



UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des Sciences Appliquées

Département de génie civil et hydraulique

MÉMOIRE

MASTER :Professional

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Hydraulique

Spécialité : Foraged'eau

Thème :

**Contribution à l'étude d'adoucissement
des eaux Souterraines
(Cas de la Région d'Ouargla)**

Présenté par :

Khouadja Brahim & Ataouat Brahim

Soutenu publiquement

Le 07 / 009 /20119

Devant le jury composé de :

Baouia Kais	MC (A) UKM-Ouargla	Président	UKM-Ouargla
Mekhloufi.Nabil	MAGESTER -Ouargla	Examineur	UKM-Ouargla
Kateb Samir	MC (A) UKM-Ouargla	Encadreur	UKM-Ouargla
Merkhoufi A. Malek	MAGESTER -Ouargla	CO .Encadreur	UKM-Ouargla

Année Universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

J'adresse mes remerciement, en premier lieu, à mon bon dieu pour la volonté, la Santé, le courage et la patience qui m'ont donné pour mener ce travail à terme.

Je voudrais exprimer, par ce modeste travail, ma gratitude, ma reconnaissance, ma considération et mes grands remerciements à monsieur: Kateb Samir et Abdelmalik Merkhoufi d'avoir proposé, suivi et corrigé ce travail, ..., je Remercie Chaleureusement pour le savoir qu'il m'a enseigné.

Je remercie très sincèrement monsieur Baouia Kaisde m'ayant fait l'honneur d'accepter de présider le jury de cette thèse.

J'exprime également mes remerciements aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Enfin, j'exprime ma profonde reconnaissance, ma famille, mes amis et tous ceux qui ont contribué à réaliser ce travail

SOMMAIR

Sommaire	Page
Remerciements	
Sommaire	
Introduction générale	1
Chapitre I Présentation de la zone d'étude.	
I .1. Introduction	3
I.1 Situation géographique	3
I.2. Géomorphologie	4
I.3. GEOLOGIE	4
I.4. Contexte Climatique	5
I.4.1. Température	5
I.4.2. Précipitations	6
I.4.3. Vitesse du vent	6
I.4.4. Durée d'insolation	7
I.4.5. L'évaporation	8
I.5. Topographie Et Réseau Hydrographique	9
I.6. Les aquifères dans la région	9
I.6.1. Le Continental Intercalaire (CI)	10
I.6.2. Le Continental Terminale	11
I.6.3 Géométrie du CT	12
I.6.4. Piézométrie du CT	13
I.6.4.1.Recharge et conditions de recharge du CT	14
I.7. Les aquifères utiles dans la région d'Ouargla	15
Conclusion	16
Chapitre II Qualité des eaux potable.	
II.1. Généralités sur les eaux	18
II.1.1. Origine des eaux potables	18
II.1.2 Sels minéraux dissous dans l'eau	19
III.2.1 Les Eléments nécessaires	19
III.2.2 Les Eléments Indésirables	20
III.2.3 Les Eléments toxiques	20

III.3. Procédés d'adoucissement des eaux	20
III.3.1. L'échangeurs d'ions	21
III.3.2. L'Osmose inverse	21
III.3.3. Décarbonatations à la chaux	22
III.3.4. Décarbonatation au carbonate de sodium (Na ₂ CO ₃)	22
II2. L'entartrage et ses conséquences	23
II2.1. L'équilibre calco-carbonique	23
II3. Conséquences de l'entartrage	24
II3.1. Conséquences hydrauliques	24
II3.2. Conséquences thermiques	24
II3.3. Conséquences technologiques	25
II4. La dureté des eaux et ses conséquences	25
II4.1. Les principaux éléments responsables de la dureté	25
II4.2. Normes et recommandations	26
II4.3. L'impact de la dureté sur les utilisations domestiques	27
Conclusion	28
Chapitre III Généralité des systèmes d'alimentation.	
III. Introduction	30
III.1. Description générale du système AEP	31
III.1.1. Gestion	31
III.2.2. Canalisations	31
III.2.3. Le stockage	33
III.3. Synoptique de l'AEP d'Ouargla	34
III.4. Les ouvrage des productions	36
III.4.1. Les forages	36
III.4.1.1 Forages Albiens	36
III.4.1.2.Forages Sénoniens	36
III.4.1.3.Forages du Miopliocien	37
III.5.1.Les stations de déminéralisation	39
Conclusion	41
Chapitre IV Hydrochimie.	
IV. Introduction	43
IV.1. Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux	43

IV.1.1. Variations des concentrations chimiques des forages chaque nappe	43
IV.2. Les faciès chimiques	44
IV.2.2. Diagramme de Piper	44
IV.2.3. Surfer	48
IV.2.3.1. Les nappes Albain	48
IV.3.2.2. Les nappes Sénonien	50
IV.3.2.3. Les nappes Miopliocien	51
Conclusion	53
Chapitre V Les différentes méthodes. (Matériel et méthodes)	
V. Introduction	55
V.2. Matériels et Méthodes	56
V.2.1. Matériels	56
V.2.2. Prélèvement des échantillons	58
V.2.3. Le traitement à la chaux	58
V.2.4. Le traitement au carbonate de sodium	58
V.2.5. Appareillages d'analyse	58
V.2.5.1. Le pH-mètre	58
V.2.5.2. Le conductimètre	58
V.2.5.3. La dureté totale des eaux	58
V.2.5.4. L'alcalinité de l'eau	59
V.2.5.5. Dosage de calcium et de magnésium	60
V.2.5.6. Dosage des ions de chlorures	60
V.2.5.7. Dosage de potassium et du sodium	60
V.2.5.8. Dosage des ions sulfatent	60
V.2.6. Discussion des résultats	60
V.2.6.1. Adoucissement des eaux par l'addition de la chaux	60
V.2.7. Etude Théorique	62
V.2.8. Etude pratique	64
V.3. Adoucissement des eaux de nappe Albien par addition du carbonate de sodium	67
V.3.1. Etude théorique	67
V.3.1.1. Quantité de carbonate de sodium nécessaire	67
V.3.1.2. Précipitation du carbonate de calcium	68
V.3.2. Etude pratique	69

