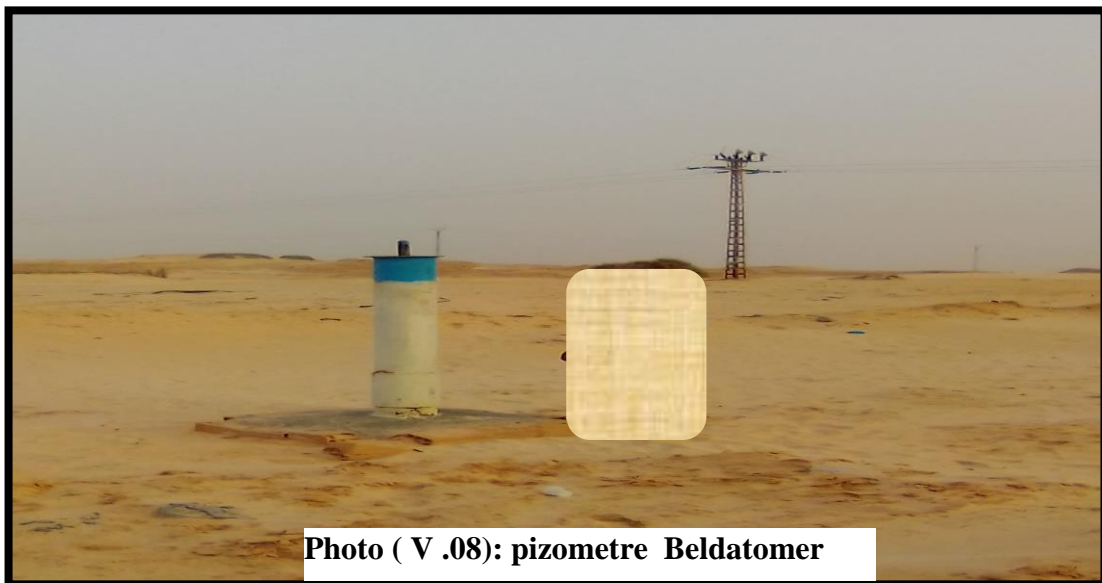


Photo (V .08): pizometre Beldatomer



Photo (V .09) : pizometre Temacine

Et notée les résultat dans le tableau suivant :

Tab .(IV .18) les Valeur du niveau statique de piézomètre (2015-2018) .

N°PIZOMETRE	LAT	LONG	Z	NS.(2015)	NS.(2018)
PZ01-GOUG	32°54'36"	6°00'23"	88.00	12.12	12.50
PZ02-BELDATOMAR	32°59'03"	6°06'40"	78.00	11.25	10.70
PZ03-TEMACINE	33°00'48"	6°01'30"	78.00	18.10	19.50
PZ04-SIDI MAHDI	33°04'22"	6°05'42"	84.00	34.80	36.40
PZ05-RIMEL03	33°04'51"	6°02'10"	70.00	24.75	24.70
PZ06-TEBESBEST	33°08'00"	6°07'06"	63.00	13.20	13.00
PZ07-ZAOUIA LABIDIA	33°09'43"	6°03'58"	61.00	23.55	29.00
PZ08-MEGGARINE	33°12'58"	6°06'40"	67.00	34.83	36.70
PZ09-HERIHIRA	33°15'32"	6°02'34"	60.00	22.50	22.00
PZ10-SIDI SLIMANE	33°16'59"	6°06'56"	65.00	35.20	37.00

—source (A N R H-,2015)

C/ mesure de niveau piézométrique

Pour mesure le niveau piézométrique d'année 2018 nous appliquons la formule suivant :

$$[NP=NS-Z]$$

Et notée les résultat dans le tableau suivant :

Tab .(IV .19):les Valeur du niveau piézométrique de chaque piézomètre .

N°PIZOMETRE	LAT	LONG	Z	NS.(2018)	NP (2018)
PZ01-GOUG	32°54'36"	6°00'23"	88.00	12.50	75.50
PZ02-BELDATOMAR	32°59'03"	6°06'40"	78.00	10.70	67.30
PZ03-TEMACINE	33°00'48"	6°01'30"	78.00	19.50	58.50
PZ04-SIDI MAHDI	33°04'22"	6°05'42"	84.00	36.40	47.60
PZ05-RIMEL03	33°04'51"	6°02'10"	70.00	24.70	45.30
PZ06-TEBESBEST	33°08'00"	6°07'06"	63.00	13.00	50.00
PZ07-ZAOUIA LABIDIA	33°09'43"	6°03'58"	61.00	29.00	32.00
PZ08-MEGGARINE	33°12'58"	6°06'40"	67.00	36.70	30.30
PZ09-HERIHIRA	33°15'32"	6°02'34"	60.00	22.00	38.00
PZ10-SIDI SLIMANE	33°16'59"	6°06'56"	65.00	37.00	28.00

E/ La Comparaisant entre les deux niveau Piézométrique d'année (2015-2018)

Les données du tableau suivant comparent les niveaux de deux années différentes(2015-2018).

Tab(IV .19):les Valeur du niveau piézométrique de chaque piézomètre en (2015-2018) .

N°PIZOMETRE	LAT	LONG	NP 1015	NP 2018
PZ01-GOUG	32°54'36"	6°00'23"	75.88	75.50
PZ02-BELDATOMAR	32°59'03"	6°06'40"	66.75	67.30
PZ03-TEMACINE	33°00'48"	6°01'30"	59.90	58.50
PZ04-SIDI MAHDI	33°04'22"	6°05'42"	49.20	47.60
PZ05-RIMEL03	33°04'51"	6°02'10"	45.25	45.30
PZ06-TEBESBEST	33°08'00"	6°07'06"	49.80	50.00
PZ07-ZAOUIA LABIDIA	33°09'43"	6°03'58"	37.45	32.00
PZ08-MEGGARINE	33°12'58"	6°06'40"	32.17	30.30
PZ09-HERIHIRA	33°15'32"	6°02'34"	37.50	38.00
PZ10-SIDI SLIMANE	33°16'59"	6°06'56"	29.80	28.00

Après d'avoir les résultats dans le tableau(IV .19), nous concluons :

La baisse du niveau piézométrique dans les zones (**GOUG(0.38m)+ TEMACINE(1.40m)+ SIDI MAHDI(1.60m)+ ZAOUIA LABIDIA(5.45m)+ MEGGARINE(1.87m)+ SIDI SLIMANE(1.80m)**) en raison de l'augmentation de palmiers dans ces zones et cela devrait consommer le plus d'eau.

Inverser les zones où le niveau piézométrique a augmenté (**BELDATOMAR(0.55m)+ RIMEL03(0.05m)+ TEBESBEST(0.02m)+ HERIHIRA(0.50m)**) en raison de l'augmentation des agglomérations d'habitation.

C'est-à-dire les niveau plus bas de nappe CT ;danc le résultat c'est le remontée de nappe phréatique.

