

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERSONO



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

**Essai de Synthèse hydrogéologique et comparative de la
qualité des eaux dans le bas Sahara**

Présenté par :

M. khoudrane nassereddine
M. sahraoui Ismail

Soutenu publiquement le

Devant le jury :

Président :	M ^{me} . Bouzahra Faiza	M. A. A Univ. Ouargla
Encadreur :	M ^{me} . Mabdi Nawel	M. C. B Univ. Ouargla
Co-encadreur :	M. Belksier Mohamed Sala	M. C. B Univ. Ouargla
<i>Examinatrice :</i>	M ^{me} . Bouchagoura L	M. A. A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2017/2018



Dédicace:

Je suis heureuse de consacrer mon travail de cette humble à ma chère maman sources de tendresse et d'amour de soutien tout le long de ma vie scolaire, qui est la raison de mon existence dans cette vie et mon père qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout son possible pour m'aider ,mes frères du plus grand au plus petit ,A tout mes amis et a tout mes collègues de la promotion du master 2018

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé à compléter de loin ou à de près ce modeste mémoire.

Remerciement:

On tient, au terme de ce travail, à présenter mes vifs remerciement à tous les personnes qui ont contribué, de près ou loin, à son bon déroulement.

On tient à présenter tous nos respects et notre gratitude à Mr. « belksier" Pour tenir avec moi tout au long de mon de préparation de cette mémoire et de patience avec moi pour son encadrement et pour l'aide qu'il m'a prodigué durant ce rapport.

Ma gratitude s'adresse également à Melle.

"maebadi » ainsi qu'a tous mes enseignants et mes amis surtout les

Gents de "2éme année HYDROGEOLOGIE" je tiens à remercier tous ces meilleurs amis pour leur patience et leur indignation pendant deux ans.

On remercie également tout les gens qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail .

Dahali settou.

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Liste des figures

Liste des Tableaux

INTRODUCTION GENERAL

Chapitre1 : Généralité sur la zone d'étude

Introduction :	Error! Bookmark not defined.
I. Le contexte géographique :	1
II. Le contexte géologique :	2
II.1. Définition de la plate-forme saharienne :	2
II.2. La cuvette du bas Sahara :	2
II.3.Lithostratigraphie :	5
a). L'Albien :	5
b).Le Vraconien.....	6
c). Le Céno manien :	6
d). Le Turonien.....	6
e).Le Sénonien	6
f).L'Eocène	6
i). Le Mio-Plio-Quaternaire.....	7
III. Le contexte climatologique :	8
III.1. Synthèse climatique sur la région :	9
III.1.1. a .La température :	9
III.1.2. Evaporation :	10
III.1.3. Précipitation :	12
III.1.4. L'humidité :	Error! Bookmark not defined.
III.1.5. Vitesse du vent :	16
IV. Rapports précipitation-température :	19
IV. Diagramme pluviothermique (Gausсен et Bagnols) :	19
Conclusion.....	22

Chapitre 2:Hydrogéologie

I– LE SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL :	25
I.1 – Introduction :	25
II.1. Le Continental Intercalaire :	26
II.2. Géométrie du "CI" :	27

II.3. Piézométrie du "Cl" :	28
II.4. Alimentation :	30
Les exutoires :	31
III.1. Le Complexe Terminal :	31
III.2. - Géométrie du CT :	33
L'écoulement de cette nappe se produit:	33
• La première nappe des sables CT1 :	34
• La deuxième nappe CT2 :	35
• La nappe des calcaires du Sénonien carbonaté/Eocène inférieur CT3 :	35
III .3. Alimentation :	35
Alimentation par le plateau du Tademaït et Tinrhert :	35
Alimentation par les monts du M'Zab :	35
III4. Piézométrie:	36
*Le Sénonien et l'Eocène :	36
*Le Mio-Pliocène :	37
III .5. Recharge et conditions de recharge du CT:	37
IV. La nappe phréatique :	38
Conclusion :	40

Chapitre 3: Comparer de la qualité des eaux dans la bas Sahara

Introduction :	40
I -Analyses physico- chimiques des eaux souterraines de la bas Sahara :	40
II. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS :	41
II -1. La Température :	41
II -2. La conductivité :	42
II -3. Le-PH :	42
II -4. Le titre hydrotimétrique :	42
III.1 -Faciès chimique :	44
III.2. Classification des eaux :	46
III.1 Selon PIPER :	46
III.2 -Minéralisation :	52
III.3 -Teneur en fluor :	53
Conclusion :	55
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Résumé	

N°	<i>Liste des figures</i>	Page
01	Carte de situation géographique de la zone d'étude	02
02	Carte géologique du Sahara	03
03	Colonne Chrono stratigraphique synthétique du Sahara septentrional Algérien (WEC, 2007)	04
04	Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse, No : 1/98 (Internet)	05
05	Température mensuelle moyenne dans la région d'Ouargla (1996-2009)	06
06	Température mensuelle moyenne dans la région de Touggourt (1990-2010)	06
07	Température mensuelle moyenne dans la région de Souf (1997-2009)	09
08	Evaporation mensuelle moyenne dans la région de Ouargla (1996-2009)	11
09	F Evaporation mensuelle moyenne dans la région de Touggourt (1990-2010)	12
10	Evaporation mensuelle moyenne dans la région de Souf (1997-2009)	13
11	Précipitations mensuelles moyennes dans la région de Ouargla (1996-2009)	14
12	Précipitations mensuelles moyennes dans la région de Touggourt (1990- 2010)	15
13	Précipitations mensuelles moyennes dans la région de Souf (1997-2009)	16
14	Humidité moyenne mensuelle dans la région de Ouargla 2005 – 2009	17
15	Humidité moyenne mensuelle dans la région de Touggourt 2005 – 2009	17
16	Humidité moyenne mensuelle dans la région de souf 2005 – 2009	19
17	Vitesse du vent Moyenne mensuelle dans la région de Ouargla 2005 – 2009	20
18	Vitesse du vent Moyenne mensuelle dans la région de Touggourt 2005 – 2009	21
19	Vitesse du vent moyenne mensuelle en dans la région de Souf 2005 – 2009	21
20	Diagramme Ombrothermique de la vallée de l'Ouargla	24
21	Diagramme Ombrothermique de la vallée de Touggourt	29

22	Diagramme Ombrothermique de la vallée de souf	34
23	Délimitation du "SASS" (OSS, 2003)	39
24	Coupe hydrogéologique dans le système aquifère CI et CT(UNESCO, 1972)	40
25	Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)	41
26	Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)	43
27	Le couple Mg-SO4 Coupe hydrogéologique Nord- Sud du Complexe Terminal du Bas Sahara (UNESCO, 1972)	44
28	Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe terminal), extrait de recueil des communications, 2002	44
29	Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003)	45
30	Facies chimique des eaux de la nappe phréatique dans bas Sahara	45
31	Facies chimique des eaux de la nappe Miopliocène dans bas Sahara.	46
32	Facies chimique des eaux de la nappe Albien dans bas Sahara	46
33	Carte de la minéralisation, Nappe du Mio-Pliocène région de Ouargla	24
34	Carte de la minéralisation de la nappe de l'Albien, région orientale du Sahara septentrional.	29
35	Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du Miopliocène région d'Ouargla	34

N°	Tableaux	page
01	Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karpoff, 1952)	05
02	Température (°C) moyenne mensuelle dans la région de Ouargla, période 1996 – 2016(ONM)	22
03	Températures(°C) moyennes mensuelles dans la région de Touggourt, période 1990 – 2010 (ONM)	24
04	Températures (°C) moyennes mensuelles dans la région de Souf période 1997 – 2009 (ONM, 2011)	25
05	Evaporation (mm) moyenne mensuelle dans la région de Ouargla, période 1996 – 2009 (ONM)	25
06	Evaporation (mm) moyenne mensuelle dans la région de Touggourt, période 1990 – 2010 (ONM)	26
07	Evaporation (mm) moyenne mensuelle dans la région de Souf, période 1997 – 2009 (ONM)	26
08	Précipitations moyennes mensuelles (mm) dans la région de Ouargla, période 1996 – 2009 (ONM)	35
09	Précipitations moyennes mensuelles(mm) dans la région de Touggourt,période 1990 – 2010 (ONM).	42
10	Précipitations (mm) moyennes mensuelles dans la région deSouf, période 1997– 2009 (ONM).	42
11	humidité (%) moyenne mensuelle dans la région de Ouargla, période 2005 – 2009 (ONM)	50
12	humidité (%) moyenne mensuelle dans la région de Touggourt, période 2005 – 2009 (ONM)	51
13	humidité (%) moyenne mensuelle dans la région de Souf, période 2005 – 2009 (ONM)	52
14	Vitesse du ventV m/s moyenne mensuelle dans la régiond’Ouargla, période 2005 – 2009 (ONM)	42

15	Vitesse du vent(%) moyenne mensuelle dans la région d'touggourt, période 2005 – 2009 (ONM)	42
16	Vitesse du vent (%) moyenne mensuelle dans la région Souf période 2005 – 2009 (ONM)	50
17	Précipitations et températures moyennes mensuelles de la Ouargla	51
18	Précipitations et températures moyennes mensuelles de la station de Touggourt	52
19	Précipitations et tepératures moyennes mensuelles de la Souf	42
20	Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)	42
21	Analyses physico- chimiques des eaux souterraines de laRégion d'étude (bas Sahara)	50
22	Duretés des eaux de la région d'étude	51
23	Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'O.M.S (1972)	52
24	Faciès chimique des eaux souterraines de la région étudiée	52

INTRODUCTION GENERAL

Le Sahara algérien constitue, jusqu'à présent, l'objet de multiples études universitaires, d'articles scientifiques et de rapports techniques. Entre autres, des études ont porté sur la reconnaissance géologique (**Bel et Dermagne, 1966 ; Busson, 1966 ; 1970 ; 1971 ; Fabre, 1976**), et hydrogéologique (**Cornet, 1964 ; Bel et Cuhe, 1969 ; 1970, Castany, 1982**) du système aquifère du Sahara septentrional. D'autres travaux ont évalué les potentialités hydriques du système, tout en proposant divers scénarios de son exploitation à moyen et à long terme (**UNESCO, 1972, Nesson, 1978 ; BRL-BNEDER, 1999 ; OSS, 2003**).

La qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation se pose avec acuité dans l'ensemble des régions sahariennes. D'une manière générale, les eaux de la région étudiée proviennent des eaux souterraines.

Du point de vue quantité, l'eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d'importants aquifères, mais sa qualité physico-chimique (salinité, dureté) est le plus souvent médiocre. Cette salinité des eaux, dont une partie est d'origine géologique (salinisation primaire). L'accroissement continu de ce phénomène, par une mauvaise gestion de la ressource en eau, notamment souterraine, provoque une (Salinisation secondaire).

Notre contribution a pour objectif de Comparer de la qualité des eaux pour les déférences zone de système aquifère du Sahara septentrional, par l'exploitation des données physicochimiques des travaux antérieurs pour mettre en évidence de la relation entre caractéristiques hydrogéologies et physicochimiques des eaux et la nature lithologique des formations aquifères.

Nous limiterons néanmoins notre champ d'investigation aux aquifères du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire de la région du Sahara septentrional.

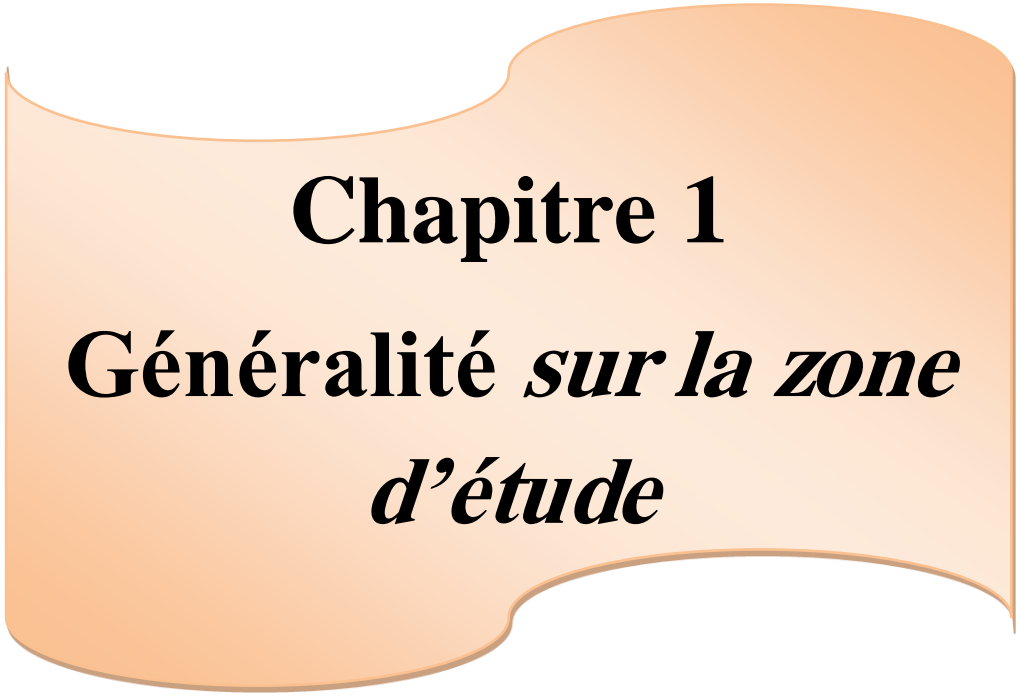
Le mémoire proposé est structuré selon trois chapitres.

Au cours du **Première chapitre**, nous nous proposons de présenter les principales données que nous avons recueillies et qui concernent la généralité sur la zone d'étude, géographie climatologie géologie.

Dans le **Deuxième chapitre**, nous présentons les hydrogéologies des différents systèmes aquifères de bas Sahara algérien.

La **Troisième chapitre**, étude comparative de la qualité des eaux pour les différents zone de bas Sahara algérien.

Enfin une conclusion générale est établit pour ressortir l'apport de notre approche

An orange decorative shape with a wavy, irregular border, resembling a stylized banner or a piece of paper. It is centered on the page and contains the chapter title.

Chapitre 1
Généralité *sur la zone*
d'étude

Introduction :

Au cours de ce chapitre, nous proposons de présenter les données principales que nous avons recueillies et qui concernent le cadre physique de notre région d'étude.

I. Le contexte géographique :

Le Bas-Sahara se confond presque avec le bassin versant théorique du chott Melhir, soit environ 700000 km² (Ballais 2010). Il est limité :

- Au nord, par l'Atlas saharien.
- A l'ouest par la dorsale du M'Zab.
- Au sud par les plateaux du Tademaït et du Ting
- A l'est par le revers du Dahar tuniso-libyen (Figure 1).

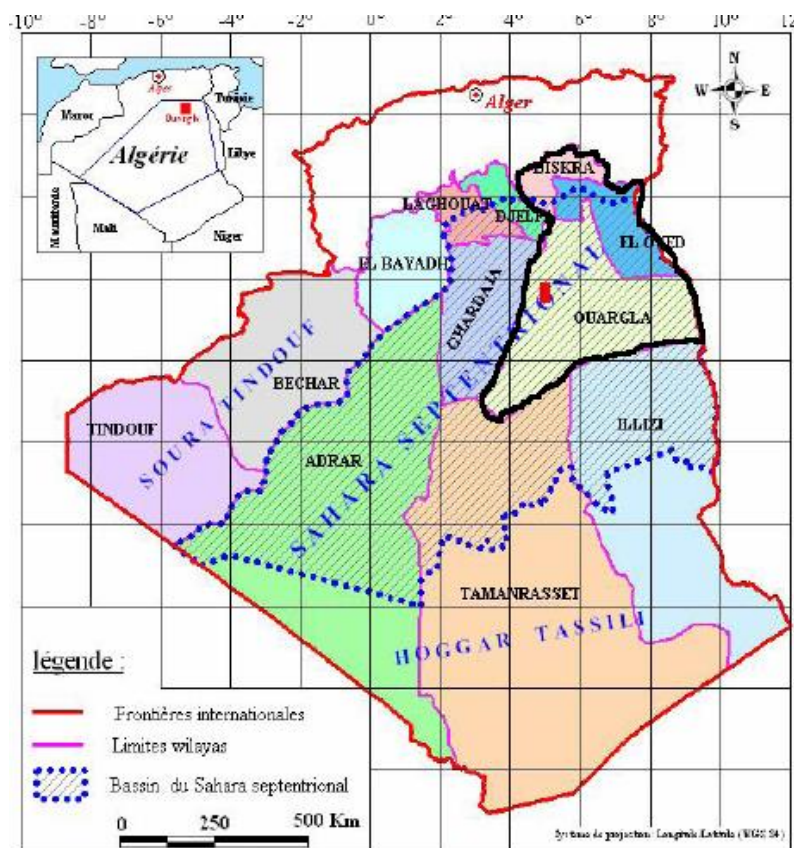


Fig (1). Carte de situation géographique de la zone d'étude.

Le Bas Sahara avec sa couverture sédimentaire, composée de couches pétrolifères et aquifères, constitue la région la plus favorisée et la plus peuplée du Sahara et cela depuis longtemps grâce à l'abondance en eau et à la siccité de l'air permettant la culture des dattes (Deglet Nour) les plus prisées à la consommation. Aussi, ses ressources expliquent l'expansion des agglomérations, la mise en place d'un réseau routier conséquent, la dynamique de l'agriculture, tous les éléments qui accroissent le poids d'une région qui était déjà traditionnellement plus habitée que les autres. Aussi, le Bas-Sahara, appelé "le pays des palmiers et pétrole", représente la partie la plus active du Sahara, puisqu'il regroupe 2/3 des palmeraies et 2/3 des habitants du territoire saharien (**Chaouche-Bencherif 2006**).

Les zones humides au Bas-Sahara algérien est subdivisé en quatre entités géographiques (i)Ziban, (ii) Souf, (iii) Oued Righ, et (iv) Oued Mya (**Chenchouni& Si Bachir 2010**).