V.3.2.1.Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental en ajoutant de la chaux et de la soude	71
V.4.Les étapes du traitement de la dureté de l'eau par la chaux et la soude en excès	72
V.4.1.Ajouter de la chaux en excès	72
V.4.2.Etude théorique	72
V.4.2.1.La quantité de chaux nécessaire	72
V.4.2.2.Précipitation des ions calcium(CaCO_3) et magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)	72
V.4.3.Etude pratique	74
V.4.3.1.Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental par la méthode d'addition de chaux en excès	75
V.4.3.2.Traitement de dureté par addition de soude	76
V.4.4.Etude théorique	76
V.4.4.1.La quantité de soude nécessaire	76
V.4.4.2.Dépôt de carbonate de calcium (CaCO_3)	77
V.4.5.Etude pratique	78
V5. Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental par addition de chaux et de la soude en excès	80
Conclusion	85
Conclusion générale	87

Liste des Tableaux

Titre de Tableau	Page
Chapitre 01	
Tableau 01: Température moyenne mensuelle (°c), période (1993-2014) ANRH	5
Tableau 02 : Précipitations moyenne mensuelle (mm), période (1993-2014).ANRH	6
Tableau 03 : vitesse moyenne mensuelle des vents (km/h), période (1993 – 2014). ANRH	6
Tableau 04 : Durée moyenne mensuelle d’insolation en h, de la période (1993-2014) ANRH	7
Tableau 05: Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période (1993-2014.) ANRH	8
Chapitre 02	
Tableau 01 : Les concentrations admissibles dans l’eau potable	26
Chapitre 03	
Tableau 01 : Essentiellement de conduites par Matériaux	31
Tableau 02 : Essentiellement de conduites par Diamètre	31
Tableau 03 : ci-joint donne les noms des forages d’O Ouargla.	38
Chapitre 04	
Tableau 01 : Concentrations chimiques des nappes Albien	43
Tableau 02 : Concentrations chimiques des nappes Sénonien	44
Tableau 03 : Concentrations chimiques des nappes Miopliocien	44
Tableau .04: le forage la nappe Sénonien région d’Ouargla	45
Tableau .05: le forage la nappent Miopliocien région d’Ouargla	46
Chapitre 05	
Tableau 01 : Principales caractéristiques de la chaux (Ca(OH) ₂).	57
Tableau 02: Principales caractéristiques du carbonate de sodium (Na ₂ CO ₃)	58
Tableau 03 : Calcul de l’alcalinité de l’eau	59
Tableau 04 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de l’albien d’Ouargla (Hadeb 2)	61
Tableau 05 : Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental en ajoutant à la chaux seulement	66
Tableau 06 : Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental par la méthode d’addition de chaux et de soude seulement (nappe Albien)	71
Tableau 07 : Spécification pour l’eau de puits de (Hadeb 2) avant et après traitement à la chaux en excès	76
Tableau 08 : Les résultats du traitement à la chaux et à la soude en excès	80
Tableau 09 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de Sénonien d’Ouargla (forage Elkhafdj 4).	81
Tableau 10 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de Mio-Pliocène d’Ouargla (forage Matmoura).	83
Tableau 11 : Comparaison des résultats de traitement expérimental par la méthode d’addition seulement de chaux et de soude (nappe Albien+ Sénonien + Miopliocien)	85

Liste des Figure

Titre de Figure	Page
Chapitre 01	
Figure 01 : Carte de situation géographique de cuvette Ouargla.	3
Figure 02: Coupe géomorphologique schématique de la vallée d’Ouargla	4
Figure 03 : Températures moyennes mensuelles (C°), Station d’Ouargla (1993-2014) ANRH	5
Figure 04 : Répartition annuelle des pluies, Station d’Ouargla	6
Figure 05 : Vitesse du vent en (km/h), Station d’Ouargla	7
Figure 06 : Durée moyenne mensuelle d’insolation en heures, Station d’Ouargla	7
Figure 07 : Evaporation moyenne mensuelle	8
Figure 08 : Coupe hydrogéologique	9
Figure 09 : Coupe hydrogéologique transversale	10
Figure 10 : Carte piézométrique déréférence	10
Figure.11 : Coupe hydrogéologique transversale	11
Figure 12 : Coupe hydrogéologique transversale	12
Figure 13 : Carte des épaisseurs	13
Figure 14 : Carte piézométrique de référence	15
Figure15 : Récapitulatif des différentes nappes aquifères de la basse Vallée de l’Oued Mya	15
Chapitre 02	
Figure 01: Diagramme Répartition du gaz carbonique dans l’eau	23
Figure 02 : Diagramme Conséquences du tartre sur les installations hydrauliques	24
Chapitre 03	
Figure 01 : Plan des Réseaux d’ AEP de la ville d’Ouargla	32
Figure 02 : Situation des Réservoirs à Ouargla	33
Figure 03 : Synoptique de l’AEP d’Ouargla	35
Figure 03 : Situation des forages à Ouargla	37
Figure 04 : Situation Usines de Déminéralisation à Ouargla	40
Chapitre 04	
Figure 01 :Faciès chimiques des eaux la nappes albien de la région d’Ouargla	45
Figure 02 :Faciès chimiques des eaux la nappes Sénonien région d’Ouargla	46
Figure 03 :Faciès chimiques des eaux la nappes Miopliocien région d’Ouargla	47
Figure 04 :Courbes Salinité des eaux la nappes Albain région d’Ouargla	48

Figure 05: Courbes de TH des eaux la nappes Albain région d'Ouargla	48
Figure 06: Courbes de TAC des eaux la nappes Albain région d'Ouargla	49
Figure 07: Courbes Salinité des eaux la nappes Sénonien région d'Ouargla	49
Figure 08: Courbes TH des eaux la nappes Sénonien région d'Ouargla	50
Figure 09: Courbes TAC des eaux la nappes Sénonien région d'Ouargla	50
Figure 10: Courbes Salinité des eaux la nappes Miopliocien région d'Ouargla	51
Figure 11: Courbes Salinité des eaux la nappes Miopliocien région d'Ouargla	51
Figure 12: Courbes Salinité des eaux la nappes Miopliocien région d'Ouargla	52
Chapitre 05	
Figure 01: Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux Seulement	65
Figure 02: Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux Seulement	66
Figure 03: Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux et soude seulement	70
Figure 04: Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux et soude seulement	70
Figure 05: Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux en excès	75
Figure 06: Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux en excès	75
Figure 07: Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux et soude en excès	79
Figure 08: Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux et soude en excès	79

Introduction général

Introduction général

Les formations aquifères présentes à Ouargla appartiennent au vaste Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) qui s'étend sur une zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye.

