

*République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministre D'enseignement superieuret de Recherche Scientifique*



*Université Houma Lakhdar El Oued
Département Hydraulique*



**Mémoire De Fin D'étude
En Vue De L'obtention De Diplôme De Master 02
En Hydraulique**

THEME

*Problématique D'irrigation Dans La Région D'Oued
Righ Nord Partie De La Wilaya D'El Oued*

Maitre de mémoire :

Mr SAYEH LEMBAREK MOHAMMED

Présenté par:

MR RAKROUKI NACEREDDINE
MR MERCHRI TARAK

Promotion Universitaire 2016/2017

LISTES DES ABREVIATIONS

AEA: alimentation en eau d'irrigation

AEP : Alimentation en eau potable.

Bn: Besoins nets.

CE: Conductivité Electrique

CI : continental intercalaire.

CT : complexe terminal.

Ed : Efficacité de distribution

ET : Efficacité de transport

ETM : l'évapotranspiration maximale

ETP: L'évapotranspiration potentielle

ETR : la consommation des palmeraies

ET0: L'évapotranspiration de référence

EU: Efficacité de l'uniformité

IRR: Irrigation

SAR : Degré d'Adsorption du Sodium

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
01	Photo situation géographique de la zone d'étude	2
02	Tracé de l'oued Righ [Source ABHS].	12
03	Illustre le modèle numérique de terrain d'Oued Righ (MNT).	13
04	Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98(Internet).	15
05	Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2015)	16
06	Climagramme d'EMBERGER.	17
07	Représentant la variation des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt période (1975- 2015).	19
08	Diagramme Ombrothermique de Oued righ durant la période (1975-2015).	20
09	Variation des Humidités (%) moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2015).	22
10	Variation les vitesses de vent (m/s) moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2015).	22
11	Variation la durée d'insolation moyennes mensuelles en (h) à la station de Touggourt durant la période (1975-2015)	23
12	L'évaporation moyennes mensuelles en (mm) à la station de Touggourt durant la période (1975-2015).	24
13	La carte géologique du bas Sahara (ANRH Ouargla)	27
14	Litho- stratigraphie synthétique de la région de d'Oued Righ (Helal et Ourihane., 2004)	31
15	<i>Coupe géologique du Sahara septentrional d'après UNESCO1972.</i>	32
16	Carte des ressources en eau souterraines « Continental Intercalaire et Complexe Terminal » (UNESCO 1972).	38
17	Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).	39
18	Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.	40
19	Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ.	42
20	Composition chimique de tartre en pourcentage.	58
21	Cartes des Points Piézomètres en 2003	64
22	Cartes des Points Piézomètres en 2014	66
23	Carte piézométrique de la nappe CT 2003	69
24	Carte piézométrique de la nappe CT 2014.	69
25	Carte de rabattement 2003 – 2014	69
26	carte piézométrique de la nappe phréatique (ANRH TOUGGOURT).	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Titre	Page
01	Récapitulatif des besoins et ressources en eau	9
02	Population Débit AEP et débit d'irrigation des différente localités.	9
03	Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2015)	16
04	Indice d'Aridité de DEMARTONE :	18
05	Représentant la variation des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt période (1975– 2015).	18
06	Humidité relative moyenne mensuelle période d'observation (1975-2015).	20
07	Vitesse des vents moyenne mensuelle période d'observation (1975-2015).	21
08	La durée d'insolation moyenne mensuelle, période (1975-2015).	22
09	L'évaporation moyenne mensuelle, période (1975-2015).	23
10	Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karpoff. 1952)	34
11	Données générales sur la nappe du Continentale Intercalaire	41
12	Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle).	43
13	Les différents points de choix des sites	61
14	les points Piezometres en 2003	63
15	des points Piezomètres en 2014	65
16	Valeur de gradient hydraulique	

LISTE DES PHOTOS

Tableau N°	Titre	Page
01	Photo illustre le canal de l'Oued Righ dans la région de Touggourt(2013)	11
02	Système traditionele d'irrigation	47
03	Irrigation par canaux ouvert	48
04	Ancien palmerie	48
05	Photos illustrant les dépôts de tartre sur les canalisations	53
06	Photos illustrant le caractère agressif des canalisations de la vallée d'oued Righ.	54
07	Figure N°28 : Vapeur d'eau dégagée par un forage albien.	55
08	Photos du système refroidisseur (ancien et nouveau).	56
09	Dépôt de tartre sur les murs du refroidisseur.	57

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des cartes	
Listes des photos	
Introduction générale	02
Chapitre I : CADRE PHYSIQUE	
Introduction	05
1. Situation géographique et administrative de la vallée d'Oued Righ	05
2. Géomorphologie et Topographie	06
3. Pedologique:	06
3.1. Région de Djamaa	06
3.1.1 Palmeraie de Sidi Amrane	06
3.1.2. Zaouiet Riab :	06
3.1.3. Berd et Tindla :	07
3.2. Région d'El Mchajer et Dendouga	07
4. Activité agricole	08
5. Activités économiques	08
6. Besoin Ressources en eau	09
7. Caractéristiques et Historique du Canal	10
8. L'exutoire « CHOTT MEROUANE »	13
Conclusion	13
Chapitre II – CONTEXTE CLIMATIQUE	
Introduction	15
1. Les stations climatologiques d'Oued Righ	15
2. Analyse des paramètres climatiques	16
A. Précipitations	16
B. La température	18
C. Humidité	20
D. Vent	21
E. Durée d'isolation	22
F. Evaporation	23
Conclusion	24
Chapitre III – CONTEXTE GEOLOGIQUE	
Introduction	26
1. Cadre géologique régional du Bas Sahara	26
2. Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude	28
2.1. Stratigraphie	28
2.1.1. Secondaire	28
a) Albien	28
b) Vraconien	28
c) Cénomaniens	28

d) Turonien	27
c) Sénonien	27
2.1.2. Tertiaire	27
a) Eocène	29
b) Miopliocène	29
2.1.3. Quaternaire	30
3. Tectoniques	33
3.1. Tectonique générale	33
3.3. Paléogéographie	35
Conclusion	36

Chapitre IV – CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Introduction	38
1. Hydrogéologie régional	38
2. Le Continental Intercalaire (CI)	39
3. Le Complexe Terminal (CT)	41
a. La première nappe des sables CT1	42
b. La deuxième nappe CT2	42
c. Les nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT3	42
4. Nappe phréatique	43

Chapitre V - ETUDE DE SYSTEME D'IRRIGATION EXISTANT (CLASSIQUE ET MODERNE)

Introduction	45
1. Historique de l'irrigation de la région	45
2. Principaux systèmes d'irrigation	46
2.1. Système d'irrigation classique	46
2.1.1. Cuvettes ou bassins	46
2.1.2. Par planches	46
2.2. Système d'irrigation moderne	49
- Goutte à goutte	49
3. Influence de la nature des eaux sur les volumes d'irrigation	50
4. Entretien et maintenance des systèmes d'irrigation	50
5. Structure de gestion	51
6. L'influence de l'irrigation sur la nappe complexe terminale (CT)	51
6.1. La nappe de sable (miopliocène)	52
6.2. La première nappe de sable	52
6.3. La deuxième nappe de sable	52
6.4. La nappe de calcaire (sénonien carbonaté)	52
7. La qualité des eaux souterraines	55
a. La température élevée de l'eau du Continental Intercalaire	55
d. Problème de tartre	56

Chapitre VI – MATERIELS ET METHODES

1. Présentation de la zone d'étude	60
2. Choix des sites du travail	61

Chapitre VII – RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. La piézométrie de Complexe Terminale (CT)	67
--	----

2. Evolution de la piézométrie	68
2.1 La carte piézométrique (2003-2014)	70
2.2.Rabattement de la nappe Complexe Terminale	70
3. La piézométrie de la nappe phréatique	70
Conclusion	72
Conclusion générale	73
Annexe	

Références bibliographiques

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques (Ouargla et Touggourt) archive

BROUWER C. 1990 : Gestion des eaux en irrigation manuel de formation n° 5 méthodes

BOUZEGAG. A (2014-2015) : Etude géologique et hydrogéologique de la région de M'rara et sa contribution à la création des effondrements.

CASTANY. G (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod uni. Bordas. Paris.

DJIRBI, M, 1994, Précis de phoeniciculture, FAO, 192p.

DUBOST D., 1980., Contribution à l'amélioration de l'utilisation agricole des eaux chaudes du continental intercalaire (albien) dans la cuvette du bas-Sahara Algérien. INRA Touggourt PP 7-15

Hellal fayçal et Ourihane dalila. (2004) Étude hydrogéologique du continentale intercalaire et du complexe terminal de la région du touggourt. Aspect hydrochimique et problèmes techniquesposés.128 pages.

I.N.R.AA station agro météorologique de l'I.N.R.A. de Touggourt

KHADRAOUI A., TALEB S 2008 Qualité des eaux dans le sud algérien, potabilité, pollution et

RENEVOT, G., BOUAZIZ A., RUF T., et RAKI M. (2010). Pratiques d'irrigation du palmier dattier dans les systèmes oasiens du Tafilalet, Maroc. HTE N° 146 Juin 2010 Revue Fruits, vol. 29, n° 3, (I.F.A.C.), pp. 233 – 238
TOUTAIN G., 1979. Elément d'agronomie saharien, De la recherche au développement 4ème trimestre, Paris, 276p.

SAKER M. L., 2000 - Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de l'Oued Righ et leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et perspectives de développement. Thèse Doc., Université Louis Pasteur, Strasbourg, 335 p.

UNESCO 1972- Recherche et formation en matière d'irrigation avec les eaux salées. Tech. Rpt / UNESCO / UNDP. TUN5. 243p.

ZENKHRI S., 2008. L'agriculture saharienne ; Situation actuelle et perspectives de développement www.zenkhri.ifrl.net

INTRODUCTION GENERALE

Au Sahara, l'agriculture constitue l'activité principale et elle est un facteur de stabilisation des populations, c'est à ce titre que l'état a favorisé une mise en valeur dans le sud qui vise un développement harmonieux des régions concernées (KOULL, 2003). Ceci nécessite l'extension des surfaces agricoles et l'augmentation des prélèvements en eau pour améliorer la production.

Les perspectives de l'agriculture saharienne sont liées aux ressources naturelles épuisables et au développement socio-économique. Malgré que le Sahara couvre plus de deux millions de km² de la superficie algérienne, et en dépit qu'il est riche en ressources hydriques souterraines, la SAU reste limitée et faible (BEN ABDELKADR, 1991). Les terres de cette partie de l'Algérie sont occupées par des plateaux rocheux, des accumulations sableuses et des dépressions salées qui sont impropres à l'agriculture sans une mise en valeur efficace.

Cependant, ces ressources restent faibles et aléatoires vu l'irrégularité des précipitations et l'envasement auquel ces barrages sont exposés (ZENKHRI, 2008).

Parmi ces régions, la vallée de l'Oued Righ est une des régions les plus anciennement cultivées du Sahara.

A cet égard, la gestion rationnelle des ressources en eau et des sols et la maîtrise des techniques hydro-agricoles dans ce vaste territoire, fragile et complexe, sont aujourd'hui une nécessité en vue d'assurer un développement convenable et durable.

Les sols des périmètres irrigués, dans la vallée de l'Oued Righ, souffre des différents problèmes et les difficultés qui caractérisent l'environnement hydro-édaphique de la région sont diverses, et généralement celles qui sont d'origine agricole et ses aménagements tels que : l'irrigation, le drainage ainsi que l'assainissement (SAKER, 2000).

Les sols des périmètres irrigués, dans la vallée de l'Oued Righ, souffre des plusieurs notamment les remontées de la nappe phréatique et la salinisation des sols, les grands aménagements en sont les déclencheurs décisifs : l'irrigation non contrôlée avec des eaux salées concentre les sels en surface sans pouvoir les lessiver (drainage insuffisant) (KOULL, 2003).

L'utilisation des eaux de faible quantité pour l'irrigation pose le problème d'une dégradation des sols par une accumulation des sels. Cette accumulation est plus-ou-moins importante en fonction de la qualité et la quantité de l'eau apportée, la nature du sol, du climat et du mode d'irrigation.

C'est dans ce sens qu'une étude a été entreprise dans le but de suivre le problématique d'irrigation dans La Région d'Oued Righ de la wilaya d 'el Oued et recenser les contraintes essentielles, leurs causes, apprécier leurs conséquences et proposer des solutions susceptibles d'améliorer la situation actuelle.

Pour ce faire, notre étude comporte des chapitres , à savoir :

- Etude de système d'irrigation existant (classique et moderne)
- Etablissement de 02 (deux) cartes piézométriques de 10 ans.
- Interpolation des cartes piézométriques

Chapitre I. Cadre physique

Introduction :

Dans ce chapitre ; nous allons réaliser une présentation de la zone d'étude en particulier sa situation géographique, la démographie et l'identification des caractéristiques topographique et géomorphologiques des sols. Ainsi que l'activité économique et les besoins des ressources en eau avec les caractéristiques du canal.

1. Situation géographique et administrative de la vallée d'Oued Righ :

Notre région se situe au Sud-Est de l'Algérie, plus précisément au Nord-Est du Sahara sur la limite Nord du Grand Erg Oriental, et la bordure Sud du massif des Aurès, elle commence au Sud par le village d'El Goug (Touggourt) et se termine sur une distance de 150 km plus au Nord vers le village d'Oum-Thiours (100 km de la wilaya de Biskra), la largeur de la zone varie entre 20 et 30 km. Elle s'étend sur un axe Sud- Nord entre les altitudes Nord $32^{\circ}54'$ et $34^{\circ}9'$, et longitudes Est $5^{\circ}30'$ et $6^{\circ}20'$

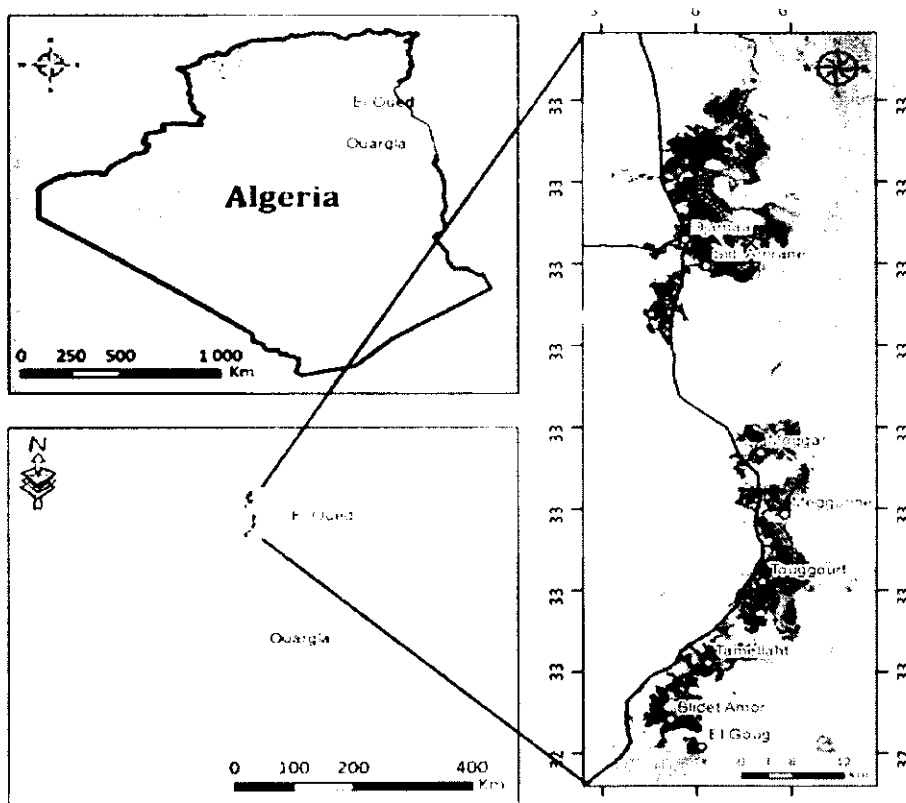


Fig. 1: Situation géographique de la zone d'étude

Administrativement la vallée d'Oued Righ fait partie de deux wilaya : (Ouargla et Oued Souf) : passant par six daïras, du Sud vers le Nord: Témacine, Touggourt, Sidi Slimane, Mégarine appartiennent à la wilaya d'Ouargla, Djamaa, El Meghaier à la wilaya d'El Oued, elle est limité par :

- Au Nord par la willaya de Biskra et la commune de Tolga.
- Au Sud-Ouest par les oasis d'Ouargla.
- A l'Est par la vallée de l'Oued Souf.

2. Géomorphologie et Topographie :

Cette région à 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 où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. La région de l'Oued Righ est topographiquement plus ou moins aplatie (plaine).

Le point le plus élevé 105m est situé à Touggourt et -20m à Ourir pour le point le plus bas, l'altitude moyenne est de 46m, et la pente est 1‰.

3. Pedologique:

Afin d'avoir une idée plus précise sur les sols, il a été jugé nécessaire de présenter les descriptions pédologiques de certaines zones représentatives de la vallée et ce dans les deux principales régions à savoir : Djamaa - El Meghaier.

3.1.Région de Djamaa :

3.1.1.Palmeraie de Sidi Amrane :

Cette zone présente également deux classes pédologiques ; celle des sols peu évolués relativement sains et occupant une superficie restreinte et la classe des sols hydromorphes qui occupe la grande majorité des sols. L'apport de matériau est éolien. La salinité des sols oscille généralement entre 2000 et 5000 $\mu\text{s/cm}$ et peut dépasser dans certaines endroits les 5000 $\mu\text{s/cm}$.

La texture des sols est grossière et la structure est le plus souvent fondue à particulaire.

Dans cette zone, la palmeraie est moins dense, régulière et vigoureuse. A la périphérie de la zone, il existe une forte densité de palmiers qui nécessitent un réaménagement.

3.1.2. Zaouiet Riab :

Palmeraie se caractérise par deux principales classes pédologiques à savoir : la classe des sols peu évolués et celle des sols hydromorphes salin à action de nappe.

Les sols de la région présentent tous des problèmes de salinité, (entre 2000 et 5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et des problèmes d'hydromorphie. L'apport du matériau est éolien. La grande majorité des sols de cette zone se regroupent dans la classe des sols hydromorphes avec des horizons gypseux de nappes. Cette zone, présente une palmeraie dense, en voie de dégradation avancée.

3.1.3. Berd et Tindla :

La palmeraie d'El Berd et de Tindla est scindée en deux parties: l'une est caractérisée par une forte densité de palmiers, dont plusieurs sont en voie de dégradation, l'autre partie présente en revanche une palmeraie moins dense et vigoureuse.

La majorité des sols se regroupent dans la classe des sols peu évolués et une petite partie se localise dans la classe des sols hydromorphes à action de nappe, le plus souvent avec un encroûtement gypseux.

Cette zone se distingue par une faible salinité, qui oscille entre 2000 et 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La texture de ces sols est grossière à structure fondue à particulaire. Les travaux d'aménagement concernent principalement le drainage, le dessalage et l'amendement organique.

3.2. Région d'El Meghaier et Dendouga :

Cette grande zone se caractérise par une densité de palmiers très variable d'une palmeraie à une autre. La salinité des sols dépasse très rarement les 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Ces sols se regroupent dans les classes pédologiques des sols peu évolués, halomorphes et hydromorphes à action de nappes avec un encroûtement gypseux en profondeur. La texture des sols est généralement grossière et la structure est fondue à particulaire. Les travaux d'aménagement préconiseront surtout le drainage, le dessalage et l'amendement organique (fumier).

4. Activité agricole

L'activité agricole concerne 42% de la population. Elle est axée principalement sur la phoeniciculture, produisant la plus grande partie des dattes algériennes (variétés Déglet Nour 65%), avec quelque deux millions de palmiers, répartis sur 15000 ha (KHADRAOUI, 2007).

Les autres productions végétales (maraichères et fruitières) sont faibles et ne couvrent pas les besoins de la région. La production animale est essentiellement axée sur l'élevage caprin et ovin, qui sont alimentés par les produits de la palmeraie (MERROUCHI et al, 1999).

5. Activités économiques :

La vallée regroupait **50** oasis couvrant **15000** hectares en **1988 (I.N.R.AA)**. Le domaine agricole qui était jadis la principale activité dans la région d'Oued Righ, elle est développée et occupe entre 10% à 15 % de la superficie de la région.

Elle est un peu délaissée 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'une faible main d'œuvre **38%**, étant donné le contexte climatique hyper-aride, 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 par 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.

6. Besoin ressources en eau :

Les prélèvements d'eau dans cette région s'élèvent environ à 243Hm³/An de m³/an, provenant essentiellement des deux complexes, celui du complexe terminal (CT) et celui du continental intercalaire (CI).

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 Hm ³ /An	210	02	30	243Hm ³ /An

Tableau. N°01 : Récapitulatif des besoins et ressources en eau

(Source ANRH Ouargla 2005)

Localités	Populations	Dotation en L /J /hab.	AEP L/S	Irrigation L/S
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	107731	848.32	456	10523.07

Tableau. N°2 : Population Débit AEP et débit d'irrigation des différents localités.

(Source ANRH Ouargla 2005).

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 **(186.66 l/j/h)** qui dépassent 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. La dotation mesurée pour l'agriculture est en moyenne **1.12 L/S/Hec**, elle dépasse les normes **0.42 L/S/Hec** pour les plantes mixtes et **0.7L/S/Hec** pour les palmiers.

7. Caractéristiques et Historique du Canal :

Le canal passe par les trois grandes villes à savoir : la ville de Touggourt, Djamaâ et El-Meghaïer qui sont entourées à leur tour par les palmeraies, ce canal a été creusé avec des méthodes traditionnelles par la population de la région pour but de faire drainer les eaux en excès d'irrigation des palmeraies et l'évacuation des eaux usées, donc le canal joue le rôle de collecteur principale de ces eaux sur une longueur de **150 km** à partir d'El-Goug jusqu'au chott Merouane (exutoire naturel). Les trois premiers kilomètres du canal sont des conduites enterrées en béton armé de diamètre **1000 mm**. Le reste du canal est à ciel ouvert et de forme trapézoïdale d'une largeur de **10 m**, un profondeur de **4 m** et une pente de **1‰**. Les 2/3 Sud du canal ont été creusés, tandis que 1/3 Nord est d'origine naturel (Oued Khrouf).