II. Le contexte géologique :

II.1. Définition de la plate-forme saharienne :

La plate-forme saharienne s'étend du pied de l'Atlas saharien jusqu'aux frontières des pays voisins. Elle est essentiellement reconnue par des sondages pétroliers, et est constituée d'un soubassement antécambrien métamorphique, des terrains paléozoïques plus ou moins plissés, une couverture sub-horizontale de dépôts secondaires et tertiaires auxquels s'ajoutent de vastes recouvrements superficiels : sables, argiles et cailloutis (regs) quaternaires.

II.2. La cuvette du bas Sahara :

La région du Bas-Sahara se présente comme une vaste cuvette limitée à l'Ouest par la dorsale du Mزاب, au Sud par les hamadas du Tadmaït et de Tinghert et à l'Est par les plateaux du Dahar tunisien (*Fig.2*). Ses bordures, de hauteur modeste, s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée matérialisée par l'axe SSW-NNE des Oueds M'ya et Righ. Vers le Nord au contraire, dressée au-dessus d'une dépression longitudinale occupée par des chotts et dont le fond est inférieur au niveau de la mer. Une haute barrière composée des Monts des Ouled Nail, de l'Aurès et des Nememcha en constituant la limite.

On distingue quatre sous-ensembles régionaux qui correspondent aux quatre grandes unités structurales du substratum géologique du territoire Figure (2).

- Le massif ancien cristallin du Hoggar et ses couronnes tassiliennes
- La cuvette du Bas Sahara, (la Plate-forme Saharienne)
- La dorsale du M'zab
- Le synclinal de Tindouf et la vallée de la Saoura

Notre région d'étude fait partie de la plate forme saharienne. Géostructuralement, cette plate forme est constituée d'un bouclier précambrien (Figure 2a et Figure 2b), n'émergeant des sédiments qu'ils surmontent que dans le Sahara Central (Massif du Hoggar) et le Sahara Occidental (Massif des Eglab) (**UNESCO, 1972**).

Il est constitué de roches éruptives et métamorphiques, aplani par l'érosion, et surmonté par des couches sédimentaires de plusieurs milliers de mètres, allant du Primaire (Cambrien) au Quaternaire. Ces couches sont plus ou moins plissées en forme d'un grand bassin sédimentaire dissymétrique.

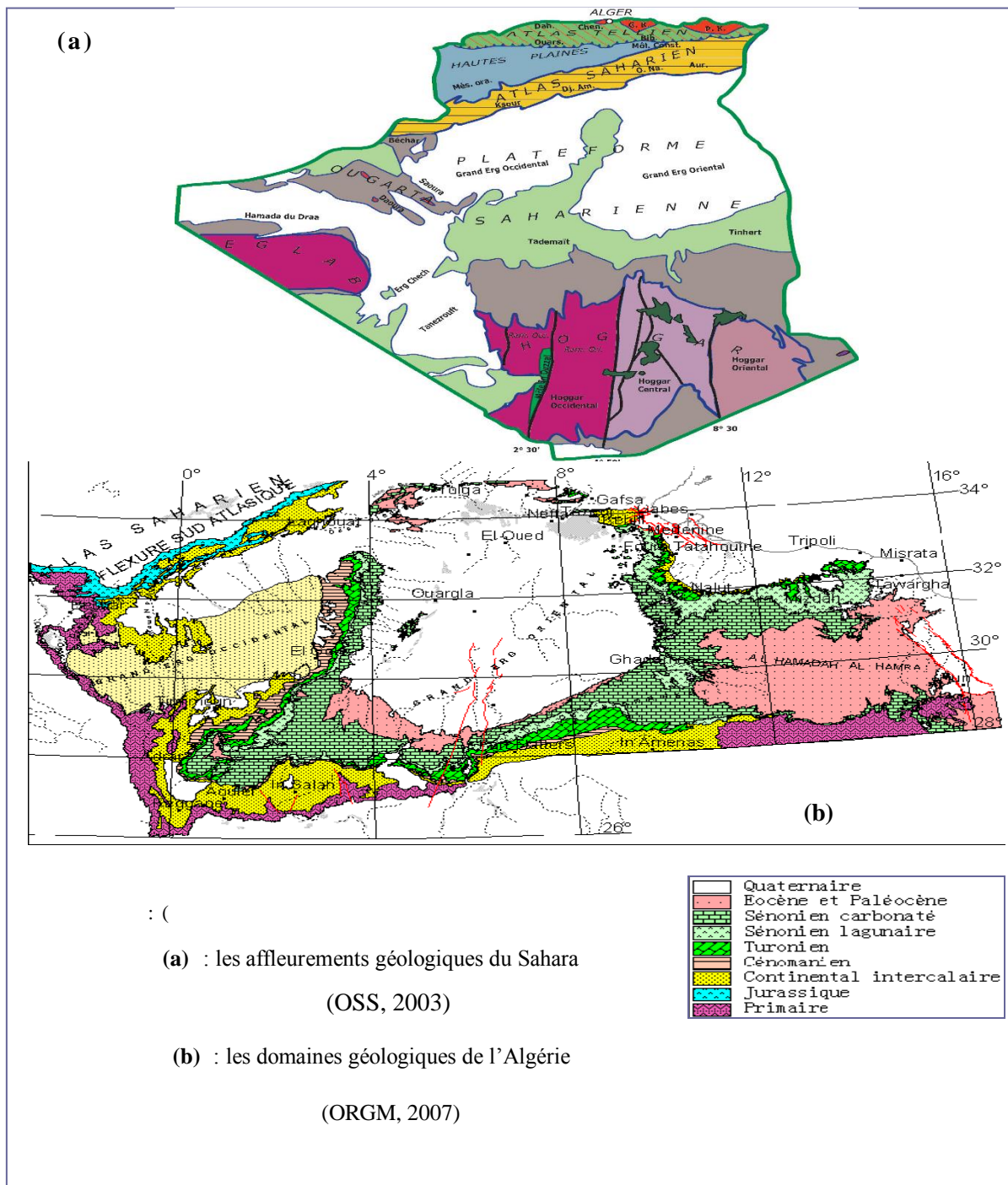


Fig: (2). Carte géologique du Sahara

II.3 Lithostratigraphie :

La carte géologique ne fait apparaître qu'une couverture tabulaire de terrains tertiaires, et de dépôts détritiques quaternaires. La litho stratigraphie est plus ou moins complète, elle n'est connue que grâce aux forages profonds d'exploration pétrolière ou hydraulique

Chronostratigraphie		Lithologie	Epaisseur (m)	
Tertiaire	Mio-Pliocène		150	
	Eocène		0-150	
Secondaire	Sénonien	Carbonaté	100	440
		Anhydritique	220	
		Salifère	120	
	Turonien		80	
	Cénomanién		120	
	Vraconien		0 - 70	
	Albien		300	
	Aptien		25	
	Barrémien		280	
Néocomien		200		

Fig.3 : Colonne chronostratigraphique synthétique du Sahara septentrional Algérien (WEC, 2007)

a). L'Albien :

Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomanién. On remarque que le changement de régime sédimentaire et l'arrivée en masse des sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien et au cours de l'Albien, (Fabre, 1976).

b).Le Vraconien :

Le Vraconien est le terme de passage entre l'Albien sableux (sommet du Continental Intercalaire) et le Cénomaniens argilo-carbonaté (base du Complexe Terminal). Il est représenté d'une alternance irrégulière de niveaux argileux politiques et dolomitiques, d'argiles sableuses. Il est difficile de reconnaître en forage, le Vraconien a souvent été interprété comme de l'Albien ou du Cénomaniens.

c). Le Cénomaniens :

Le Cénomaniens est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, d'argiles et d'anhydrite. Le passage du Vraconien au Cénomaniens est net : un faciès sableux franc, rapporté à l'Albien, est suivi par des argiles et des évaporites, rapportées au Cénomaniens. Dans d'autres forages, le passage est moins tranché : il existe un niveau de transition, rapporté au Vraconien. Il semble raisonnable, dans ce cas, de choisir comme limite supérieure du Vraconien l'apparition des évaporites et dolomies du Cénomaniens. La limite supérieure du Cénomaniens correspond à l'apparition des bancs calcaires ou dolomitiques massifs du Turonien ; elle est toujours nette.

d). Le Turonien :

Le Turonien consiste en une épaisse barre de calcaire et de dolomie, qui tranche nettement avec les évaporites et les argiles du Cénomaniens au-dessous et du Sénonien au-dessus.

Il est, parmi toutes celles du bassin oriental du Sahara algérien, la formation sédimentaire la mieux caractérisée. D'une épaisseur allant de 25 à 70m environ, dans la région d'étude, le Turonien consiste en une épaisse barre de calcaire et de dolomie, qui tranche nettement avec les évaporites et les argiles du Cénomaniens au-dessous et du Sénonien au-dessus.

e).Le Sénonien, Il s'individualise en deux faciès : Le Sénonien inférieur (Sénonien salifère et anhydritique) à sédimentation lagunaire caractérisée par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable, (**Busson, 1972**). Le Sénonien supérieur (Sénonien carbonaté) se présente par des formations carbonatées perméables.

f).L'Eocène, On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique, à la base: L'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argile et même d'anhydrite et de sel. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m, l'épaisseur maximum se situant dans la zone du bas Sahara. Au sommet, l'Eocène évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite

et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts, (**Bel et Cuche,1969**).

i). Le Mio-Plio-Quaternaire :

Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150 m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le bas Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre dans la région des Chotts algéro-tunisiens quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région d'Oued Righ, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe d'Oued Righ). L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes et des chotts, (**Busson, 1972**).

Tab 1. Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karpoff, 1952)

Age	Style
1- Antécambrien	Plis très aigus, failles.
2- Paléozoïque	Mouvements amples d'axes est-ouest Formations de chaînes orientées N-S, NNE-SSW ou NW-SE sur des axes antécambriens
3- Poste Eocène et Ante Miocène	Rejeu des structures hercyniennes avec leur orientation Ancienne
4- Post-Miocène	Premiers plis d'axe NW-SE
5- Post Pliocène	Mouvements peut être dans la région Nord seule Plis en Genou de l'Aurès d'axe E-W
6- Fini Quaternaire Ancien	Plis affectant le Mio-Pliocène seul ou accompagné du Quaternaire ancien, suivant deux axes orthogonaux dont l'axe NW-SE est le principal
7- Néolithique	Mouvements de grande amplitude à plis faibles et Localisés

III. Le contexte climatologique :

L'étude climatologique a pour objet de ressortir les caractéristiques climatiques en se basant sur les données, mesurées depuis une cinq ans a les stations d'Ouargla, Touggourt et El oued, qui sont représentative du climat régnant sur notre zone d'étude. Nous analyserons les : températures, précipitations, humidité relative, vitesse du vent, et évaporation.

Les différents sous bassins versants du Sahara algérien ainsi que les principales stations météorologiques actuellement en activité selon la carte (Fig4) basée sur le découpage hydrologique adopté par l'ANRH (agence nationale des ressources hydrauliques).

La zone étudiée appartient au sous bassin n° 04 (Erg Oriental) inclus du grand bassin saharien.

Fig (4)

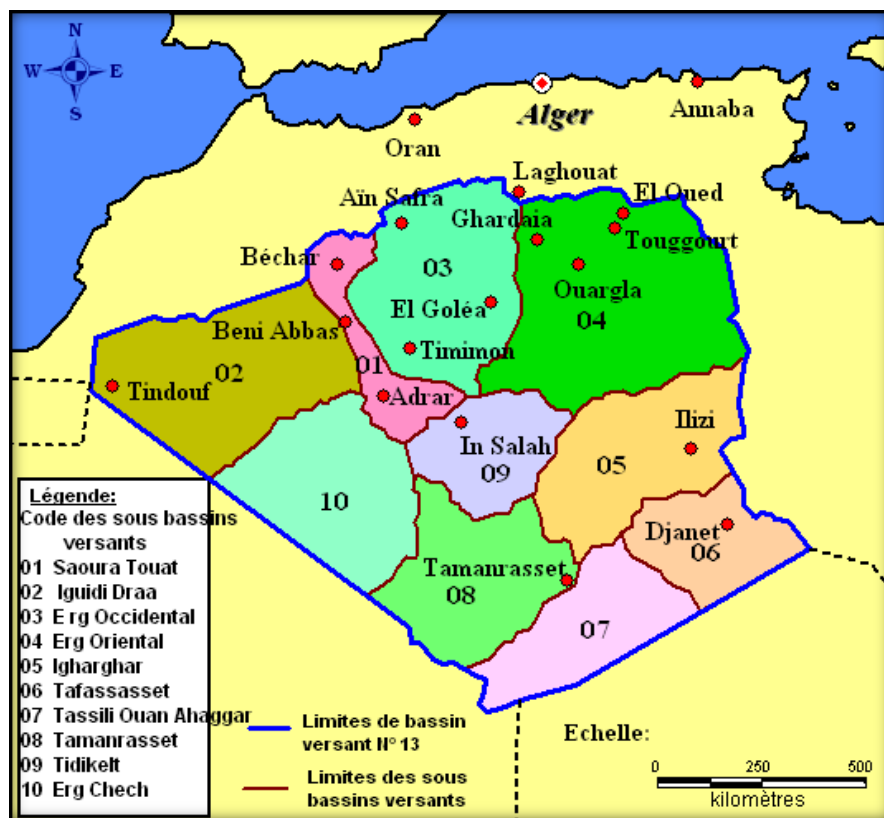


Fig (4). Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse, No : 1/98 (Internet).

III. Aperçu sur quelques composantes du climat :

III.1. Synthèse climatique sur la région :

L'étude climatologique permet de ressortir les caractéristiques climatiques de la région en se basant sur les données mesurées depuis les stations météorologiques de Ouargla, de Touggourt et d'El Oued, ces données sont représentatives du climat régnant dans la région.

III.1.1. a .La température :

La moyenne mensuelle des mois les plus chauds (Juillet et Aout) dépasse les 34°C à Ouargla (moyenne des températures diurnes et nocturnes), et environ 33°C à Touggourt et El Oued, et celle du mois le plus froid (Janvier) est à environ 11 °C dans toutes les régions (ONM).

Tab 2 : Température (°C) moyenne mensuelle dans la région d'Ouargla, période 2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
T °C	30,7	24,6	16,9	12,2	11,8	13,6	18,0	22,6	27,5	32,5	34,8	34,1

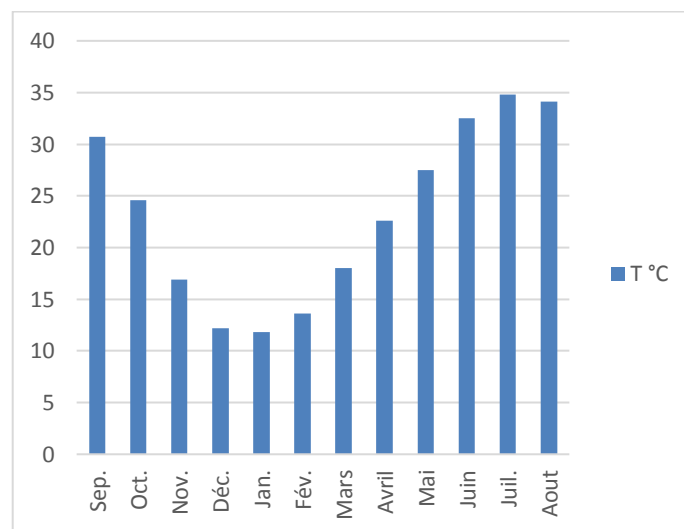


Fig 5 : Température mensuelle moyenne dans la région d'Ouargla (2006-2016)

Tab 3 : Températures(°C) moyennes mensuelles dans la région de Touggourt, période 2006-2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
T °C	29,01	23,48	16,2	11,93	10,86	13,11	16,9	20,89	26,11	31,13	33,93	33,54

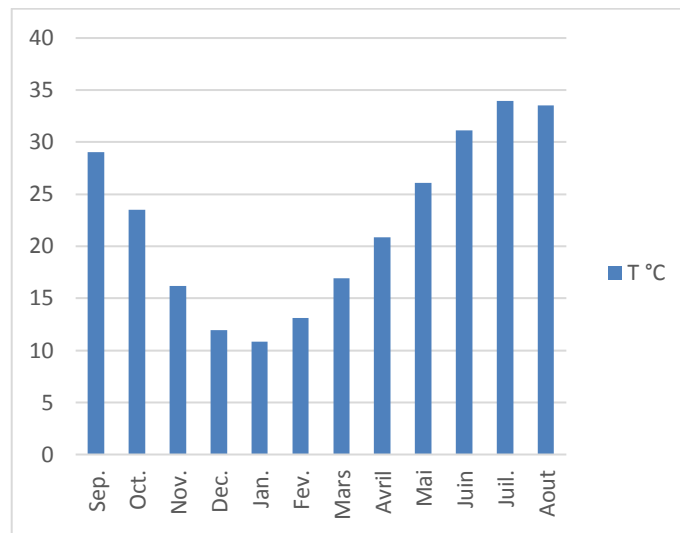


Fig 6 : Température mensuelle moyenne dans la région de Touggourt (2006-2016)

Tab 4 : Températures (°C) moyennes mensuelles dans la région de Souf 2006-2016

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
T °C	28,67	22,88	17,23	12,59	11,35	13,07	17,39	21,86	26,19	31,38	34,59	31,23

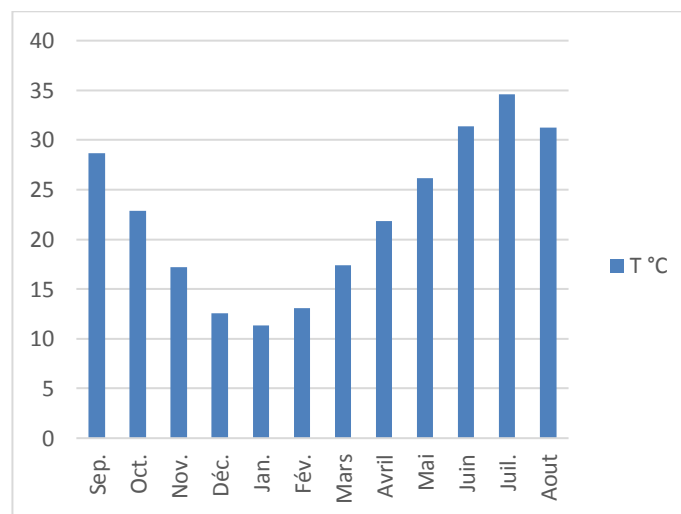


Fig 7 : Température mensuelle moyenne dans la région de Souf (2006-2016)

III.1.2. Evaporation :

L'évaporation est très élevée et très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines. Dans la région de Ouargla, elle est en moyenne de 434 mm au mois d'Août et de 92,3 mm au mois de Décembre, soit 3091.1 mm moyenne annuelle, Dans la région de Touggourt, elle atteint 385,74 mm en moyenne au mois de Juillet et 84,72 mm au mois de Janvier, soit 2684.45 mm

comme moyenne annuelle. Dans la région de Souf, elle est de 336 mm au mois de Juillet et de 79 mm au mois de Janvier, soit 2297,1 mm moyenne annuelle.