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui sont habituellement regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) sont caractérisés par une concentration en certains ions dépassant les Valeurs recommandées par l'O.M.S.

De nos jours le phénomène d'entartrage est l'un des plus grands problèmes qui menacent l'avenir des infrastructures hydrauliques.

L'objectif de ce travail consiste à effectuer une étude de traitement par l'addition l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et carbonate de sodium (Na_2CO_3) afin d'obtenir une eau de dureté conforme à la norme de l'O.M.S.

Pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons développés les chapitres suivants :

- I- Présentation de la zone d'étude.
- II- Qualité des eaux potable.
- III - Généralité des systèmes d'alimentation.
- IV - Caractéristiques des eaux de La zone d'Etude
- V- Différentes méthodes d'adoucissement

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude.

I- Introduction

Dans ce chapitre ; nous présentons un aperçu sur le cadre physique de la zone d'étude en particulier sa situation géographique et son contexte climatique.

Ce dernier est un climat de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation. Pour nous présentons le contexte climatique de la région d'Ouargla, nous basons sur une synthèse des données disponibles entre 1993 et 2014. Ces données ont été fournies par l'office national de météo (ONM) en 2014.

I.1 Situation géographique

La ville de Ouargla se situe dans une dépression (cuvette), elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khouiled.

Cette dépression ou cuvette s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880): $X = 710\ 000$; $Y = 3\ 530\ 000$ et $X = 730\ 000$; $Y = 3\ 600\ 000$

Elle présente une superficie totale de 95 000 ha qui s'étale sur une longueur d'environ de 55 km Orientée Sud-ouest / Nord-est et limitée:

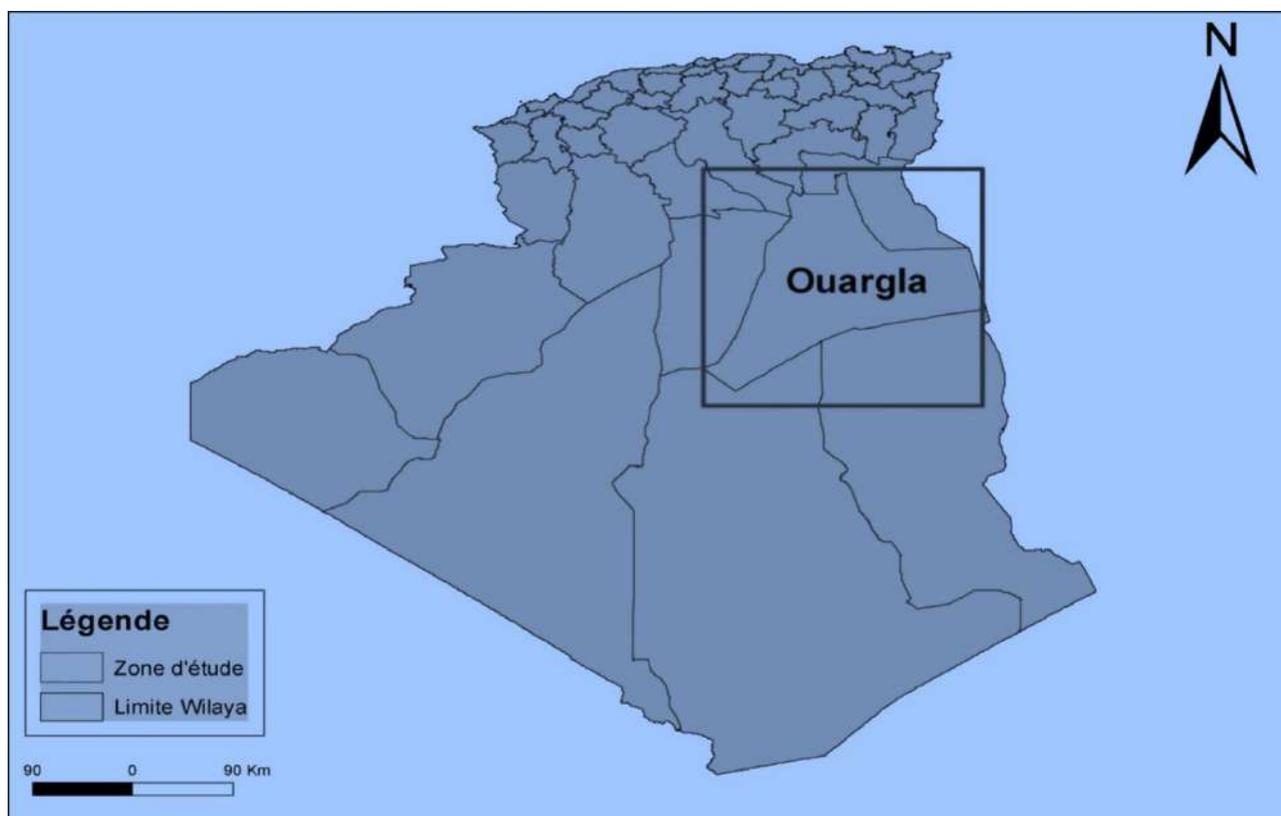


Figure 01: Carte de situation géographique de cuvette Ouargla.

Chapitre I Présentation de la zone d'étude.