Le canal d'Oued Righ est passé par deux étapes avant d'aboutir à l'état actuel

- a. **Étape de la réalisation pendant la colonisation** : Initialement, l'étude du canal collecteur a été lancée avant **1910** après l'apparition de la remontée des eaux de la nappe phréatique à partir du village de Témacine jusqu'à la zone des lacs de Sidi Slimane a été réalisé en tronçon manuellement par les fellahs en **1912**. Entre **1925 et 1926** il a été remarqué que la région présente une dénivelée naturelle moyenne de **1‰** à partir de la commune de Blidet Amor (Daïra de Témacine wilaya de Ouargla) jusqu'à Dendouga (Daïra d'El Mghaïer wilaya d'El-Oued) sur une longueur d'environ **136 km**. Sur la base de cette dénivelée des travaux manuels ont été lancés pour le creusement de l'actuel Oued Righ représentant le début de ce canal collecteur. Le canal est resté dans cet état de bon fonctionnement grâce au nettoyage périodique assuré par les autorités de cette époque jusqu'à l'indépendance.
- b. **Etape de la réalisation après l'indépendance** : cause d'inefficacité du canal avec le temps, l'état a proposé plusieurs études d'aménagement de ce dernier selon les normes ou les travaux de réalisation ont été commencés en **1980** et la mise en œuvre du canal en **1984**.

Depuis **1993** l'ANRH de Touggourt a pris en charge l'étude hydrologique de ce canal ; par des dizaine de stations de jaugeage ont été implantées le long du canal collecteur depuis El Gougue

jusqu'à Boufeggoussa, l'endroit de contact avec le chott Merouane Pour surveiller les fluctuations des débits du canal.

Appartir **BOUZEGAG. A (2014-2015)**, « Etude géologique et hydrogéologique de la région de M'rara et sa contribution à la création des effondrements ».

les caractéristiques du canal sont comme suivant :

Le débit de drainage du canal varie de **2,5 m³/s** en été à **5-6 m³/s** en hiver et la teneur en sel de son eau varie aussi de façon saisonnière de **3,5g/l** en hiver et à **6g/l** en été.

- Vitesse moyenne d'écoulement **0,7 m/s**.
- Débit moyen max **4m³/s**.
- Salinité moyenne **4.75 g/l**.
- Pente d'écoulement moyenne **1‰**.

Le débit du canal de l'Oued Righ est de l'ordre de **260 l/s** au point de départ (Beldat Amor), et augmente progressivement vers l'aval **2450 l/s** à Sidi Slimane ,atteint **5000 l/s** au point de rejet.

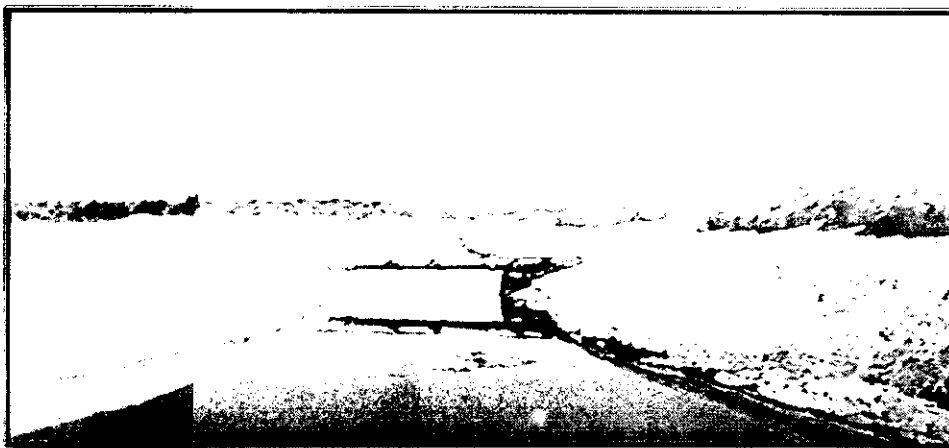


Figure. N °02 : Photo illustre le canal de l'Oued Righ dans la région de djamaa(2013)

Le canal de Oued Righ joue un rôle très important dans :

- ❖ Le rabattement de la nappe phréatique ;
- ❖ L'assèchement de la vallée par l'évacuation des eaux d'irrigation excédentaires;
- ❖ L'évacuation des eaux d'assainissement des zones urbaines qui sont situés de part et d'autre du canal (illicitement).

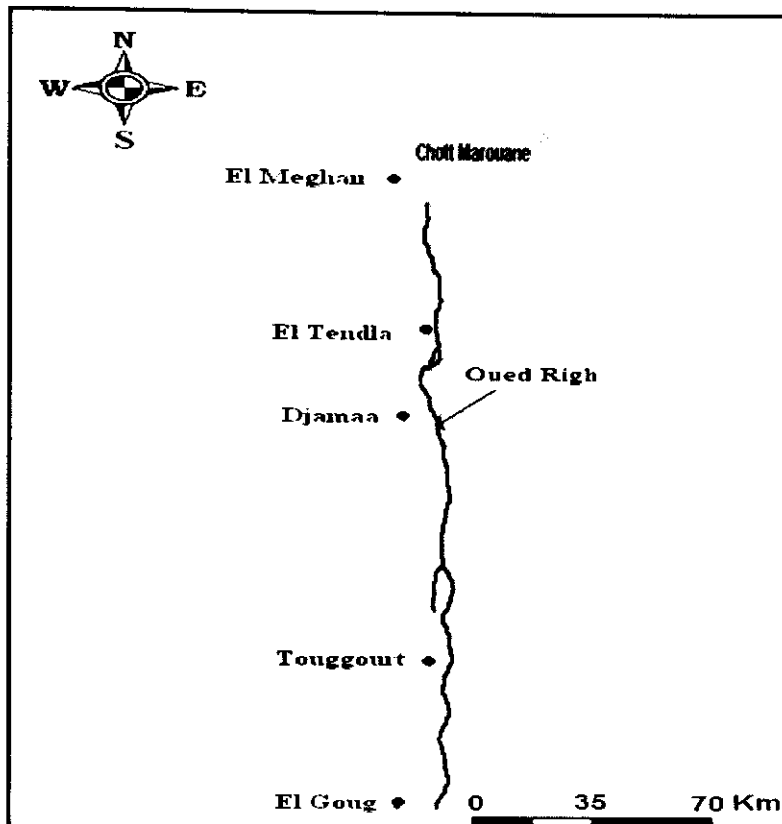


Figure. N°02 : Tracé de l'oued Righ [Source ABHS].

Malheureusement; le canal est actuellement confronté à à une multitude de problèmes à savoir :

- La mauvaise gestion du système de drainage (cumulation des sels nuisibles)
- L'apparition de végétation dans les berges provoquant le changement du vitesse et sens d'écoulement.
- L'existence des dépôts provoqué par l'érosion sur le long du canal.
- l'envasement du lit de canal.

8. L'exutoire « CHOTT MEROUANE » :

Le chott comme n'importe quel écosystème réunit toute une interaction entre les biocénoses, sol et climat dans un environnement saharien.

D'une part il a un rôle important dans l'équilibre biologique, d'autre part on peut dire que le chott draine toutes les eaux des régions avoisinantes et les eaux superficielles.

La constitution naturelle du chott est directement liée à l'histoire géologique des hauts plateaux algériens. Toute cette région est marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, le chott prend deux origines :

- Origine de salinisation primaire: selon les critères d'origine géologique.
- Origine de salinisation secondaire: selon les critères d'origine hydrogéologiques (l'eau qui s'écoule dans les couches profondes).

Le Chott Merouane est située dans la région Nord-Est du Sahara Algérien dans la wilaya d'ElOued (Figure. N°04). 9Km d'El Meghaïer. Il couvre une superficie de 337.700 Ha et est situé entre 33°55' N de latitude et 6°10' E de longitude. il présente une altitude moins 40 m. Il représente un affleurement naturel vers le Nord de la nappe phréatique dans la région de Oued Righ.

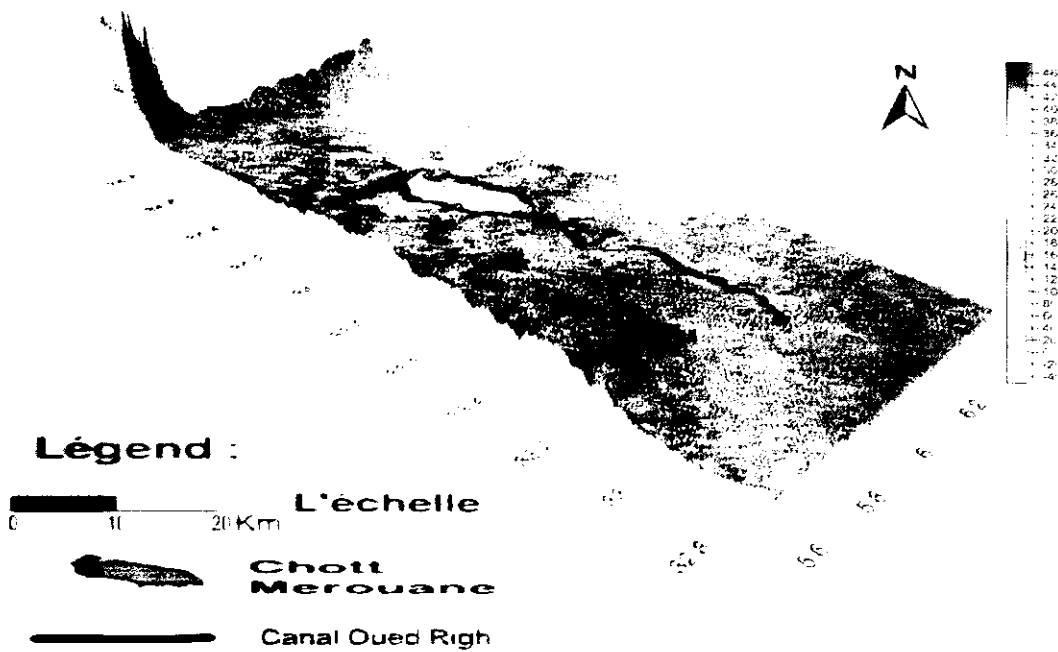


Figure. N°04: illustre le modèle numirique de terrain d'Oued Righ (MNT).

Conclusion :

La région de l'Oued Righ montre des altitudes qui s'abaissent progressivement et régulièrement du Sud vers le Nord. d'ou le rôle d'un collecteur de toute les eaux d'origine diverses et lointaine aboutissant à l'exutoire naturel. Elle couvre une superficie de 3186.78 km² et sa population est de 280993 habitants. Aussi que La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région d'Oued Righ elle est développée et occupe entre 10% à 15 % de la superficie de la région. et la grande patrie des eaux mobiliser sont utilisés en irrigation de cet patrimoine .

Chapitre II – Contexte Climatique

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 nécessaires de l'environnement relevant immédiatement de la climatologie.

1. Les stations climatologiques d'Oued Righ :

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.

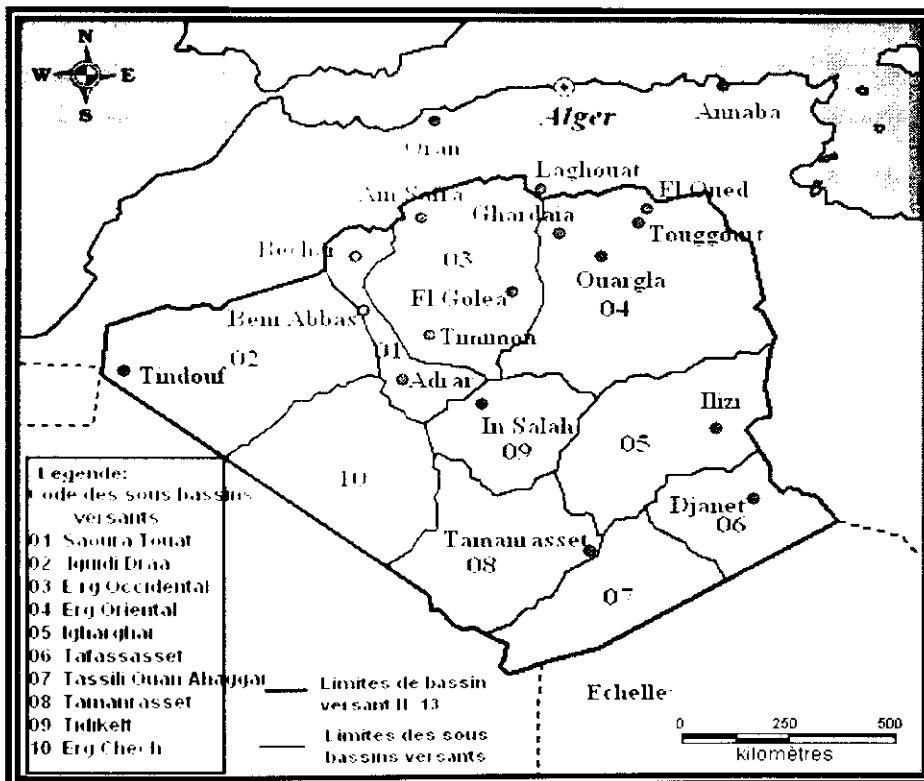


Figure. N°04 : Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98(Internet).

Nous analyserons successivement les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations, température de l'air, l'humidité relative et évaporation, vitesse du vent, insolation). Ces données climatologiques portées sur l'intervalle des années hydrologiques (1975-2015) selon les paramètres enregistrés par la station de Touggourt.

2. Analyse des paramètres climatiques :

A. Précipitations :

La précipitation est tous les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, se forme liquide (ex : pluie) ; que se forme solide (ex : neige).

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

Tableau. N°03 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Aout
P (mm)	6.25	6.74	8.97	5.41	14.32	5.54	9.0	6.60	5.48	1.35	0.76	2.15

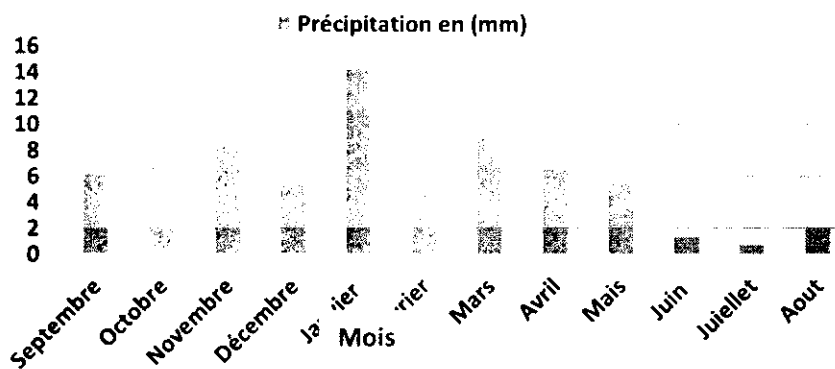


Figure. N°05 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en (mm) (1975-2015).

L'histogramme de précipitations moyennes mensuelles montre que les précipitations se produisent du mois de **Novembre** à **Mars** surtout au mois de **janvier (14,3mm)**, alors que le reste de l'année est relativement sec (particulièrement au mois du **juillet 0,76mm** et au **juin 1,35mm**). Et le moyenne annuelle durant le période (1975-2015) à **74,36mm**.

➤ **Quotient pluviométrique d'EMBERGER :**

Pour qu'on puisse déterminer le climat de la région nous avons utilisé le climat gramme d'EMBERGER. Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. On reporte en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid et en ordonnées le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER:

Nous avons utilisé la formule de STEWART (1969) adaptée pour l'Algérie et qui se présente comme suit:

$$Q_2 = 3.43 P / (M - m)$$

P: - pluviométrie moyenne mensuelle (en mm).

M: - moyenne des maxima du mois le plus chaud.

m: - moyenne des minima du mois le plus froid.

L'indice Q2 calculé par cette formule est égal à 6,86.

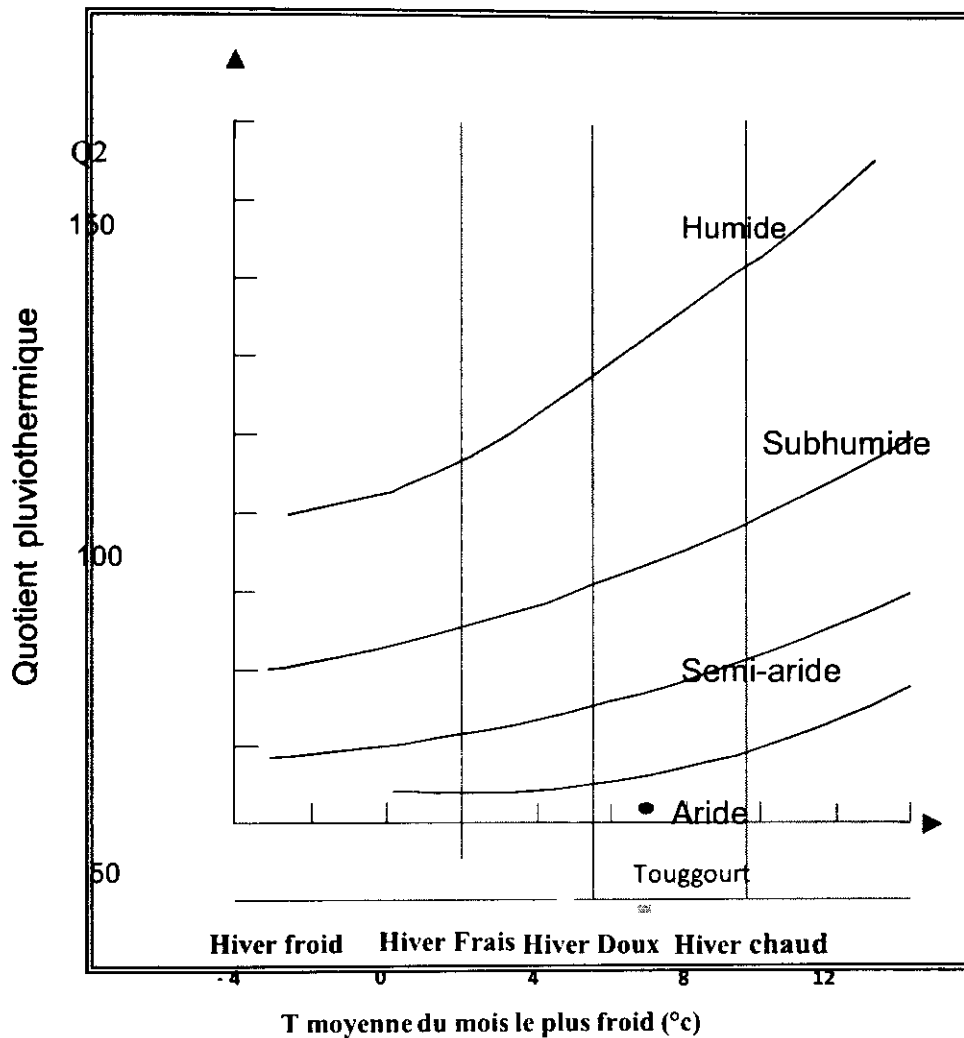


Figure. N°06 : Climagramme d'EMBERGER.

Le Climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche lorsque le quotient est plus petit. L'emplacement de cet indice sur le Climagramme d'EMBERGER, nous a permis de situer Touggourt dans l'étage bioclimatique Saharien aux hivers doux (Fig.06).

➤ **Indice d'Aridité de DEMARTONE :**

D'après DEMARTONNE l'indice de l'aridité est exprimé comme suit :

Avec :

$$I = P/T + 10$$

I : Indice d'aridité de DEMARTONNE.

P : Les précipitations moyennes annuelles.

T : La température moyenne annuelle.

Tableau. N°04 : Indice d'Aridité de DEMARTONE :

Valeur de l'indice	Type de climat
00 < I < 05	<u>Hyperaride</u>
05 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi-aride
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 55	Humide

$$I = 74.36/22.39 + 10 = 2.3$$

Ce qui confirme que notre région est caractérisée par un climat hyper aride.

B. La température :

La température est un facteur climatique qui dépend essentiellement le changement de phase de l'eau et résulte les rayonnements solaires qui influent sur l'eau de surface de la terre par l'augmentation de l'évaporation.

A partir des statistiques hydro-climatiques de station de Touggourt en remarque les trois types de température : La température maximum et la température minimum, la température moyenne, les résultats de ces températures enregistrées dans le tableau suivant :

Tableau. N°05 : Représentant la variation des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt période (1975– 2015).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Tmaxc°	36.3	30.1	23.0	18.5	17.4	20.0	23.8	28.5	33.7	39.0	42.1	41.5
Tminc°	22.7	16.6	9.9	5.8	4.5	6.4	10.0	14.2	19.2	24.1	26.8	26.3
Tmoyc°	29.7	23.1	16.1	11.6	10.6	13.0	16.8	21.2	26.5	31.7	34.3	34.0

Selon les résultats de tableau et histogramme nous ne concluons que les températures :

- ✓ **Température maximum** est très fréquente au mois de Juillet avec une valeur de 42,1°C et réduit au mois de Janvier avec une valeur de 17,4°C.
- ✓ **Température minimum** est très fréquente au mois de Juillet avec une valeur de 26,8°C et réduit au mois de Janvier par une valeur de 4,5°C.
- ✓ **Température moyenne** est très fréquente au mois de Juillet se trouve valeur de 34,3°C et réduite au mois de Janvier par une valeur de 10,6°C.