Tab5 : Evaporation (mm) moyenne mensuelle dans la région de Ouargla, période 2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Eva(mm)	274	235	133	92,3	99,8	135	213	286	343	417	429	434

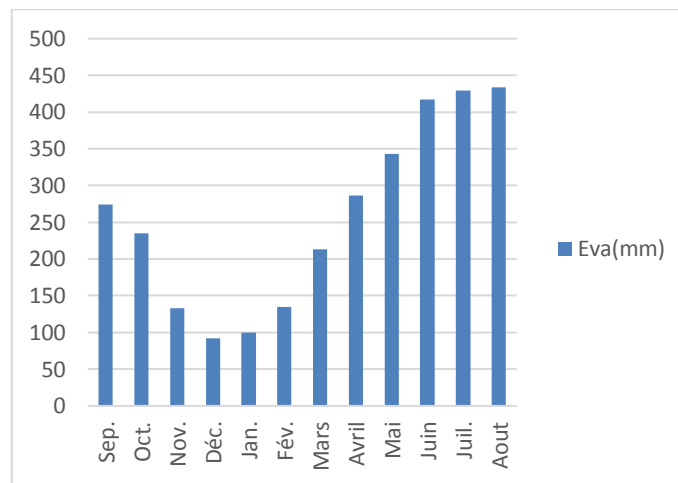


Fig 8 : Evaporation mensuelle moyenne dans la région de Ouargla (2006-2016)

Tab 6 : Evaporation (mm) moyenne mensuelle dans la région de Touggourt, période 2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Eva(mm)	254,7	194,8	127,6	98,2	84,7	119,2	188,9	232,4	301,3	363,3	385,7	332,9

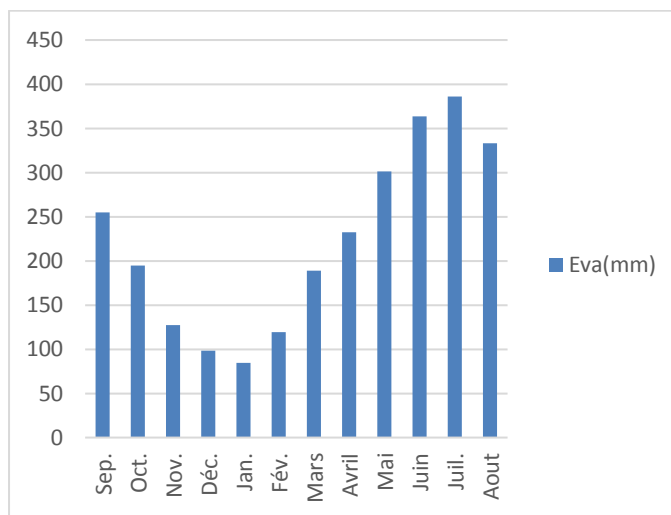


Figure 9 : Evaporation mensuelle moyenne dans la région de Touggourt (2006-2016)

Tableau 7 : Evaporation (mm) moyenne mensuelle dans la région de Souf, période 2006 – 2016(ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Eva(mm)	208,7	177,9	122,4	117,4	79,3	94,3	138,1	205	254,8	278,2	336,2	284,8

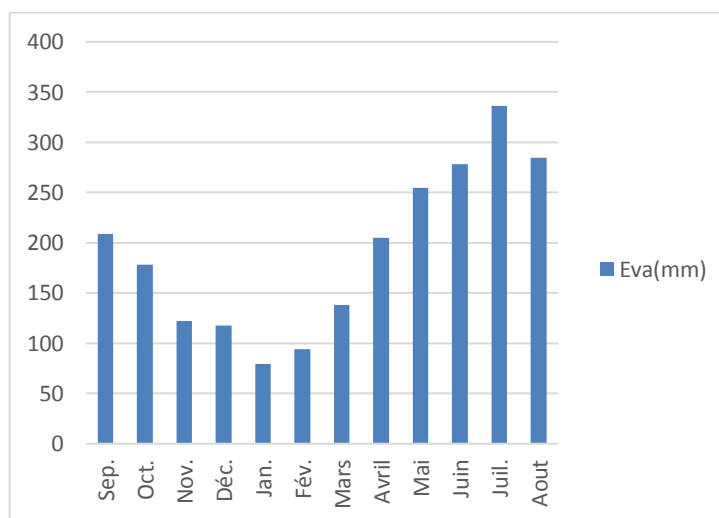


Fig 10 : Evaporation mensuelle moyenne dans la région de Souf (2006-2016)

III.1.3. Précipitation :

Au niveau de la région de Ouargla, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 38 mm, novembre est le mois le plus pluvieux avec 8 mm, juin et juillet sont les mois les plus secs avec 0,35 mm Dans la région de Touggourt, elles dépassent les 54 mm en moyenne annuelles avec 15 mm au mois le plus pluvieux (Janvier) et 0,5 mm au mois le plus sec (Juillet). Pour la région d'Oued

Souf, les précipitations dépassent 94,57 mm comme moyenne annuelle, Janvier est le mois le plus pluvieux avec 20,26 mm, par contre, Juillet est le mois le plus sec avec 0,55 mm.

Tab 8 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) dans la région de Ouargla, période 2006– 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
P(mm)	3,53	7,84	8,32	1,61	5,57	2,40	4,33	1,29	1,26	0,12	0,59	1,71

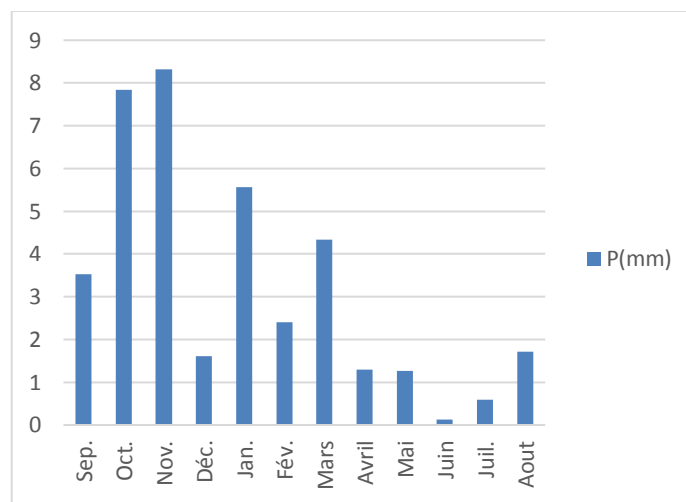


Fig 11 : Précipitations mensuelles moyennes dans la région de Ouargla (2006-2016)

Tab 9 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) dans la région de Touggourt, période 2006 – 2016(ONM).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
P(m)	5,77	4,92	4,34	4,59	15,85	2,33	4,9	4,32	3,14	0,63	0,5	2,72

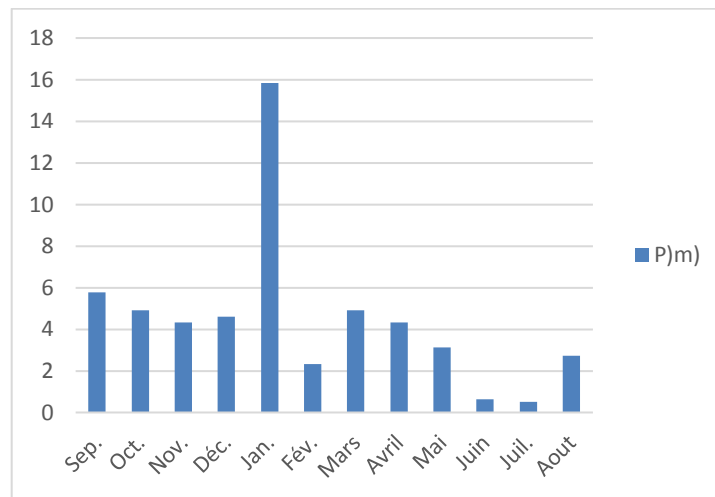


Fig 12 : Précipitations mensuelles moyennes dans l’argonide Touggourt (2006 2016)

Tabl 10 : Précipitations (mm) moyennes mensuelles dans la région de Souf, période 2006–2016 (ONM).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
P(mm)	11,16	13,91	8,46	9,68	20,26	3,11	7,72	10,72	3,9	3,84	0,55	1,26

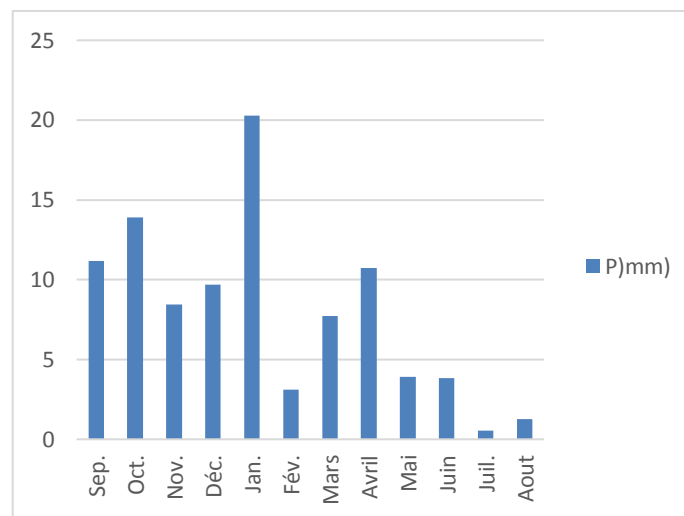


Fig 13 : Précipitations mensuelles moyennes dans la région de Souf (2006-2016)

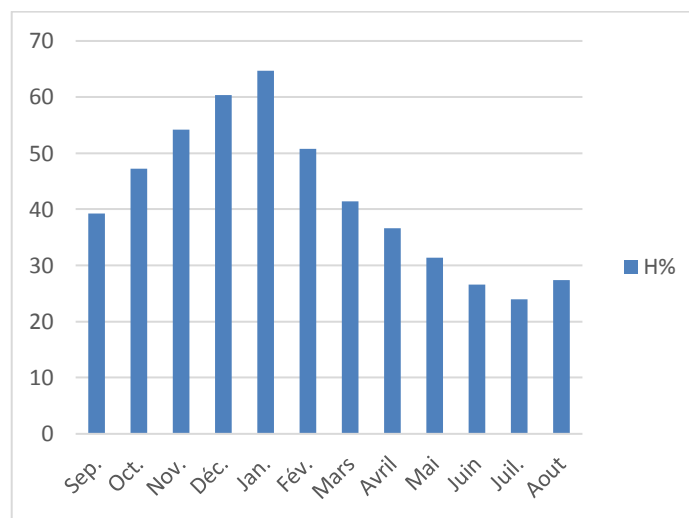
III.1.4. L’humidité :

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

Dans notre zone d’étude l’humidité est faible au cours de l’année, elle est dépassée 60% aux mois Décembre et Janvier, et inférieure 32% aux mois de Juin, Juillet et Aout.

Tab11 : humidité (%) moyenne mensuelle dans la région de Ouargla, période 2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
H%	39,2	47,2	54,2	60,4	64,7	50,8	41,4	36,6	31,4	26,6	24	27,4

**Fig14: Humidité moyenne mensuelle dans la région de Ouargla****Tab12 : humidité (%) moyenne mensuelle dans la région de Touggourt, période 2006 2016 (ONM)**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
H%	46	52	56,2	65,8	67,8	54,4	45,8	41	33,6	32	30.2	33.8

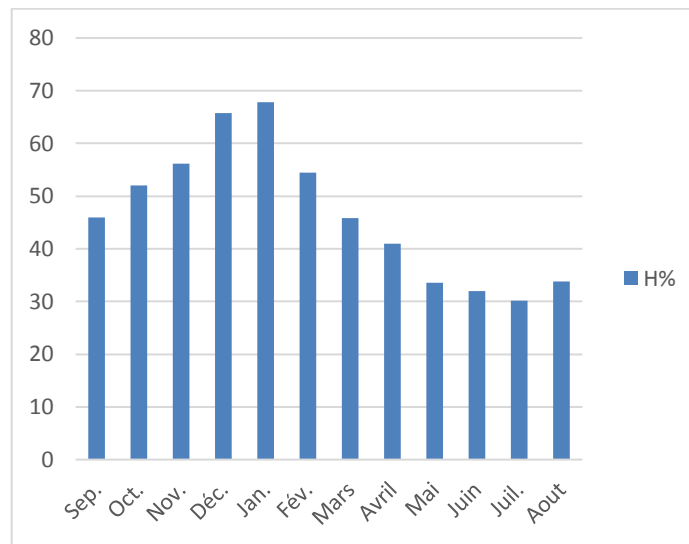


Fig15 : Humidité moyenne mensuelle dans la région de Touggourt

Tab13 : humidité (%) moyenne mensuelle dans la région de Souf, période2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
H%	47,8	54,2	55,6	65,4	64,8	54,4	44,2	41,4	35	30,2	28,2	34,4

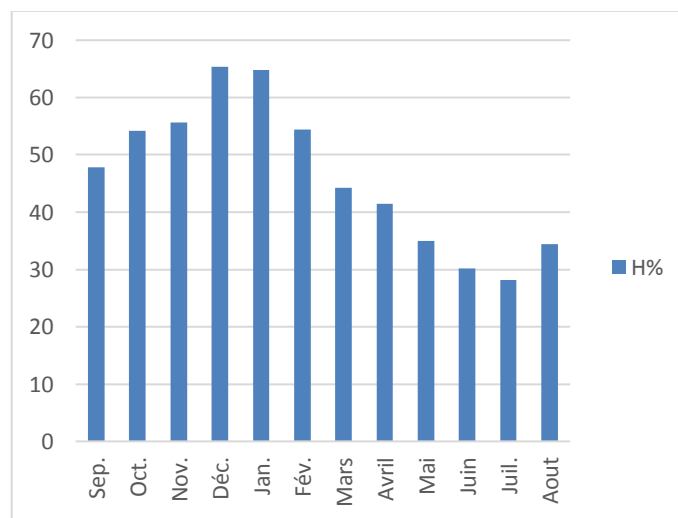


Fig16 : Humidité moyenne mensuelle dans la région de souf

III.1.5. Vitesse du vent :

A Ouargla le maximum de la vitesse des vents est enregistré au mois de juin avec une vitesse moyenne de 4,86 m/s, le minimum est au mois de novembre avec 2,62 m/s.

A El oued le maximum de la vitesse des vents est enregistré au mois de Avril avec une vitesse moyenne de 3,78 m/s, le minimum est au mois de novembre avec 1,66 m/s.

A Touggourt le maximum de la vitesse des vents est enregistré au mois de Avril avec une vitesse moyenne de 3,86 m/s, le minimum est au mois de Janvier avec 1,94 m/s.

Tab14 Vitesse du vent V m/s moyenne mensuelle dans la région d’Ouargla, période 2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
V m/s	3,52	3,38	2,62	3,04	2,78	3,48	4,14	4,44	4,7	4,86	3,66	3,95	3,71

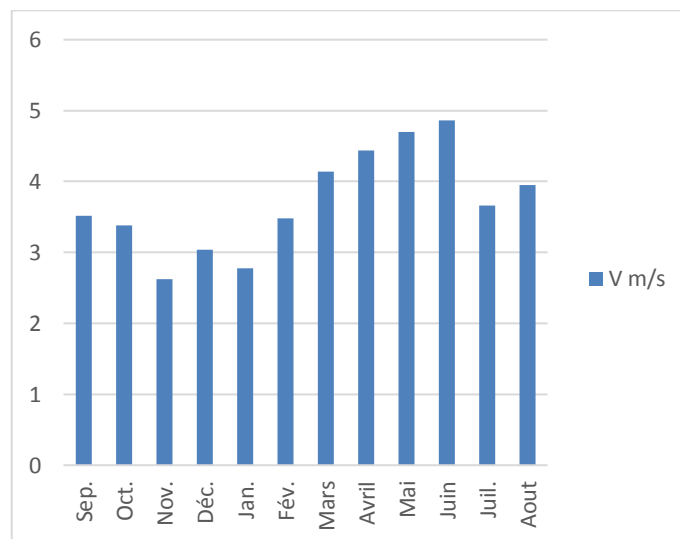


Fig17 : Vitesse du vent Moyenne mensuelle dans la région de Ouargla

Tab15 : Vitesse du vent (%) moyenne mensuelle dans la région d’touggourt, période 2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
V m/s	3,06	2,7	2,1	2,36	2,12	2,58	3,86	3,86	3,82	3,42	3,04	3,3	3,02

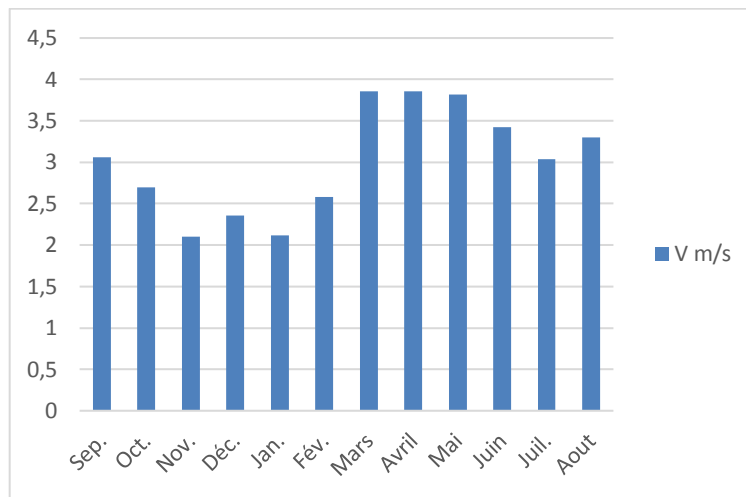


Fig18 : Vitesse du vent Moyenne mensuelle dans la région d’Touggourt 2006 –2016

Tab. 16 : d. Vitesse du vent (%) moyenne mensuelle dans la région Souf période2006 – 2016 (ONM)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
V m/s	2,64	2,14	1,66	1,92	1,94	2,58	3,48	3,78	3,46	3,38	3,1	2,96	2,75

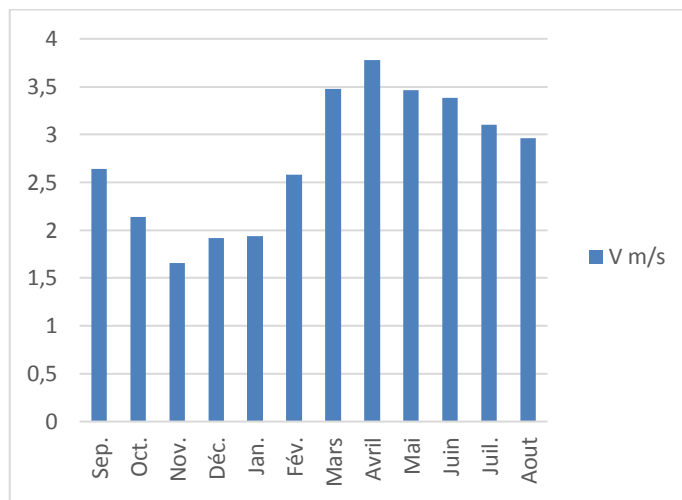


Fig (19) : Vitesse du vent moyenne mensuelle en (V m/s) dans la région de souf

IV. Rapports précipitation-température :

IV. Diagramme pluviothermique (Gausсен et Bagnols) :

Selon la définition de GAUSSEN et BAGNOULS, une période sèche est celle pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la Température du même mois : $P \leq 2 T$.