- Au Nord par sebkhet Safioune
- A l'Est par les Ergs de Touil et Arifdji.
- Au Sud par les dunes de Sedrata.
- A l'Ouest par le versant et la dorsale de M'Zab (Fig. 02)

I.2 Géomorphologie :

La géomorphologie de la région d'étude est constituée des éléments suivants :

- * La hamada (plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses) Mio-pliocène et plioquaternaire: Formation continentale détritique qui forme des plateaux dont l'altitude est de 200 m en moyenne.
- * Les formations sableuses : composées de dunes et de cordons d'erg.
- * Les étendues alluviales correspondant au lit d'oued mya selon un axe SW-NE.
- * Les sebkhas : ceux sont des dépressions qui servent d'exutoire de la nappe phréatique. La plus grande Est la Sebkhha Safioune à l'extrémité nord, c'est aussi le point le plus bas de la région.

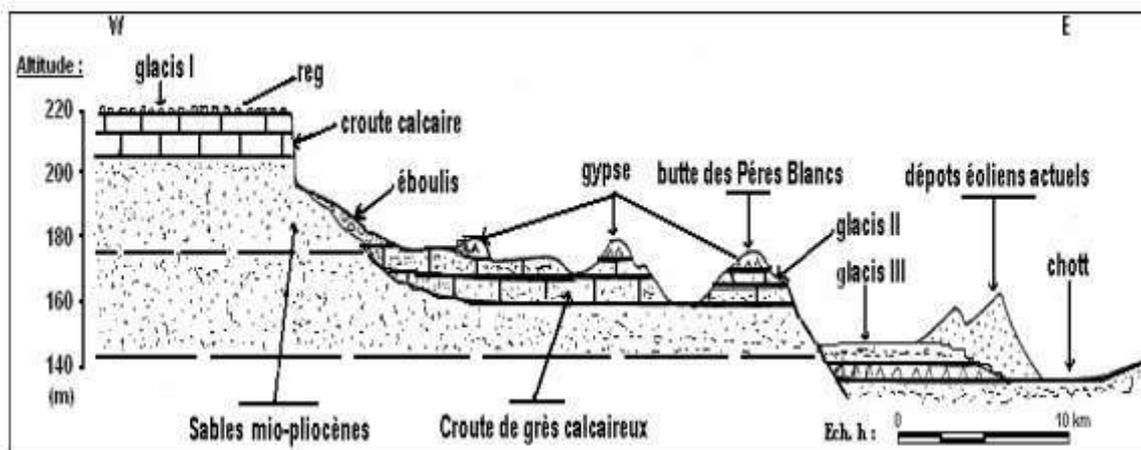


Figure 02: Coupe géomorphologique schématique de la vallée d'Ouargla.

I.3 GEOLOGIE :

La structure géologique du Sahara algérien appartient au vieux socle africain ; ce socle de roches précambriennes a été nivelé au cours des millénaires, et la mer recouvrait une grande partie du Sahara dès la fin du précambrien, au secondaire et encore au tertiaire. Ces transgressions marines expliquent en partie l'aspect du Sahara; le socle cristallin n'affleure que dans les massifs montagneux comme le Hoggar ou l'Atakora, la mer ayant déposé sur presque tout le socle un lourd manteau de sédiments: schistes et grès du primaire, calcaires, grès et argiles au secondaire, des sédiments néogènes dans le nord, arrachés à l'Atlas au tertiaire. Conséquences de cette formation,

I.4 Contexte climatique :

Ouargla est exposé à un climat désertique chaud, typique du Sahara, avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et très doux. Le climat y est hyperaride et très sec toute l'année puisque les précipitations moyennes annuelles avoisinent 45 mm. La sécheresse y est encore plus accentuée durant l'été où l'on enregistre 0 mm de précipitations entre juin et août. Cette ville-oasis étant encaissée, et très abritée des vents, elle devient vite une fournaise infernale, proche du climat d'Adrar et d'In Salah. En été, la chaleur est extrême et prend un caractère persistant : les températures moyennes maximales dépassent 45 °C en juillet (le mois le plus chaud) mais tournent plutôt autour de 50 °C entre juin et septembre. Les températures sont agréables et modérément élevées en hiver mais seulement la journée car dans les étendues désertiques, il n'y a rien pour retenir la chaleur et les températures minimales moyennes avoisinent 5 °C. Le ciel est dégagé et clair toute l'année et les journées couvertes restent très rares, si existantes. La température moyenne annuelle avoisine 25 °C à Ouargla.

I.4.1- Température

Les températures moyennes mensuelles (°C) de la période (1993-2014) montre que le climat de la région de Ouargla est type aride saharien, les températures sont très élevées en été, la moyenne des mois les plus chauds (Juillet et Aout) dépasse les 35°C et celle du mois le plus froid (Janvier) d'ordre 12,33°C

Tableau .01: Température moyenne mensuelle (°c), période (1993-2014). ANRH

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juil.	Aout
Moye (°c)	34,35	25,10	16,44	12,88	12,33	14,80	18,16	23,69	28,04	32,65	35,76	35,23