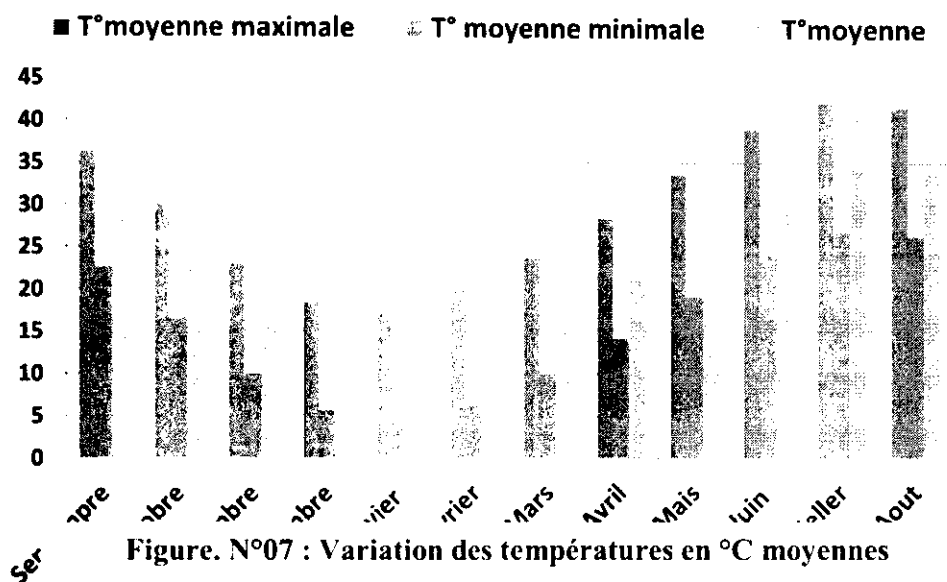


Figure. N°07 : Variation des températures en °C moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2015).

On a remarqué que les températures se trouvent les valeurs maximum au mois de Juillet et les valeurs minimum au mois de Janvier.

Ainsi que la température à la cours d'année est enregistrée la grande quantité au mois de Juin-Juillet-Aout c'est-à-dire la température est augmentée en été, Aussi que la température annuelle durant la période (1975-2015) est de 22,4°C.

➤ **Diagramme Ombro-termique :**

Pour l'établissement de ce diagramme, les températures y sont portées à l'échelle double que la précipitation, $P = 2T \text{ c}^\circ$. il met en évidence la période sèche selon Gaussen et Bagnouls est considérée sec, le mois pendant lequel la totalité des précipitations est inférieur ou égale au double de la température moyenne de même mois $P \text{ mm} \leq 2T\text{c}^\circ$. La période déficitaire en eau, ou sèche, correspond à la zone où la courbe des températures est au-dessus de la courbe des précipitations. Par contre la période humide où la courbe des températures est au-dessous de la courbe des précipitations. Ce diagramme montre que pour un climat saharien, qu'il est caractérisé par une période sèche, donc Oued Righ correspond un hiver froid sec. Avec un été chaud beaucoup plus sec.

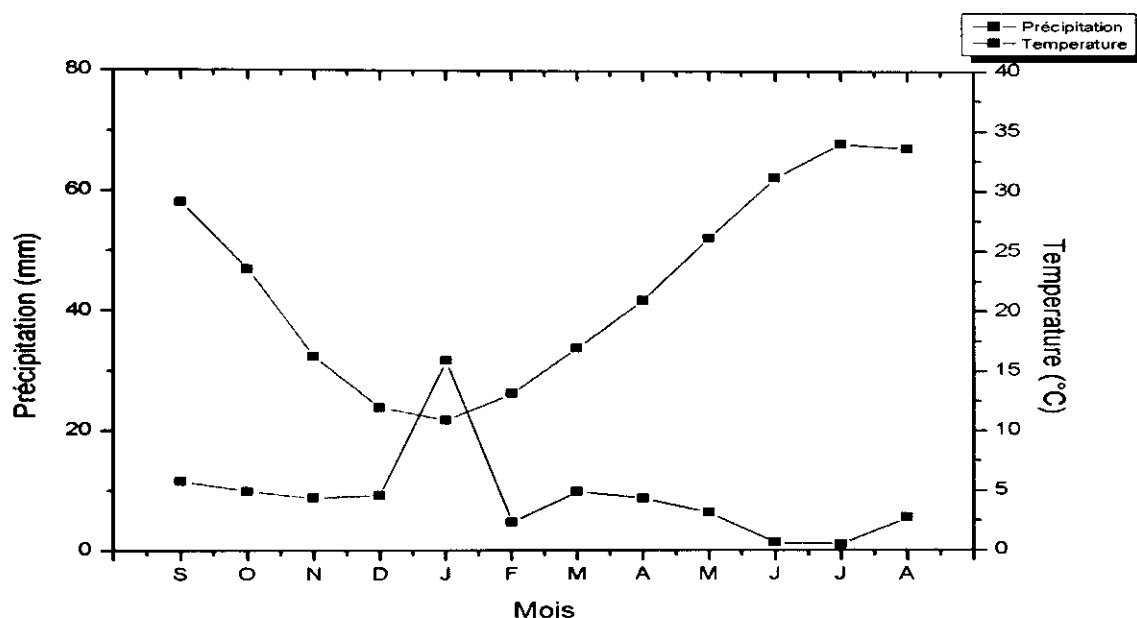


Figure 08

C. **Humidité :**

Humidité relative est un facteur important pour caractériser un climat. Sa variation dépend en partie de la température de l'air et des caractéristiques hygrométriques des masses d'air. "L'hygrométrie caractérise l'humidité de l'air, à savoir la quantité d'eau sous forme gazeuse présente dans l'air humide (ou dans un autre gaz, dans certaines applications industrielles). Elle ne prend pas en compte l'eau présente sous forme liquide ou solide".

Tableau. N°06 : Humidité relative moyenne mensuelle période d'observation (1975-2015).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
H%	45%	53%	61%	67%	66%	56%	50%	44%	40%	35%	33%	34%

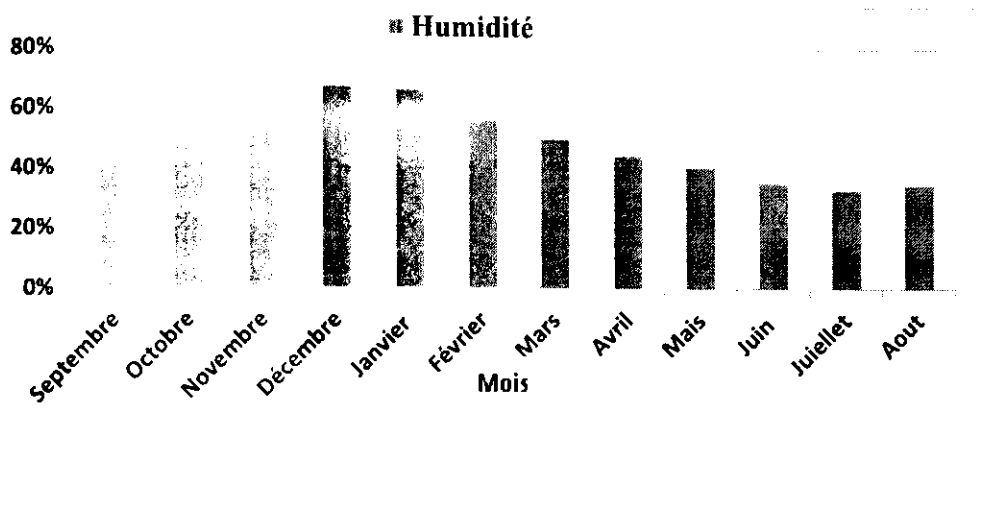


Figure. N°09 : Variation des Humidités (%) moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2015).

Dans notre zone d'étude avec un remarque les valeurs d'humidité nous avons vu que les résultats de humidité moyenne mensuelle est homogènes qui variant entre 67% et 33%, elle enregistré de pourcentage fréquente au mois de Décembre et pourcentage réduite au mois de Juillet.

D. Le Vent :

Dans les régions arides, les vents sont les principaux facteurs de l'édification des reliefs (Dunes) et dans la dégradation des sols (vannages).

Tableau. N°07 : Vitesse des vents moyenne mensuelle période d'observation (1975-2015).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Vent m/s	3,0	2,8	2,7	2,5	2,7	2,9	3,6	4,1	4,2	3,8	3,4	3,1

Les vents sont relativement fréquents au printemps et en été. Le Sirocco est un vent chaud et sec qui souffle en été et accélère l'évapotranspiration. Les vents de sable sont fréquents surtout au printemps et en été (Mars –Aout) Figure. N°10.

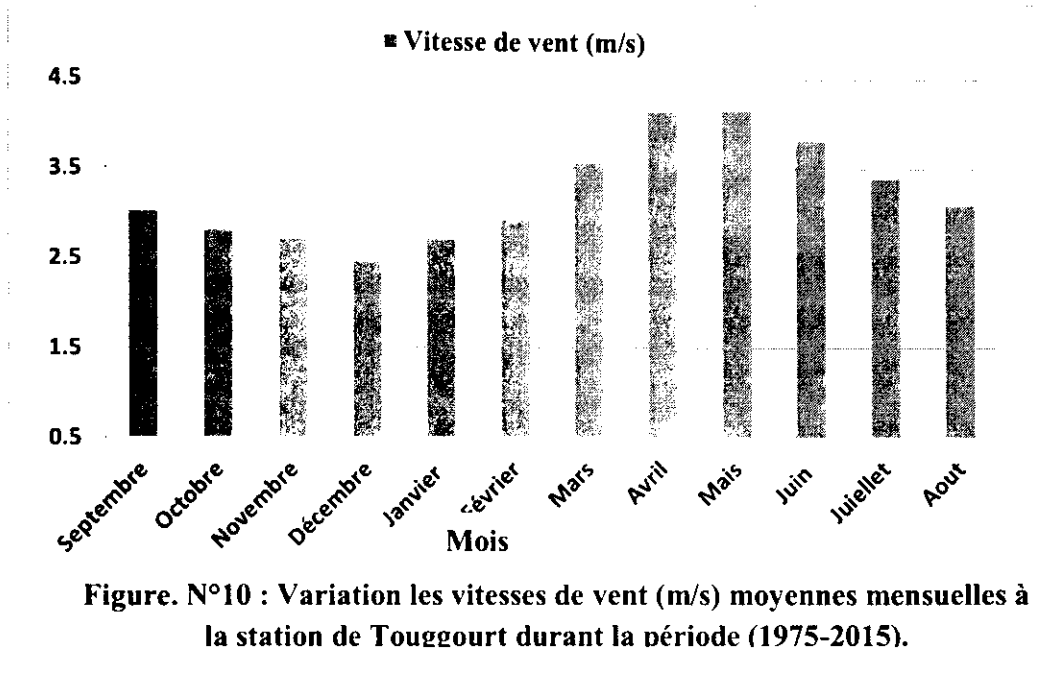


Figure. N°10 : Variation les vitesses de vent (m/s) moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2015).

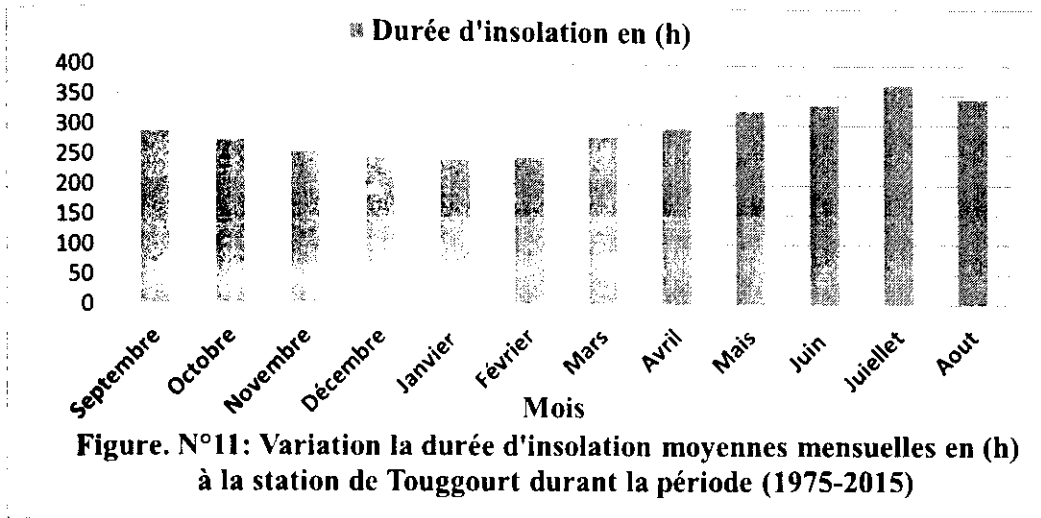
E. Durée d'insolation :

La durée d'insolation dépend de la période durant que le soleil pourra briller, cette insolation reste effective quand le ciel est dégager de nuage.

Dans notre zone d'étude nous avons conclu que la durée d'insolation moyenne mensuelle au cours de 40 ans sont le suivant :

Tableau. N°08 : La durée d'insolation moyenne mensuelle, période (1975-2015).

Mois	Sep	Oct.	Nov	Dec	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Inso(h)	279,6	266,8	241	234,9	233,8	237,31	268,69	286	316	326	358	336,8



Dans la région de djamaa et meghair recevoir une quantité de rayonnement solaire très forte : qui peu arrivé à une durée d'insolation au maximum 358.3 h/an au mois de Juillet et une valeur minimum de durée d'insolation 233.8 h/an (tableau. N°09).

On remarque que la durée d'insolation pour la période de (1975-2015) généralement considérable .

F. Evaporation :

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaitre le potentiel hydrique d'une région.

Tableau. N°09 : L'évaporation moyenne mensuelle, période (1975-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août
Eva(mm)	278	200	131	107	118	134	203	262	319	377	411	380

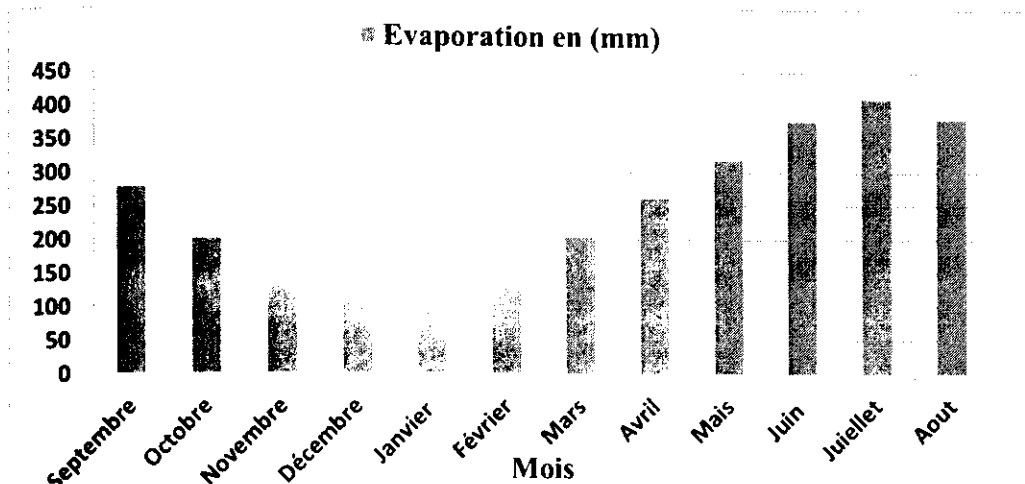


Figure. 12 L'évaporation moyennes mensuelles en (mm) à la station de Touggourt durant la période (1975-2015).

On remarque par l'observation d'histogramme, la quantité de l'évaporation de la région de Touggourt est fréquente qui a enregistré l'évaporation maximale au mois de Juillet avec une valeur de 411mm et l'évaporation minimale au mois de Décembre atteindre 107mm.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé l'aspect climatique de la région de l'Oued Righ est caractérisée par un climat désertique, hyper-aride :

Les précipitations sont faibles et irrégulières, de l'ordre 74.36 mm/an et ne jouent aucun rôle dans la recharge directe des nappes, à l'exception de quelques orages violents qui génèrent des ruissellements.

Les températures sont élevées 22,39 c° en moyenne annuelle et 34,3 c° au mois le plus chaud, ce qui explique la forte évaporation.

L'humidité relative moyenne annuellement est de 48.67%, avec 67% mois de décembre et 33% au mois de juillet. Tandis que l'évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de 243 mm/an.

Chapitre III – Contexte Géologique

Introduction

La fonction de la géologie est essentielle en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

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 nécessaires de l'environnement relevant immédiatement de la climatologie.

L'objet de ce chapitre est l'étude des aspects géologiques à différentes échelles d'étude : échelle générale de la forme saharienne, celle restreinte au bas Sahara et celle locale propre à la zone d'Oued Righ, et les paramètres hydro climatologiques représentatifs du climat régnant dans la zone d'étude.

1. Cadre géologique régional du Bas Sahara

Pour étudier la géologie de la zone d'études, nous étendrons le champ d'investigation à tout le Bas-Sahara, en raison de l'ampleur des phénomènes géologiques, stratigraphiques et tectoniques caractérisant la région.

Nous distinguons trois type de terrain qui sont :

- Les terrains Paléozoïques affleurent au Sud entre les plateaux de Tadmait et Tinghert et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïques et Cénozoïques constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- Des dépôts continentaux de la fin de Tertiaire et du Quaternaire, occupent le centre de la cuvette.

La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle Précambrien (Furon, 1968) qui se situe entre 3000 et 5000 m. il s'ensuit que les dépôts sédimentaires font environ 4500 m d'épaisseur.

Le long du versant Sud, existe une immense fosse de subsidence dans laquelle l'épaisseur maximum des sables et d'argiles de l'Oligocène et du Mio-Pliocène serait d'environ 2000m ; l'épaisseur maximum des séries post-albiennes est d'environ 3000m.

Dans cette étude nous nous intéressons surtout à la couverture sédimentaire Post Paléozoïque, qui renferme les principaux aquifères du Sahara.



Légende

- N Alluvions et tuffes des vallées de l'Atlas saharien (NNE) et de l'Adakh, littoral et littoral (NNE) et (SW)
- E Lignes récentes
- Q1 Quaternaire continental - alluvions récentes (NNE)
- Q2 Quaternaire marin - pléistocène récent et Holocène - dunaire littoral (NNE) et (SW) et (SW)
- P1 Cénozoïque - grès, marnes, B. saharien (NNE) et (SW)
- P2 Valétien (NNE) - calcaire, argile, marne, (NNE) et (SW)
- P3 Eocène continental et Valétien - (NNE) et (SW)
- P4 Eocène continental post-Valétien - (NNE) et (SW)

- P5 Oligocène - marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaire subordonnée
- P6 Miocène - alluvions éolienne du (NNE)
- P7 Pliocène - calcaire, marne et lignite - couche à tripoli, (NNE) et (SW)
- P8 Miocène - calcaire marin - calcaire, grès, argiles
- P9 Miocène continental pré-Fontien
- P10 Miocène continental marin (dunaire)

Fig. IV : La carte géologique du bas Sahara (ANRH Ouargla)

2. Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude

2.1. Stratigraphie

La stratigraphie de la région d'Oued Righ est caractérisée par une série de formations géologiques allant du Cambrien au Quaternaire. Nous présentons ici, une description des formations géologiques qui intéressent le domaine hydrogéologique en particulier celles, allant du Mésozoïque au Quaternaire. D'après (Kilian, 1931 et CRNA, 1991) ; la litho-stratigraphie de Oued Righ est composée de :

2.1.1. Secondaire

a) Albien

Il se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

b) Vraconien

Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et dolomitiques, d'argiles sableuses et plus rarement de passées de grès à ciment calcaire.

c) Cénomaniens

Il se présente en une épaisseur considérable qui diminue progressivement vers le Nord et il affleure dans la zone atlasique. Le Cénomaniens est composé essentiellement de dépôt lagunaire marneux à prédominance des couches d'anhydrite et parfois même de sel.

d) Turonien

Le Turonien est représenté par un dépôt marin, calcaro-marneux.

e) Sénonien

Il est essentiellement à dominance de calcaire blanc avec une alternance de marne et de couches de gypse. Il est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique : le Sénonien lagunaire, à la base et le Sénonien carbonaté, au-dessus.

2.1.2. Tertiaire

a) Eocène

On distingue deux ensembles lithologiques ; l'Eocène carbonaté à la base, l'Eocène évaporitique au-dessus.

- *Eocène inférieur carbonaté* : L'Eocène carbonaté se caractérise lithologiquement qui le rend difficile à distinguer du Sénonien. La présence des nummulites est le seul critère de différence. Les calcaires ont tendance à prédominer par rapport les dolomies et les évaporites. Ces derniers sont beaucoup plus rares que dans le Sénonien, sinon totalement absentes. Les calcaires à silex rencontrés au sommet du Sénonien carbonaté se poursuivent dans l'Eocène. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 mètres.
- *Eocène moyen évaporitique* : Il 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). Dans l'oued Righ, la nappe des calcaires semble être située dans un niveau carbonaté appartenant à l'Eocène évaporitique.

b) Miopliocène

Bel et Demargne (1966) distinguent de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires : (Castagny G., Margat J., 1977)

- *Niveau 01* : argileux, peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara Oriental suivant une bande Nord-Sud. Ces argiles constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonaté et celle des sables de niveau 02.
- *Niveau 02* : grés-sableux, c'est le niveau le plus épais et le plus constant à sa base on trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 03. Il atteint 400 m au Sud de Gassi Touil. Le niveau 02 est le principal horizon aquifère du Miopliocène.
- *Niveau 03* : C'est une formation argilo sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones ; elle est épaisse et constante que dans la région des chotts.

- *Niveau 04* : C'est le deuxième niveau sableux du Miopliocène. Parfois en continuité avec le niveau 02. Le sommet de niveau 04 affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte Hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.

2.1.3. Quaternaire

Il est essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables. Cette formation Quaternaire est à l'origine de la formation de la nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux des oueds et surtout par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation.