Cette relation, permet d'établir un diagramme Ombrothermique, sur lequel les précipitations sont portées sur une échelle double des températures.

Tab (17) : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la Ouargla

Mois	Sep.	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avri	Mai	Juin	Juil.	Aout
P(mm)	3,53	7,84	8,32	1,61	5,57	2,40	4,33	1,29	1,26	0,12	0,59	1,71
2T (°C)	61.4	49.2	33.8	24.4	23.6	27.2	36	45.2	55	65	69.6	68.2

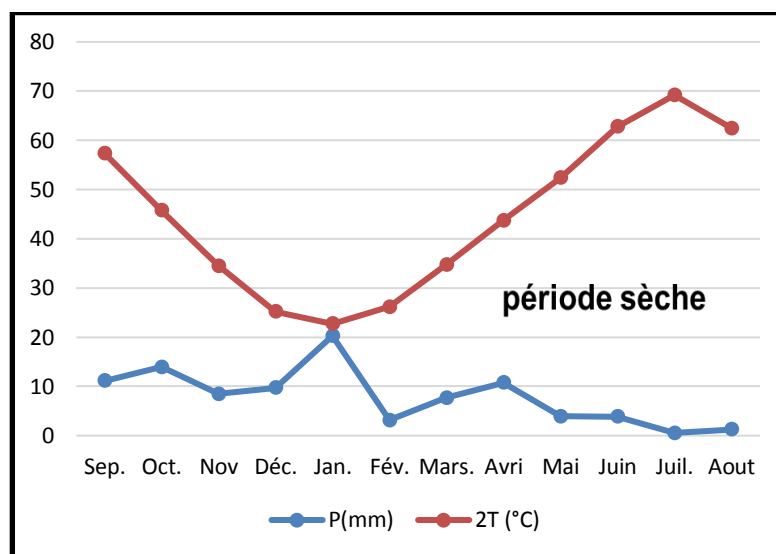


Fig20 : Diagramme Ombrothermique de la vallée de l'Ouargla

Tab18 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la Touggourt

Mois	Sep.	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avri	Mai	Juin	Juil.	Aout
P(mm)	5,77	4,92	4,34	4,59	15,5	2,33	4,9	4,32	3,14	0,63	0,5	2,72
2T (°C)	58,02	46,96	32,4	23,86	21,2	26,22	33,8	41,78	52,22	62,26	67,86	67,08

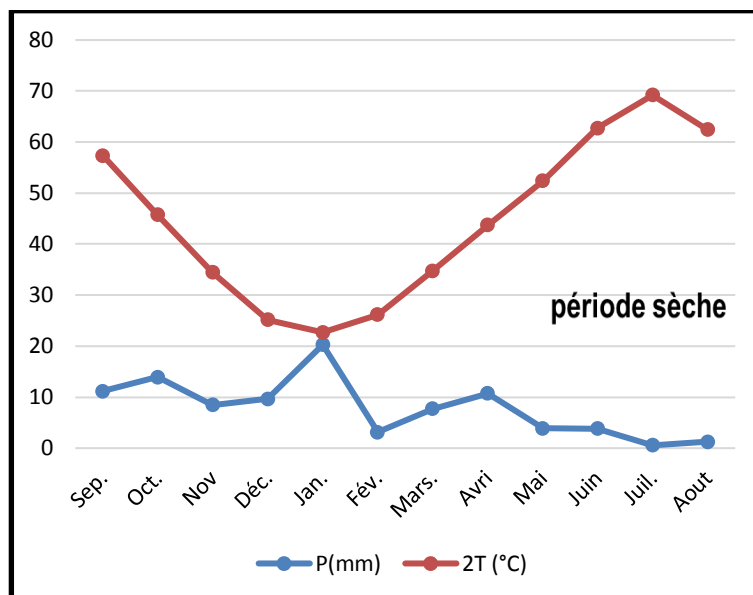


Fig (21) : Diagramme Ombrothermique de la vallée du Touggourt

Tab 19 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la Souf

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avri.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
P(mm)	11,16	13,91	8,46	9,68	20,26	3,11	7,72	10,72	3,9	3,84	0,55	1,26
2T (°C)	57,34	45,76	34,46	25,18	22,7	26,14	34,78	43,72	52,38	62,76	69,18	62,46

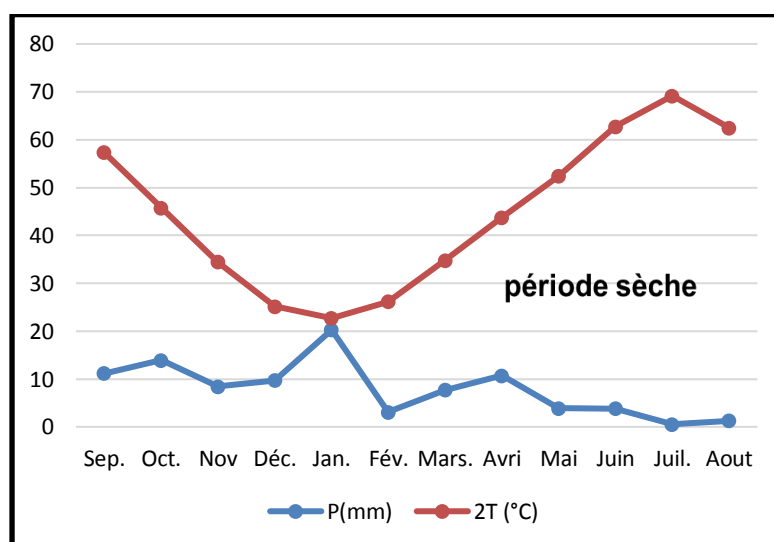


Fig (22) : Diagramme Ombrothermique de la vallée du Souf

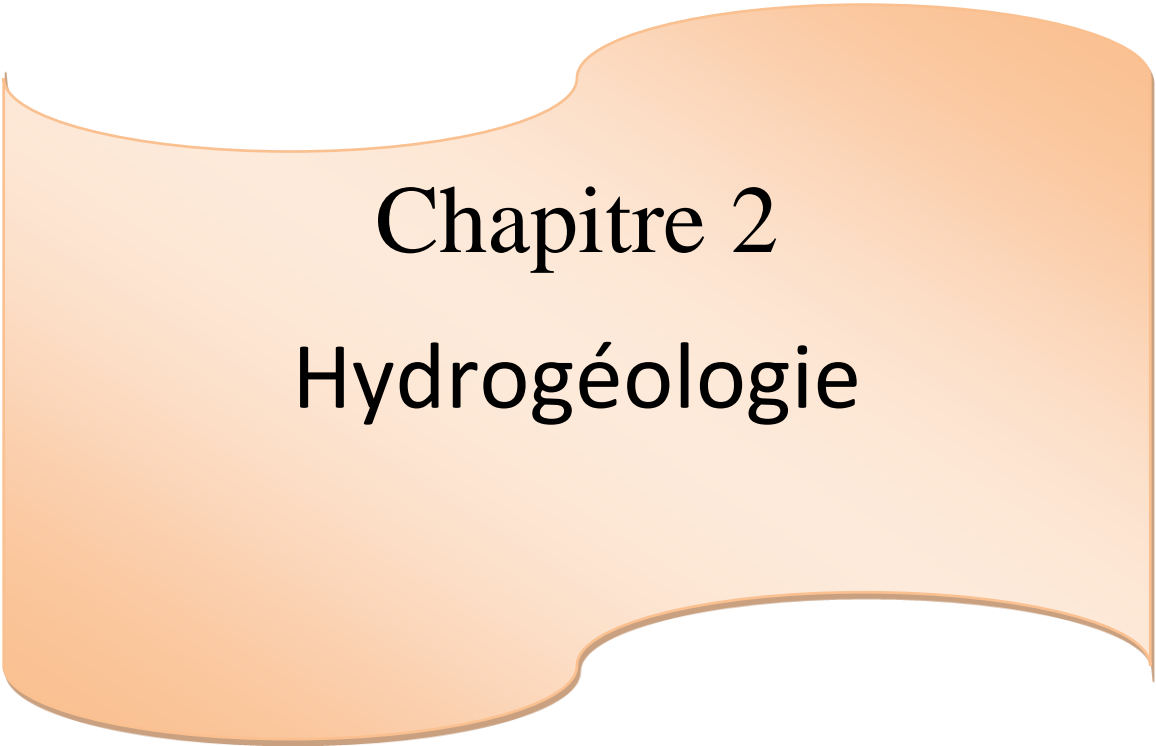
Tabl 20: Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)

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)	
Tertiaire	Mio-Pliocène	Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).	
		Argiles gypseuses	(semi-perméable)	
	Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).	
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum
		Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
Secondaire	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum
		Albien		Nappe albienne
		Barrémien	Sables et grès	(Continental Intercalaire).

Conclusion :

Notre zone d'étude fait partie du grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional, qui présente une tectonique relativement stable et moins prononcée. Elle est creusée dans un dépôt détritique de terrains tertiaires (miopliocène) et quaternaires de la basse Vallée de l'Oued Mya, dans lequel les sables dominent avec alternance des argiles, des calcaires et du gypse.

La différence entre les températures de l'été (une longue période chaude) et celles de l'hiver (saison relativement froide) montre l'importance de la chaleur estivale. La correspondance entre ces fortes températures et les faibles précipitations indique sur le caractère saharien tempéré du climat

A decorative orange shape with a wavy, irregular border, resembling a stylized banner or a piece of paper. It is centered on the page and contains the chapter title.

Chapitre 2

Hydrogéologie

I- LE SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL :

I.1 - Introduction :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye.

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouvent en Algérie, 24 % en Libye et 6 % en Tunisie (Fig23) et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées « chotts et sebkhas » et le plateau de la Hamada El Hamra.

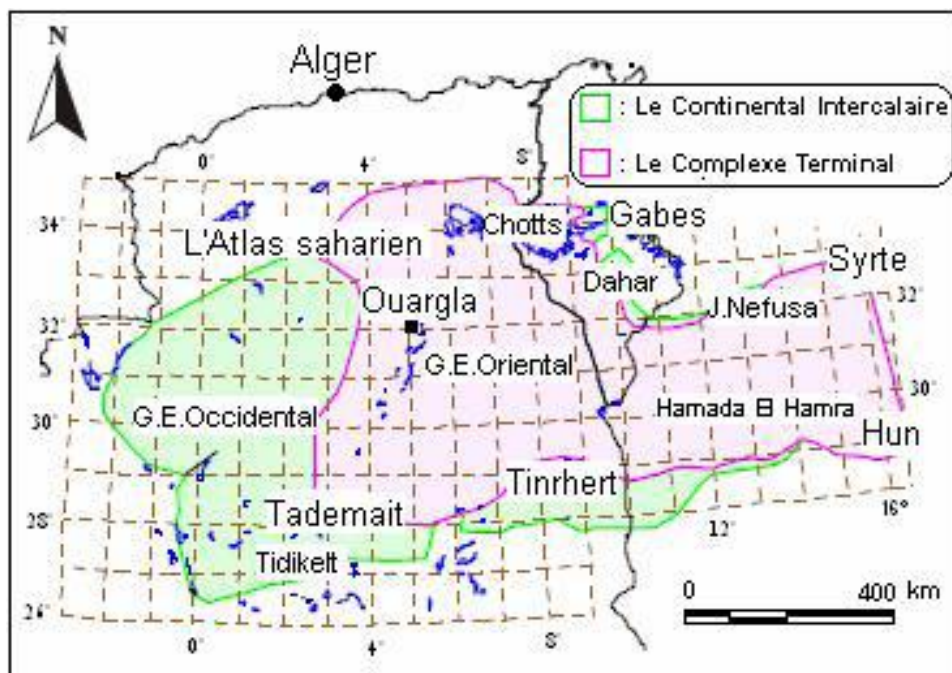


Fig23 : Délimitation du "SASS" (OSS, 2003)

Nous rappelons ci-dessous les définitions des nappes du "CI" et du "CT". Le terme « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- A la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne ;

- Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomanienne.

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (**Busson, 1970; Fabre, 1976**). Fig.(24).

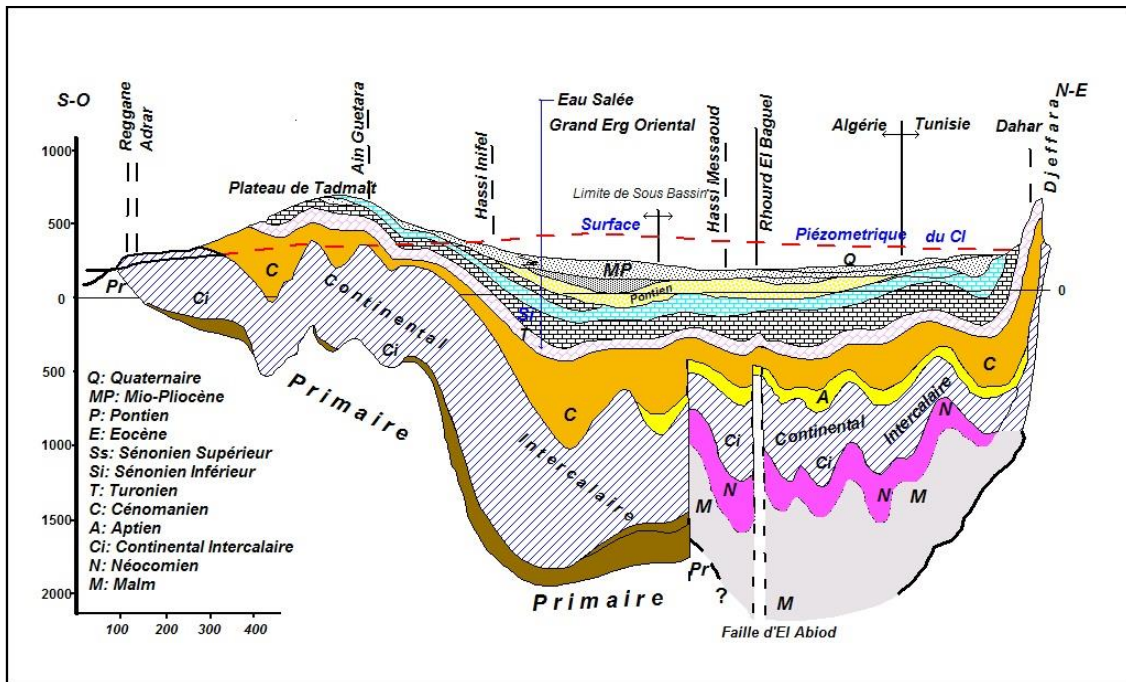


Fig. (24). Coupe hydrogéologique dans le système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972)

II.1. Le Continental Intercalaire :

D'après **Kilian, (1931)**, le « Continental Intercalaire » (Figure.24 et 26) désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne, alors qu'au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultant de la transgression cénomanienne. (**Busson, 1970 ; Fabre, 1976**).

Saoura jusqu'au désert libyen. Le débit d'alimentation du Continental intercalaire provenant du piémont de l'Atlas saharien est de $7.7 \text{ m}^3/\text{s}$, (**Ould Baba Sy, 2005 ; Ould Baba Sy, et al, 2006**). Ce débit entre dans l'intervalle des estimations recueillies dans les études antérieures qui le situent entre $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (**Cornet, 1961**) et $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (**Margat, 1990**)

La carte piézométrique (Figure.26) de référence du Continental intercalaire établie, à l'état stationnaire (peu ou pas influencée par les pompages), sur la base des études antérieures (**Cornet, 1964 ; UNESCO, 1972 ; Pallas, 1978**), met en évidence les zones d'alimentation suivantes (**Ould Baba Sy, 2005**) :

- i. piémont sud atlasique au Nord-Ouest ;
- ii. Tinnert au Sud ;

iii. Dahar à l'Est ;

iv. Jebel Nafusa au Nord-Est ;

v. Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord ; par la nappe du Continental Intercalaire.

Les zones d'exutoire sont :

i. les foggaras du Touat-Gourara et du Tidikelt ;

ii. l'exutoire tunisien marqué par la faille d'El-Hamma ;

iii. l'exutoire libyen au niveau d'Ain Tawargha.