Les niveaux piézométrique H_1 et H_2 sont déterminés par les courbes iso-pièzes et la distance **L** entre ces deux points par l'échelle de la carte

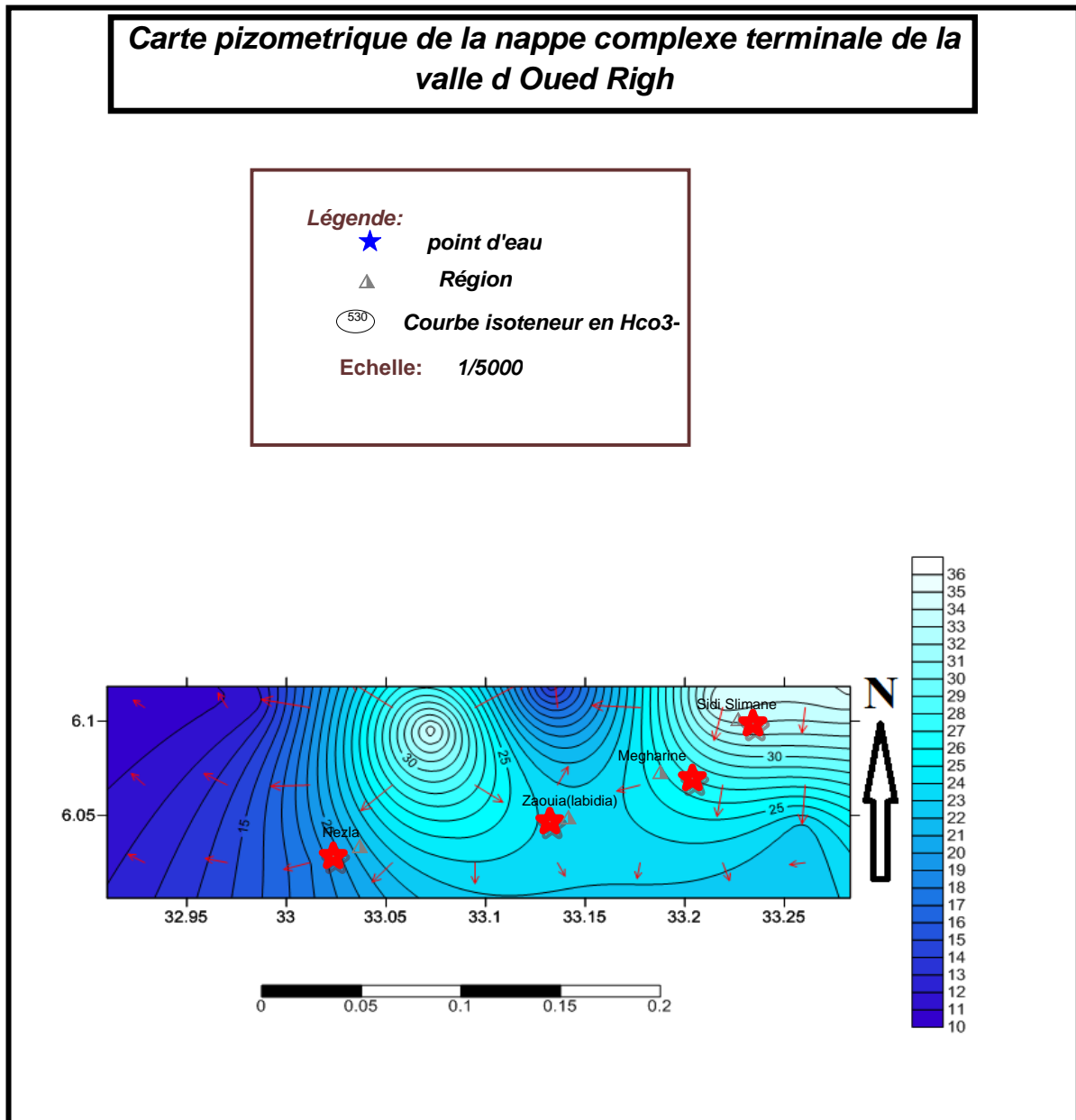


Fig.(IV .26): Carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal de Touggourt amont (Oued Righ).de la année 2015

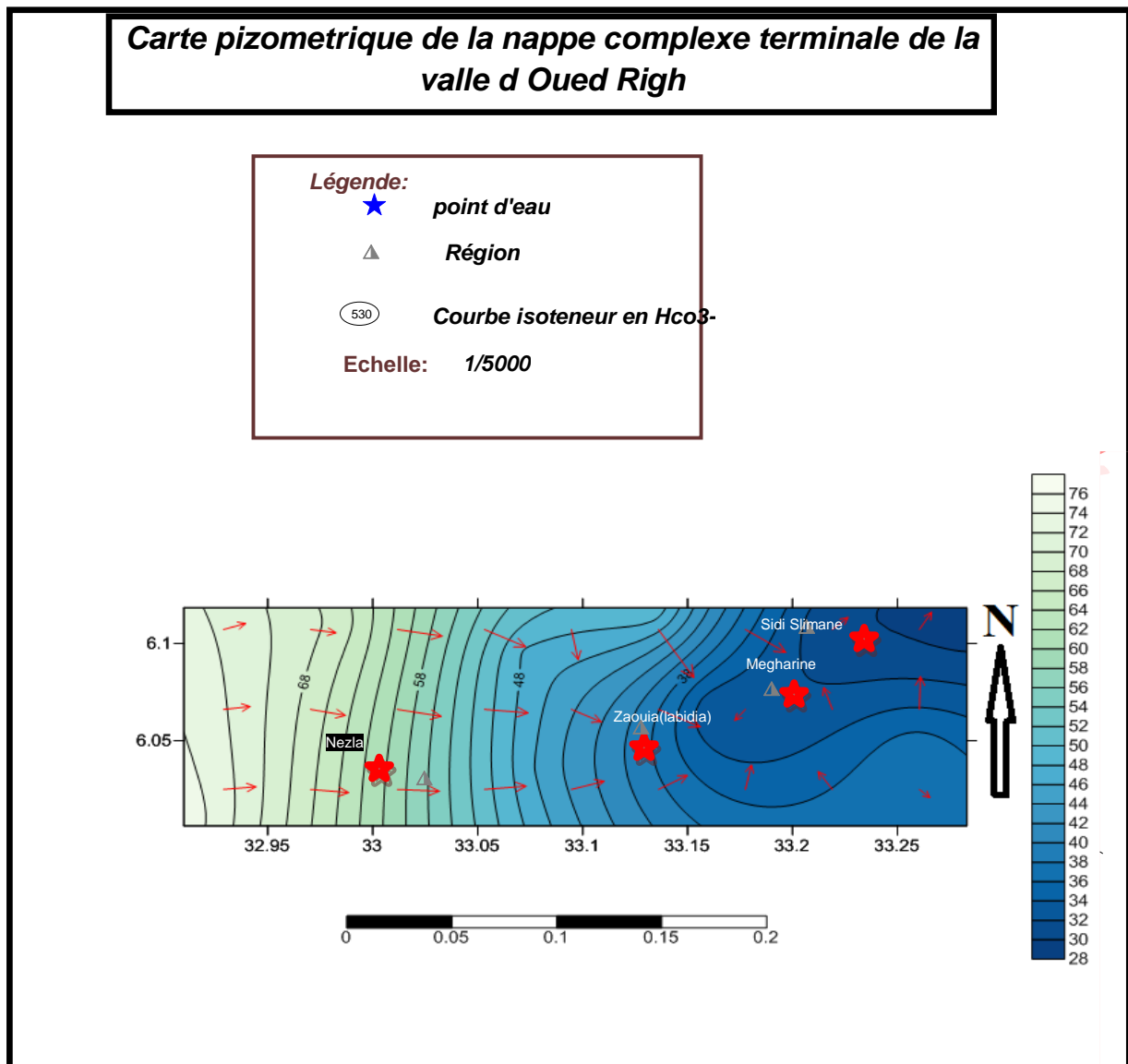


Fig.(IV .27):Carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal de Touggourt amont (Oued Righ).de la année 2018

La baisse du niveau piézométrique dans les zones (**GOUG(0.38m)+ TEMACINE (1.40m)+ SIDI MAHDI(1.60m)+ ZAOUIA LABIDIA(5.45m)+ MEGGARINE(1.87m)+ SIDI SLIMANE(1.80m)**) en raison de l'augmentation de palmiers dans ces zones et cela devrait consommer le plus d'eau.