Ere	Etages	Prof	Chronostratigraphie	Lithologie		
QUATERNAIRE		10m	Sable			
			Argile			
			Évaporite			
			Sable			
			Argile			
			Gravie			
			Grès			
			Argile			
			Argile Lagunaire			
			Dolomite			
CÉNOZOÏQUE	ÉOCÈNE	Moyen	180m	Argile Lagunaire		
		Inférieur		Dolomite		
	MESOZOÏQUE	CRETACE	Sénonien	280m	Calcaire	
			Calcaire	900m	Evaporite Anhydrite	
			Sénonien Lagunaire		Sel massif Argile	
			Marne		Marne	
			Turonien	1100m 1200m	Calcaire marneux Dolomite Argile Anhydrite Marne	
			Maastrichtien	1800m	Argile et dolomite	
			Alb. rég.	1400m	Sable	
					Grès	
					Argile sableuse	
			Aptien	1000m	Dolomite	
			Barémien	1000m	Sable	
					Et	
					Grès	

Fig.14 :-Litho- stratigraphie synthétique de la région de d'Oued Righ (Helal et Ourihane., 2004)

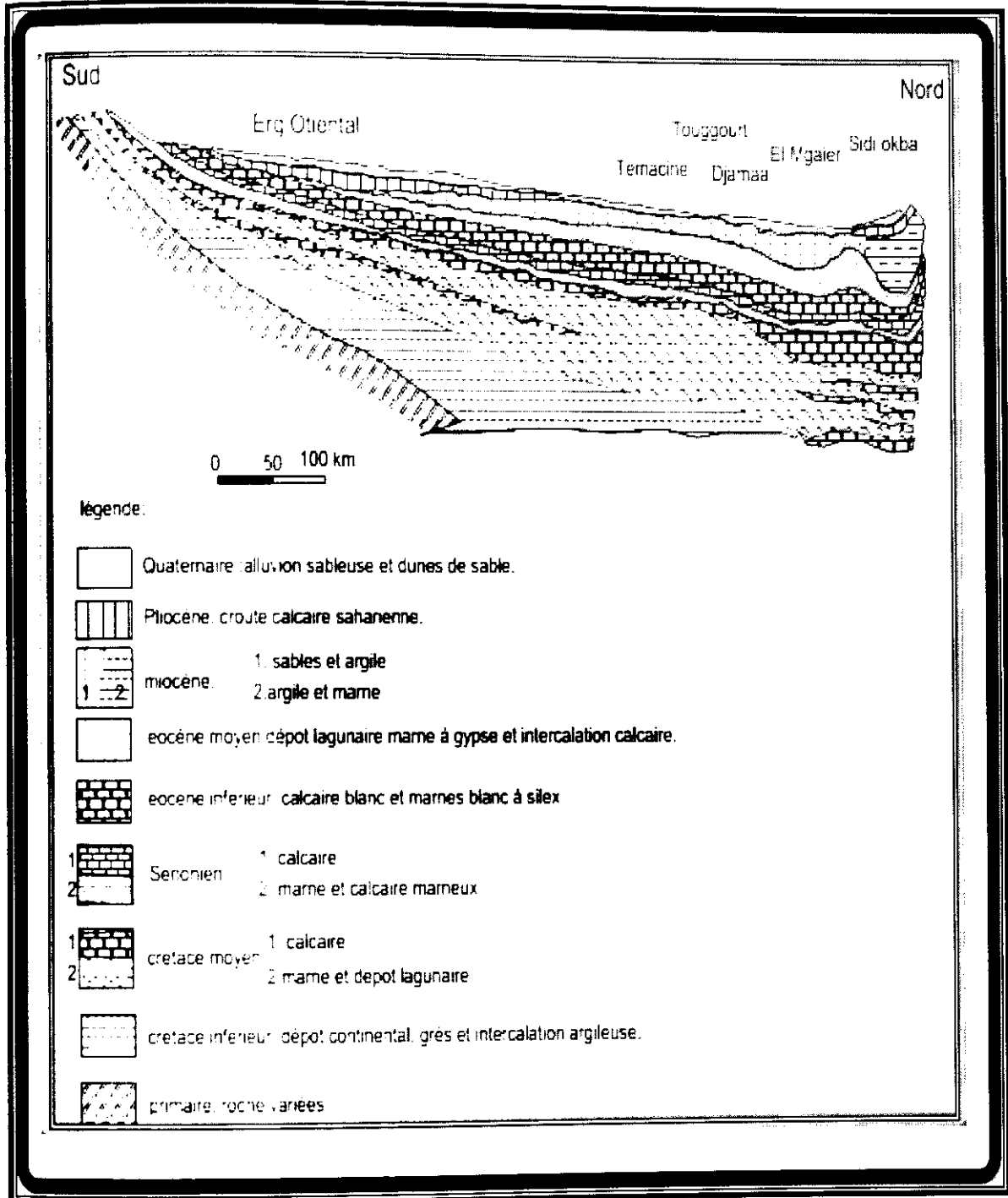


Fig.15 : Coupe géologique du Sahara septentrional d'après UNESCO1972.

3. Tectoniques

3.1. Tectonique générale

La géométrie actuelle des formations du Continentale Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence des déformations tectoniques importantes.

La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contre coups sur la Plate-forme saharienne :

- Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur, sont bien nets, la phase du Miocène inférieur lui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès.
- Enfin, la phase Plio-Quaternaire qui s'insère avec les précédentes dans la phase
- Alpine, d'où l'apparition des fractures de direction Est-Ouest forment la surrection du massif des Aurès et l'affaissement de la partie Sud « Sillon Sud Aurèsien », ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tel que chott Merouane et chott Melguig. La flexure Sud Atlasique de direction Est-Ouest sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on peut avoir au Nord des points culminants « Monts des Aurès » et au Sud les points les plus affaissés.
- Nous présentons un tableau récapitulatif des étapes probables des tectoniques dans le Sahara algérien (d'après R.Karpoff 1952).

Age	Style
1-Antecambrien	Plis très aigus, failles.
2-Paléozoïque	Mouvements amples d'axes est-ouest Formations de chaînes orientés 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 Genous de l'Aurès d'axe E-W
6-Fini Quaternaire Ancien	Plis affectant le Mio Pliocène seul ou accompagne du Quaternaire ancien, suivant deux axes orthogonaux Dont l'axe NW-SE est le principal.
7-Neolithique	Mouvements de grande amplitude à plis faibles et Localisés.

Tab.10 : Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karpoff, 1952)

3.2 Paléogéographie

Bel et Demargne, en 1966 ont reconstitué l'histoire paléogéographique du Quaternaire de la vallée de l'oued Righ comme suit :

- Effondrement de la fosse pré atlasique (centre de la région actuelle des chotts) et entaillage de profondes et larges vallées (dont celle de l'oued Righ) dans la couverture Mio-Pliocène de la périphérie.
- Surélévation locale du sol, avec détachement de l'oued Righ de l'oued Igharghar et de son affluent l'oued Mya.
- Descente lente et continue de la région des grands chotts avec d'énormes apports fluviaux et éoliens en transformant l'oued Righ en nappe souterraine et en ne laissant que quelques chotts (les actuels en surface).

Le Cénomaniens est caractérisé par l'influence marine importante traduit par un milieu marin, tantôt franc, tantôt lagunaire (le Turonien supérieur et le Sénonien inférieur paraissent régressifs)

Au cours de cette époque, un affaissement marque l'effondrement progressif de la partie centrale de la zone saharienne par un dépôt lagunaire suivi d'une période d'arrêt au cours du Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur.

Une réapparition d'un dépôt lagunaire qui comble définitivement la dépression de la cuvette saharienne.

Une élévation de l'ensemble, suivi d'un nouveau mouvement de descente selon l'axe de l'Oued Righ, cet exhaussement permet d'expliquer l'absence de l'Oligocène dans le Sahara.

Cet affaissement brusque du centre de la cuvette (région actuelle des chotts). Les cours d'eau venant de l'Ouest et du Sud entaillant de larges et profondes vallées dans la couverture Mio-Pliocène.

L'Oued Righ est Oued Igharghar formaient probablement alors un seul grand Oued avec Oued Mya comme affluent.

Un comblement partiel de la région effondré et des vallées qui l'entaillent et l'exhaussement local du sel à la suite duquel l'Oued Righ se sépare de l'Oued Igharghar.

Un affaissement lent de la région des grands chotts est comblé de la vallée de l'Oued Righ à la suite d'importants apports pluviaux et éoliens. Ces apports finiront par ennoyer l'Oued.

✓ Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara Oriental, du mésozoïque à l'actuel sont :

- l'existence d'une plateforme très régulière, sur laquelle toute variations du niveau de la mer, provoquent des changements remarquables dans la sédimentation.
- l'existence d'une mer peu profonde à partir de laquelle se produisent plusieurs transgressions dont une des plus importantes à celle de Cénomaniens.
- la régression définitive de la mer à la fin de l'Eocène qui s'accompagne de l'érosion d'une partie des calcaires de l'Eocène et du régime continental qui a remplacé le régime marin.

Conclusion

La région de l'Oued Righ se présente comme une cuvette synclinale du Bas Sahara qui fait partie d'une large fosse de direction Nord-Sud. Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie sous le Grand Erg Oriental. Seuls quelques affleurements sont observés, sur les bordures.

La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle Précambrien, située entre 3000 et 5000 m. Il s'ensuit que les dépôts sédimentaires ont environ 4000 m d'épaisseur.

• Les terrains **Paléozoïques** affleurent au Sud, entre les plateaux de Tadmaït et Tinheret et le massif du Hoggar.

• Les terrains des **Mésozoïques** et du début du Cénozoïque constituent l'essentiel des affleurements des bordures.

• les dépôts continentaux **Tertiaires** et **Quaternaires** occupent le centre de la cuvette.

La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, Post Paléozoïques importants : le **Continental Intercalaire** et le **Complexe Terminal**

Chapitre III – Contexte Hydrogéologique

Introduction

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyper-aride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharge des nappes. Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès donc les piémonts de l'Atlas Saharien.
- 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.

1. 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 Supérieur

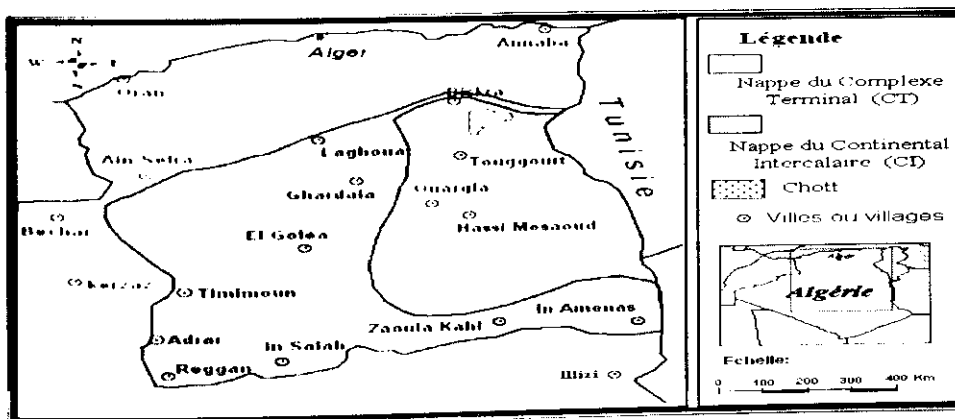


Figure N°16 : Carte des ressources en eau souterraines « Continental Intercalaire et Complexe Terminal » (UNESCO 1972).

2. Le Continentale Intercalaire : C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (L'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continentale Intercalaire couvre **600000 km²**. Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à **50 000 milliards m³** environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d'«Albien». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque Supérieure au Sahara entre deux cycles marins, c'est le plus puissant aquifère du Sahara (**250 -1000m** épaisseur) Située à plus de **1800m** de profondeur dans la zone de Touggourt.

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. Les plus fortes épaisseurs sont localisées de l'Est d'El Goléa ou elles sont comprises entre **750 m et 1000m.** .

➤ **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.

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

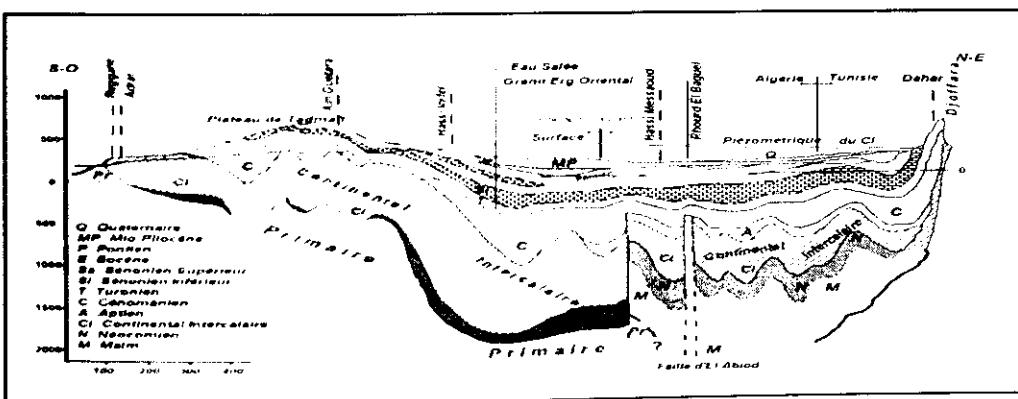


Figure. N°17: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

➤ **Toit du réservoir :** Le toit du CI débute presque toujours au toit de l'Albien + **2000m** par apport au sol, le mur de CI coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tadmaït et du Tihert.

Tableau. N°11 : Données générales sur la nappe du Continentale Intercalaire

Etendue	600 000 km ²
Epaisseur de la couche utile productrice (m)	50 à 100
Profondeur (m)	60 à 2400
Profondeur au toit (m)	20 à 2000
Epaisseur total (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par rapport au sol (m) (Menala)	Artésien (25 bars)
Rabatement par rapport au N.S (m)(toute la région)	Artésien
Transmissivité ($10^{-1} m^2 / s$)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement (10^{-1})	6 à 1200
Allimentation moyenne ($h.m^3 / an$)	270
Température (°c)	25 à 70
Salinité des eaux	0.5 à 6g/l

3. 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 km²; sa profondeur oscille entre 100 et plus de 500 m 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. Elle est composée de trois nappes superposées comme suivant :

a. La première nappe des sables CT1 :

Hormis, La nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde, sa puissance varie entre 50 à 100 m. 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 moyens, de l'ordre de 20 à 40 l/s (le débit globale d'exploitation proche à 6m³/s) cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

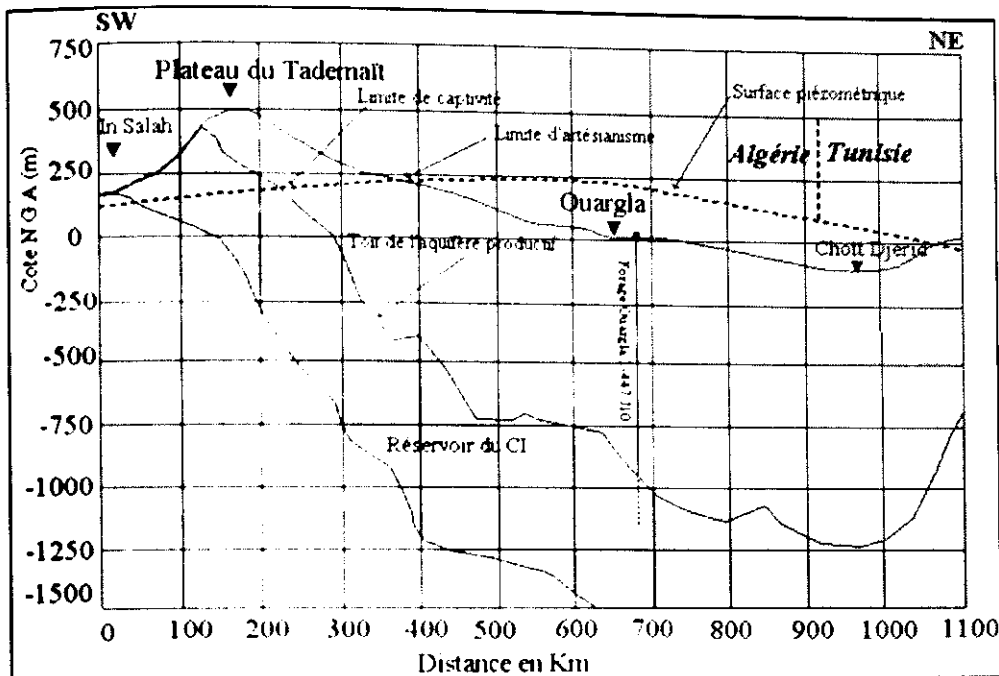


Figure. N°19: Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.

➤ **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 ; 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.

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).

➤ **Les exutoires :**

- ❖ **Les puits artésiens:** (bassin oriental).
- ❖ **Les foggaras:** (bassin occidental).
- ❖ **Les sebkhass et Les chotts**

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 36 m, 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.

- 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 Sénonien supérieur.

c. La nappes des calcaires du Sénonien 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 de 350m ,200m à Touggourt, 360m à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artisanisme étant à l'origine plus important au Nord.

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

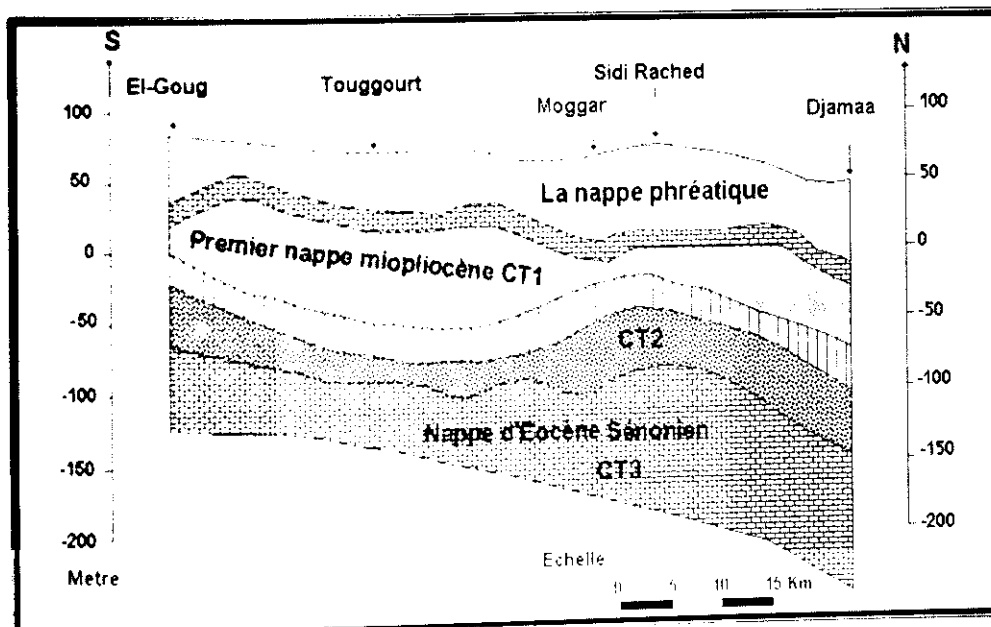


Figure. N°19: Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ.

4. La nappe phréatique :

Elle est continue dans les niveaux sableux et argilo-évaporitique du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par apport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène. 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 profondeur moyenne est d'une vingtaine de mètres. Elle est caractérisée par des eaux de fortes salinités ; les analyses des eaux de cette nappe montrent qu'elles sont très salées, la conductivité électrique est de l'ordre de **4.91 µs/cm à 13.44 µs/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.

ERE	Etage	Lithologie	Nature Hydrogéologique
Quaternaire		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)
	Sables.	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).	
	Pontien	graviers et grès	Substratum
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires
Inférieur			
Secondaire	Cretacé	Senonien calcaire	Substratum
		Senonien lagunaire	Substratum
		Cénomaniens	Substratum
		Albien	Nappe albienne
		Barroisliens	Sables et grès

Tableau. N° 12: synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)



Chapitre V - Etude de système d'irrigation existant (classique et moderne)

Introduction

L'irrigation se fait essentiellement à partir de deux aquifères complexe terminal (salinité plus ou moins élevé) et continental intercalaire (grande température) pour cela on remarque des effets néfastes sur les cultures : l'eau d'irrigation chaude (albien) et par le contact avec les jeunes plantes peut effectuer de dégât important et la destruction des cultures, et après quelque heurs d'irrigation on peut observer la détruits des palmiers adultes.

L'eau d'irrigation chaude peut aussi rendre les sols pauvre en éléments minéraux par le lessivage et même les mauvaises herbes sont incapables de se développer (DUBOST, 1980) ; l'eau d'irrigation qui est à partir du complexe terminal est très fortement salé (des valeurs dépassent 4200mg/l) donc il n'est pas propre à l'irrigation (KHADRAOUI, TALEB, 2008) état effet peut donner un stress osmotique et toxique aux cultures et inhibe l'absorption d'eau par les racines.

1. Historique de l'irrigation de la région

L'irrigation des palmeraies se faisait grâce à un réseau de rigoles principales et secondaires, les Séquia : point de vanne, le jardinier se content d'ouvrir avec sa houe (la Mesha) l'accès de sa parcelle quand vient son tour d'eau. Quelques mottes de terre suffisent ensuite à détourner l'eau vers la parcelle voisine. Mais, en raison de la salure de l'eau, il n'est pas possible de se contenter de remplir d'eau de petits bassins creusés au pied du palmier comme cela se fait dans le M'zab. Ici l'eau doit être abondante, puis évacuée par un autre réseau de drains, les Khandegs (drain).

Ces eaux usées, eaux de Nezz, aboutissent à un canal collecteur qui longe les palmeraies et les déverses dans les chotts. La présence de vastes dépressions comme le chott Mérouane, au nord de l'oued Righ, apparait donc comme le complément nécessaire de ce type d'irrigation.

2.Principaux systèmes d'irrigation

2.1.Système d'irrigation classique :

2.1.1.Cuvettes ou bassins

Cette méthode consiste à remplir d'eau du compartiment que l'on a aménagé autour des arbres en élevant de petites digues de terre. La taille des bassins est d'autant plus grande que le débit disponible est élevé, à condition que le sol soit parfaitement nivelé et que la perméabilité ne soit pas excessive.