II.2. Géométrie du "CI" :

L'épaisseur utile totale de ce réservoir (épaisseur des dépôts perméables à eau douce) dépasse 250 m dans la plus grande partie du système étudié. Elle atteint 1000 m au Nord-Ouest (Ouest de Ghardaïa) et au Centre (Ouest de la dorsale primaire d'Amguid). Elle tombe à une centaine de mètres au Nord, dans le secteur du Chott ELGharsa, localement sous le Grand Erg Oriental (Ouest d'El Borma), et en Libye sous J. Nefusa. La nappe du "CI" est libre dans les zones d'affleurement, captive non jaillissante sous le Grand Erg Occidental, le M'Zab, le Tademaït, le Grand Sud Tunisien et la Hamada El Hamra ; fortement artésienne jaillissante (avec des températures élevées) sur tout le domaine Oued Rhir, Souf, Djérid, Grand Erg Oriental et Chott Fedjaj. (Fig.25) **MENANI M^{ed} Redha((2008)**

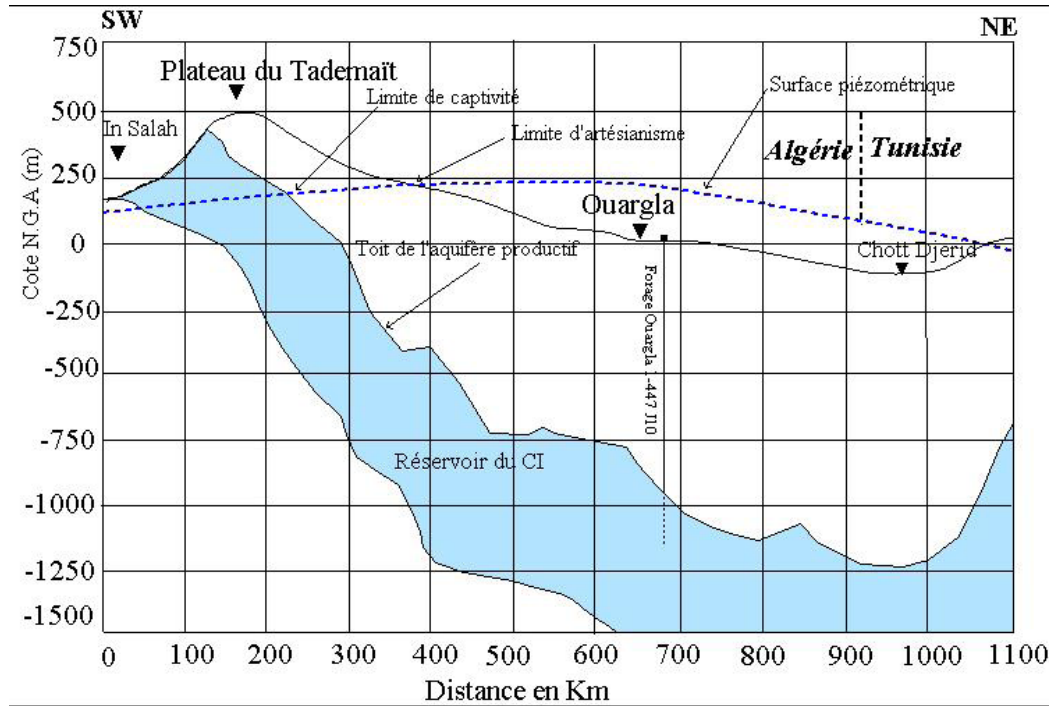


Fig. 25 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)

II.3. Piézométrie du "CI" : (Fig26)

Pour élaborer la carte piézométrique du "CI", les données publiées dans les études précédentes (ex : **ERESS, 1976**), ont été mises à contribution. Nous utiliserons la carte piézométrique du "CI", élaborée dans le cadre du projet SASS (**OSS, 2003**).

Cette carte définit l'écoulement de la nappe à l'état « naturel », peu ou pas influencé Par pompage.

L'examen de cette carte met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement.

Il s'agit :

- ❖ Du piémont sud atlasique au Nord et Nord-Ouest ;
- ❖ Du Tinrhert au Sud ;
- ❖ Du Dahar à l'Est.

L'essentiel des réserves de cet énorme réservoir correspond à de l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. Toutefois, une recharge actuelle, estimée globalement à 400 hm³/an, s'effectue :

- De façon directe par infiltration des ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurements, notamment aux piedmonts de l'Atlas Saharien (au Nord-Ouest), dans le massif du Dahar (Tunisie), éventuellement sur les rebords ouest (Touat et Gourara) et

au Sud du plateau du Tademaït (Tidikelt), ainsi que sur le rebord sud du plateau du Tinhert et sa prolongation en Libye.

- De façon indirecte dans le Grand Erg Occidental à travers les sables dunaires et du Complexe Terminal, dans la région où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs, ainsi que par apport latéral ou drainance en provenance du puissant aquifère paléozoïque dans la partie libyenne du réservoir.

L'écoulement de cette nappe se produit :

-- Dans le sens Nord-Sud (concernant le sous-bassin du Grand Erg Occidental), c'est-à-dire : du piedmont de l'Atlas Saharien vers les zones d'affleurement (et d'exutoire) des rebords du plateau de Tademaït à l'Ouest;

-- Dans le sens Sud-Nord (concernant le sous-bassin du Grand Erg Oriental), c'est-à-dire : du rebord sud du plateau du Tinhert vers les golfes de Syrte et de Gabès;

-- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien (golfe de Gabès).

C'est la dorsale du M'Zab ((l'axe N-S)) qui sépare l'écoulement dans les sous-bassins Occidental et Oriental en ces deux directions distinctes précitées (N-S et S-N).

Les zones exutoires, suggérées par les points d'aboutissement des lignes de courant dessinées sur la carte piézométrique sont :

*Les rebords occidentaux et méridionaux du Tademaït qui constituent une zone d'exutoire naturel importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève.

L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt ;

*Les remontées verticales à la faveur de la faille d'El Hamma dans la zone du Chott Fedjaj ;

*L'exutoire libyen du Golfe de Syrte, qui se manifeste en surface par les sources de Aïn Tawargha.

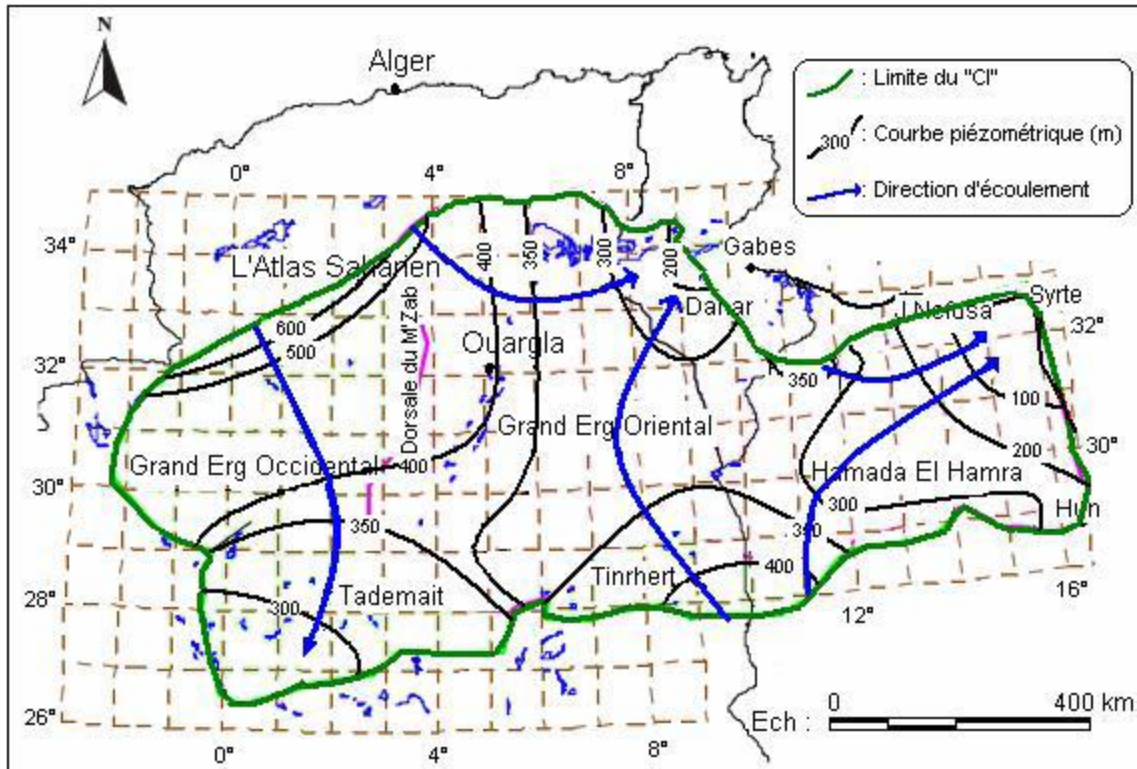


Fig26 Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)

II.4. Alimentation :

Les anciens auteurs ont cru que les aquifères du Sahara septentrional était fossiles et ne se rechargeaient pas ! Alors que les travaux récents montrent le contraire s'appuyant sur des méthodes plus modernes telles que la géochimie isotopique. Citons les travaux effectués par **OUELD BABA SY, 2005**, qui dans un cadre de projet **OSS 2006** a suivi l'évolution géochimique des eaux souterraines, pendant une quinzaine d'années en s'appuyant sur les mesures du tritium, le carbone 14 et le chlore-36 dans les forages et les puits. L'auteur situait cette recharge à environ 1 milliard m³ par an sur l'ensemble du système SASS (Cette recharge s'effectue d'une part par infiltration des eaux de ruissèlement, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux dans les périphéries là où le CI affleure, notamment l'Atlas saharien, mais aussi parfois dans plateau de Tadmait, d'autre part des pluies d'années exceptionnelles, sur le grand Erg occidental, plus loin cette recharge s'effectue sur le Dakar en Tunisie et sur le Dj- Nefoussa en Libye (**UNESCO, 1972**)).

La nappe du Continental Intercalaire possède la durée de renouvellement la plus longue (**OUELD BABA SY, 2005**). Elle proviendrait d'un pluvial datant du Pléistocène inférieur et de l'Holocène. L'âge des eaux des différentes nappes du SASS, déterminé au C14, montre

qu'aux zones de recharge, les eaux sont jeunes et attestent d'une recharge actuelle de l'ordre de 500 ans près des zones d'alimentation possible, et arrivent jusqu'à 40000 ans dans les parties confinées des nappes et

des zones d'exhaures, situées à 500 km des zones de recharge (**CONRAD et al, 1968**). Le débit d'alimentation du CI provenant du piémont de l'Atlas saharien a été estimé par les travaux anciens à 4 m³/s (**CORNET, 1961**) et 8.5 m³/s (**MARGAT, 1990**), plus récemment **OUELD BABA SY en 2005** le situait à 7.7 m³/s.

Les exutoires :

Ils sont constitués par :

- Les foggaras : longue galerie drainante, fonctionnent 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 sebkhas: vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est - pas négligeable.

III.1. Le Complexe Terminal :

Pour **Kilian, (1931)**, le terme «Continental terminal» désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Mio-pliocène, alors que, pour **Bel et Dermagne (1966)**, ce terme représentait toute la série allant du Cénomaniens au Mio-Piocène. Le Complexe Terminal est, quant à lui, un ensemble assez peu homogène (**Busson, 1970 ; Fabre, 1976**), incluant les aquifères du Sénonien, de l'Eocène et du Mio-pliocène, d'une même unité hydrogéologique multicouches (**Bel et Cuhe, 1969 ; UNESCO, 1972 ; OSS, 2003**). Les communications inter nappes sont évidentes sur l'ensemble du bassin.

Dans le bassin occidental, entre le M'zab et la Saoura, à l'exception de la zone située immédiatement au Sud de la flexure saharienne, on constate que la nappe du Complexe Terminal est en liaison étroite avec la nappe du Continental Intercalaire par l'absence de formations intermédiaire entre les sables de cette dernière et les sables du Mio-Pliocène.

Dans le Sud-Ouest, sous le plateau du Tademaït, cette nappe est peu importante et même parfois absente.

Dans le bassin oriental, la nappe s'étale sur près de 350 000 Km², et limitée à l'Ouest par la dorsale du M'zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par la ligne passant au Nord de l'axe de In Salah-Zarzaïtine sous l'Erg Oriental. Elle présente un intérêt majeur comme formation aquifère indépendante ; car la communication des eaux de ladite nappe entre le bassin oriental et le bassin occidental paraît peu importante (UNESCO, 1972).

Le Turonien, à la base, le Sénonien, l'Eocène et le Mio-Pliocène sont avec le Quaternaire les dernières formations déposées au Bas-Sahara. Elles couvrent la majeure partie du territoire saharien septentrional. Elles sont caractérisées par l'absence de déformations tectoniques importantes, et les surfaces qui les limitent sont quasi horizontales ou ont de très grands rayons de courbure. Selon (Cornet, 1964 ; UNESCO, 1972), elles abritent trois aquifères à importance variable.

L'observation de la carte piézométrique de référence (à l'état stationnaire) du Complexe Terminal, établie, également, par OSS (2003a et b), sur la base des travaux de Bel et Cuhe (1969), le Projet UNESCO, (1972), Levassor (1975), Pallas (1978), Srivastava (1981), et Mamou (1990).

Cette montre que les zones d'alimentation de la nappe proviennent de :

- i. l'Atlas saharien au Nord-Ouest ;
- ii. Le Dahar à l'Est ;
- iii. Le J. Nafusa au Nord-Est ;
- iv. Le Tinrhert au Sud.

Les zones d'exutoires sont principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens et sur le Golfe de Syrte.

A l'échelle du bassin oriental, le **Turonien** calcaire-dolomitique est un aquifère étendu. Elle est plus individualisée sous la couverture imperméable du Sénonien lagunaire, mais ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-pliocène sur la bordure du bassin. Il est imperméable (marnes) dans l'extrême Nord du Sahara oriental.

La première carte piézométrique de la nappe du complexe terminal a été établie et publiée par Elle a été reprise et complétée par J. AILAIRE à l'aide des renseignements fournis par les

forages pétroliers lors de l'étude. Cette même carte a été révisée et complétée grâce à la densité des forages pétroliers et hydrauliques. Les axes et les directions d'écoulement sont indiqués sur cette carte piézométrique. L'allure des isopièzes montre que la nappe peut être alimentée par les zones de bordures suivantes :

Alimentation à partir de l'Atlas saharien Entre Biskra et la frontière tunisienne, les courbes isopièzes sont parallèles à l'Atlas, l'alimentation peut avoir deux origines :

- A travers la flexure Sud-atlasique.
- Par infiltration des crues des Oueds à l'aval de l'accident atlasique.

III.2. - Géométrie du CT :

Le système aquifère du "Complexe Terminal" couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 km².

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m.

Le "Complexe Terminal" affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- A l'Est, le long du flanc oriental du Dahar.
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- A l'Ouest, sur la dorsale de M'zab. **(Fig27) GHETTAS Saci(2014)**

L'écoulement de cette nappe se produit:

- A partir de la dorsale du M'zab, où l'ensemble de l'écoulement converge vers les zones des chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental).
- Dans le sens Ouest-est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, convergent vers la zone des chotts.
- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des chotts et le golfe de Syrte.

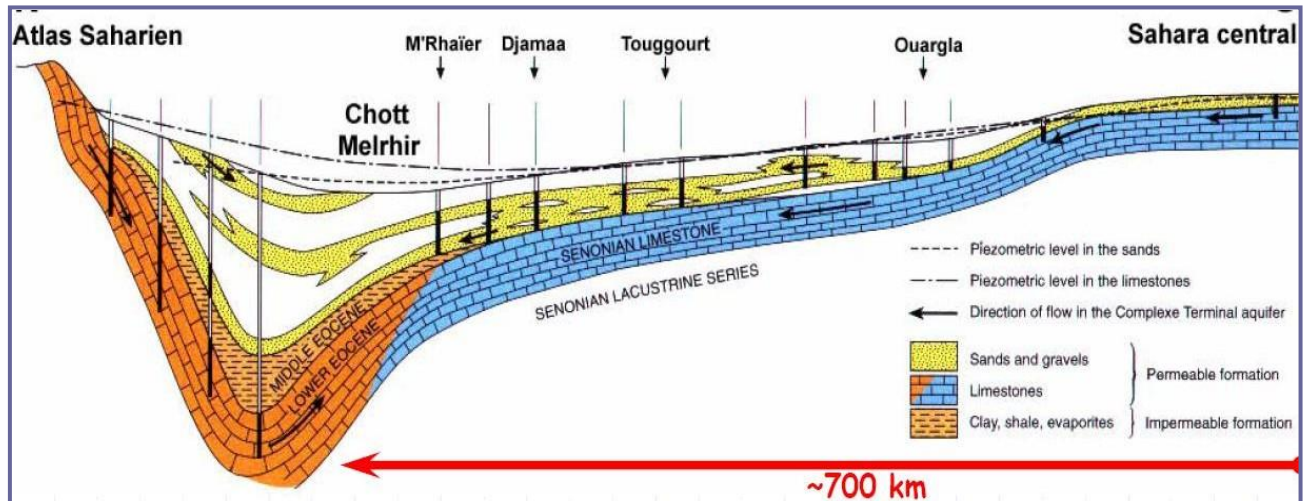


Fig. 27 : Coupe hydrogéologique Nord- Sud du Complexe Terminal du Bas Sahara (UNESCO, 1972).

*La profondeur de la CT variée entre 100 et 500 m. la température des eaux peu élevée et l'eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement plus chargée au centre (**plus de 3g/l**). La nappe du CT regroupe trois aquifères, situés dans des formations géologiques différentes subdivisées en deux ensembles : l'un continental au sommet (CT1 et CT2) et l'autre marin à la base (CT3) :

- **La première nappe des sables CT1 :**

sa puissance varie entre 50 et 100m par endroits, il s'agit d'une nappe semi-captive moins profonde, elle est constitué de sable fin à moyen, sable argileux et grès, du Mio-pliocène. Limitée par des formations semi-perméables.