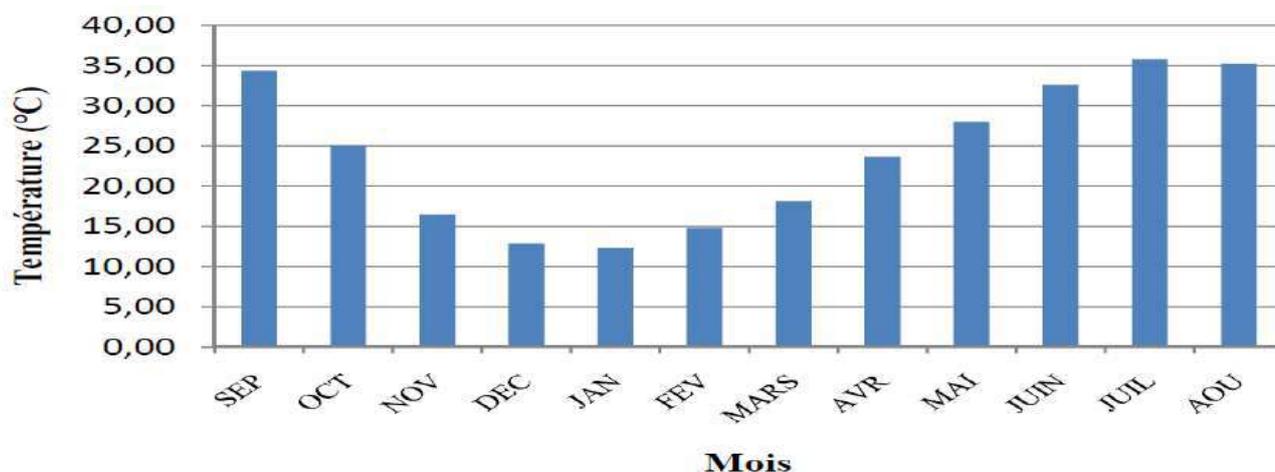


Figure03:Températures moyennes mensuelles (C°), Station d’Ouargla (1993-2014)

I.4.2 Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 39.65 mm, janvier est le mois le plus Pluvieux avec 7.00 mm, juillet sont les plus secs avec 0,17 mm.

Tableau02 : Précipitations moyenne mensuelle (mm), période (1993-2014).ANRH

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin	juil	Aout
Moy	3,91	5,90	5,63	3,70	7,00	1,18	5,59	1,28	3,01	0,45	0,17	0,89

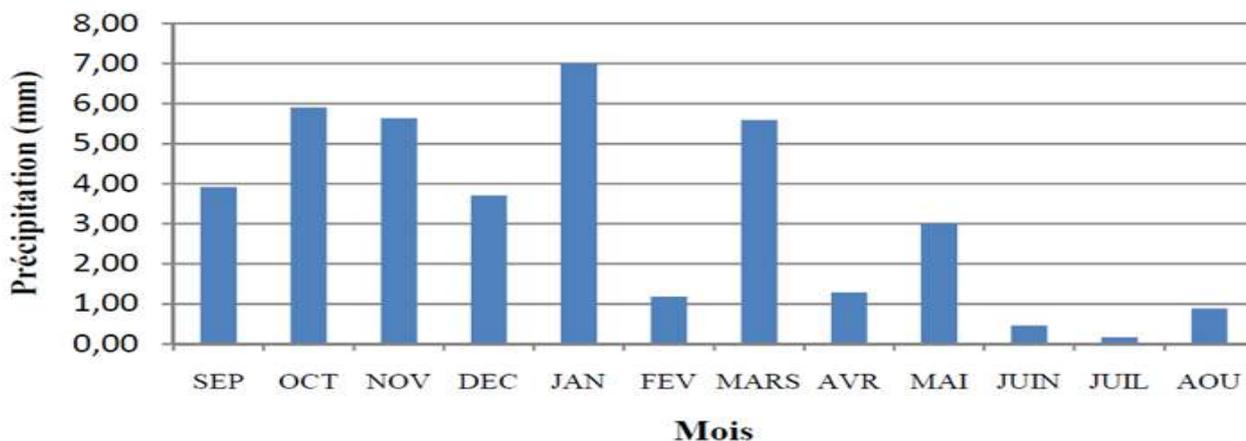


Figure04: Répartition annuelle des pluies, Station d'Ouargla (1993-2014) ANRH

I.4.3- Vitesse du vent

Dans la région d'Ouargla les vents soufflent du Nord-est et du Sud-ouest. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest, tandis qu'au printemps sont les vents du Nord-est et de l'Ouest dominant, en été ils soufflent du Nord-est et en automne du Nord-est et Sud-ouest Les vitesses de vent sont forte sur toute la période estivale (Avril) avec un maximum entre le mois d'Avril et Mai.

Tableau.03: vitesse moyenne mensuelle des vents (km/h), période (1993 – 2014).ANRH

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juil.	Aout
Moye(m/s)	19.3	15.9	13.8	14.0	14.4	16.3	16.5	20.9	20.0	16.9	18.1	16.7

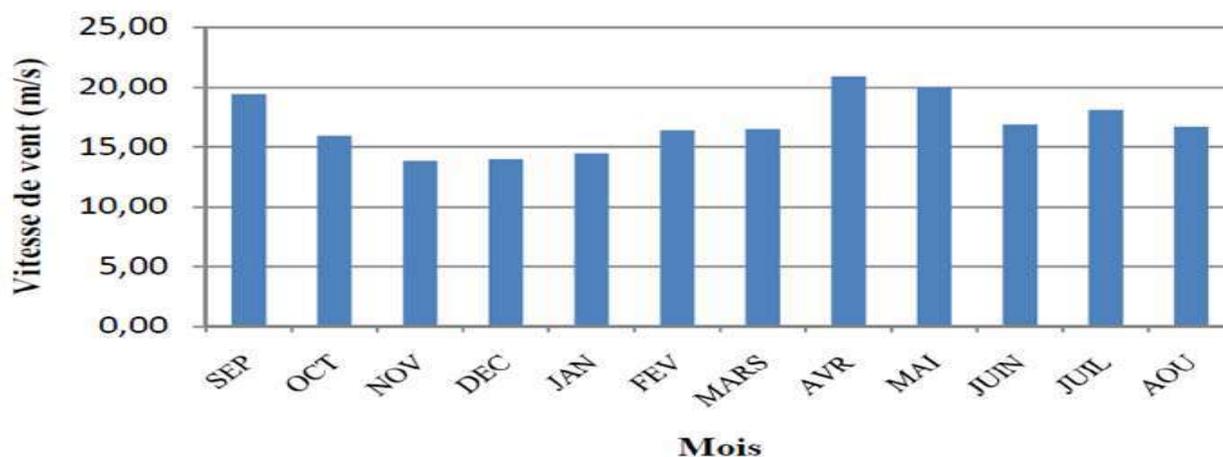


Figure 05: Vitesse du vent en (km/h), Station d'Ouargla (1993-2014) ANRH

I.4.4- Durée d'insolation

Dans La région d'Ouargla le maximum quantité de lumière solaire très forte est atteint au mois de Juin avec une durée moyenne de 189,7 heures, et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée moyenne de 116,00 heure.