L'aménagement de la parcelle requiert donc un travail soigné et souvent important.

L'eau est canalisée suivant le schéma de la figure ci-contre ; elle doit s'accumuler rapidement dans les compartiments formant une nappe d'épaisseur pratiquement égale à la dose d'arrosage.

Il est recommandé de protéger les pieds des arbres par une butte de terre pour éviter certaines maladies.

Les avantages	Inconvénients
Bonne répartition de l'eau sur la« surface » exploitée par les racines	La pente doit être très faible pour éviter les pertes en sous-sol
Dose contrôlable	Temps de confection très long
	Obstacles à la circulation des engins.

2.1.2. Par planche

C'est le mode d'irrigation le plus ancien et le plus répandu dans le monde (L. RIEUL1993). Elle consiste à laisser l'eau s'écouler en nappe le long d'une bande de terre, délimitée entre les rangées d'arbres et dans le sens de la pente par de petites digues.

Pour faire couler l'eau sur de grandes planches, il faut niveler parfaitement et disposer d'un débit suffisant. Lorsqu'on laisse l'eau entrer sur la planche à partir du canal d'amenée, l'eau imbibe d'abord la partie amont de l'élément, et ce n'est qu'au bout d'un certain temps que l'aval commence à en bénéficier.

Lorsqu'on ferme la vanne, on constate que l'eau continue à progresser vers l'aval, dans la hauteur de la planche et que, plus loin, elle disparaît plus ou moins vite, selon les emplacements. Si l'on arrête l'irrigation juste au moment où l'eau arrive au bout de la planche (ou de la raie) Si l'on veut mouiller l'extrémité, il faudra laisser couler l'eau plus longtemps, mais, alors, une partie de l'eau d'irrigation va déborder en fin de la planche ; c'est l'eau de colature qu'il faut récupérer dans un réseau de canaux.

Les planches peuvent être longues ou courtes (DJERBI, 1994). Les dimensions et la forme des planches sont fonction du type du sol, du débit du courant d'eau, de la pente du terrain, de la dose d'arrosage et d'un certain nombre de facteurs, tels que les pratiques culturales et la taille de l'exploitation (BROUWER, 1990). Elles mesurent généralement 2 à 3 mètre de large et 100 à 400 mètre de long avec une pente de 1,25 à 6‰ : les planches peuvent être coupées dans le sens de la largeur par des ados (DJERBI, 1994).

La pente des planches doit être uniforme, avec un minimum de 0,05 ‰ pour faciliter le drainage, et un maximum de 2 ‰ pour éviter l'érosion (BROUWER, 1990).

Cette système a des avantages pour la culture comme adapté pour les systèmes à plusieurs étages de végétation ; leur nivellement est facile ; et l'utilisation possible de faible débit. (RINIVOL et al., 2006)



Photo 02 Système traditionnelle d'irrigation



Photo 03 Irrigation par canaux ouvert



Photo 5 Ancien palmerie

2.2. Système d'irrigation moderne :

Pendant les dernières années l'apparition d'une nouvelle méthode d'irrigation par des conduites fermées (tuyaux) qui mènent l'eau jusqu'à la palmeraie, cette méthode a réduit l'eau de drainage (Nezz) et augmente l'eau d'irrigation par minimisant le temps d'irrigation.

Goutte à goutte

Dans l'irrigation goutte à goutte, l'eau est livrée à la plante à faible dose, entraînant ainsi l'humidification d'une fraction du sol. Ceci permet de limiter les pertes par évaporation et percolation. Elle permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes.

Elle met également en oeuvre des équipements fixes et légers, permettant la fertigation.

Dans la plupart des cas, elle exige une automatisation à travers des contrôleurs associés à des vannes volumétriques et/ou hydrauliques et électrovannes.

Les avantages	Inconvénients
Economie d'eau	Sensibilité à l'obstruction (sable, limon, matière organique, gel bactérien, précipitation d'engrais, présence du fer...)
Faibles pressions pour les goutteurs	Salinisation (prévoir des lessivages)
Irrigation fréquente	Développement racinaire des cultures limité
Le feuillage n'est pas lavé	
Accès plus facile à la parcelle	
Possibilité d'automatisation	
Economie en main d'œuvre	
Irrigation des terrains accidentés	
Succès pour les sols lourds (2 à 4cm/h) et sols légers (>50cm/h).	

Influence de la nature des eaux sur les volumes d'irrigation

En zones pluvieuses, les sols sont saturés en eau et les besoins en irrigation sont réduits.

Dans les périmètres cultivés, un drainage se traduit par une réduction des volumes d'irrigation pour éviter les sels nocifs. On enregistre dans les zones drainées une diminution des teneurs de sels à différents niveaux dans le profil pour et cela favorise la réduction des volumes d'irrigation. Les palmiettes salinifères indiquent ainsi des volumes d'irrigation réduits. On peut noter le rôle prépondérant vis-à-vis des sels de soufre, principalement dans les zones drainées (Maurice, 1979).

Qued Rhr'e est une zone de salinisation de type $NaCl$ (Maurice, 1979). Les travaux de G. Maunier et Maurice, (1972).

Entretien et maintenance des systèmes d'irrigation

Un bon entretien des systèmes d'irrigation est indispensable pour garantir au maximum le potentiel économique d'eau et éviter le gaspillage.

Les principaux problèmes relatifs à l'entretien de système d'irrigation sont les suivants :

- L'état défectueux des régulateurs de pression ou des limiteurs de débits.
- Les fuites dans les tuyauteries d'adduction d'eau.
- L'état défectueux des canaux et des rates.

Ces éléments conduisent notamment à une réduction de la durée de vie du matériel, une

regulation de l'uniformité spatiale de la répartition d'eau, une surensaustration d'eau, des

problèmes de distribution d'eau (qui peuvent pénaliser les exploitations situées en extrémité du système

d'irrigation) et des conflits d'usagers. Pour éviter ces problèmes, il faut des soins

- Entretien le réseau d'irrigation : remplacement joints et rebords endommagés, et ou colmatage des fissures : remplacement et ou nettoyage filtres et grilles, nettoyage, débouchage et curage.

- Entretien les berres.

Chapitre V **Etude de système d'irrigation existant(classiques et modernes)**

- Entretien des ouvrages de stockage (nettoyage et ou curage),
- Surveiller la qualité des eaux,
- Observer de façon continue l'état des infrastructures et du matériel,
- Planifier les opérations,
- Budgétiser le coût des opérations.

La non budgétisation du coût et la non planification routinière de l'entretien des infrastructures et des systèmes constituent généralement un frein au développement de ces techniques

5. Structure de gestion

Enfin, la mise en place d'infrastructure d'irrigation s'accompagne impérativement de la mise en place d'une structure de gestion, organe représentatif de l'ensemble des exploitants qui gère au jour le jour le bon fonctionnement du périmètre d'irrigation.

La mise en place d'une telle structure avec des statuts bien définis permet de réguler les conflits d'usagers, l'adéquation entre les intérêts individuels et le caractère collectif de certaines infrastructures, les stratégies de suivi et d'entretien des équipements (**mémo irrigation**).

6.L'influence de l'irrigation sur la nappe complexe terminale (CT)

La nappe du Complexe Terminal (CT) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350000 Km² avec une profondeur varie entre 100 et 500 m; leurs eaux se caractérisent par :

- Une température peut élever.
- Moins chargées en sel sur les bordures et relativement élevées au centre (plus de 3g/l).
- L'écoulement généralement se fait vers les Chotts.
- Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères appelés nappe des sables et nappe de calcaire.

6.1.La nappe de sable (moi-pliocène)

Représenté par un ensemble important de sable et d'argile présente dans tout le bassin oriental. Cette nappe regroupe 2 nappes.

6.2.La première nappe de sable

Elle est contenue dans des sables à grains fins et moyens rouges, plus ou moins argileux avec rare passage de calcaire.

La profondeur de son toit varie entre 40 et 80 m; et son épaisseur varie entre 10 et 50 m.

6.3.La deuxième nappe de sable

Elle circule dans les terrains constitués de sable jaune et de gravier siliceux faiblement marneux. Son épaisseur est de 15 à 50 m et sa profondeur varie entre de 100 à 300 m. Elle est la plus exploitée dans la région de Oued Righ.

6.4.La nappe de calcaire (sénonien carbonaté)

Elle est constituée par des calcaires blancs siliceux de l'éocène. La profondeur du toit de cette nappe varie entre 160 et 200 m. or les calcaires du sénonien devient moins exploités métaux utilisés la construction des forages.

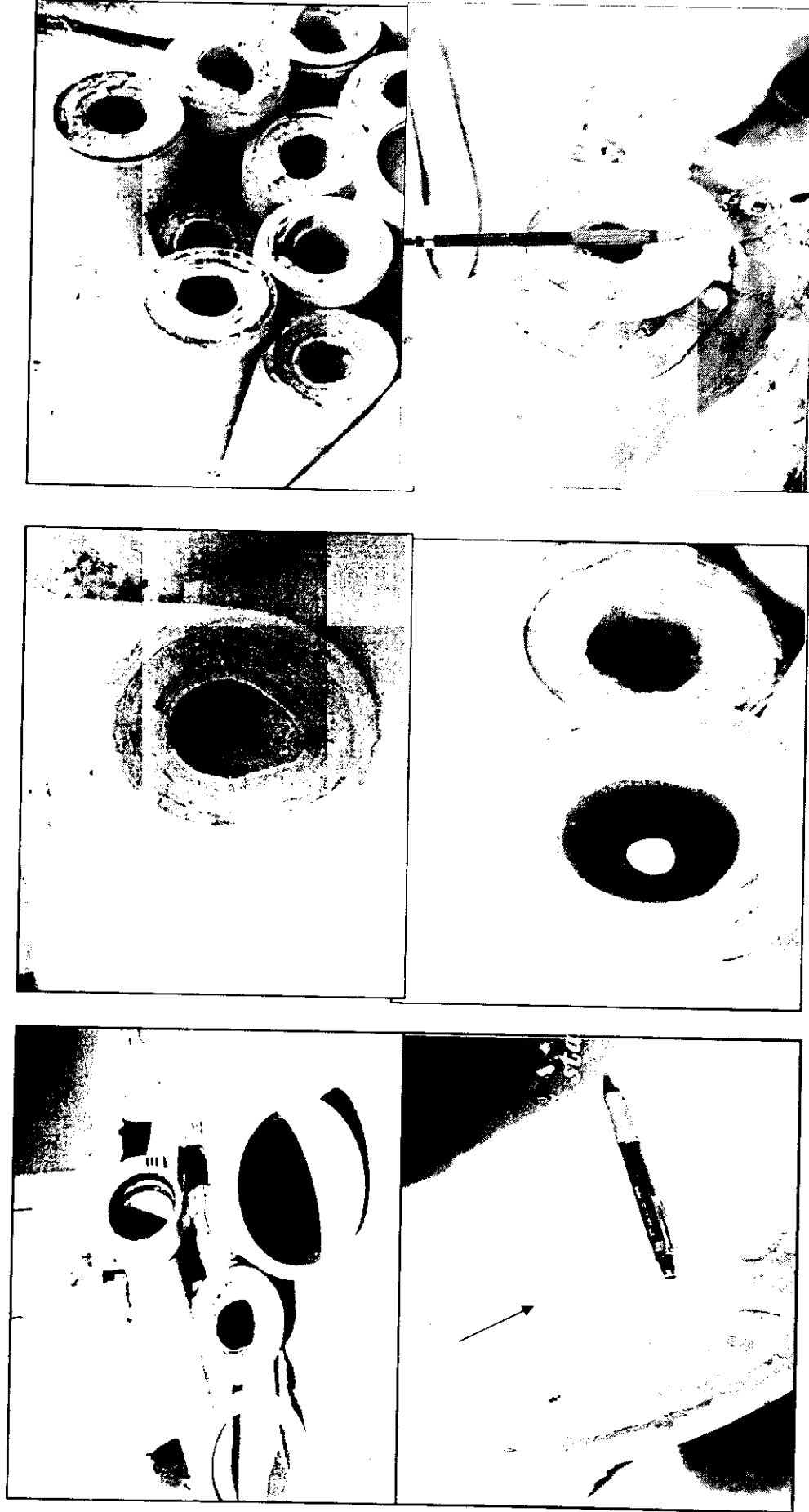
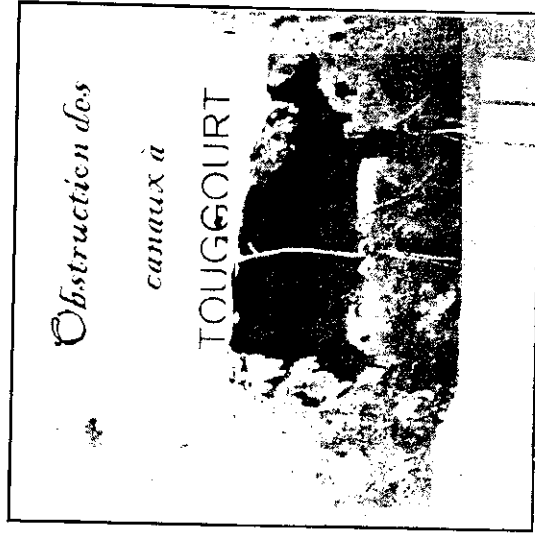
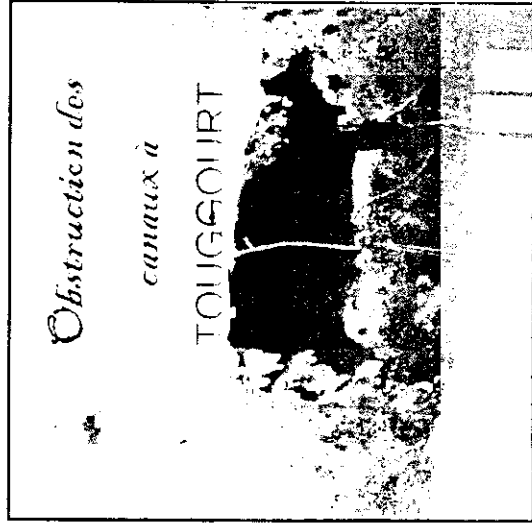


Figure. N°5: Photos illustrant les dépôts de tartre sur les canalisations.



Figures. N°6 : Photos illustrant le caractère agressif des canalisations de la vallée d'oued Righ.



Figures. N°6 : Photos illustrant le caractère agressif des canalisations de la vallée d'oued Righ.

7. LA QUALITE DES EAUX SOUTERENNES

a. La température élevée de l'eau du Continentale Intercalaire :

Les forages albiens dégagent des températures aux alentours de 60°C à l'atmosphère ce qui les rendent inutilisables directement.

Cette température d'eau va augmenter les contraintes physico-chimiques et donner des conséquences dramatiques, par l'accélération des réactions chimiques, surtout celles qui concernent le tartre et la corrosion.

La température joue le rôle d'un agent accélérant les réactions chimiques soit pendant le transfert des eaux (tubage, refroidisseur et canalisations), où elle facilite la corrosion du tubage et des annexes : (vannes, débitmètre...etc.), et la précipitation de tartre aux parois des canalisations.

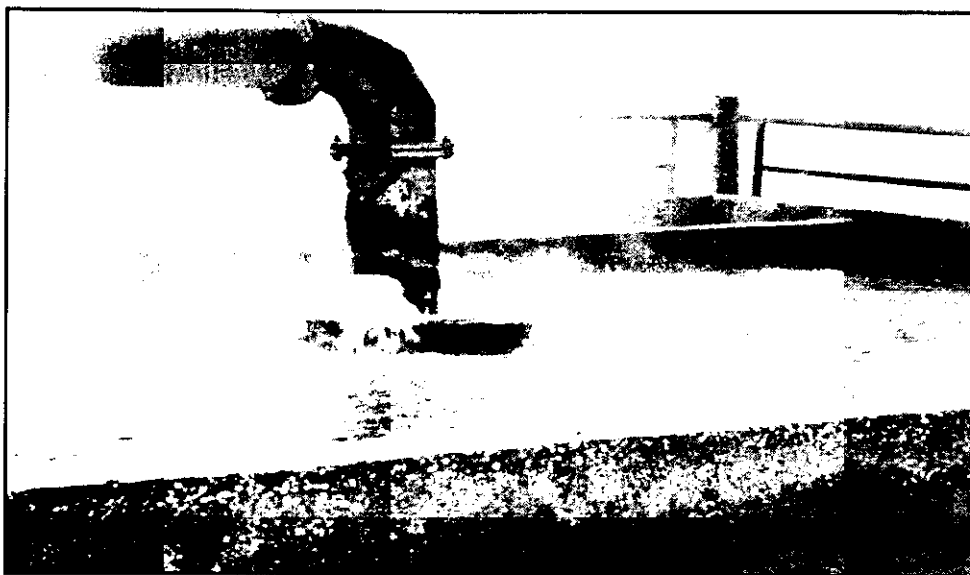


Figure N°7 : Vapeur d'eau dégagée par un forage albien.

L'élévation de la température de l'eau nécessite un refroidissement préalable avant leur utilisation aussi bien humaine qu'agricole.

Pour refroidir cette eau, on utilise les tours de refroidissement dans les quelles l'eau géothermale circule sur des systèmes de planches (réfrigération atmosphérique).

Le refroidissement de l'eau est obtenu par la chute libre de dernière sur des grilles de séparation qui la fractionne en fines gouttelettes pour augmenter les surfaces de contact et lui permet de se refroidir en traversant l'air brassé par des ventilateurs. L'eau chaude est distribuée uniformément sur toute l'aire du réfrigérant.

Chapitre V Etude de système d'irrigation existant(classiques et modernes)

Chaque ventilateur est entraîné par un moteur électrique à l'aide d'un arbre de transmission et un réducteur de vitesse. Suivant ce circuit, la température de l'eau passe de 60 à 30° C.

Malheureusement ce mécanisme favorise le dépôt de tartre sur les murs des refroidisseurs ainsi que dans les petits canaux.

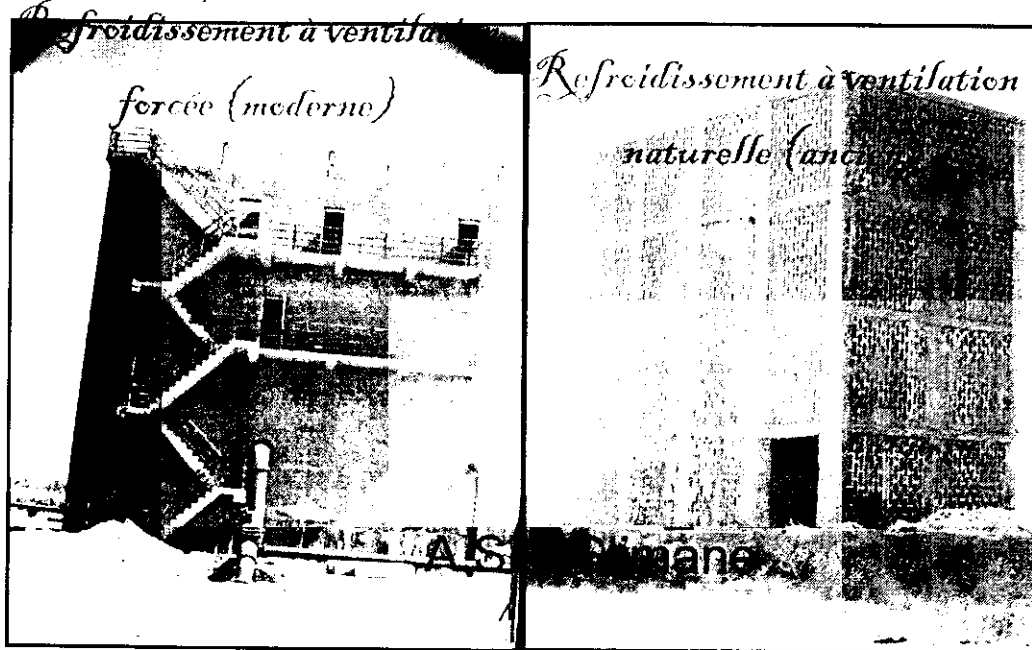


Figure. N°08 : Photos du système refroidisseur (ancien et nouveau).

Cependant, l'entartrage devient, alors, inévitable dans les conduites d'eaux.

Il devient un support favorable à la réception et à la prolifération des micro-organismes pathogènes.

Ces derniers peuvent être à l'origine de maladies d'origine hydrique conduisant à des épidémies graves : choléra, fièvre typhoïde, dysenterie pouvant entraîner la mort.

d. Problème de tartre :

On appelle généralement « tartre » les incrustations adhérentes et dures qui se forment sur les surfaces de chauffages et qui correspond à un aspect cristallin des dépôts. Le tartre ainsi constitué est compact, dur, fortement adhérent et peu poreux, donc très isolant et constitue la forme la plus nuisible et la plus dangereuse de l'entartrage des surfaces.