- **La deuxième nappe CT2 :**

son épaisseur est de 20 à 36m, surmontée par la nappe du CT1, elle est constituée par des formations d'âge mio-pliocène, essentiellement formée par des grès, gravier et sable avec la présence de quelques lentilles argileuses.

- **La nappe des calcaires du Sénonien carbonaté/Eocène inférieur CT3 :**

son épaisseur atteint les 200m à Touggourt et 360m à Meghaier. elle est formée essentiellement de calcaires, calcaires dolomitiques avec passées de marne, d'anhydrite et de gypse. **Mr**

KERZABI R. (2006)

III .3. Alimentation :

Alimentation par le plateau du Tademaït et Tinrhert :

Les eaux qui s'infiltrent sur le plateau de Tademaït et du Tinrhert, s'écoulent vers le Nord et convergent vers l'exutoire principal : la zone des chotts Merouane et Melrhir.

Alimentation par les monts du M'Zab :

Le réseau très dense des Oueds du versant oriental du M'Zab joue un rôle important dans l'alimentation de la nappe des sables Mio-Pliocène lors des crues exceptionnelles (crues de Oued N'sa et M'Zab qui atteignent Sebkhet Safioune au Nord de la cuvette).

Les exutoires sont constitués principalement par les grandes cuvettes d'évaporation : chotts Melrhir et Merouane *Fig28*

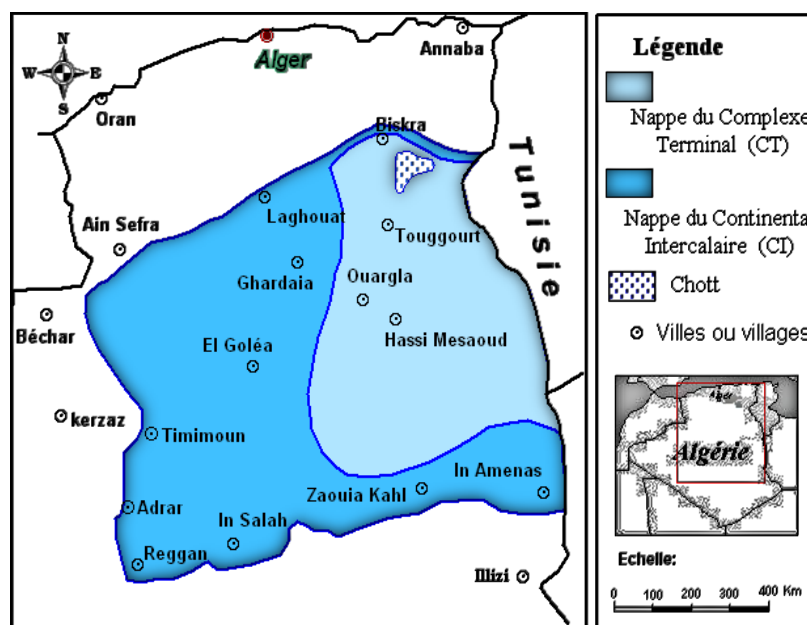


Fig28 : Carte des ressources en eau souterraines (continentale intercalaire et complexe terminal), extrait de recueil des communications, 2002

III.4. Piézométrie:

Depuis **Cornet (1964)**, plusieurs cartes ont été établies et réactualisées (**ERESS, 1972**). La plus récente (**OSS, 2003**), la carte (fig29) montre, comme pour la nappe du Continental Intercalaire, un écoulement qui se fait vers l'exutoire tunisien, situé dans la région de Tozeur. Dans la partie Nord du Bas Sahara le sens d'écoulement est de l'Ouest (avec un niveau Piézométrique d'environ 700 mètres au niveau de Laghouat) vers l'Est (où le niveau piézométrique atteint les 50 mètres au niveau de Tozeur). Un autre sens d'écoulement se fait du Sud vers le Nord. Il faut, cependant, noter que du fait de l'hétérogénéité spatiale et des différents aquifères, l'écoulement se fait en relais, par transfert d'un système à un autre.

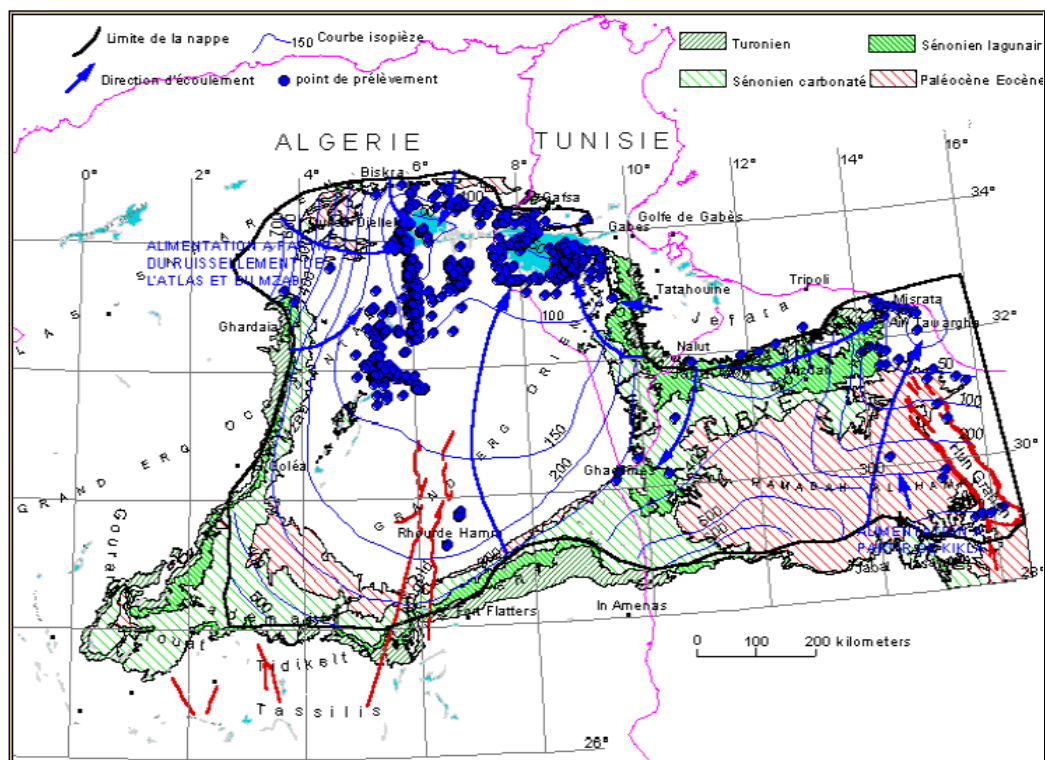


Fig (29). Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003)

Cette nappe peut circuler dans l'une ou encore dans les deux formations litho-stratigraphiques suivantes:

***Le Sénonien et l'Eocène carbonatés** forment un seul ensemble litho stratigraphique, de nature calcaire, dont l'épaisseur varie de 50 à 250 mètres. Sa fissuration secondaire lui confère des propriétés hydrogéologiques intéressantes.

***Le Mio-Pliocène** est une formation entièrement aquifère, exploitée un peu partout dans le Sahara septentrional, d'une épaisseur qui augmente de 50 à 100 mètres dans la direction Sud-Ouest / Nord-Est. La partie supérieure de cet aquifère est difficile à schématiser, suite au changement rapide du faciès ; plus argileux à l'intérieur du bassin. C'est ainsi qu'au niveau de l'oued Rhir septentrional, deux unités aquifères lenticulaires ont été reconnues et individualisées au Mio-Pliocène, suite au changement lithologique ; une première et une deuxième nappe, situées respectivement à 40 et 130 mètres de profondeur. Les niveaux argileux et la topographie, confèrent aux deux nappes un artésianisme dans le fond de la Vallée. L'écoulement des eaux de la nappe du CT s'oriente vers les chotts du Sahara Oriental: Melrhir, en Algérie, Rharsa et Djerid en Tunisie. Alors que dans le bassin occidental les eaux de la nappe se mélangent avec celle du Continental Intercalaire (UNESCO,1972).

Le Mio-Plio-Quaternaire, de faciès sableux et argileux avec du gypse, renferme des nappes phréatiques héritées des périodes pluvieuses du pléistocène inférieur. Il résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (BUSSON, 1970) Le sens d'écoulement de ces nappes est orienté parallèlement avec celui de la nappe du CT.

III .5. Recharge et conditions de recharge du CT:

Le concept de recharge ainsi ses conditions sont adoptables pour tout les aquifères du SASS, de ce fait, le CT doit obéir aux mêmes conditions.

Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (BURDON, 1977; MARGAT, 1990), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (PIZZI et SARTOLI,1984). Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (DUBIEF, 1953). Les précipitations exceptionnelles associées à certaines conditions de surface spécifiques (sols à grains grossiers) peuvent être particulièrement génératrices de recharges (GLENDON et HILLEL, 1988). L'alimentation des nappes du Sahara septentrional, par exemple, se manifeste sur les bordures Nord du bassin lorsque trois conditions sont présentes

Des précipitations suffisantes.

- Un relief relativement accentué pour produire un ruissellement dans les oueds.
- L'affleurement de formations perméables appartenant à un des systèmes aquifères ou en relation directe avec un des aquifères sahariens (DUBIEF, 1953).

IV. La nappe phréatique :

Du point de vue hydrogéologique, les régions du Souf, Oued Righ et Ouargla sont représentée par deux systèmes aquifères, à savoir le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire.

Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre dite nappe phréatique, contenue dans les sables du Quaternaire et sa profondeur peut atteindre 60 m, cela varie d'une zone à un autre. Les nappes phréatiques sont alimentées par les précipitations et les écoulements temporaires, de même que, de plus en plus, par les eaux de drainage et les pertes des réseaux; leurs seuls exutoires sont les chotts où les eaux s'accumulent et s'évaporent. Dans ces régions et surtout au Souf la remonté des eaux superficielles pose un grand problème, et qui est accentuée en premier lieu par la différence de pression hydrostatique importante, qui existe à l'origine entre la nappe des sables du Mio-pliocène et la nappe phréatique, conduisant à une alimentation par ascendance de la nappe phréatique à partir de la nappe des sables; et le deuxième apport de plus en plus réel par rapport au précédent est celui de la remontée du niveau de la nappe phréatique lié au développement de l'irrigation et l'absence des réseaux d'assainissements.

Tabl 20: 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)
Tertiaire	Mio-Pliocène		Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses	(semi-perméable)
		Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum
		Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
Secondaire	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomanién	Argiles, marnes	Substratum
		Albien		Nappe albienne
		Barrémien	Sables et grès	(Continental Intercalaire).

Conclusion :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) regroupe deux énormes réservoirs d'eaux souterraines ; le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Ce dernier s'étale sur une surface de 350 000 km² et couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sa puissance moyenne est de 300 m environ.

La recharge actuelle de cette nappe peut se réaliser lorsque certaines conditions climatiques (des précipitations exceptionnelles), topographiques (relief favorisant le ruissellement des oueds) et géologiques (affleurements perméables) se réunissent.

Chapitre 3

**Comparer de la qualité des eaux dans
la bas Sahara**

Introduction :

Dans la région de bas Sahara algérien, la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, nécessite le recours des ressources en eau profondes, les prélèvements des eaux à partir des aquifères captifs ; de complexe terminal et de continentale intercalaire ne s'asse pas à augmenté chaque année. Les eaux souterraines présentent l'unique ressource de l'eau existant de la région de Sahara septentrionale, mais leur qualité reste toujours un sujet actualité nationale et un facteur conditionne le développement démographique et économique des régions sud-est de l'Algérie.

I -Analyses physico- chimiques des eaux souterraines de la bas Sahara :

Le tableau 21 présente les résultats d'analyses physico- chimiques dont nous proposons quelques exemples pour les régions concernées par la campagne ainsi que pour tous les niveaux aquifères exploités

Tableau21 : Analyses physico- chimiques des eaux souterraines de la Région d'étude (bas Sahara)

Localité	nappe	Désignation	Conductivité é mS/cm	pH	TH (°F)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)
Ouargla	Phréatique	P128	6.71	7.73	286	707	264	2472	100	196	2249	2556	0.51
		P121	4.46	8.20	188	363	235	591	21	198	1874	2302	1.07
	Miopliocène	D1F146	3.63	7.069	136	364	109	438	22	90	830	650	1.72
		D1F141	3.10	8.40	130	280	145	516	21	74	790	650	1.47
	Sénonien	D1F142	2.54	8.33	97	285	62	233	14	122	382	650	1.37
		D1F128	1.90	7.58	102	245	99	233	14	124	360	620	1.68
	Albien	HADEB K- EL-RIH	2.50	8.06	103	196	131	178	22	165	400	580	0.63
			2.83	7.80	110	230	127	-	-	63	-	-	0.56

tougourt	MioPliocène.	D38F36	5.09	8.24	268	796	166	455	30	146	1744	900	2.70
		D26F9	7.78	8.30	346	768	373	775	35	155	3224	2310	3.01
	Albien	TEMACINE	2.16	8.31	120	320	97	145	33	159	699	760	0.70
		MEGARINE	2.81	8.11	158	380	152	215	34	134	924	800	0.70
El-Oue	Phréatique	GUEMAR	3.91	7.35	287	726	253	138	26	54	800	1035	3.97
		REGUIBA	3.35	7.64	450	816	590	80	11	34	700	1018	2.56
	Pontien	ROBBAH	3.52	7.19	88	118	140	500	28	118	684	780	1.58
		CHOTT	3.52	7.32	100	128	166	600	32	122	685	860	172
		KOUININE	3.70	7.51	113	190	157	540	30	113	693	870	1.65
	Albien	DW101	2.46	7.24	77	153	93	263	34	120	462	825	0.38
DW102		2.39	7.21	83	165	100	228	34	134	374	790	0.36	
Biskra	Phréatique	O. Biskra	3.8	8.08	93	198	107	-	-	172	976	1200	1.07
		Doucen	4.88	7.14	351	702	421	-	-	1150	- 1100	- 1750	2.94
		El-Hadjeb	3.19	7.14	179	645	43	-	-	185			2.41
	Mio-	M'Cid2	6.32	7.04	156	189	261	690	33	351	1999	700	1.49
		El-alia	5.12	7.23	120	168	187	552	24	290	1799	833	1.33
		F-wilaya	4.82	7.56	123	184	185	450	37	212	1949	366	1.49
	Eocène	S-Chaiba	1.44	8.22	59	133	62	-	-	167	639	370	2.63
		O- Djellal	3.97	7.97	191	454	186	36	56	139	1545	1250	0.65

II. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS :

II -1. La Température :

La Température du complexe terminal varie entre 25,50°C et 28,60°C pour la nappe du mio-pliocène et entre 25°C et 27°C pour la nappe du sénonien, on peut dire que les deux niveaux sont thermiquement homogènes avec une légère augmentation de la température pour la nappe du mio-pliocène ce qui est logique, car la température des nappes superficielles est plus élevée

que celle des nappes sous-jacentes. Cela confirme l'absence de couches complètement imperméable entre ces deux niveaux aquifères.

La nappe de l'albien se caractérise dans toute la région d'étude par des eaux à températures très élevées (des eaux thermales), la température est de l'ordre de 55°C ceci implique la nécessité d'un refroidissement avant la distribution urbaine.

II -2. La conductivité :

Toutes Les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. De plus elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M. S (soit 1500 mg/l).

II -3. Le-PH :

Le pH de toutes les eaux est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin. La plupart des eaux présentent aussi un caractère alcalin bicarbonaté du fait que le PH est souvent inférieur à 8,3.

II -4. Le titre hydrotimétrique :

Les valeurs de la dureté mesurée, pour tous les échantillons prélevés dans les nappes de la région d'étude, sont classées en valeurs minimales et maximales dans le tableau 3

Tableau 22 : Duretés des eaux de la région d'étude

Région	Nappe	Valeur Min (°F)	Valeur Max (°F)
Ouargla	- phréatique	188	300
	- Miopliocène	90	279
	- Sénonien	81	206
	- Albien	103	110
El Oued	- Phréatique	144	666
	- Pontien	88	144
	- Albien	77	122
Touggourt	- Miopliocène	194	480
	- Albien	82	158
Biskra	- Miopliocène	120	214
	- Eocène	59	214
	- Albien	191	-

D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'O.M.S (tableau 23), on remarque que pour tous les échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique minimal dépasse 54°F ; ce qui montre que les eaux de cette région orientale du Sahara septentrional sont très dures.

Tableau 23 : Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'O.M.S (1972)

TH (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	54
Dureté de l'eau	douce	Modérée nt douce	Assez douce	dure	Très dure

III.1 -Faciès chimique :

Nous pouvons classer les anions et cations majeurs, par région et par nappe, selon le tableau 24.

Tableau 24 : Faciès chimique des eaux souterraines de la région étudiée

Ouargla	<p>Nappe phréatique : chlorurées sodiques et potassiques, avec des tendances vers d'autres pôles pour certains forages.</p> <p>Nappe du Miopliocène: selon le sens de l'écoulement des eaux trois faciès d'eau sont rencontrés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • chloruré et sulfaté calcique et magnésien ; <p>Les cations dominants sont le calcium et le magnésium, change avec le sens de l'écoulement pour devenir le sodium et le potassium.</p> <p>Les anions dominants sont les chlorures $\text{Cl}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^-$, avec l'écoulement devenant: $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$ ($\text{SO}_4 > 50\%$)</p> <p>Nappe du Sénonien : sont de deux types</p> <ul style="list-style-type: none"> • chloruré et sulfaté calcique et magnésien ; • en aval une tendance à devenir chloruré sodique et potassique <p>Les cations dominants sont le calcium et le magnésium</p> <p>Les anions dominants sont les chlorures, avec une tendance en aval vers le pôle sulfaté.</p> <p>Nappe de l'Albien : les eaux de cette nappe sont de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien.</p> <p>$\text{Cl}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$</p>
---------	--

Touggourt	<p>Nappe du miopliocène : chloruré et sulfaté calcique et magnésienne</p> $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ <p>Nappe de l'albien : chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne</p> $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^-$
-----------	---

oude Souf	<p>Nappe phréatique : chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes.</p> $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$ <p>Nappe du Pontien : type chloruré sodique et potassique, les cations dominants sont</p> $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$ <p>et les anions dominants sont $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$.</p> <p>Nappe de l'Albien : sont sulfatées et chlorurées calciques et magnésiennes</p> <p>- les cations dominants sont le calcium et le magnésium. Les anions dominants sont les sulfates</p> $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- \quad (\text{SO}_4 > 50\%)$
------------------	--

Biskra	<p>Nappe phréatique : les eaux de cette nappe se charge de plus en plus de matières dissoutes. La distribution montre une nette dominance des chlorures et des sulfates sur le calcium et le magnésium.</p> <p>Selon les formules caractéristiques les ions s'ordonnent de la manière suivante :</p> <p style="padding-left: 40px;">En amont : $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ et $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$</p> <p style="padding-left: 40px;">En aval : $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ et $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$</p> <p>Nappe du Moi-Pliocène : Type chlorée sodique et potassique</p> <p style="padding-left: 40px;">$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ et $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$</p> <p>Eocène : Sulfaté calcique et magnésienne chloruré sodique et potassique</p>
--------	--

III.2. Classification des eaux :

III.1 Selon PIPER :

La représentation des données physico-chimiques sur le diagramme de Piper montre Plusieurs faciès chimiques qui dépendent de la nature géologique de l'aquifère, mais également d'autres facteurs climatiques et anthropiques.