Tableau04: Durée moyenne mensuelle d'insolation en h, de la période (1993-2014).ANRH

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juil.	Aout
Moye	154.1	149.4	126.7	116.0	140.9	139.1	138.6	161.6	167.1	164.1	189.7	188.4

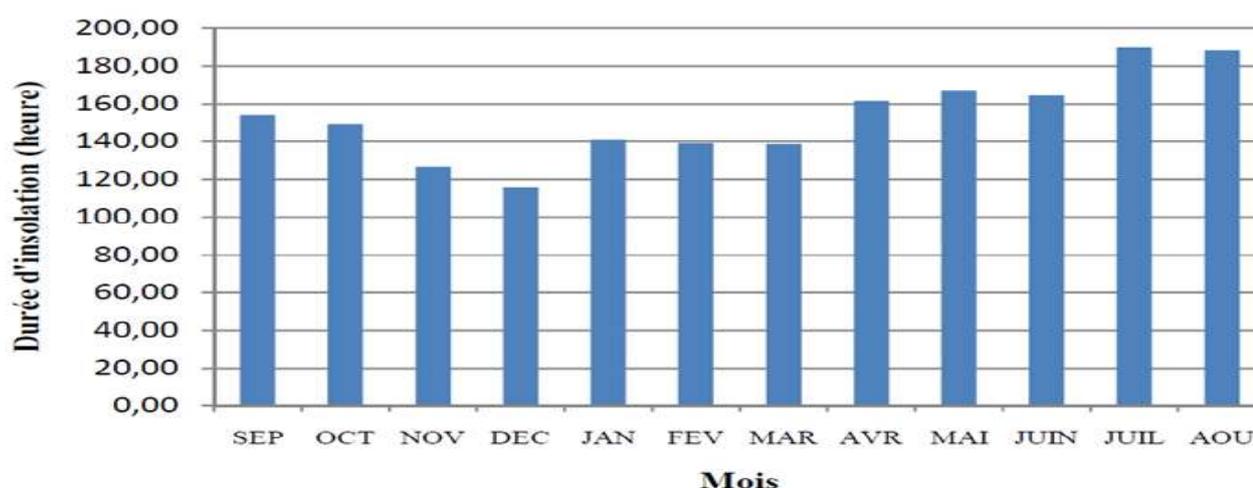


Figure 06: Durée moyenne mensuelle d'insolation en heures, Station d'Ouargla (1993-2014)ANRH

I.4.5- L'évaporation

L'évaporation est un phénomène physique, qui augmente avec la température, la sècheresse et l'agitation de l'air. Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre sous forme de vapeur à l'atmosphère sous des conditions climatiques et physiographiques. Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement, ...etc.

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des processus d'évaporation(phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique) on distingue alors l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) qui correspond à la quantité d'eau pouvant être restituée par la transpiration des végétaux et l'évaporation à partir du sol et l'évapotranspiration réelle (E.T.R) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée.

Tableau05 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période (1993-2014).ANRH

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juil	Aout
Moye	280.1	110.2	88.9	86.6	120.9	174.2	138.6	146.8	300.2	167.0	417.6	396.7

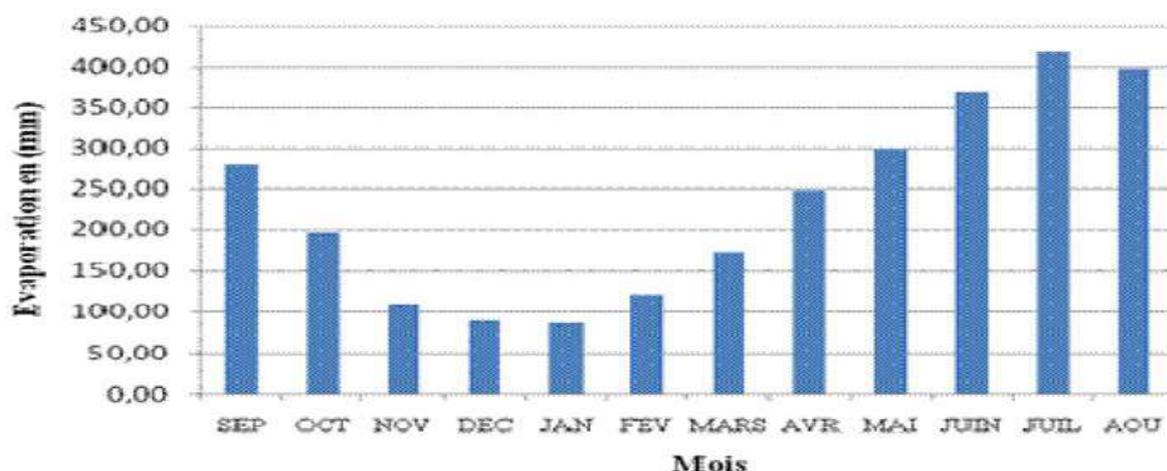


Figure 07 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm)ANRH

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 417.66 mm au mois de juillet et de 88.98 mm au mois de Décembre, soit 254.62 mm moyenne annuelle. Elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines.

I.5 Topographie et réseau hydrographique

La ville est à une altitude moyenne de 135-140 m NGA. On peut noter une légère pente du sud vers le nord (5m/km). En aval de Ouargla, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Safioune qui est à 103 m d'altitude point le plus bas de la région.

D'ouest en est, on observe le profil topographique suivant : A l'ouest, un plateau d'altitude avoisinant 220 m descend avec une pente prononcée sur les agglomérations secondaires de Khefdji et Bamendil. La palmeraie qui sépare ses agglomérations de la ville de Ouargla est légèrement en contrebas à 130 m puis le terrain remonte dans la ville entre 135 et 140 m avant de redescendre à la traversée de la palmeraie située à l'est de Rouissait pour rejoindre Ain Beida à l'est au environ de 135m d'altitude.