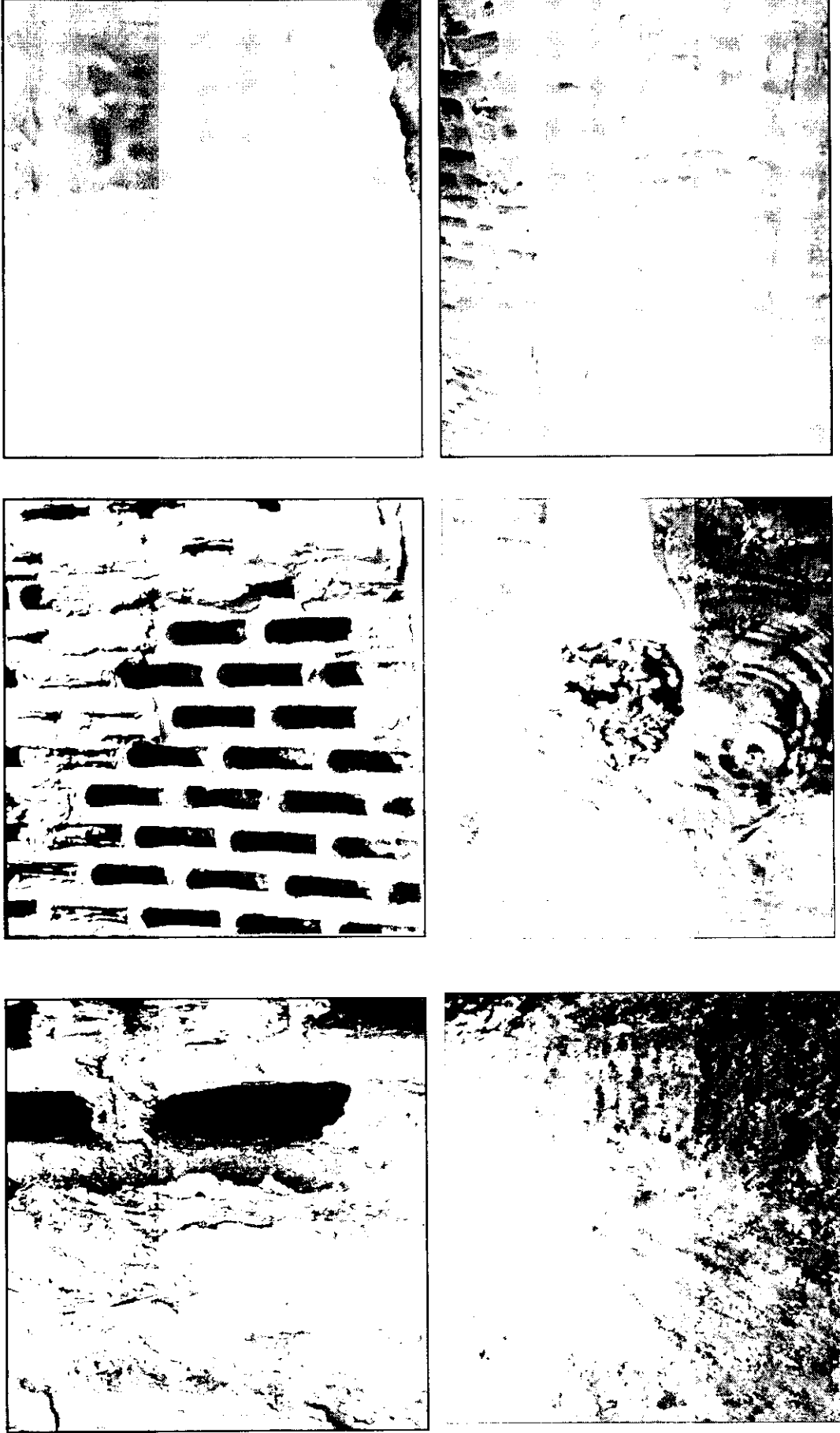
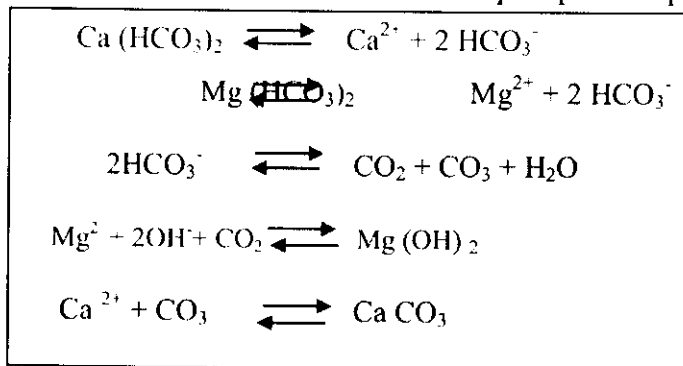


Figure. N°09 : Dépôt de tartre sur les murs du refroidisseur.

La vaporisation des eaux naturelles s'accompagne de l'entartrage du récipient qui la contient. L'élévation de la température qui, en libérant du gaz carbonique, accélère la précipitation du tartre; ce qui pose un grand problème dans les canalisations de cette région. Si la concentration du CO_2 diminue on aura précipitation de CaCO_3 . La température du liquide en contact avec les parois froides est plus faible que celle de la masse de l'eau, les sels dont la solubilité varie en sens inverse de la température auront tendance à se précipiter au sein du liquide ou à se fixer sur les parois froides. Sous l'effet de la chaleur, le bicarbonate de calcium soluble perd son gaz carbonique et précipite formant des carbonates de calcium peu soluble.

Les réactions suivantes nous montrent la formation et la précipitation qui peut apparaître dans l'eau.



Il y a continuellement dépôt de tartre CaCO_3 , le phénomène se poursuit jusqu'à obstruction complète des canalisations.

La dureté de l'eau est principalement causée par la présence d'ions calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}) dans l'eau. Une eau dure peut poser des problèmes d'entartrage des appareils (débitmètre, vannes) et des canalisations d'eau chaude.

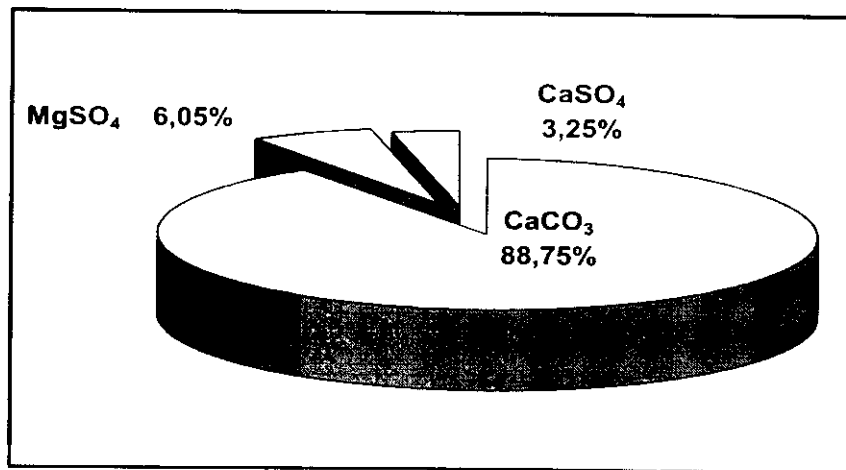


Figure. N°20 : composition chimique de tartre en pourcentage.

Chapitre VI – Matériels et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

La vallée de l'Oued Righ est une entité géographique, située sur un axe Nord-Sud (Biskra-Ouargla), d'environ 150 Km de longueur, entre d'El Goug et Oum El Thiour, et 15 à 30 Km de largeur. La vallée se trouve entre le plateau du M'Zab à l'Ouest et le grand Erg oriental à l'Est. Elle est comprise entre les latitudes nord de 32°54' et 34°09', avec une longitude moyenne de 6° Est .

Notre région d'étude est constituée des Dairates de Djamâa et Méghaier, dans la partie ouest de la wilaya d'El Oued comme suits :

- Le moyen Oued Righ, représenté par la zone de Djamâa, ayant une superficie de 37850 km², s'étendant du nord au sud sur une distance de 98 Km, et est situé à 33° 95' de latitude nord et 5°93' de longitude Est.
- L'aval ou le Bas Oued Righ, représenté par la zone de Méghaier au nord de la vallée, situé à 33°53' de latitude nord et 5°99' de longitude est. Il se caractérise par la présence du chott Merouane (exutoire du canal de l'Oued Righ).

2. Choix des sites du travail :

Dans le sens de savoir notre but de travail qui est de faire un suivi de problématique d'irrigation dans La région d'Oued Righ de la wilaya d'El Oued et recenser les contraintes essentielles, leurs causes, apprécier leurs conséquences et proposer des solutions susceptibles d'améliorer la situation actuelle, par l'établissement et interpolation de 02 (deux) cartes piézométriques de 10 ans , On a consisté établies et étudier de 02 (deux) cartes piézométriques de 10 ans, ce pour cela qu'on a choisi des plusieurs points piézométriques sur le sites de travail comme suites :

3. Matériel et méthodes

Durant la semaine de terrain qui s'est déroulée Durant le mois de juillet 2017, et dans le cadre Général de l'étude, plusieurs phases ont été envisagées:

- visite et localisation des forages considérés comme des piézomètres.
- Campagne de mesures des eaux de la nappe pour établir les cartes piézométrique 2003 et 2014
- Sonde piézométrique : appareil qui permet de mesurer ponctuellement la profondeur à laquelle se trouve la surface de l'eau dans le piézomètre.

- GPS pour marquer les coordonnées géographiques des puits
- logiciel pour l'établissement des cartes piézométriques et établir la carte du rabattement
- Piézomètres : Dispositif permettant de mesurer le niveau de la nappe d'eau souterraine et de réaliser des prélèvements d'eau en vue de l'analyse.

Les piézomètres implantés dans notre zone d'étude sont des tubes PVC de 1,5 m de longueur et 75 mm de diamètre, crépines sur 50 centimètres environ pour laisser passer l'eau. Le crépinage est réalisé à la perceuse, avec un espacement des crépines de 4-5 cm.

• Sonde piézométrique : appareil qui permet de mesurer ponctuellement la profondeur à laquelle se trouve la surface de l'eau dans le piézomètre. Pour cette étude, nous avons utilisé deux sondes déclenchant un signal sonore au contact de l'eau. La profondeur peut alors être lue sur le ruban gradué.

• Niveau de chantier optique : outil optique constitué d'un trépied sur lequel est fixé un dispositif de visée, permettant de déterminer des différences de hauteurs entre certains points par lecture directe sur la mire.

• GPS : système de géolocalisation utilisé pour repérer le site d'implantation de tous les piézomètres.

3.1. Méthodologie

Implantation d'un piézomètre

Tous les piézomètres sont repérés avec le GPS et marqués sous le bouchon avec un numéro pour faciliter sa localisation.

Au total, 25 piézomètres ont été pris pour notre projet, dont 10 pour la carte de 2017.

Daira d' El Meghair	Daira Djamaa
Sidi Khlil (Ben badisse)	Djamaa choucha (Ain el aasli)
Meghaier (Tarfayet salah)	Sidi Amrane (Ain saisa)
Meghaier barkadjia (Iriadh)	Djamaa (Ain château)
Meghaier (Dendouga D5F7)	Djamaa (Sidi yahia ain el baidha)
Oum Thior	Tinedla (Ain el Garra)
Meghaier (M'Guibra)	Djamaa (Tigdidine Ben Guana)
Meghaier (Dendauga Ain el Kodia D5F5)	
Sidi Khlil (Ain Chikh)	
M'Nagueur (Bouffeggoussa III)	

Tableaux N° 13: Les différents points de choix des sites

Chapitre VI : Résultats et discussion

Pour suivre (contrôler) la nappe de complexe terminale (CT) et l'influence de l'irrigation sur cette nappe on a établi la carte piézométrique entre 10 ans de 2003 à 2014 et les résultats sont les suivantes :

N° de piézo	Localité	X	Y	Z (m)	NS (m)	Np (m)
Pz 01	Djamaa choucha (Ain el aasli)	5° 58' 11"	33° 26' 43"	52	17,3	34,7
Pz 02	Sidi Amrane (Ain saisa)	6° 02' 21"	33° 30' 18"	39	2,6	36,4
Pz 03	Djamaa (Ain château)	5° 59' 41"	33° 32' 17"	38,9	16	22,9
Pz 04	Djamaa (Sidi yahia ain el baidha)	5° 57' 31"	33° 31' 26"	50	14	36
Pz 05	Tinedla (Ain el Garra)	6° 00' 59"	33° 41' 35"	16	12	4
Pz 06	Sidi Khlil (Ben badisse)	5° 57' 33"	33° 49' 25"	13,2	26	-12,6
Pz 07	Meghaier (Tarfayet salah)	5° 56' 35"	33° 56' 18"	0	20	-20
Pz 08	Meghaier barkadjia (Iriadh)	5° 41' 29"	33° 56' 00"	42	46,5	-4,5
Pz 09	Meghaier (Dendouga D5F7)	5° 59' 08"	33° 57' 08"	-2,4	-1,4	-1
Pz 10	Oum Thior	5° 51' 22"	34° 08' 55"	-11,7	33	-44,7
Pz 11	Meghaier (M'Guibra)	6° 02' 25"	34° 16' 04"	2	00	2
Pz 12	Meghaier (Dendauga Ain el Kodia D5F5)	5° 59' 12"	33° 57' 39"	-18	00	-18
Pz 13	Sidi Khlil (Ain Chikh)	5° 58' 08"	33° 52' 23"	9	19,20	-10,2
Pz 14	M'Nagueur (Bouffeggoussa III)	6° 01' 43"	33° 50' 29"	8	11,5	-3,5
Pz 15	Djamaa (Tigdidine Ben Guana)	6° 01' 47"	33° 32' 02"	36	6,75	29,25

Tableau N 14 les points Piézomètres en 2003

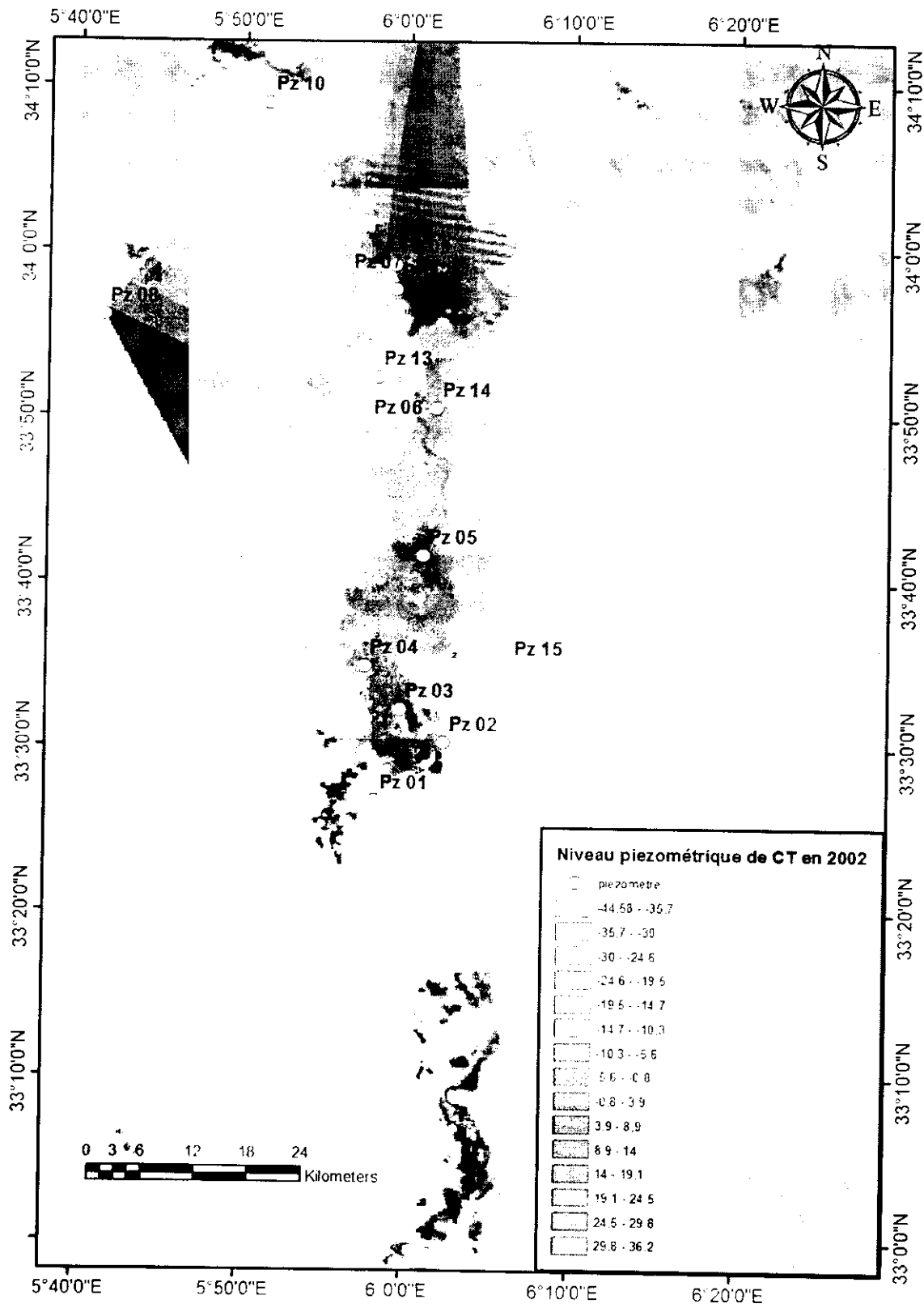


Figure. N°21 : Cartes des Points Piézomètres en 2003

N° de piézo	Localité	X	Y	Z (m)	NS (m)	Np (m)
Pz 01	Djamaa choucha	5° 58' 11"	33° 23' 59"	21	19,4	1,6
Pz 02	Djamaa	5° 58' 56"	33° 32' 53"	43	21	22
Pz 03	Route El Oud (Tigdidine)	6° 18' 40"	33° 38' 11"	49	43	6
Pz 04	Tinedla	6° 00' 05"	33° 41' 21"	16	10,9	5,1
Pz 05	Sidi Khlil	5° 55' 47"	33° 50' 37"	13	34,2	-21,2
Pz 06	Meghaier barkadjia	5° 46' 48"	33° 57' 14"	36	32,5	3,5
Pz 07	Meghaier	5° 55' 58"	33° 56' 43"	0	15,2	-15,2
Pz 08	Oum Thior	5° 48' 29"	34° 09' 17"	9	40,9	-31,9
Pz 09	Sidi Khlil (Ain Chikh Sidi ahmed)	5° 58' 08"	33° 52' 23"	9	19,45	-10,45
Pz 10	Djamaa (Sidi Amrane)	6° 03' 18"	33° 29' 17"	26	15	11

Tableau N° les points Piézomètres en 2014

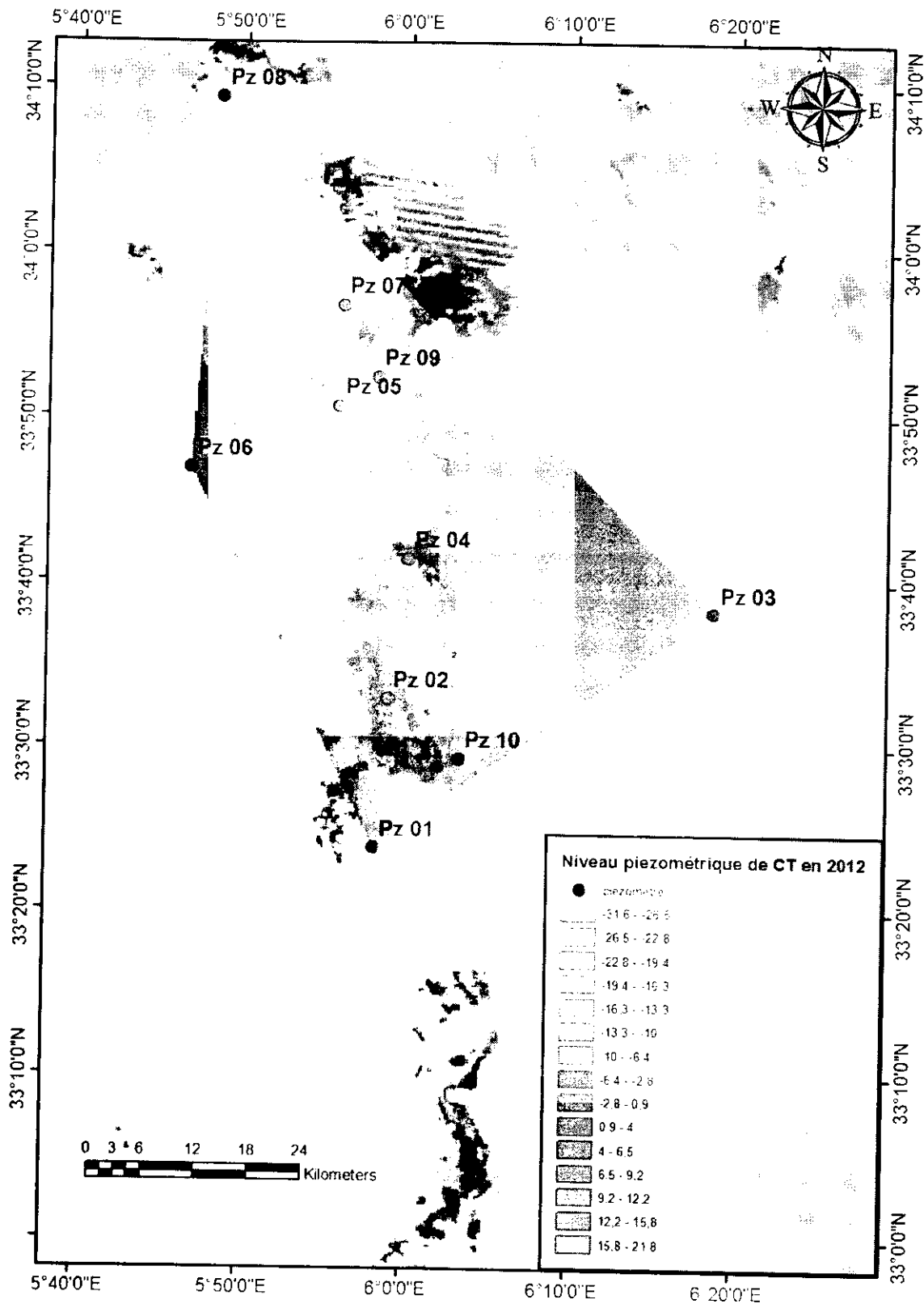


Figure. N°36 : points Piézomètres en 2014).

Pour élaborer la carte piézométrique du "CI", les données publiées dans les études précédentes telles qu'ERESS en 1972, ont été mises à contribution. Nous utiliserons la carte piézométrique du "CI", élaborée dans le cadre du projet SASS 2003 (figure. N°22).