Inverser les zones où le niveau piézométrique a augmenté (**BELDATOMAR(0.55m)+ RIMEL03(0.05m)+ TEBESBEST(0.02m)+ HERIHIRA(0.50m)**) en raison de l'augmentation des agglomérations d'habitation.

C'est-à-dire les niveau plus bas de nappe CT ;danc le résultat c'est le remontée de nappe phréatique

D/Détermination du gradient hydraulique

Pour Déterminée le gradient hydraulique est donné par la formule suivant :

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

H_1 : Les niveaux piézométrique de piézomètre N° 01.

H_2 : Les niveaux piézométrique de piézomètre N° 02.

L : la distance entre ces deux points par l'échelle de la carte.

Tab (IV .20): Valeur de gradient hydraulique.

LOCALITE	GRADIENT HYDRAULIQUE	SENS D'ECOULEMENT
GOUG	0.40×10^{-3}	Sud-Ouest vers Nord-Est
BELDATOMAR	0.91×10^{-3}	Sud-Ouest vers Nord-Est
TEMACINE	0.69×10^{-3}	Sud-Ouest vers Nord-Est
SIDI MAHDI	1.07×10^{-3}	Sud-Ouest vers Nord-Est
RIMEL03	0.79×10^{-3}	Sud-Ouest vers Nord-Est
TEBESBEST	0.91×10^{-3}	Sud-Ouest vers Nord-Est (-)
ZAOUIA LABIDIA	1.24×10^{-3}	Sud- Nord
MEGGARINE	0.53×10^{-3}	Nord- ouest vers Sud- Est
HERIHIRA	1.07×10^{-3}	Nord- Est vers Sud- ouest (-)
SIDI SLIMANE	1.54×10^{-3}	Nord- Est vers ouest

La nappe est cylindrique au localité de Sidi Slimane, légèrement divergente au Sud de Touggourt pour devenir concave à Touggourt

A partir de **Goug** le sens d'écoulement est Sud-Ouest vers Nord-Est est due à l'influence de l'augmentation des surface palmerais.

Dans la partie Nord les courbes sont franchement convergentes autour du chott ; zone déprimée par l'effet de l'évaporation qui joue ici le rôle d'exutoire naturel et moteur de circulation.

V-4. Des problèmes actuels :

Les zones des palmeraies connaissent d'énormes problèmes dont la plus part sont liées directement aux conditions naturelles de la région tel que : morphologie du terrain, forte évaporation, salinité des eaux et des sols.

La multiplication des forages, les pompages intensifs à débit de **20-300 l/s** et les drainages insuffisants engendre certains problèmes particuliers tel que la chute de l'artesianisme, la remontée du niveau hydrostatique de Complexe Terminal..

En outre la mauvaise exploitation des palmeraies (travaux culturaux, entretien, mode d'irrigation)

Ces contraintes conjuguées à une utilisation abusive des eaux profondes pour l'irrigation sont traduites par la remontée de la Complexe Terminal.

A\La remontée des eaux :



Photo(IV.14): La remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Merjaja)



Photo (IV .13): La remontée des eaux de la nappe phréatique (Tatawine) Touggourt

A- 1. Les causes de ce problèmes :**⇒ La mauvaise gestion des eaux :**

Les débits utilisées par des forages destinées à l'irrigation dans les différentes nappes sont mal gérés, l'irrigation se fait presque dans toutes les palmeraies par les méthodes traditionnelles (submersion dans les seghias). Les fellahs ne respectent pas convenablement les systèmes de rotation ; et les fuites des réseaux d'alimentation en eau potable.

Ceci a accéléré la genèse de nouveaux chotts à Sidi Slimane.

⇒ Plus de rejet et moins de prélèvement :

Au moment où la nappe phréatique subit alimentation très considérable en eau transférée à partir des débits fournis par les forages captant les autres nappes, elle n'est plus exploitée d'une manière qu'on ait au moins un équilibre entre les apports entrants et ceux qui doivent sortir.

⇒ Structure de substratum :

La géométrie de la nappe ainsi que la géologie du substratum imposent le sens d'écoulement des eaux de cette aquifère et facilitent l'ascension des eaux en surface.

B\La chute de l'artésianisme :

Cette région était jadis caractérisée par l'artésianisme des forages des deux complexes hydrauliques (**CT**, **CI**). Cependant, depuis quelque temps, la disparition de l'artésianisme des forages du **CT** s'est manifestée. La surexploitation de cette nappe a entraîné un rabattement du niveau statique, qui s'est répercuté sur la chute de l'artésianisme qui a d'ailleurs presque entièrement disparu des forages du **CT**, hormis ceux captant la nappe du Sénonien, qui reste artésienne avec un faible débit (**0,3 à 1 l/s**).

En conséquence, presque tous les forages du **CT** nécessitent actuellement un équipement de pompage. Les forages de l'Albien en revanche restent artésiens mais progressivement une diminution de la pression y est constatée

V-5 Conclusion :

Dans le bassin de l'Oued Righ, il existe deux systèmes aquifères :

- ❖ Le premier profond étendu, dit le Continentale Intercalaire (**CI**), constitué en grande partie par des sables et des grès d'âge Albien
- ❖ Le deuxième est multicouche, peu profond, moins étendu que le premier dit Le Complexe Terminal (**CT**), constitué de deux ensembles différents:
 - L'un marin constitué par les calcaires d'âge Sénonien-Eocène **CT3**
 - L'autre continentale constitué par des sables, graviers et des grés d'age Mio-Pliocene caractérise la **1ère** et la **2ème** nappe du Complexe Terminal (**CT1**) (**CT2**)

Un aquifère superficiel qui surmonte ces deux ensembles dit nappe Phréatique contenue dans les sables fins à moyens d'age Quaternaire à récent

Les cartes piézométriques sont des documents de base de l'analyse et de la schématisation du comportement hydrodynamique de l'aquifère, et la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

L'analyse de la carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal bas dans surface palmeraies et montre un sens d'écoulement globale du Sud vers le Nord caractérisé par un gradient hydraulique voisin de **0.1%**, un autre sens tend du Nord vers le Sud vers l'exutoire naturel.

C'est-à-dire les niveau plus bas de nappe CT ;danc le résultat c'est le remontée de nappe phréatique dans la région d'etude

VI-1 Introduction :

L'analyse hydrochimique permet la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux et des lois qui interviennent dans les échanges entre l'eau et la roche.

Cette étude nous permet de connaître :

⇒ La répartition quantitative des différents éléments chimiques majeurs, dans l'eau.

⇒ La qualité de l'eau de la région.

⇒ Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux afin de définir le meilleur usage.

on a prélevé les données d'analyse chimique par le centre de **A.N.R.H** sur **30 jours**, le dosage chimique a porté sur les éléments majeurs suivants :

Anions: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-

Cations: Ca^{++} , Mg^{++} , (Na^+ , K^+).

Le choix du lieu de prélèvement des échantillons est basé sur la répartition spatiale des différents points d'eau de façon à couvrir tout le secteur étudié (variation horizontale).

VI -2. Discussions le résultat des paramètres physico-chimiques :

VI-2.1.Paramètres physiques :

1. Température :

La température joue un rôle très important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique, elle permet de différencier les eaux qui circulent en profondeur ou le mélange éventuel entre les eaux.

L'augmentation de la température est fonction de la profondeur (**1°C** pour **35m**).

La température moyenne des eaux de la nappe phréatique est de l'ordre de **22°C**, et celle de l'air est de **21,76°C**.