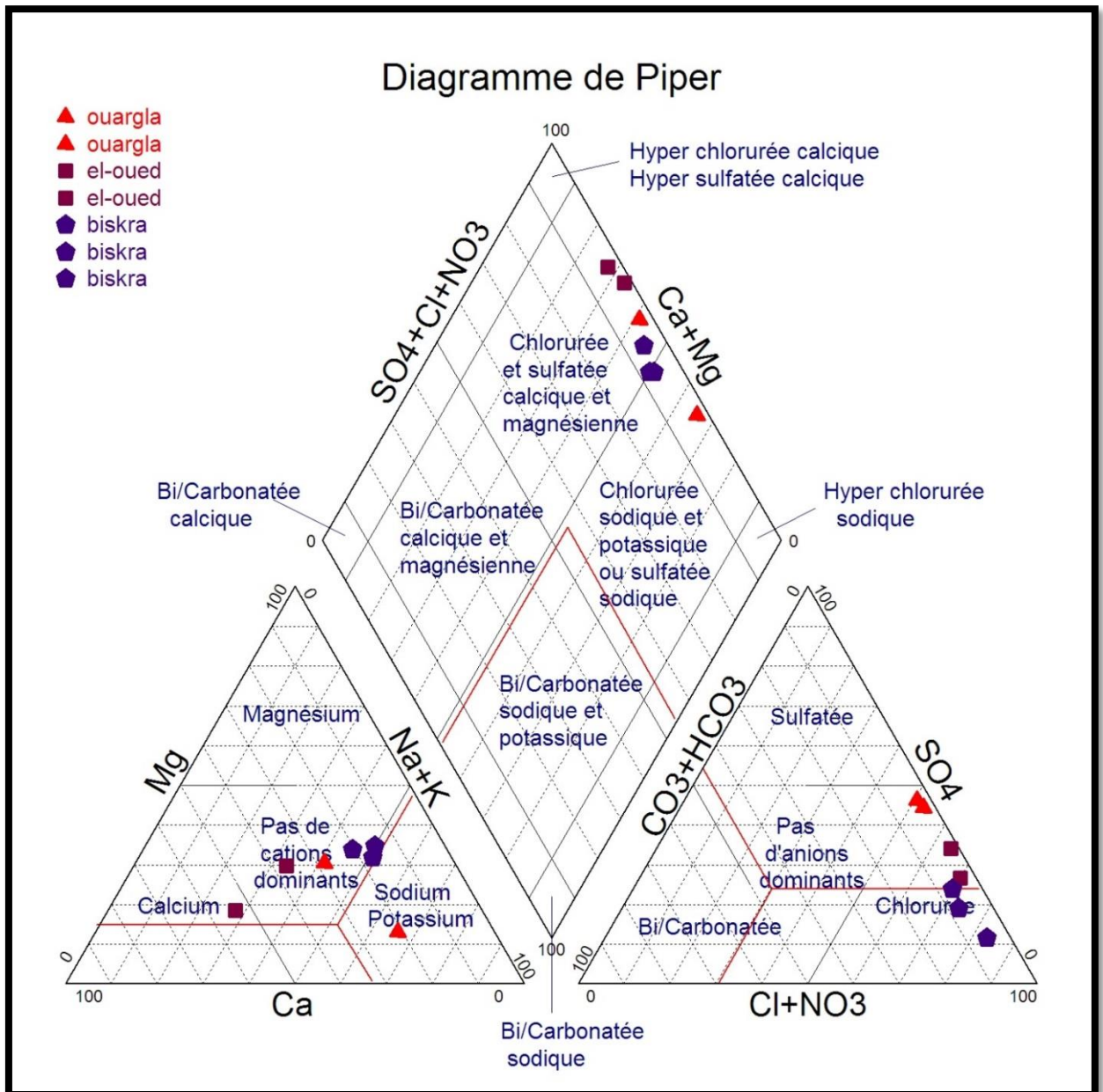


Fig (29) : Faciès chimique des eaux de la nappe phréatique dans bas Sahara

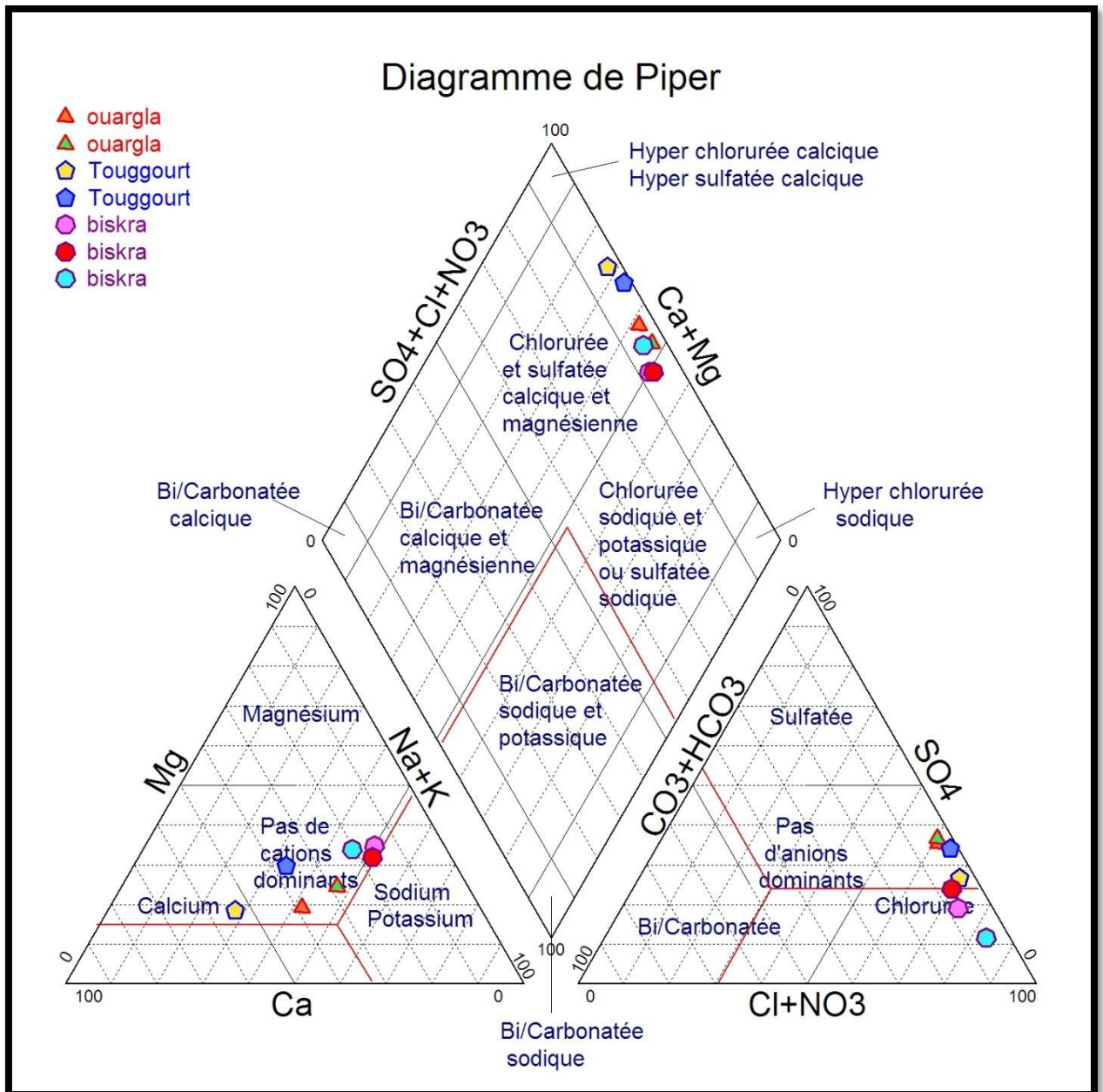


Fig (30) : Facies chimique des eaux de la nappe Miopliocène dans bas Sahara

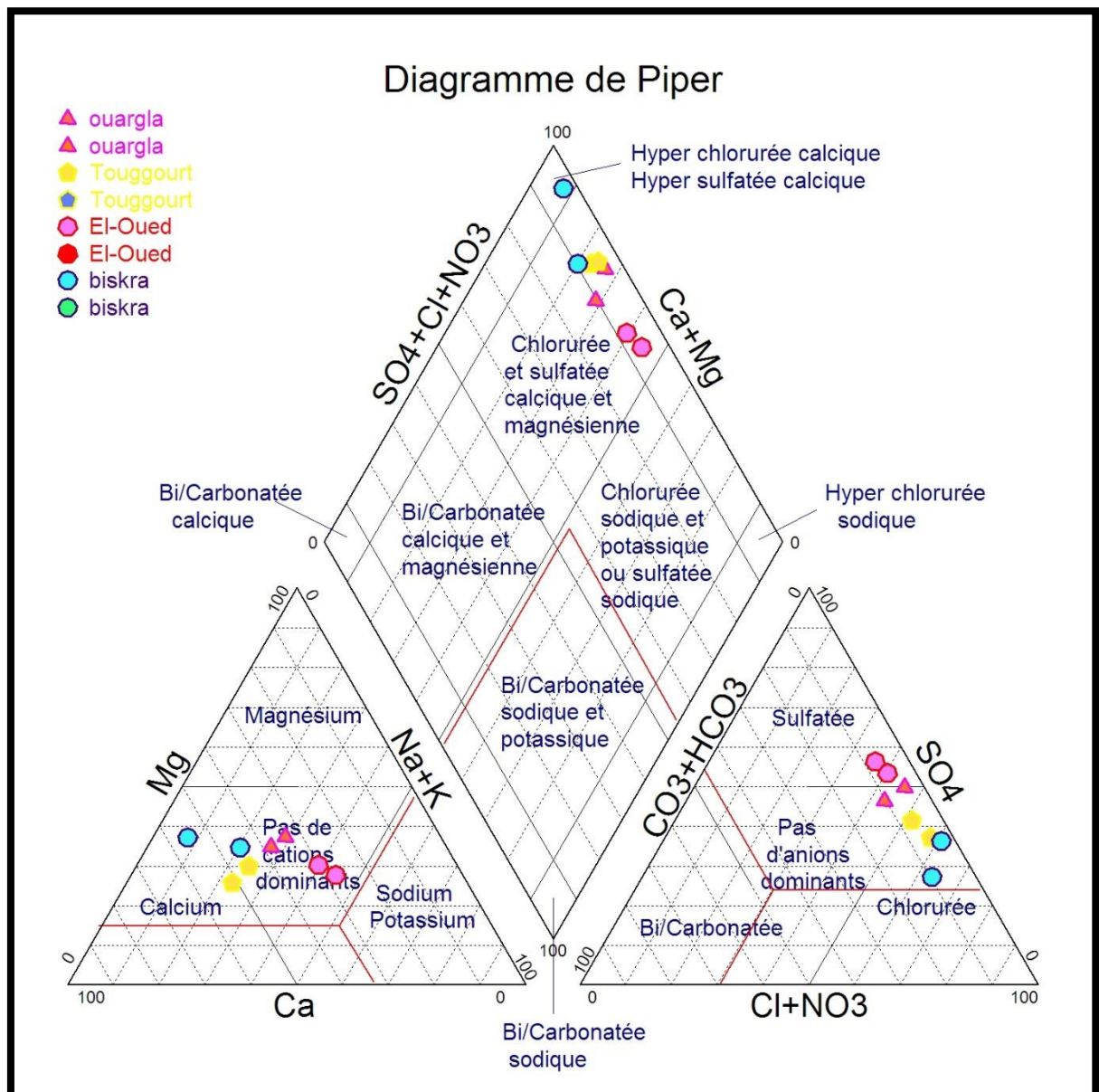


Fig (31) : Faciès chimique des eaux de la nappe Albien dans bas Sahara

- ❖ D'après le tableau 24 nous pouvons dire que les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates parmi les anions et le calcium et le magnésium parmi les cations. Aussi nous pouvons dire que les eaux de la région étudiée présentent deux faciès suivant le sens de l'écoulement, chloruré et sulfaté calcique et magnésienne en amont avec une tendance à devenir chloruré sodique et potassique à l'aval. Compte tenu de l'évaporation intense, les nappes phréatiques sont

III.2 -Minéralisation :

La minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau.

Nous l'avons déterminé à partir de la conductivité des échantillons prélevés, toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. De plus, elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M. S ; soit 1500 mg/l.

Pour mieux suivre l'évolution de ces concentrations dans les différentes nappes et suivant le sens de l'écoulement, nous avons opté pour une représentation en carte de minéralisation (concentrations en sels dissous en g/l) désignant chaque nappe et dans toutes les régions étudiées.

Pour la nappe du Miopliocène de la région de Ouargla (fig.32), les concentrations varient entre une valeur minimale de 2,07 g/l et une valeur maximale de 5,19g/l. La figure 1 montre que le sens d'accroissement de la minéralisation se fait toujours du Sud- Ouest vers le Nord- Est (vers les chotts et sebkhas), ce qui coïncide aussi avec le sens de l'écoulement de la nappe. Cette augmentation de la salinité peut être due à la concentration des sels au niveau de la nappe du miopliocène et l'hétérogénéité de la formation (sables, argiles, marnes et gypses). Selon SCHOELLER, 1948, pour la famille chlorurée et sulfatée sodi-calcique et magnésienne ainsi que pour la famille chlorurée sodique et potassique la lithologie de l'aquifère est plus fine, la circulation de l'eau est difficile, le temps de contact eau- roche augmente d'où l'augmentation de la salinité et l'influence des argiles devient plus marquée. Cette interprétation traduit le phénomène de concentration par dissolution.

Les eaux de la nappe de l'Albien sont modérément minéralisées, les concentrations en sels varient entre 1,73 g/l (Albien Tamerna) à Touggourt et 3,01 (Albien Ouled Djellal) à Biskra. Sur la carte (Fig. 33) on observe la progression de la minéralisation qui se fait du Sud- Ouest (à Ouargla) vers le Nord- Est (à Biskra), l'évolution se fait de 2 à 3 g/l (de substances dissoutes