La direction de drainage générale est nord - sud. Le réseau hydrographique et les drains qui rabattent la nappe phréatique rejoignent finalement la première Sebkha.

La station d'épuration de la ville (lagunage aéré) est également située au nord de la ville à l'amont de la première sebkha.

I-6. Les aquifères dans la région

La région d'étude renferme un système d'aquifères qui renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Ce bassin se subdivise en trois sous Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra (Ould Baba Sy, 2005).

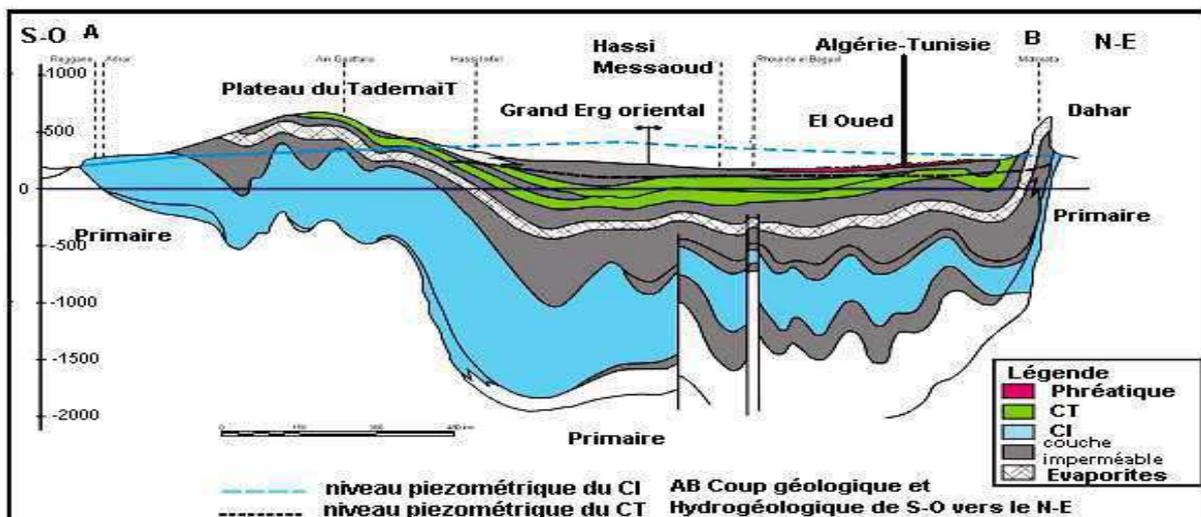


Figure. 08 : Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972)

I.6.1 Le Continental Intercalaire (CI)

La formation du "CI" est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche dont la profondeur atteint localement 2000 m et dont la puissance varie entre 200 et 400 m, à Ouargla, il est exploité entre 1 150 m et 1 350 m de profondeur. Il s'agit de la partie supérieure du Continental Intercalaire, l'Albien, essentiellement gréseux formant un important aquifère captif.

Les débits obtenus par forage dans cette formation sont importants de l'ordre de 100 à 200 l/s.

L'artésianisme a régressé dans les régions fortement exploitées (10 à 50m de baisse depuis 1950) mais reste important dans le secteur central du bassin, où il dépasse 150 m.

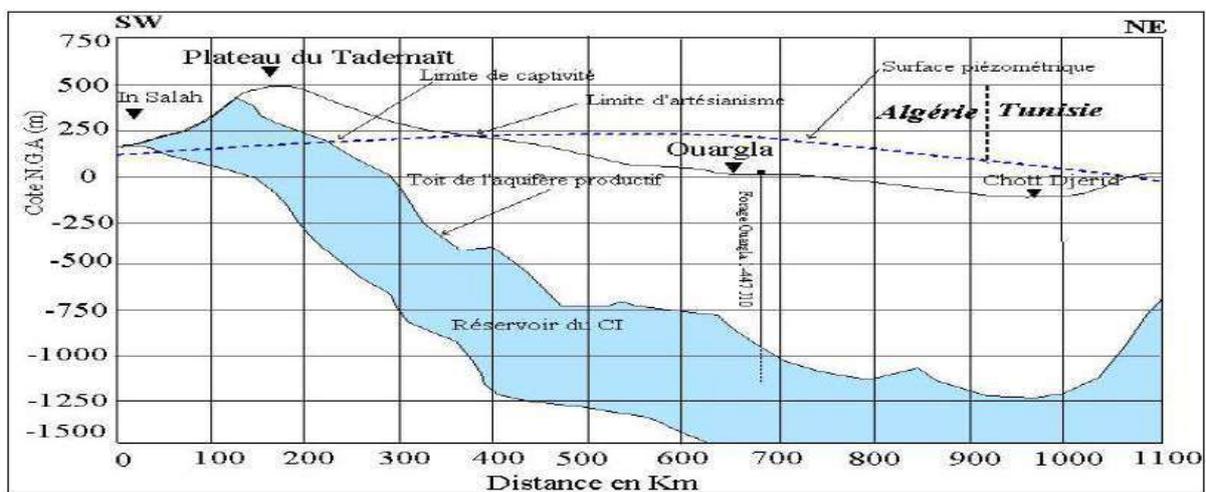


Figure 09 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)