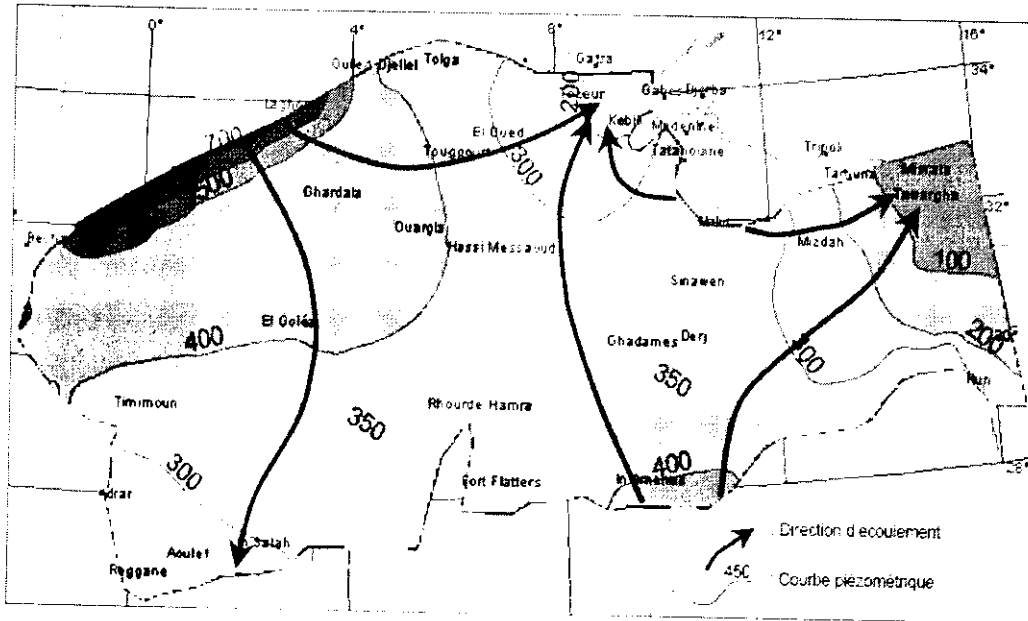


Figure. N°22: carte piézométrique de la nappe du continental intercalaire (D'après SASS 2003).

Cette carte définit l'écoulement de la nappe à l'état naturel, peu ou pas influencé par pompage. L'écoulement de cette nappe se produit dans le sens Ouest -Est, dans la zone d'étude, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien. Ainsi que un autre sens d'écoulement Nord-Sud au bassin occidental et Sud-Nord au Sud-Est le Bassin Orientale.

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

1. **La piézométrie de Complexe Terminale (CT) :**

Dans la présente étude, aborde précisément l'aspect hydrogéologique de la nappe complexe terminal de la région de l'Oued Righ.

Nous avons basés sur des données faites par l'équipe d'ANRH de TOUGOURT, des prises en 2003 et en 2014. Mais malheureusement rareté des donnés d'OUED RIGH SUD ou ces données sont pas pris régulièrement du coté temps; et du cotés local.

Donc pour établir des cartes piézométriques, nous avons basés sur une analyse statistique d'archive piézométrique d'ANRH d'une part, et d'autre part d'après des études universitaires.

Ou ces travaux sont basés sur le principe suivant:

- 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 [NP= Z- NS]

NP : niveau piézométrique. NS : niveau statique. Z : cote, niveau naturel du sol.

Détermination du gradient hydraulique est donnée par la formule $i = \frac{H_1 - H_2}{L}$

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.

2. Evolution de la piézométrie :

L'analyse des cartes piézométriques permet de définir l'écoulement souterrain et de localiser les zones d'alimentation et de sorties des eaux de la nappe aquifère de complexe terminal et la nappe continentale intercalaire le gradient hydraulique qui est un paramètre important dans l'estimation des rapports latéraux.

L'établissement des cartes piézométriques, respectivement des années 2003 et 2014, s'est réalisé par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 11 (Golden software, 2013). Elles montrent que l'allure générale des courbes ne varie qu'assez peu d'une campagne à l'autre. L'observation de la morphologie des cartes piézométriques des périodes (2003 et 2014) permet de constater que l'écoulement souterrain se fait, en général, de Sud vers le Nord (Figure. N°23, 24).

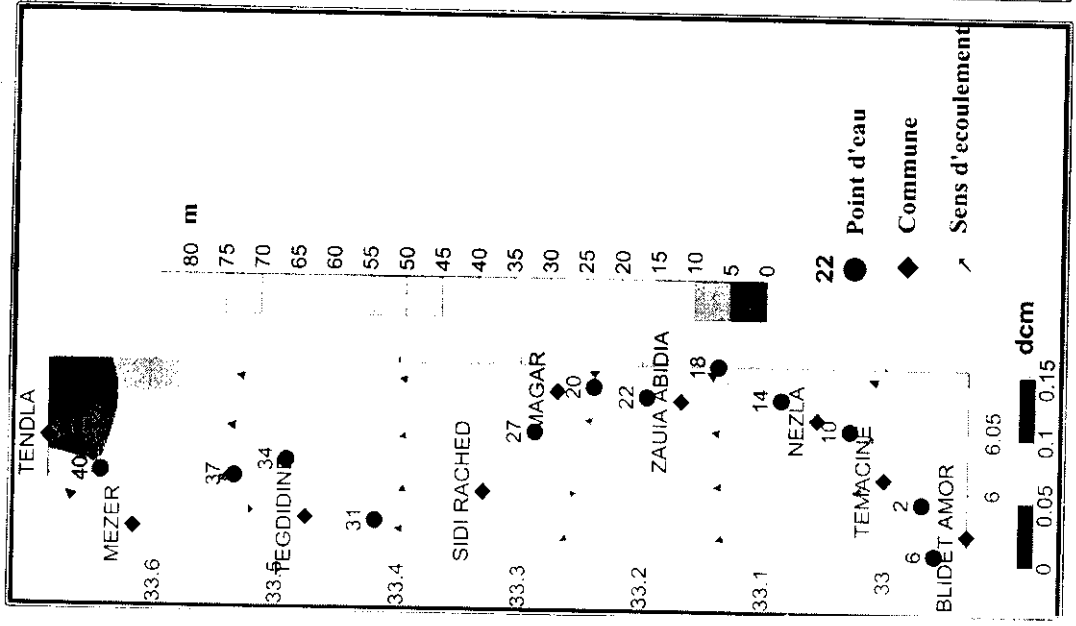


Fig. N°23: Carte piézométrique de la nappe CT 2003

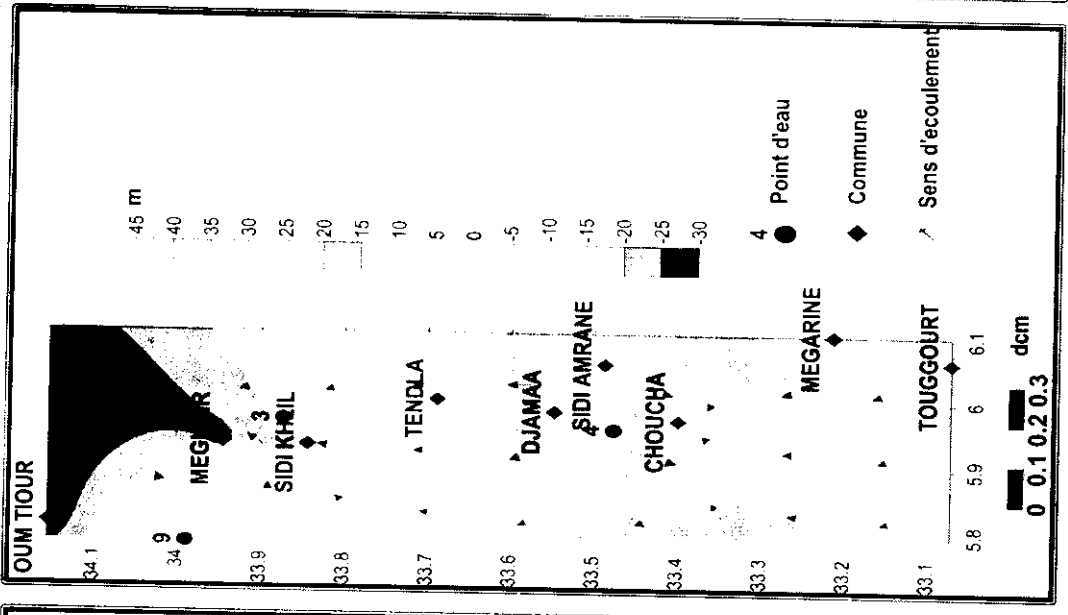


Fig. N°24: Carte piézométrique de la nappe CT 2014.

(Oued Right).

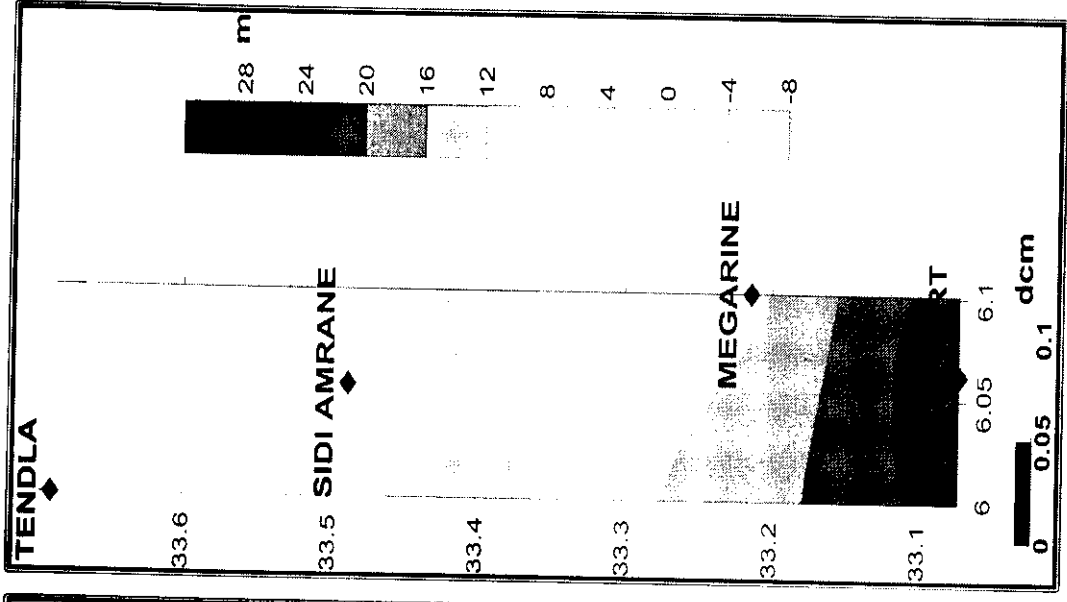


Fig. N°25: Carte de rabattement 2003 - 2014.

2.1 La carte piézométrique (2003-2014) : montre que le sens d'écoulement se fait suivant une direction Sud – Nord, le tableau. N°16 au dessous illustre ces variations, ainsi que la valeur du gradient hydraulique pour la zone d'Oued Righ.

Tableau. N°16: Valeur de gradient hydraulique.

Localité	Gradient hydraulique	Sens d'écoulement
Djamaa	$3,8 \times 10^{-3}$	Sud-Ouest vers Nord-Est
Sidi Khlil	$3,6 \times 10^{-3}$	Sud-Ouest vers Nord-Est
Berkajia	$2,1 \times 10^{-3}$	Ouest vers Est
Oum Thiour	$2,0 \times 10^{-3}$	Nord-Ouest vers Sud-Est
Boaj	$2,8 \times 10^{-3}$	Nord-ouest vers Sud-Est

2.2. Rabattement de la nappe Complexe Terminale :

La comparaison de la piézométrie entre les périodes 2003 et 2014 permis de dresser une carte de battement de la nappe, (Figures. N° 25).

On note que la carte de fluctuation 2003-2014 est projeté sur le milieu de la zone étudié cause de manque des données, qu'on peut dire que l'aquifère est rabatte dans cette dizaines d'années au maximum 28 m dans la zone de Touggourt. Par contre on remarque une remonté à Tendla à cause de la faible altitude (16 m) (Figure. N°25).

3. La piézométrie de la nappe phréatique :

Dans la présente étude, nous abordons précisément l'aspect hydrogéologique de la nappe phréatique d'Oued Righ. Nous nous sommes basés sur des données de la campagne Avril 2006 faites par l'équipe d'ANRH de TOUGOURT.

La carte piézométrique montre que les courbes isopièzes montrent une forme cylindrique au Nord, légèrement divergente au Sud (Touggourt), pour devenir concave à Djamaa. Le sens d'écoulement des eaux est Sud-Nord, ces eaux vont directement se jetées dans le **chott Merouane** qui constitue l'exutoire naturel

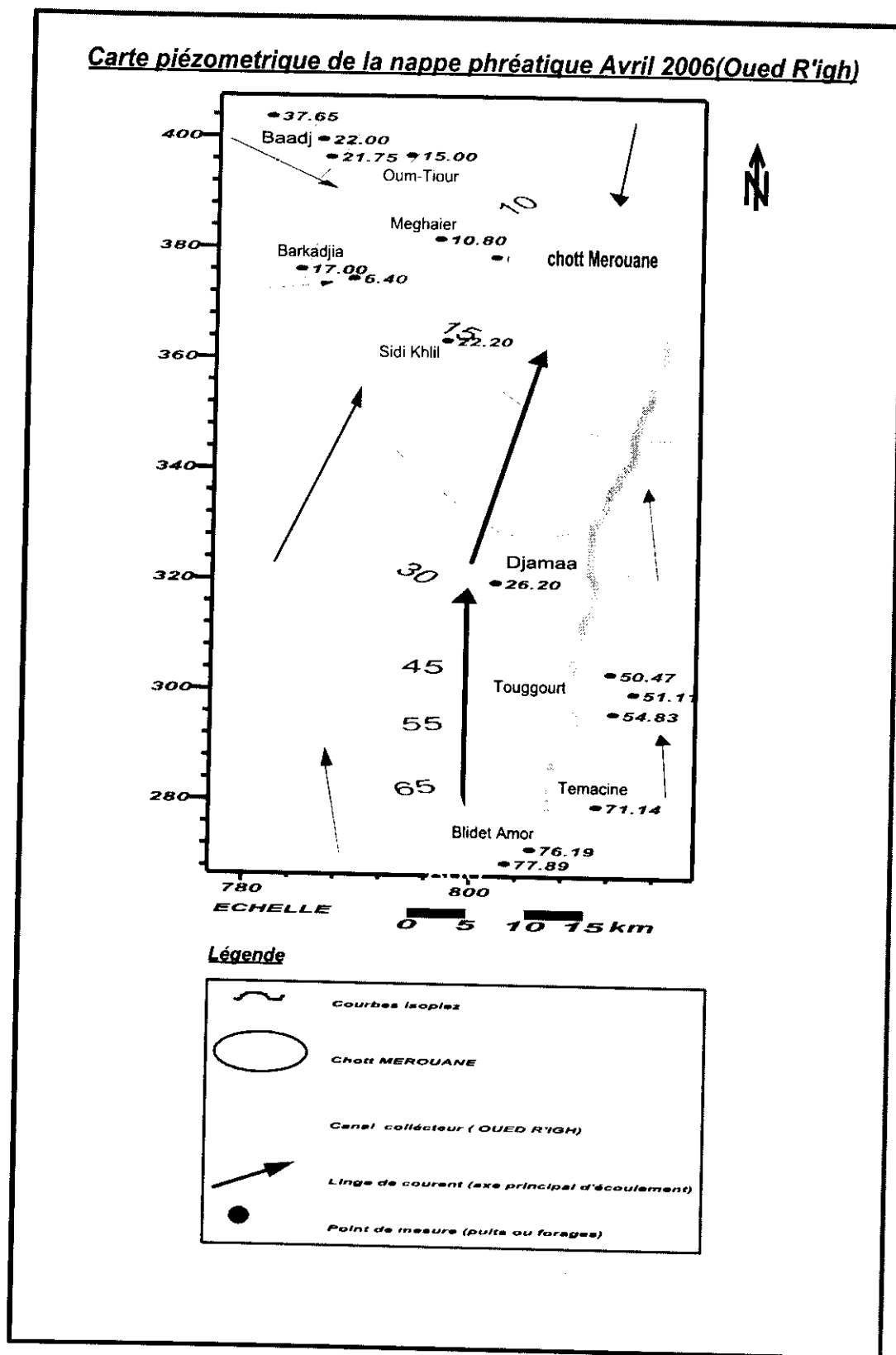


Figure. N°26 : carte piézométrique de la nappe phréatique (ANRH TOUGGOURT).

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 grès d'âge Mio-Pliocène caractérise la 1^{ère} et la 2^{ème} 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'âge Quaternaire à récent.

L'analyse de la carte piézométrique de la nappe phréatique et de la nappe Complexe Terminal montre un sens d'écoulement global 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 dans la nappe phréatique. La nappe Complexe Terminale (CT), présente un forte d'exploitation en fonction de temps atteint les 28 m en 10 ans

Conclusion générale

La vallée de l'Oued Righ fait partie du Bas Sahara, elle est connue par une population de cultivateurs et une production dattier exportable (variété déglet noir). Elle est connectée à un canal collecteur constituant le nerf principal pour la vie des oasis qui y existent de part et d'autre de la vallée. Administrativement, la région d'étude s'étale sur *deux wilayas*, celle d'El Oued au Nord comprenant les daïras d'El Meghair et Djamaa et celle d'Ouargla.

La géologie permet la description lithologique et stratigraphique, la connaissance des formations susceptibles de constituer de bons aquifères et le suivi de leurs évolutions dans l'espace. Le climat de la région est désertique ou hyper aride caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières, de l'ordre de 74.36 mm/an et ne jouent généralement aucun rôle dans la recharge directe des nappes, à l'exception des quelques orages violents qui génèrent des ruissellements. Les températures sont élevées, 22.39 °C en moyenne annuelle et 34.3 C° au mois le plus chaud, ce qui explique la forte d'évaporation.

L'humidité relative moyenne annuelle est de 48.67% avec 67% au mois de Décembre et 33% en Juillet. Tandis que L'évaporation moyenne annuelle est de 243mm.

La vallée d'oued Righ apparaît ainsi particulièrement pourvue en eaux souterraines mais l'étude hydrogéologique montre que la zone renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines. Elles constituent la richesse hydraulique de la région, elles sont contenues principalement dans deux grands aquifères, qui s'étendent au-delà même des frontières algériennes (Tuniso-libyenne): il s'agit des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT), dont l'accumulation ne peut être expliquée par le climat actuel. Dans la partie supérieure des formations continentales, une nappe non captive peu profonde vient augmenter ces réserves hydrauliques.

La multiplication des forages est la cause d'une chute importante des niveaux piézométriques entraînant la disparition de l'artésianisme du Complexe Terminal.