On constate que la **T°** de l'eau est pratiquement de la même de l'air ; ce qui montre l'interaction complète entre la nappe et l'air

2. le pH :

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogènes, il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau, sa valeur varie en fonction de l'action de la force ionique :

- Milieu neutre **pH=7**.
- Milieu acide **pH<7**.
- Milieu basique **pH>7**.

Les valeurs de pH sont très proches, entre **6** et **7**. mais dans la plupart des puits de la nappe phréatique les eaux sont légèrement alcalines.

Tab (VI.21): Les valeurs de PH de la nappe phréatique dans la région de Oued Righ sud –source (A N R H-,2015)

LOCALITE	pH
Nezla	6.9
Zaouia Labidia	7.2
Meggarine	6.8
S/Slimane	7.4

3. La conductivité électrique :

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide .sa variation est liée à la nature des sels dissous et leur concentration.

Pour la nappe phréatique de la région d'étude, la valeur de conductivité varie entre **6,85 ms/cm** et **13,44 ms/cm**.

Elles sont importantes au sud, diminuent vers le nord de la vallée.

VI-2-2-Parametres chimiques :

1- Résidu sec :

Exprimé en gramme par litre (**g/l**) ou milligramme par litre (**mg/l**).représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenus dans l'eau, obtenue par dessiccation de l'eau à **110°C**.

D'après la carte d'iso valeurs du résidu sec de la nappe phréatique, on constate une diminution du Sud vers le Nord avec le sens d'écoulement jusqu'au atteindre la valeur minimale **6,7 g/l** à **Nezla et Sidi Slimane. Meggarine**, passant par une valeur maximale de **6,8 g/l** au niveau des puits de **Zaouia Abidia** au centre de la carte.

2-Relation résidu sec-conductivité :

—source (A N R H-,2015)

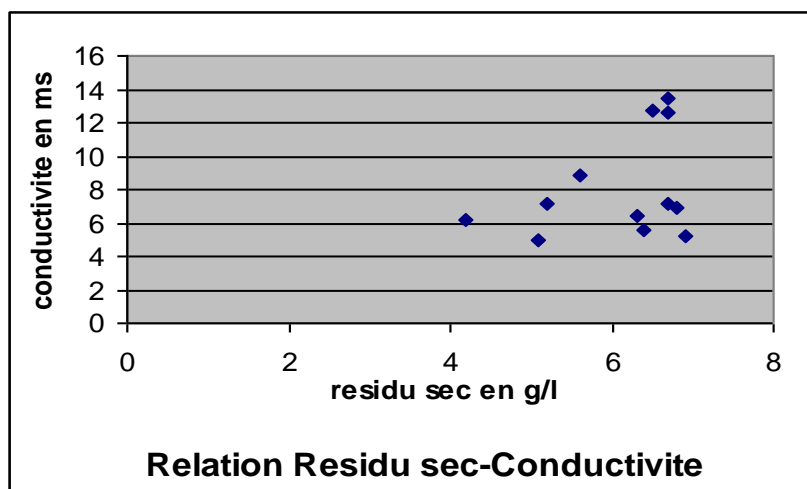


Fig (VI .28): Relation résidu sec –conductivité de la nappe phréatique

3- La dureté :

Le degré hydrotimétrique ou titre hydrotimétrique, indique la teneur totale des concentrations classiques de Ca^{++} et Mg^{++} exprimé en degré français, ou 1°f correspond à **10 mg** de carbonates dans un litre d'eau, $1^{\circ}\text{f} = 10 \text{ mg/l}$ de $\text{CaCO}_3 = 0,2 \text{ me/l}$.

Donc, on peut classer les eaux d'après leur dureté totale (d'après CASTANY, page 243)

Tab (VI .22): Potabilité en fonction de la dureté.

—source (A N R H-,2015)

Degré °f	0-3	3-15	15-30	>30
Eau	Très douce	Douce	dure	Très dure

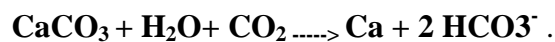
Dans l'ensemble les eaux analysées présentent un $\text{th} > 200^{\circ}\text{f}$.

VI -2.3.Les différents éléments chimiques :

La chimie des eaux dépend des roches traversées lors de leurs circulations dans les formations aquifères et du temps de séjour qui leur permet de s'enrichir en sels minéraux :

♦ calcium Ca^{++} :

C'est un élément de la dureté totale, la dissolution du calcium résulte principalement de l'infiltration des eaux dans les formations carbonatées, cette dissolution est due principalement à la présence du gaz carbonique. Ce gaz provient de l'atmosphère en raison de l'activité bactérienne qu'il génère :



Les teneurs de Ca^{++} de la nappe phréatique sont comprises entre **366,6 mg/l** comme valeur minimale à **Zaouia Labidia**, elles vont atteindre la valeur maximale **462.2 mg/l** à **Sidi Slimane** au Nord de la carte.

Le D'après la carte, on constate aussi que les teneurs en Ca^{++} au Sud de la carte sont remarquables et importants à l'exception de la valeur **384.6 mg/l** au niveau de **Nezla**.

♦ Le magnésium mg^{++} :

Ces ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques.

D'après la carte d'iso teneurs de Mg^{++} , on constate que les valeurs de concentration de Mg^{++} est proche au niveau des différentes puits de la nappe, à l'exception de la valeur maximale au Nord de la carte au niveau de **Nezla 416.04 mg/l**, et l'autre au centre présente la valeur minimale **284.4** à **Zaouia Labidia**.

♦ Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+) :

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable. Le sodium peut provenir du lessivage des formations géologiques riches en **NaCl** ; le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau.

D'après la carte d'iso teneurs de (Na^+ , K^+), on peut distinguer deux parties :

Au Sud : on constate que les teneurs en Na^+ , K^+ augmentent du sud vers le nord avec le sens d'écoulement jusqu'à atteindre à **Zaouia Labidia** au centre de la carte, une valeur maximale de **1848.7 mg/l**.

L'augmentation des valeurs au Sud de la vallée est due aux eaux chargées provenant de la dissolution des sels de la croûte superficielle par les eaux d'irrigations.

◆ Les chlorures Cl^- :

Ils sont toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau résulte de :

- La dissolution des sels naturels par le lessivage de terrains gypseux, marneux ou argileux.
- L'évapotranspiration intense dans les régions où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol, caractérisant notre nappe.

D'après la carte, on constate que les valeurs de Cl^- sont très importantes au Sud de la carte, qui vont diminuer avec le sens d'écoulement jusqu'au Nord où la teneur de Cl^- atteint sa valeur minimale **3337 mg/l** au niveau du puits de **Meggarine** et **Sidi Slimane**.

◆ Les sulfates (SO_4^{--}) :

Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de :

- Des formations gypseuses.
- Légère solubilité de CaCO_3 avec des passées gypseuses.
- Des eaux usées industrielles.

Les teneurs varient entre **564,9 mg/l** comme valeur minimale et **829,9 mg/l** comme valeur maximale.

D'après la carte, on constate que ces valeurs sont très proches, à l'exception de la présence d'une valeur très élevée au niveau du puits **Sidi Slimane 829,9** au Nord de la carte.

◆ Les bicarbonates HCO_3^- :

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO_2 , de la température, le **pH** de l'eau et la nature lithologique des terrains traversés.

Les valeurs de la concentration de HCO_3^- sont faibles, elles sont comprises entre **300,10 mg/l** et **588 mg/l**.

D'après la carte, ces valeurs sont importantes au Sud qu'au Nord.

Au centre, on estime la valeur minimale au niveau du puits de **Sidi Slimane**.

VI 3.1.L'histogramme de concentration des différents éléments :

La conception d'histogramme de la concentration basée sur les analyses des éléments chimiques majeurs en **méq/l**. on a calculé les moyennes arithmétiques de chaque élément, ensuite on représente les moyennes sous forme d'histogramme. (Les résultats sont en **méq/l** pour avoir un aperçu sur les éléments dominants.)