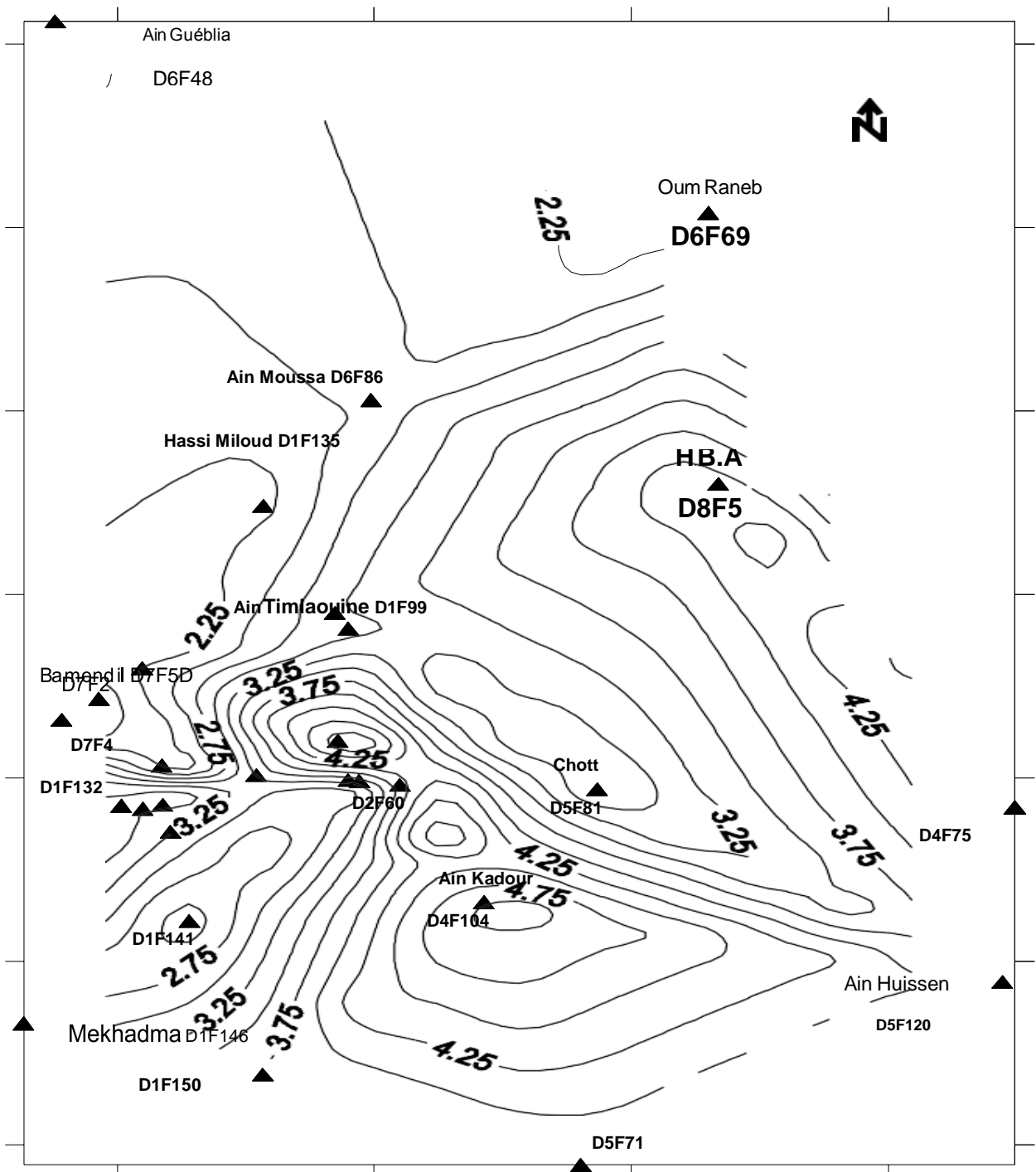


Fig (32) : Carte de la minéralisation, Nappe du Mio-Pliocène région de Ouargla

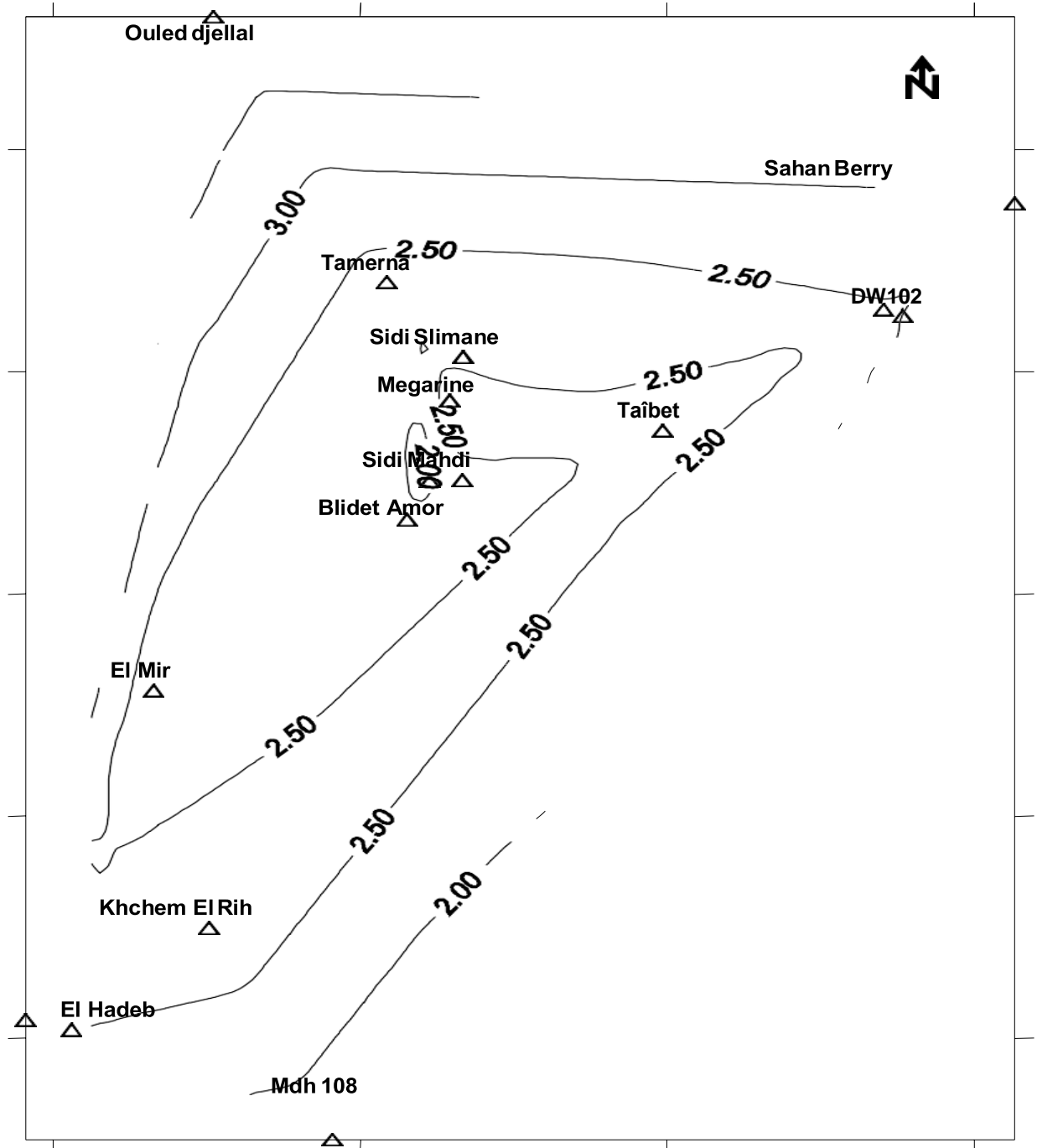


Fig (33) : Carte de la minéralisation de la nappe de l’Albien, région orientale du Sahara septentrional.

III.3 -Teneur en fluor :

Les teneurs en fluor les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque que soit la région considérée (Tableau 25).

Tableau 25 : Teneurs en fluor des eaux souterraines de la nappe du Miopliocène région orientale du Sahara septentrional.

Région	Nappe	F ⁻ (mg/l) Valeur minimale	F ⁻ (mg/l) Valeur maximale
Ouargl	Phréatique	0.14	3.05
	Miopliocène	0.90	2.26
	Sénonien	1.22	2.20
	Albien	0.56	0.65
El Oued	Phréatique	2.56	5.21
	Pontien	1.58	2.14
	Albien	0.36	0.8
Touggourt	Miopliocène	2.04	3.01
	Albien	0.5	0.7

Dans la nappe des sables (Mio-Pliocène, Pontien) et des calcaires (Eocène, Sénonien), les teneurs dépassent dans tous les cas 1mg/l avec un accroissement suivant le sens de l'écoulement présumé des eaux considérées. La figure 3 présente une carte de la répartition des teneurs en fluorures de la nappe du Mio- Pliocène dans la région d'Ouargla.

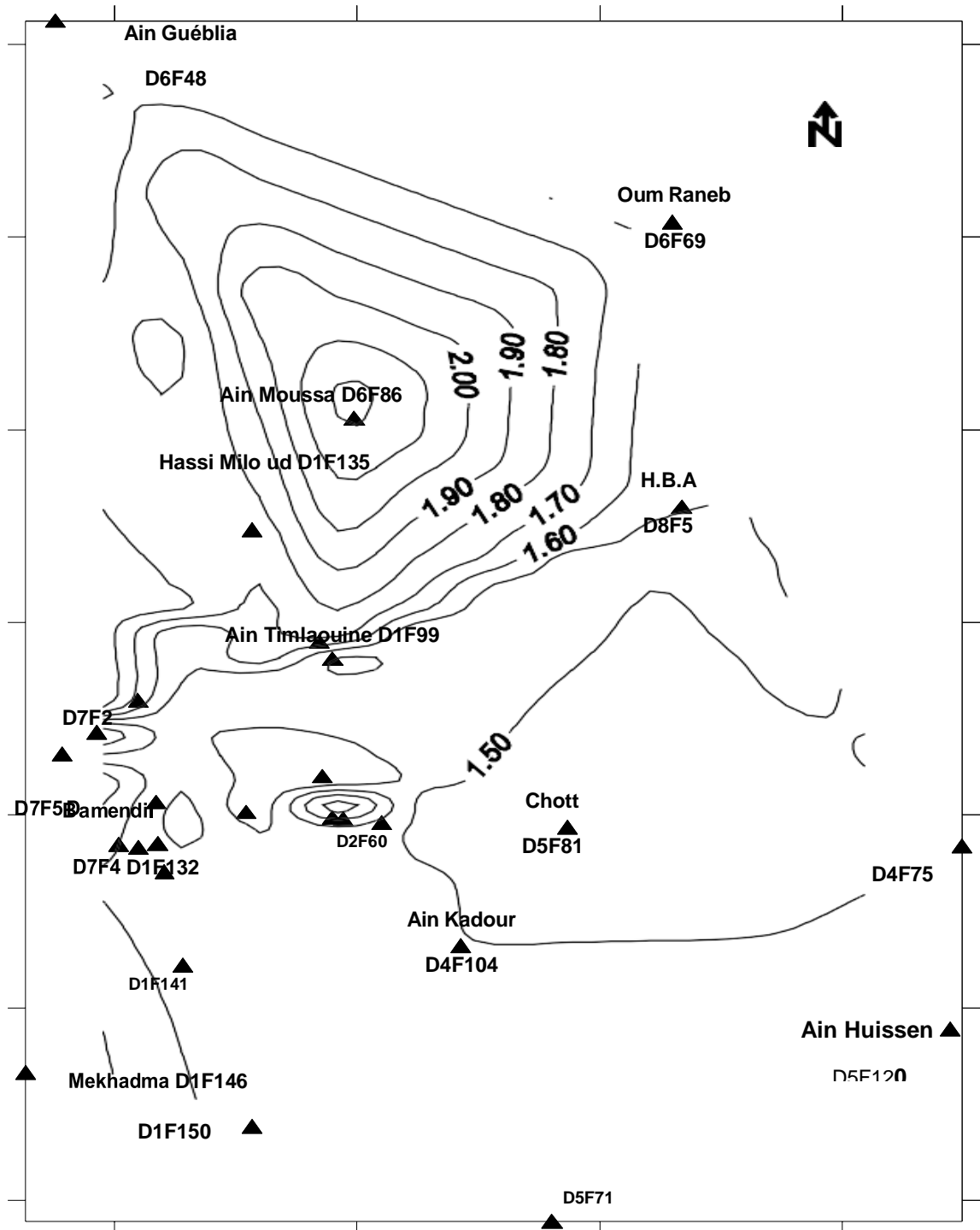


Fig (34) : Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du Miopliocène région d’Ouargla

Conclusion :

Cette campagne a concerné les deux principaux aquifères du Sahara septentrional, le complexe terminal et le continental intercalaire dans les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued et Biskra, à différents niveaux aquifères.

Ils ont utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux.

Il nous a été possible d'étudier l'évolution des principaux paramètres de qualité physico-chimique tant du point de vue géographique que géologique.

En particulier, les conductivités sont variables selon la région considérée et diminuent avec la profondeur de l'aquifère en allant de la nappe phréatique vers la nappe Albienne.

Les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates ainsi que le calcium et le magnésium. Les cartes de minéralisation dressées indiquent un accroissement de ce paramètre dans le sens de l'écoulement des eaux.

Quant au fluor, les teneurs les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque soit la région considérée.

Concernant la nappe des sables et des calcaires, les teneurs dépassent dans tous les cas la norme de potabilité.

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non-conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du complexe terminal).

A decorative orange shape with a wavy, irregular border, resembling a stylized banner or a piece of paper. It is centered on the page and contains the text "Conclusion générale".

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre zone d'étude fait partie de la région Est du Sahara septentrional algérien, elle est caractérisée par un climat désertique aride avec des températures extrêmes en été (plus de 50°C) et des précipitations faibles, inférieures à l'évaporation potentielle annuelle, mais peuvent contribuer quand même à une certaine recharge des nappes lorsque certaines conditions s'y prêtent : climatiques (des précipitations exceptionnelles), topographiques (relief favorisant le ruissellement des oueds) et géologiques (affleurements perméables).

Cependant, ces précipitations demeurent négligeables par rapport à l'exploitation excessive des nappes souterraines. Du fait de la rareté de ces précipitations, l'écoulement des Oueds de la région reste irrégulier. La topographie est relativement plane, le paysage général se manifeste par des dunes de sable, des regs, des hamadas et des chotts et sebkhas.

Du point de vue géologique, les terrains secondaires discordant sur le socle primaire souvent érodé, présentent une sédimentation tantôt marine, tantôt continentale, la série stratigraphique très épaisse est caractérisée essentiellement par des formations, allant du Crétacé inférieur au Quaternaire.

Le système aquifère de la bas Sahara présente trois nappes principales : l'une superficielle caractérisée par des eaux fortement minéralisées et salées, la deuxième multicouches, constituée de formations très hétérogènes médiocres et la troisième plus profonde, formant le Continental Intercalaire, connue sous la dénomination de nappe albienne, L'exploitation excessive des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal ont engendré un phénomène de remontée des eaux qui ne cesse de s'aggraver et qui constitue une menace sérieuse pour le sol, la flore et la qualité des eaux pour l'irrigation et la consommation humaine.

La classification des eaux selon Piper montre la dominance de faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les deux nappes. Cette dominance de faciès est liée au contact eau roche selon la nature géologique de la région, puisque l'interaction entre l'eau et la roche provoque une dissolution, entraînant ainsi un enrichissement des eaux en chlorures et en magnésium.

Les eaux du **CT**, en contact avec une lithologie riche en évaporites, révèlent une minéralisation également excessive, exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées.

Les eaux du Continental Intercalaire, montrent une minéralisation moins accentuée que celle des eaux de la nappe sus-jacente du Complexe Terminal

La présence du faciès chloruré magnésien et du faciès chloruré calcique, est allouée, probablement, aux échanges de bases, par adsorption de deux ions Na^+ et libération d'un ion Ca^{2+} ou Mg^{2+} . En conclusion, Les eaux de deux nappes de région de bas Sahara montrent qu'elles sont non potable pour la consommation humaine, ces eaux sont très dures et trop minéralisées.

An orange, wavy-edged shape with a gradient from light to dark orange, containing the text 'Bibliographie'.

Bibliographie

Références bibliographiques

- ANRH** : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya d'Ouargla).
- BABA SY M. (2005)** : Recharge et paléo recharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse Docte, Univ, Tunis El Manar, 271p.
- BEL.F., et CUCHE. D. (1969)** : Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ; ERESS ; Ouargla. Algérie. 3 fig., 17 planches, 20p.
- BEL F. & CUCHE D. (1969)** : Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p.
- BEL. F., et DEMARGNE F. (1966)** : Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches, 22p
- BRL-BNEDER. (1999)**. Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Lot 1. Etude de base. Phase II A3. Monographies spécialisées des ressources naturelles. Ressources en eau.
- BUSSON G. (1972)** : Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p
- BUSSON. G. (1967)** : Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien.
- BUSSON. G. (1970)** : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides »,
- BUSSON. G. (1971)**. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p
- CASTANY. G.(1982)**. Hydrogéologie, principes & méthodes, Paris, éd. Dunod 237p.
- CORNET. A. (1964)**. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géog. Phys. et Géol.Dyn., vol. VI.fasc. 1,5-72.
- DUBIEF J. (1953)** : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 457p
- FABRE J. (1976)** : Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED, Alger, Algérie, 422p.
- FABRE. J. (1976)**. Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger, 421p.
- GHETTAS Saci (2014)** : EVOLUTION GEOCHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE DES SABLES DU MIO-PLIOCENE DANS L'OUED RHIR (DJAMAA, MEGHAIER, STILL ET OUM THIOUR) p18
- MARGAT J. (1990)** : Les gisements d'eau souterraine. La Recherche, p 596.

MENANI Med Redha((2008) : Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie) p62

NESSON. C. (1978). L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara

NESSON. C. (1978). L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara.

NEZLI I. (2009) : Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, université de Biskra, 117p.

ONM: Bulletin climatologique de la station de Ouargla. Service archives. Ouargla, Algérie.

ONM: Bulletin climatologique de la station de Ouargla. Service archives. Ouargla, Algérie

OSS (2003) : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Observatoire du Sahara et du Sahel.

OSS (2003a et b) : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.

UNESCO. (1972). Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris.

Youcef. L. (1998). Etude des possibilités d'élimination des fluorures des eaux souterraines par précipitation chimique à la chaux. Thèse de magister en sciences hydrauliques. Université de Biskra.

Résumé :

La partie Nord-Est du grand erg oriental (bas Sahara), Où un climat saharien (hyper aride) qui règne sur toute la région du Sud d'Algérie. Cette dernière, repose sur les plus importantes ressources hydriques du monde : le Continental intercalaire (CI), contenu dans les formations du crétacé inférieur (percé dans la couche albienne) d'où son nom "nappe albienne". Il s'étend sur 600000 Km². Surmonté par les réservoirs du Complexe Terminal (CT), (première et deuxième nappe Mio-pliocène, aquifère des calcaires sénoniens-éocènes) qui couvre une superficie de 35000 Km². et par la nappe la plus sollicitée pour les besoins d'irrigation (la nappe phréatique), contenue dans les formations alluvionnaires sableuses et argileuses du Quaternaire. La qualité chimique de ces eaux pose un grand problème, tel que la salinité, la minéralisation forte et la concentration de certains éléments qui dépassent les normes recommandées par l'OMS. Ce travail est une contribution à la présentation et la comparaison de l'évolution hydrogéochimique des eaux des niveaux aquifères entre Divers régions de la bas Sahara, par la recherche d'une relation entre la composition chimique des eaux et là

Mots-clés: bas Sahara, Continental intercalaire, Complexe Terminal, la nappe phréatique, la salinité

Summary:

The north-eastern part of the eastern great erg (low Sahara), where a Saharan (hyper arid) climate that reigns over the entire region of the Algerian Su. The latter, is based on the most important water resources of the world: the Intercalary Continental (CI), contained in the formations of the lower Cretaceous (pierced in the Albian layer) hence its name: "Albian nappe". It covers 600000 square kilometers. Surmounted by the reservoirs of the Terminal Complex (CT), (first and second mio-Pliocene aquifer, Sénonien-Eocene limestone aquifer) which covers an area of 35000 km². and by the water table most in demand for irrigation needs (the water table), contained in Quaternary sand and clay alluvial formations. The chemical quality of these waters is a major problem, such as salinity, strong mineralization and the concentration of some elements that exceed the standards recommended by WHO. This work is a contribution to the presentation and comparison of the hydrogeochemical evolution of water aquifer levels between various regions of the lower Sahara, by the search for a relationship between the chemical composition of water and the lithological nature of aquifers in gener

Key words: low Sahara, Inter-continental, Terminal Complex, groundwater, salinity