Annexes

Tableau. N° 1 : Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm (1975 -2015).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
1975	50,2	12,9	0	3,9	0	0	0	0	1,4	0	12,7	1,9	9,8
1976	19,7	16,5	34,5	0	1,6	0	0	0	7	5,3	21,4	1	8,9
1977	16	0	11,8	0,6	5,6	0	0	0	0,3	0	10,4	0	10,7
1978	12,6	18	0	0	1,8	0	0	3	0	1,5	0	8	44,7
1979	7,9	22,8	1,8	3,5	0,8	0	0	0	4,8	8	2,3	0	3,7
1980	10,1	14	64,7	10	0	0	0	0	0	4,3	0	0	44,9
1981	0	14,6	0,1	0	2,4	23,2	0	0	3,1	0	50,2	4	51,9
1982	0	6,4	6	40,4	0,6	0	0	0	0	0	0	0	12,8
1983	0	2,2	5,4	0,1	2,2	0,9	0	0	0	0,2	12,4	6,6	3,6
1984	2,5	0	5	0,6	0	0	0	0	0	11,7	1,7	18,9	6,0
1985	9,6	0	0,1	3,6	11,2	0,7	0	0	2,6	1,1	10	2,6	31,6
1986	0,6	0,7	37,6	8,1	2,2	0	0	0	0,6	14	0	5,9	30,9
1987	8,5	2,5	10,3	0	1	1,8	0	0	0,1	17,1	6,6	9	33,7
1988	0	1,7	0	0	1,3	4,1	0	0	5,2	6,9	0,1	0,3	7,4
1989	1,4	0,2	0	1	0	1,5	0	0	1	0,4	34,9	0,4	41,7
1990	60,2	0	6,8	17	29,4	0	0	13,4	1	0	5,2	1,2	54,5
1991	0	3,1	17,5	0,2	9	1,8	0,2	0	0	1	1	19,6	11,5
1992	34,7	0	23,1	18,8	23,7	0	14,4	0	3,3	2,4	5,5	0	148,4
1993	0	22,9	5,1	0	1	0	0	0	0	0	7,2	10,3	42,8
1994	4,6	3,2	10,8	6,3	0	1,1	0,1	1	1,4	6,8	12,2	4,8	132,2
1995	2,7	0	0	0	0	0	0	0	12,6	10	0	0	55,2
1996	42,7	21,2	16,1	0	2,1	0	0	3,2	31,3	0,9	1,9	21,4	48,7
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	4,9	0,3	0	0	61,4
1998	0	2,9	1,3	17,9	1,5	0	0	0	20,5	0,2	10,4	1,2	88,5
1999	89,0	5	22	5,1	10	4	2	0	5,1	19,9	2,6	13,7	64,2
2000	0	0	2	2	15,1	0	0	0	0	0	33,2	2	46,4
2001	41	0	1,1	1	0	0	14	0	1	17,5	0	7	118,1
2002	50	0	0	0,1	0	0	0	0	47	0	15	26,2	58,6
2003	20,8	4,3	13,9	0,2	7,2	0	0	2,1	3,4	68	84	0	141,2
2004	0	0	2	0,2	0	0	0	5	0	12,5	3,4	9,1	329,1
2005	0	4,1	0,8	0,2	15,1	1,4	0	0	0,1	17,5	0	0,7	69,2
2006	38,7	1,1	0	3,2	0	3,3	0	6,2	6,1	3,2	1,7	0,1	3,7
2007	0	0,3	0,8	41,5	0,2	0	0,2	2,2	14,5	14,2	2,7	6,6	25,7
2008	5,4	1,4	0	1,1	1,1	2,9	0,5	0,1	5	0,9	0,1	11,5	84,5
2009	89,9	0,3	25,2	10,5	5,7	0,1	0	29,8	3,4	29,8	3,4	6,1	77,1
2010	9,8	1,1	0,3	12,1	2,1	0	0	0	23,1	0,4	0	0,5	55,7
2011	0,1	0,8	8,3	4,5	4,2	0,2	0	1,7	2,4	1,7	0	0	155,7
2012	3,5	0	0	7,3	0	0,2	0	0,4	0,4	0,6	0	0,6	29,5
2013	0,9	1,6	5	15,5	0	0	0	3,4	3,4	2,6	1,4	0	21,4
2014	2,2	0	5,2	0	0,6	0	0	7,6	0	0,2	6,5	18,5	18,2
2015	0,9	42,9	12,4	0	0	0,3	0	0	6,1	0,9	7,5	1,9	55,8
Moyenne	14,32	5,54	9,0	6,60	5,48	1,35	0,76	2,15	6,74	6,74	8,97	5,41	24,7
totale	587,1	227	368,6	270,5	224,6	55,2	31,2	86,3	256,1	276,3	367,6	211,8	66,3

Tableau N° 02 : Les températures moyennes mensuelles et annuelles en C° (1975 -2015).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1975	9,2	11,7	14,8	18,8	24,6	28,8	32,6	31,5	29,2	20,2	13,1	10,9
1976	8,2	12,2	13,7	19,6	24,5	28,4	32,6	31,3	27,4	21,1	12,6	11,9
1977	11,7	15,3	17,5	19,8	24,3	29,4	35	32,2	26,9	21,3	15,6	11,4
1978	9,5	15	16,1	20,2	24,5	30,6	31,8	31,5	26,9	18,3	13,5	12,6
1979	12	13,9	16,5	18,4	24,2	30,6	32,7	32,9	26,2	23	12,9	10,3
1980	9,5	12,3	16	18,6	23,5	28,9	31,2	32,5	28,5	19,7	15,8	8,4
1981	8,1	11,2	18,9	21,1	26,1	30,5	32,5	30,7	28,1	22,2	13,9	13
1982	11,2	12,4	15,4	19,2	25	32,1	34,7	33,6	28,4	21,6	15,3	9,3
1983	7,4	11,6	15,4	19,2	25	32,2	33,4	33,6	27,7	21,6	17,2	10,2
1984	10,1	11,6	15	21,1	24,4	29,7	31,6	33,1	27,4	19,4	15,1	10,4
1985	9,4	15	14,7	21,6	24,6	31,7	33,7	32,3	27,3	21,5	17,2	11
1986	10,1	13,4	15	19,5	26,6	29,9	32,3	33,6	28,2	22,9	14,5	10,5
1987	9,1	13,1	15,5	21,5	24,7	31,4	33,9	33,7	29,5	23,5	15,1	12,9
1988	12,2	13	15,6	21,8	28,3	30,4	34,8	33,5	26,7	23,6	16,5	9,7
1989	9,3	12,4	17,2	20,2	25,1	29,1	32,6	34,6	29,9	22,1	17,3	13,5
1990	11,2	13,9	16,2	20	24,2	31,4	32,7	30,9	31,7	24,3	16,1	9,9
1991	8,9	11,7	17,3	18,7	21,1	29,3	33,5	32,5	30	22,2	14,2	9,6
1992	8,6	11,3	15,2	19,5	23,9	28,8	31,1	32,9	29	22,9	15,9	11,1
1993	8,7	11,2	14,2	20,5	26,3	32,5	33,8	33,2	28,8	23,1	15,9	10,5
1994	11,4	12,7	16,9	18,6	27	31,3	33,6	34	28,9	22,1	16,3	10,5
1995	9,8	14,6	15,9	18,9	26,7	30,5	33,7	33,7	27,1	22,7	15,7	13,7
1996	12,9	12,1	13,2	20,4	25,3	28,3	32,5	34,4	27,3	20,1	16	13,1
1997	11,8	13,8	15,4	19,6	26,2	33,3	34,9	33,3	27,9	22,8	16,4	12,5
1998	10,9	13,3	16,1	21,8	25,3	31,1	33,9	33,7	30,2	20,5	15,1	9,6
1999	11	11,35	16,85	21,95	29,55	33,9	34,25	34,05	31	25,45	15,6	11
2000	8,4	12,45	17,6	22,65	28,3	33,7	30,15	32,5	29,1	21,1	16,45	13
2001	11,3	12,2	20,9	20,6	26,4	31,85	35,45	32,5	29,95	26,8	16,6	10,9
2002	9,6	13,35	18,45	21,4	25,85	31,4	34,45	33,55	28,9	22,8	17,3	13,25
2003	11,5	11,5	15,8	22,2	27,1	31,5	35,9	33,3	28,9	25,4	16,1	10,7
2004	7,8	12,3	17,6	22,9	28,5	30,6	34	32,7	29,1	21	16,1	12,5
2005	8,7	10,2	17,7	21,5	27,9	31,4	28	33,4	28,4	23,7	16,8	10,1
2006	8,7	12,1	18,3	23,8	28,5	32	34,3	33,5	26,8	24,2	16	12
2007	11	14,8	16,1	20,2	26,6	32,8	34,8	33,8	30,4	23,5	14,4	10,3
2008	11,2	12,4	16,4	19,2	25,7	30,4	35,8	34,1	29,9	22,9	14,8	10,5
2009	11,2	12,4	16,4	19,2	25,6	31,4	35,2	34,3	27,2	21,6	15,5	13,6
2010	12,9	15,7	18,7	22,5	24,5	31,7	34,6	34,4	28,6	22,4	16,5	12,8
2011	11,6	12,2	15,9	22,3	24,9	29,6	34,8	33,4	31,3	21,6	16,6	12,1
2012	10,5	9,7	16,5	21,3	26,6	34	36,2	34,6	29,2	24,5	18,4	11,3
2013	12,1	12,3	19,2	22,3	26	30,1	34,4	32,1	29,8	26,6	16,4	11,1
2014	12,3	14,8	16,2	22,6	26,9	30,6	34,7	34,8	31,9	24,6	18,5	11,6
2015	10	11,5	16,1	22,6	28	31	33,4	34	29,5	23,7	16,5	10,8
MOYENNE	422,2	519,75	672,4	847,8	1058,3	1268,15	1373,1	1360,2	1189,15	924,65	645,75	464,05
	10,6	13,0	16,8	21,2	26,5	31,7	34,3	34,0	29,7	23,1	16,1	11,6

Tableau. N°03 : L'humidité moyenne mensuelle et annuelle en % (1975 -2015).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre		
1975	70	72	45	54	44	37	32	38	50	54	68	68	52.7	
1976	72	65	65	49	51	45	36	32	40	55	73	71	54.5	
1977	79	58	46	48	47	39	30	34	46	49	60	64	50.0	
1978	62	53	42	41	45	39	35	44	51	72	66	52	50.2	
1979	58	54	41	43	37	36	36	35	51	48	59	61	46.6	
1980	58	57	49	44	40	32	44	34	47	52	67	69	48.4	
1981	60	58	42	44	38	32	32	32	40	45	61	57	45.1	
1982	55	52	45	57	37	33	31	39	52	51	65	67	48.7	
1983	58	55	47	38	35	34	25	29	33	46	49	57	58.4	
1984	56	46	47	42	38	32	32	36	40	56	56	42.2	50.6	
1985	59	50	51	35	37	30	24	30	42	51	50	58	45.2	54.2
1986	53	50	53	47	39	39	35	29	51	57	72	69	43.1	51.7
1987	63	52	60	48	38	31	30	32	39	50	53	65	49.5	59.4
1988	54	49	39	38	39	39	46	32	37	53	68	76	46.8	56.1
1989	71	32	46	43	42	38	37	38	48	62	60	70	48.9	58.7
1990	77	64	55	50	56	38	35	48	29	45	68	74	53.3	63.9
1991	60	52	50	43	40	34	26	26	45	53	57	69	46.3	55.5
1992	73	60	59	49	46	33	33	29	36	39	65	67	49.1	58.9
1993	65	66	54	43	38	28	28	28	41	46	73	74	48.7	58.4
1994	63	52	54	43	36	42	33	38	50	58	67	67	50.3	60.3
1995	63	59	50	45	38	36	35	36	49	57	54	74	49.7	59.6
1996	69	57	53	46	39	42	34	35	44	51	54	51	47.9	57.5
1997	58	47	50	50	44	37	34	36	51	55	58	63	48.6	58.3
1998	64	59	43	37	39	32	29	36	49	57	60	63	47.3	56.8
1999	72	57	48	34	29	29	53	31	45	46	63	75	48.5	58.2
2000	73	55	45	37	45	34	38	33	33	56	56	61	47.2	56.6
2001	62	48	42	42	39	32	28	26	48	45	57	70	44.9	53.9
2002	67	55	46	41	39	29	33	34	41	48	55	60	45.7	54.8
2003	64	56	53	40	37	34	29	32	41	51	60	66	46.9	56.3
2004	73	55	45	37	45	38	34	33	41	58	56	61	48.0	57.6
2005	69	58	47	38	32	35	28	35	46	54	53	65	46.7	56.0
2006	66	57	39	37	32	25	29	35	44	47	58	72	45.1	54.1
2007	64	52	44	55	32	27	31	31	40	47	51	63	44.8	53.7
2008	64	53	44	30	34	40	30	36	46	63	67	72	48.3	57.9
2009	75.5	51.6	54.3	44.8	37.6	32	33	31.5	54.1	48.6	53.1	56.8	47.7	57.9
2010	62	48	44	45	38	28	29	33	47	49	55	56	44.5	53.4
2011	63	60	57	50	48	41	30	32	38	56	57	65	49.8	59.7
2012	59	52	45	42	37	29	24	26	33.9	43	53	54	41.5	49.9
2013	52	49	40	38	35	30	29	29	41	40	55	70	42.3	50.8
2014	65	56	57	41	38	35	32	36	40	42	54	65	46.8	56.1
2015	61	54	47	38	36	34	28	36	45	49	62	70	46.7	56.0
SOMME	2631.5	2235.6	1983.3	1766.8	1616.6	1410	1318	1375.5	1785	2104.6	2448.1	2668.8		
MOYENNE	65.7875	55.89	49.5825	44.17	40.415	35.25	32.95	34.3875	44.625	52.615	61.2025	66.72		

Tableau. N°04 : la vitesse du vent moyen mensuel et annuel en m/s (1975 - 2015).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1975	2	4	6	6	5	5	4	4	5	4	4	4
1976	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	4
1977	4	4	4	5	5	6	5	5	4	3	3	4
1978	3	4	4	5	6	4	4	5	4	2	3	4
1979	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3
1980	3	2	4	4	4	4	3	3	3	4	2	3
1981	3	2	3	4	3	4	3	2	3	2	3	2
1982	3	3	3	4	4	3	2	2	2	2	2	3
1983	1	2	3	3	4	3	2	3	2	3	3	4
1984	2	3	3	4	4	3	3	3	2	2	2	2
1985	4	3	3	5	5	4	2	3	2	2	2	2
1986	3	4	4	4	3	2	3	3	3	3	2	2
1987	3	2	3	4	5	5	2	3	2	3	3	3
1988	4	4	4	5	5	6	5	4	3	3	4	2
1989	3	4	4	5	5	5	4	4	4	4	3	2
1990	4	2	3	4	5	5	4	4	4	3	3	2
1991	2	3	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2
1992	1	2	3	4	3	3	3	3	2	0	3	1
1993	19	4.3	3.3	4.2	5.4	5	4.8	3.7	4.3	3.8	3	3
1994	2.6	2.5	3.5	3.1	2.3	3	5.1	1.9	2.1	1.9	3.7	1.7
1995	2.7	2.3	3.3	3.3	2.8	3.4	3.1	2.9	2.9	2.4	1.1	1.4
1996	2.6	3.9	2.3	3.1	3.3	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.5	2.7
1997	1.6	0.8	1.6	3.3	3.4	3.2	3	2.3	2.4	1.7	1.4	2.4
1998	2	1.8	2.5	3.3	3.8	3	2.1	2.2	3.2	1.9	2.6	2.3
1999	3	3	4	4	4	3	4	2.2	2.2	2.8	2.7	2
2000	2	0	4	5	4	4	4	0	4	4	4	2
2001	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2002	2	2	3	4	5	4	4	3	3	3	3	4
2003	3.9	3.4	2.5	4.4	4	4	4	4	3	2	4	3
2004	2.1	0	3.7	5.2	4.3	2.2	2.1	1.9	2.2	3.5	2.2	3.3
2005	2.3	3.3	4.3	4	3.9	3.2	3.1	2.6	3.3	2.7	2.5	3.0
2006	2.3	2.9	3.7	3.3	3.7	3.4	3.4	3.5	3.1	2.5	2.4	3.0
2007	1.1	2.5	3.7	4.1	3.6	3.5	2.9	2.9	2.6	2.6	1.5	3.2
2008	1.7	1.1	3.2	4.1	3	3.5	3	3.9	2.6	3.4	1.7	2.8
2010	3.5	4.2	3.5	3.2	4.7	4	3.7	3.2	3.3	3.2	1.7	2.9
2011	1.5	2.6	3.4	3.6	3.4	3.8	2.4	2.4	3.7	3.2	2.5	1.8
2012	2.3	2.8	2.4	3.7	3.3	2.4	3.5	2.9	2.6	2.3	2.2	3.0
2013	2.8	3.2	3.2	3.9	3.8	3.1	2.9	2.3	2.6	1.8	2.5	1.8
2014	4	3.2	4	4	4	3.8	2.6	2.8	2.5	1.8	2.3	2.7
2015	2.7	4.3	4.2	3.8	3.5	3.8	3.1	2.5	3.4	2.5	2.7	3.1
Moyenne m/s	2.7	2.9	3.6	4.1	4.2	3.8	3.4	3	2.4	2.7	2.3	3.1
									3.0	2.8	2.7	2.5

Tableau. N°05 : la durée d'insolation moyenne mensuelle et annuelle en heure (1975 - 2015).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
1975	174	174	291	243	301	372	381	344	267	313	234	205	260.4
1976	185	185	217	312	313	351	375	357	309	270	252	239	283.1
1977	226	266	307	300	329	378	341	347	330	279	264	257	301.5
1978	233	232	307	294	350	339	384	363	327	267	255	242	299.4
1979	202	190	260	309	335	303	381	353	267	239	267	264	280.8
1980	251	228	267	290	344	352	398	362	298	303	215	243	298.9
1981	274	250	271	272	336	311	351	343	286	303	283	248	293.8
1982	359	229	257	263	303	327	359	341	266	233	223	238	274.8
1983	222	240	246	240	251	312	334	294	290	268	226	261	269.5
1984	238	237	278	297	307	326	372	293	276	261	245	207	278.1
1985	219	224	263	247	313	332	362	345	281	273	217	206	273.5
1986	258	232	248	322	344	340	358	327	277	234	229	234	283.6
1987	235	235	283	295	286	259	299	328	302	265	249	201	269.8
1988	234	228	283	286	304	201	325	334	298	236	174	234	261.4
1989	231	212	287	283	339	332	365	274	261	247	245	224	275.0
1990	161	269	242	242	297	326	368	358	283	257	234	236	272.8
1991	238	239	225	284	326	308	345	366	273	233	249	194	272.5
1992	218	243	202	276	294	332	358	355	307	264	235	237	276.8
1993	244	210	283	318	324	310	360	326	283	233	191	244	277.2
1994	250	223	254	319	344	343	368	370	227	245	270	268	287.6
1995	279	268	279	309	334	336	368	315	237	277	249	226	289.8
1996	220	227	272	286	318	354	364	326	261	287	237	249	283.4
1997	233	262	321	263	334	328	355	320	264	281	261	246	289.0
1998	252	264	296	296	344	348	381	360	278	278	265	270	302.7
1999	294	261	300	308	335	328	351	300	269	280	204	227	280.6
2000	276	285	287	293	284	371	372	349	294	240	254	231	294.7
2001	256	263	299	310	221	345	344	349	266	270	223	225	280.9
2002	268	261	294	280	248	353	297	286	279	288	209	245	275.7
2003	207	229	273	274	311	370	355	366	291	207	243	231	279.8
2004	271	285	288	294	284	372	371	349	294	240	235	232	294.6
2005	253	237	229	283	325	313	330	322	272	272	235	239	275.8
2006	228.1	223.6	360	273.9	281.7	344	370.2	332.2	274.7	283.2	253	220.4	287.3
2007	259.7	209.5	284.6	234.7	339.9	329	376.1	313.2	266.8	261.2	275.3	233.7	282.0
2008	271.3	239.4	266	283.3	283.4	241.7	352.8	337.1	254.4	205.4	267.7	228.9	269.0
2009	205.4	253.2	266.1	320.8	358.5	344.1	361.7	346.7	267.3	313.6	264.2	251.6	296.1
2010	266.8	207.5	224.6	243.6	320.6	258.3	359	351.2	273.6	245.5	264.5	238.9	270.3
2011	262.8	244.8	263.3	300.5	310.8	321.3	368.8	352	275.8	282.9	240	247	290.8
2012	243.5	280.4	254.3	295.4	352.4	319.1	368.5	350.2	293.8	263.4	255.6	275.1	296.0
2013	256.5	260.1	260.5	281.2	332.9	325.3	362.2	341.1	283.9	280.3	258.8	197.6	286.7
2014	261.6	239.4	261.6	315	328.9	330.7	326	338.2	264.4	292	220.2	250.6	285.7
2015	232.5	219.9	303.4	300.7	360.2	309.3	383.4	312.9	262.5	278.5	275.5	255.4	291.2
Moyenne en heures	240.5	244.1	278.8	293.4	324.2	314.9	367.5	344.9	285.8	271.3	249.1	242.3	

Tableau. N°06 : L'Evaporation moyennes mensuelles et annuelles en mm (1975 -2015).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
1975	74	73	239	243	301	387	481	419	288	236	105	115	246.8
1976	84	126	149	234	338	420	465	515	342	288	117	121	266.6
1977	84	137	177	234	310	336	394	505	261	208	135	87	239.0
1978	121	101	171	252	264	276	363	381	303	121	81	140	214.5
1979	140	115	236	267	310	390	409	381	240	233	105	93	243.3
1980	103	121	212	261	290	410	380	333	288	194	111	115	234.8
1981	144	87	290	233	248	372	374	300	236	200	113	248	237.1
1982	86	78	179	208	332	458	422	479	276	211	130	83	245.2
1983	97	137	252	341	402	428	540	496	333	211	147	115	291.6
1984	127	222	207	292	427	431	376	563	359	197	158	155	292.8
1985	156	248	245	404	477	536	622	494	379	264	155	129	342.4
1986	148	226	217	303	330	364	461	421	270	146	146	120	262.7
1987	172	202	168	302	310	382	384	351	169	137	159	94	235.8
1988	177	164	247	330	449	422	417	388	283	236	154	91	279.8
1989	92	99	319	364	321	372	396	444	364	180	180	110	270.1
1990	68	130	192	227	259	433	439	317	355	257	81	100	238.2
1991	75	131	311	231	314	438	450	370	262	245	165	81	256.1
1992	60	108	186	314	371	458	448	478	358	325	128	108	278.5
1993	101	118	192	339	445	616	569	509	376	285	109	91	312.5
1994	133	194	258	316	463	433	478	422	310	162	126	130	285.4
1995	158	185	256	311	418	453	509	390	284	215	201	154	294.5
1996	118	159	271	340	409	415	496	472	337	230	117	174	294.8
1997	137	143	201	240	417	511	507	400	287	233	161	126	280.3
1998	121	137	264	344	404	443	451	498	415	237	157	121	299.3
1999	81	143	227	253	339	343	361	324	260	87	79	65	213.5
2000	599	100	167	275	283	341	298	295	260	147	99	112	248.0
2001	111	124	202	174	220	274	422	295	189	182	96	56	195.4
2002	66	106	160	208	285	304	298	272	190	139	130	90	187.3
2003	99.5	95.3	104	188.7	225.5	238	317	285	247	197	111	113	185.1
2004	54	100	168	275	283	299	341	295	261	147	99	112	202.8
2005	64	95	158	177	192	261	305	224	234	146	129	76	171.8
2006	49	102	176	192	201	295	319	248	160	158	84	55	169.9
2007	45	85	118	100	267	241	208	240	220	187	102	63	156.3
2008	51.8	33.9	115	202.7	233.7	371.2	332.9	216.7	160.7	82.1	78.4	52.3	161.0
2009	45	112.4	109	123.3	166.3	226.1	202.3	200	118.5	122.3	104.2	90.9	135.0
2010	69.6	122	142	158.5	182.5	273.8	305.4	284.9	190.1	140.8	163.8	52.3	2085.7
2011	95.7	110	128	183.9	167	224.6	387.8	361	298.8	143.8	131.8	86.9	193.3
2012	111.4	118.4	168	264.9	282	313.8	434	379.9	213.8	175.8	157	109.9	227.4
2013	138.2	171.5	229	281.2	299.4	356.8	377.5	271.6	254.9	242.3	131.7	58.2	2728.9
2014	140.7	151.1	141	256.3	282.9	312.2	349.5	344.7	304.3	266.8	169.2	111	234.4
2015	106.3	134.1	180	253	241.1	231.7	359.5	320	175.4	174.4	120.4	80.5	235.8
SOMME	4703.2	5344.7	8131	10496.5	12759.4	15090.2	16448.9	15182.8	11112.5	7989.3	5226.5	4285	198.0
MOYENNE	117.58	133.6175	203.275	262.4125	318.985	377.255	411.2225	379.57	277.8125	199.7325	130.6625	107.125	