L'histogramme montre que le sodium et le magnésium sont les cations dominants ; les autres éléments sont moins importants et les chlorures et les sulfates sont les anions dominants.

La dominance des chlorures et du sodium est liée d'un part à la présence de lentilles de sels **NaCl**, et d'autre part au contact d'eau d'excès d'irrigation sur la couche superficielles riche en **NaCl** (il est connu que cet excès s'infiltré dans la nappe phréatique), sans oublier l'évaporation intense qui touche cette nappe et la rend plus concentrée.

—source (A N R H-,2015)

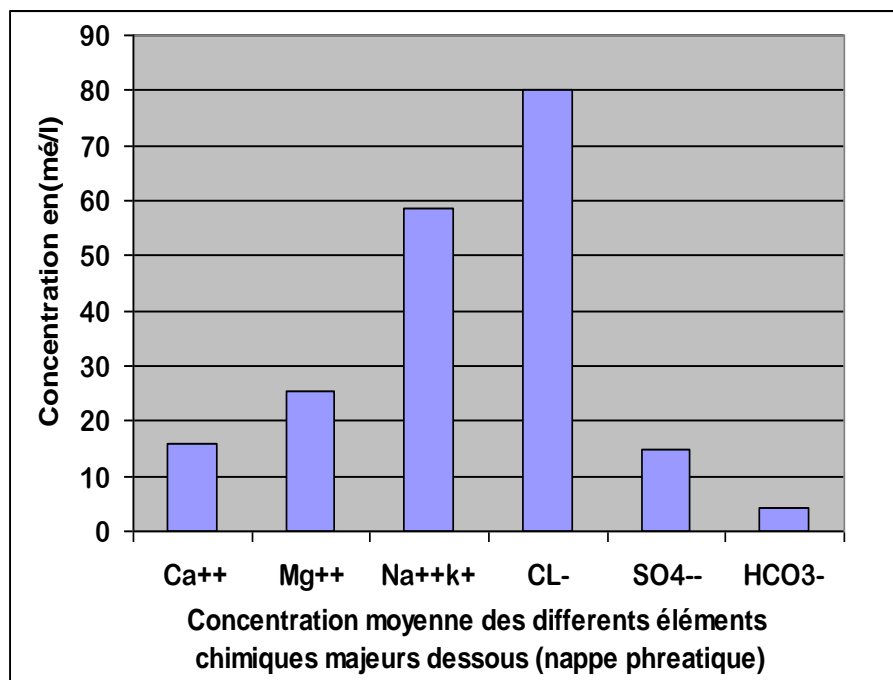


Fig (VI .29): Concentration moyenne des différents éléments chimiques majeurs dessous (nappe phréatique).

VI -4. Représentation graphique des données :

Pour compléter l'étude hydrochimique, les résultats des analyses sont portées sur des diagrammes permettant de définir clairement des types d'eau, et compare les eaux entre elles.

VI -4.1.Aptitude des eaux à l'irrigation :

L'aptitude des eaux à l'irrigation est reliée à son effet sur les sols et les cultures, ces derniers sont effectués de matières différentes par la nature des sels dissouts dans les eaux destinées à l'agriculture.

VI -4.1.1.Diagramme de REVERSIDE :

Le sodium est un éléments des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintient de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

Pour déterminer ce risque, **Reverside** a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (**SAR**) et la minéralisation totale.

Donc le **SAR**, sera calculé par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Ou tous les concentrations sont exprimées en **még/l**.

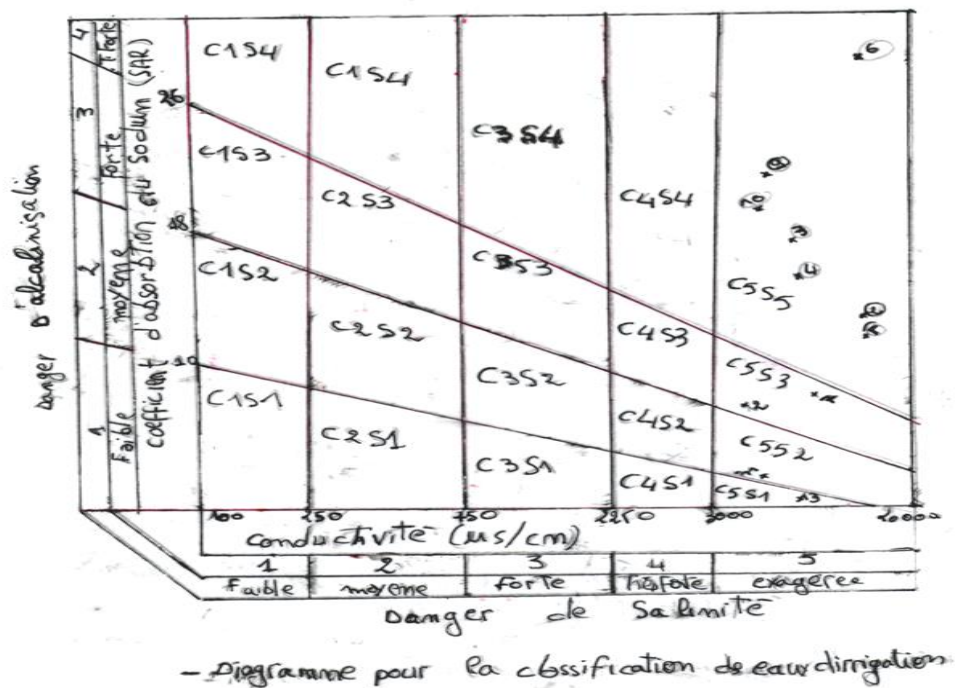


Fig (VI .30: Diagramme de REVERSIDE)

L'interprétation du diagramme :

Le diagramme de **Reverside** montre quatre classes des eaux d'irrigation :

1) Eau à très forte salinité et de faible teneur en sodium, risque de sodicité faible (**C₅ S₁**).

2) Eau à très forte salinité et de teneur moyenne en sodium, risque de moyen sodicité (**C₅ S₂**).

3) Eau à très forte salinité et de forte teneur en sodium, risque de sodicité forte (**C₅ S₃**).

4) Eau à très forte salinité et de teneur en sodium exagérée, risque de sodicité très forte (**C₅ S₄**).

D'après le diagramme de **Riverside**, ces eaux ne convenant pas à l'irrigation, elles ont une salinité exagérée, mais pouvant être utilisées sous certaines conditions : certaines cultures (palmiers), sol très perméable.

VI -4.1.2. Diagramme de WILCOX :

Il est connu en général que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium (**Lourrier 1976**).

Pour cette raison **Wilcox** a établi en **1954** un diagramme qui tient compte du pourcentage de sodium, et de la conductivité électrique, définissant **5** classes d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre, mauvaise) dont le pourcentage de sodium sera calculé par la formule suivante :

$$\text{Na}^+\% = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + (\text{Na}^+ + \text{K}^+)} \times 100$$

(Tous les éléments sont exprimés en **méq/l**).

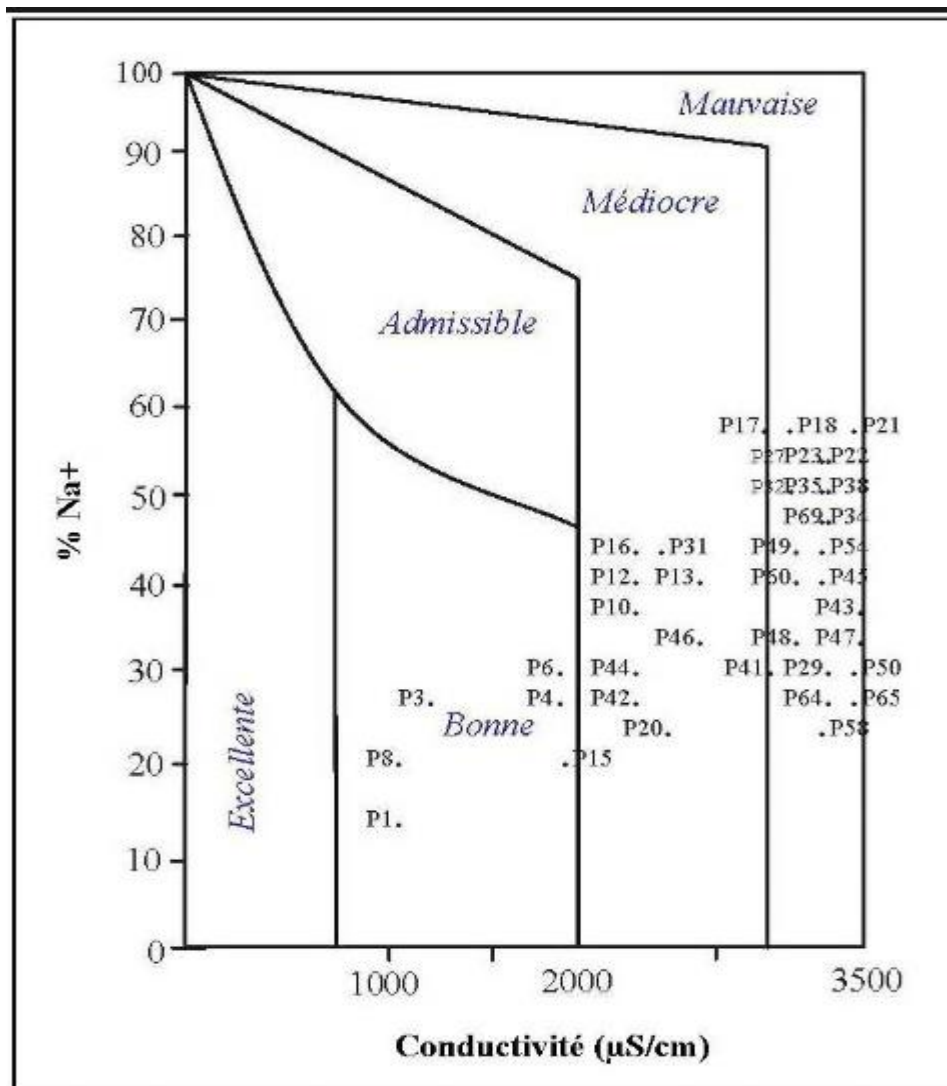


Fig (VI .31): Diagramme de WILCOX

***Interprétation du diagramme :**

D'après le digramme on constate que les valeurs obtenues sont toutes hors du digramme traduisant le fait que les eaux de la nappe phréatique ont une qualité chimique très mauvaise pour l'irrigation.

VI -4.2.Classification des eaux naturelles:

Il existe plusieurs classifications des eaux naturelles ; on distingue deux critères fondamentaux de classification :

- La composition chimique.
- L'origine et le gisement des eaux.

Les principales classifications basées sur la composition chimique des eaux naturelles sont celles de **STABLER-SAULINE**, **ALKENINE**, **SCHELLER**, **PALMER** et **PIPER** mais les plus utilisées sont celles de **STABLER** et **PIPER**.

VI -4-2.1. Classification de STABLER :

Cette classification est exprimée par une formule caractéristique (formule ionique), elle consiste à calculer les quantités en réaction en pourcent par rapport à la concentration totale (**50% anions, 50% cations**).

$$r\% = \frac{r \times 100}{c}$$

Dont :

r% : quantité en réaction en pourcent de l'élément.

r : quantité en réaction de l'élément chimique (mg/l).

c : concentration de l'élément chimique dans l'eau .

Puis on classe de gauche à droite par ordre décroissant, les quantités en réaction en pourcent des anions et des cations pour obtenir des formules caractéristiques. Cette dernière permet d'une part de définir la relation entre le chimiste des eaux et la lithologie de l'aquifère et d'autre part de regrouper les eaux de même origine.

Le tableau suivant porte les faciès chimiques et les formules caractéristiques des analyses d'eau des puits de la nappe phréatique.

Tab (VI .23): Classification de STABLER des eaux de la nappe phréatique

–source (A N R H-,2015)

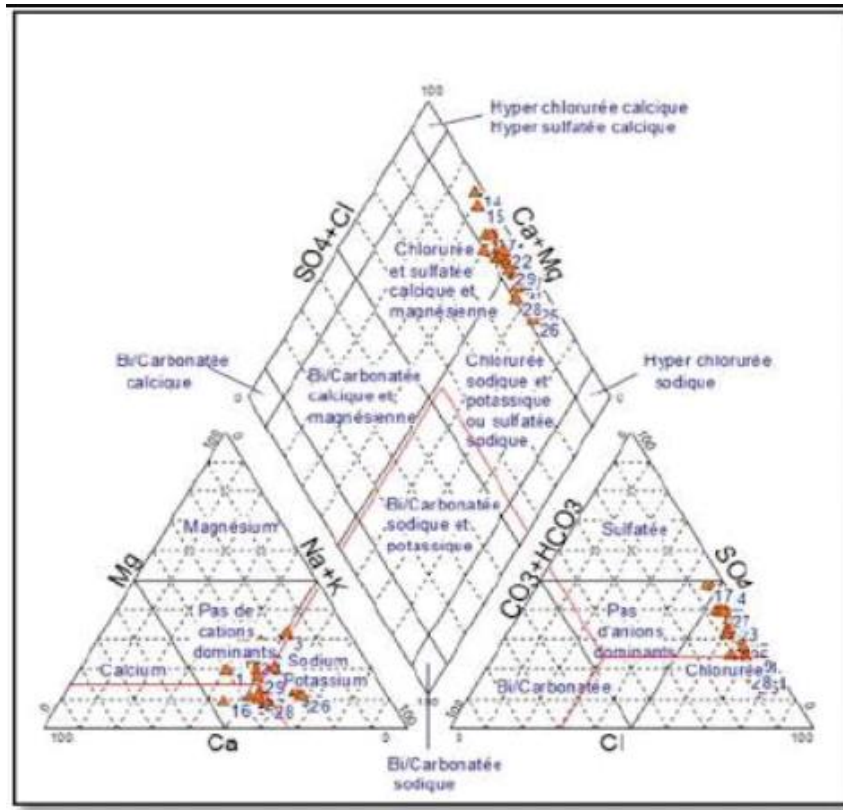
Faciès chimique	Formule caractéristique	%	Point de élèvement
Chloruré sodique	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{2-} > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r \% \text{Mg}^{++} > r \% \text{Ca}^{++}$	100%	-Nezla -Zaouia Abdia -Megharine -Sidi Slimane

Le tableau montre que les eaux de la nappe phréatique ont les faciès chimiques suivants :

- Chlorurés sodique avec **100 %** des échantillons.

VI -4-2.2 .Classification de PIPER :

Le diagramme **PIPER** comprend un losange et deux triangle équilatéraux, le losange occupe la partie centrale du diagramme et les triangles la partie inférieur.



Dans le cas de ce diagramme les eaux sont considérées comme des solutions à trois
 D'après la classification de **PIPER**, la nappe phréatique a un faciès : chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique anormal pour la majorité des forages sauf forage : Sidi Slimane qui ont un faciès :

Chloruré et sulfaté calcique et magnésien (voir tableau).

Tab (VI .24): Classification des eaux de la nappe phréatique

—source (A N R H-,2015)

Puits	Cations	Anions	Classification
-Nezla	(Na ⁺ +K ⁺)	Cl ⁻	Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique anormal
-Zaouia Abdia	(Na ⁺ +K ⁺)	Cl ⁻	
-Megharine	(Na ⁺ +K ⁺)	Cl ⁻	
-Sidi slimane	(Na ⁺ +K ⁺)	Cl ⁻	Chloruré et sulfate calcique et magnésien

***Stade d'évolution chimique des eaux :**

Les eaux de la nappe phréatique sont caractérisées par le faciès : chloruré sodique, au Sud et au centre et au Nord de la vallée, ce faciès est dû aux fortes teneurs en chlore.

Le rapport $r\text{Cl}^- / r\text{SO}_4^{2-}$ dans cette partie est supérieur à 1, c'est-à-dire que les teneurs en chlore sont supérieures à celles des sulfates, et le rapport de $r\text{Mg}^{++} / r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ est inférieur à 1, c'est-à-dire les teneurs en $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ sont supérieures à celles de Mg^{++} .

Ce faciès s'élargit dans toute la vallées à l'exception d'un point d'eau plus au Nord de la vallée qui a un faciès chloruré magnésien, ou le rapport $\text{Mg}^{++} / (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ est supérieur à 1 montre la prédominance de Mg^{++} .

- Rapport caractéristique :

On appelle rapport caractéristique, le rapport de certains éléments chimiques exprimés en quantité en réaction, l'étude des variations de ces rapports donne des précieuses indications sur l'alimentation et l'écoulement des eaux souterraines.

-Indice d'échange de base (i e b) :

L'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'eau au cours de son séjour souterrain entre une relation avec différentes substances ayant la propriété d'échanger les ions contre ceux contenues dans les eaux parmi ces substances nous avons (minéraux, l'hydroxyde ferrique, substances organiques)

D'après **SHELLER (1943)**, l'indice d'échange de base est exprimé par la formule suivante :

$$i\ e\ b = \frac{r\text{Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{Cl}^-}$$

Si $i\ e\ b > 0 \Rightarrow$ les eaux échangent des ions de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ contre les ions de Ca^{++} et Mg^{++} du terrain encaissant.

$i\ e\ b = 0 \Rightarrow$ il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et l'encaissant.

$i\ e\ b < 0 \Rightarrow$ l'encaissant libère les ions de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ et fixe les ions de Ca^{++} , Mg^{++} de l'eau.

Pour la région de l'Oued Righ :

Les eaux de la nappe phréatique ont un indice de base positif variant entre **0,006** à **0,96**, dans la majorité des puits indiquant un échange de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, de l'eau contre Ca^{++} et Mg^{++} de l'encaissant.

En revanche, au niveau du puits de Ain Cheikh on constate un indice de base négatif **-0,11** ce qui nous indique que l'encaissant libère $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ et fixe les ions de Ca^{++} et Mg^{++} de l'eau.

VI -4-2.3. vulnérabilité à la pollution :

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origines superficielles peuvent diffuser librement dans le sol de la zone non saturée.

Dans notre cas la nappe superficielle est très vulnérable à la pollution par la migration ou l'infiltration des polluants dans les eaux du canal vers la nappe phréatique. Il s'agit du bouchon au niveau du canal principal.

VI -5. Impacte de la nappe phréatique sur les autres nappes :

L'évaporation intense qui touche la nappe phréatique d'une part, et le lessivage des eaux d'excès d'irrigation au sol qui est riche en NaCl . D'autre part font que notre nappe est salée, cette dernière contamine localement la nappe de CT_1 et par conséquent CT_2 puisqu'elles sont en communication ceci se traduit par la minéralisation parfois élevées des eaux de deux nappes (CT_1 - CT_2 qui sont alimentées par les infiltrations d'eau de la nappe phréatique surtout s'il s'agit des forages détériorés, ainsi que les eaux du canal d'Oued Righ).

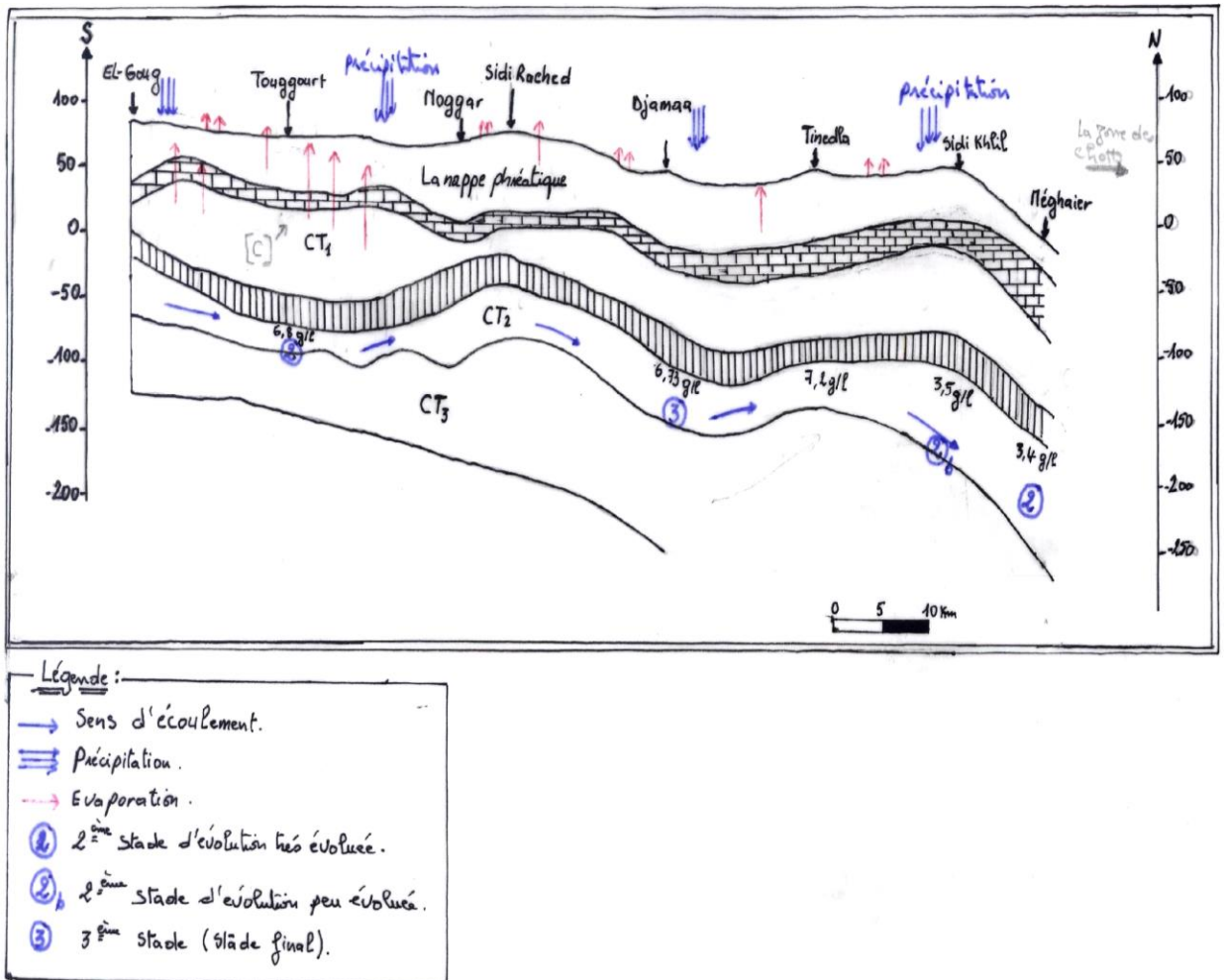


Fig (VI .32): Schéma représentant la communication entre les différentes nappes (ANRH)

VI-6- Conclusion :

Les eaux de la nappe phréatique de la région de l'Oued Righ sud sont caractérisées par des **valeurs de conductivités élevées**.

L'utilisation de ces eaux pour Du point de vue **agricole**, les eaux de la région ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais pouvant être **utilisé sous certaines conditions**, pour certaines cultures dans certains sols.

Donc, on conclut que cette nappe peut être exploiter du point de vue hydrochimie, plus au Nord qu'au Sud.

On déduit que dans cette région, il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, pour cela il faut exiger des méthodes de traitement (dessalement) pour améliorer la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique.

Conclusion générale :

Nous avons tenté dans le cadre de cette étude d'apporter notre contribution à la connaissance de l'aquifère superficiel de la région de l'Oued Righ sud(Touggourt amont).

Nous présentons une synthèse des principaux faits évoqués et des résultats acquis.

La région d'étude occupe la partie Nord-Est des déserts du Sahara, bordée au Nord par la zone des chott , elle appartient à la wilaya de Ouargla au Sud (Oued Righ Sud), et la wilaya du l'Oued au Nord (Oued Righ Nord) ; elle est soumise à un climat hyper aride , marquée par des températures élevées (une moyenne annuelle de l'ordre de **22,60 °c**) et une précipitation faible et irrégulière (précipitation annuelle de **18,20 mm/an**).^[3]

La nappe phréatique surmonte ces deux aquifères contenus dans les sables fins à moyens, sa puissance moyenne **20 m**, sa alimentation généralement locale se fait par l'excès d'irrigation.^[2]

La carte piézométrique établie montre deux sens d'écoulement vers l'exutoire naturel, l'un Sud Nord au Sud de la carte et l'autre Nord Sud au Nord de la carte.

L'interprétation des données des essais de pompages montre des valeurs considérables de transmissivités et de perméabilité, en conséquence la nappe peut être exploitable du point de vue hydrodynamique.

A l'issue de l'étude **hydrodynamique** la nappe peut être exploitable au Nord qu'au Sud.

Le chott joue un rôle d'un moteur de circulation des eaux superficielles et souterraines, tandis que le canal présente un rein de la région.

Du point de vue **hydrochimique**, nous avons pu sortir que le faciès dominant est **chloruré sodique**, cependant certaines zones sont caractérisées par un faciès **chloruré magnésien**.

L'analyse physico-chimique montre des valeurs du résidu sec relativement élevées, cette augmentation liée à la pollution de la nappe.(résultat de prélèvement a **A.N.R.H-Touggourt 2005**)

La remontée piézométrique du réservoir **CT** et **CI** nécessite l'optimisation à forer.

En conséquence, l'étendue, et l'alimentation locale font que la nappe phréatique est la plus accessible (proche pour l'irrigation).^[2]

Recommandations :

Pour une meilleure prise en charge des problèmes qui touche notre région d'étude de l'Oued Righ, amont on suggère :

- **La protection des berges du canal** ; il faut éliminer les végétaux qui gênent l'écoulement de l'eau du canal.
- **Réalisations des piézomètres** dans la nappe phréatique le long de la vallée pour surveiller la fluctuation de leur niveau.
- **Etablir un réseau de surveillance périodique** qualitatif et quantitatif de toutes les caractéristiques hydrodynamiques.
- **L'établissement d'un programme adéquat d'équipement des puits** : tubage en P.V.C à fin de lutter contre la corrosion.
- **Penser à l'adoucissement de l'eau** dans les régions à forte salinité (notamment l'Oued Righ Sud).
- **Rénover les réseaux d'assainissement** pour supprimer toute source de pollution de la nappe phréatique.
- **Optimiser de forer** dans le continentale intercalaire et le complexe terminal.
- **Réalise Des Réseau Drainage.**

Reference Bibliographie

- [1] Vaskhnil.I Et P.Aidarov.Théorie Et Pratique De Lutte Contre La Salinisation Des Terres .Edition Moscou 1971.
- [2] A N R H.Agence National Des Ressource Hydraulique (Service Hydrogéologie Touggourt
- [3] Souid. A Et Bousouara .O .Mémoire De Fin D'etude Contribution A L'étude Hydrogéologique De La Plaine De TOUGGOURT "Oued Righ Wilaya De OUARGLA .Institute De Sciences De Terre .Université De CONSTANTINE .1998
- [4] Etude Agro-Pedaglogique Ministre De Travaux Publique Et De La Construction.
- [5] TESCO-VISITERV Te A.G.I.D Etude De Réaménagement Et De L'extention Des Palmeraies De L'oued Righ (Synthèse De L'etude).Budapest 1989.
- [6] Canalisations Sous Pression .Eternit Industrie La Gamme Rationnalisée 1990.
- [7] BOUTAOUTAOU .D. Evaporation De Surface D'eaux Libre Des Barrages En Algérie. Thèse De Doctorat .Université Moscou. 1995.

Les Abréviations

- ANRH** : agence nationale des ressources hydriques (TOUGGOURT) archive .
- INRAA**(TOUGGOURT): institut nationale des recherches agricoles algérien (archive) .
- ONM** (TOUGGOURT): organisation nationale métro géologique (archive).
- FAO** Food And Agriculture Organisation.

Résume :

La région de la vallée de l'oued Righ est confrontée ces dernières années a une grande préoccupation celle la remontée des eaux .cette remontée est due essentiellement a un excès de pompage une gestion inefficace des ressources, drainage de facture dans sa majorité dans l'exploitation de cette ressource.

L'étude faite rencontre qu'il y'à un excès d'eau qui rejoint la nappe phréatique ayant de servira conséquence sur la population et le cadre environnemental de la région.

La qualité des eaux sont médiocre et nécessite préalable un traitement avant leur utilisation. du canal colmatage et érosion .par éviter ce qui été en staté sur l'oued Righ .

الخلاصة:

تواجه منطقة وادي ريغ في السنوات الأخيرة مشكل ارتفاع المياه السطحية ويرجع هذا الارتفاع بشكل أساسي إلى زيادة الضخ العشوائي في مصادر المياه ، و الغالبية في الاستغلال اللاعقلاني لهاته الموارد.

ووجدت الدراسة أن هناك فائض من الماء الذي ينضم إلى المياه الجوفية ، يؤدي إلى تضمر وقلق السكان وكذا التأثير على الجانب البيئي للمنطقة.

نوعية المياه سيئة وتتطلب معالجة مسبقة قبل استخدامها وكذلك لتفادي مشكل صعود المياه الجوفية يجب تكثيف الرقابة لتفادي انسداد قناة وادي ريغ وتآكلها.

Conclusion:

In recent years, the Rihg Valley has been facing the problem of rising surface water. This increase is mainly due to increased random pumping of water resources and the majority of irrational exploitation of these resources.

The study found that there is a surplus of water that joins the groundwater, which leads to the pollution and concern of the population as well as the impact on the environmental side of the region.

Water quality is poor and requires pre-treatment. Prior to use, as well as to avoid the problem of rising groundwater, the control should be intensified to avoid blocking and erosion of the Rihg Valley.

Chapitre I : Cadre général

Chapitre II :

L'hydrogéologie:

Chapitre III:
L'hydro
climatologie

Chapitre V :
La Partie Pratique
(Etude Comparatif
des Cartes
Piézométrique)

Annexe

Chapitre VI: hydro- chimique

Chapitre IV :
Technique Du
Contrôle De La
Nappe
(Piézométrie)