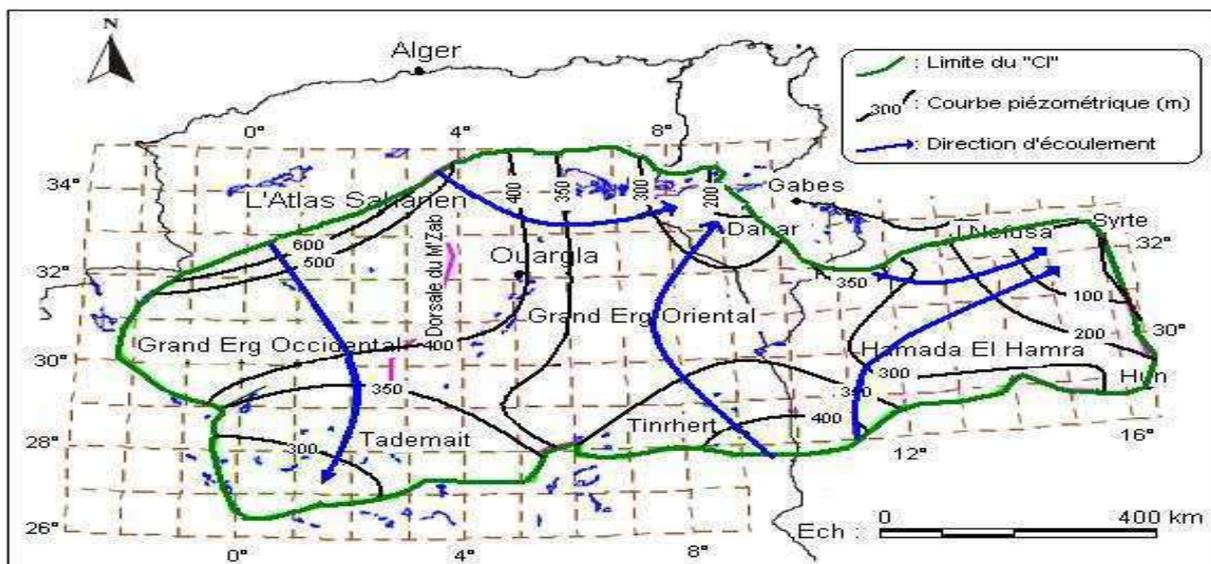


Figure.10 .Carte piézométrique de référence du "CI"(OSS, 2003)

I.6.2 Le Continental Terminal

La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Miopliocène est plus ou moins en relation avec les nappes sous-jacentes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe - la nappe du Continental Terminal - par opposition au Continental Intercalaire.

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. Dans la cuvette d'Ouargla le niveau piézométrique est voisin de 120 m NGA. Les niveaux piézométriques ont connu des abaissements importants ces dernières décennies ; L'artésianisme a disparu dans cette formation à Ouargla.

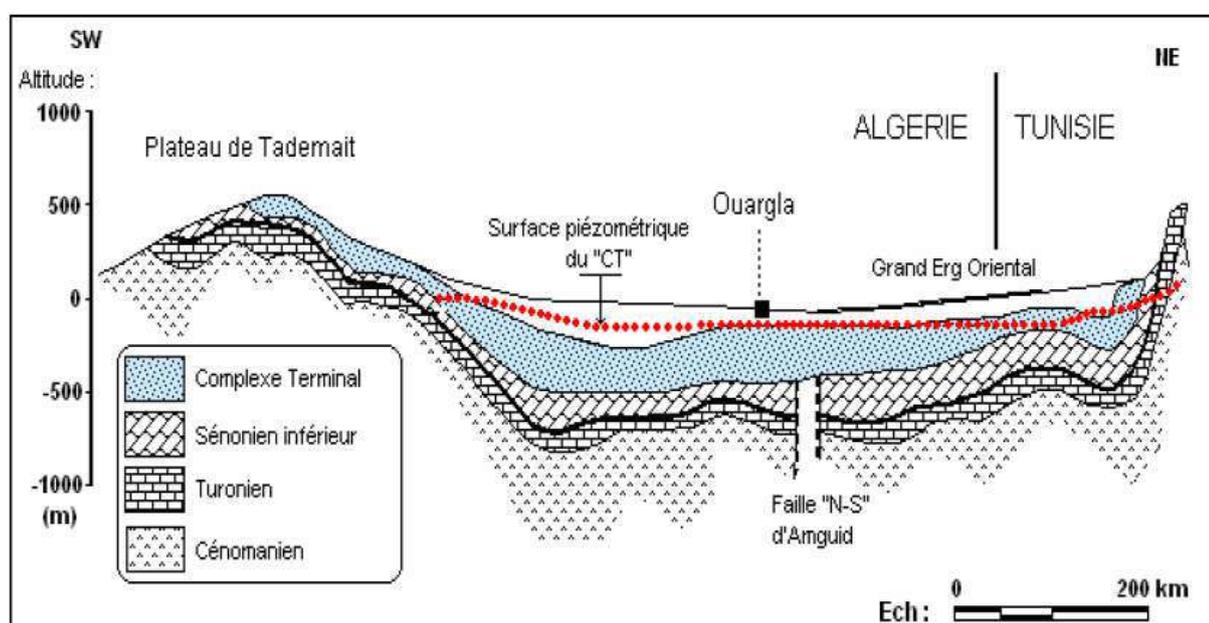


Figure 11 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

Les simulations effectuées sur le modèle du SASS¹ sont assez alarmistes :

<<Le secteur le plus exposé est celui des chotts algéro-tunisiens au "CT". C'est sans aucun doute la région où la nappe est la plus vulnérable. C'est là où se trouvent les plus fortes densités de population, et c'est là où la pression sur la ressource sera la plus forte.... La simple poursuite des taux de prélèvements actuels entraînerait, à l'horizon 2050, des rabattements supplémentaires de l'ordre de 30 à 50 m. Une telle situation serait inacceptable... : le risque de percolation du chott vers la nappe serait fatal pour cette dernière en terme de salinité.

¹OSS (2003) : *Système Aquifère du Sahara Septentrional*

La simple poursuite de l'existant, du moins dans le "CT", serait donc tout à fait inacceptable pour la région des Chotts. Là il faudra sérieusement envisager la réduction des prélèvements comme un Scénario plausible et s'y préparer d'ores et déjà... . La simple poursuite des rythmes de prélèvements actuels y constitue un danger potentiel majeur >>

Ces observations sont confirmées à Ouargla, en particulier sur la commune d'Ain Beida où les forages de Chott atteignent des salinités rendant leur utilisation impossible pour une alimentation directe du système AEP.

Ces baisses ont pour conséquence que de nouvelles ressources devront être substituées à celles actuellement exploitées.

I.6.3 Géométrie du CT:

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

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

Le « Complexe Terminal » affleure aux endroits suivants

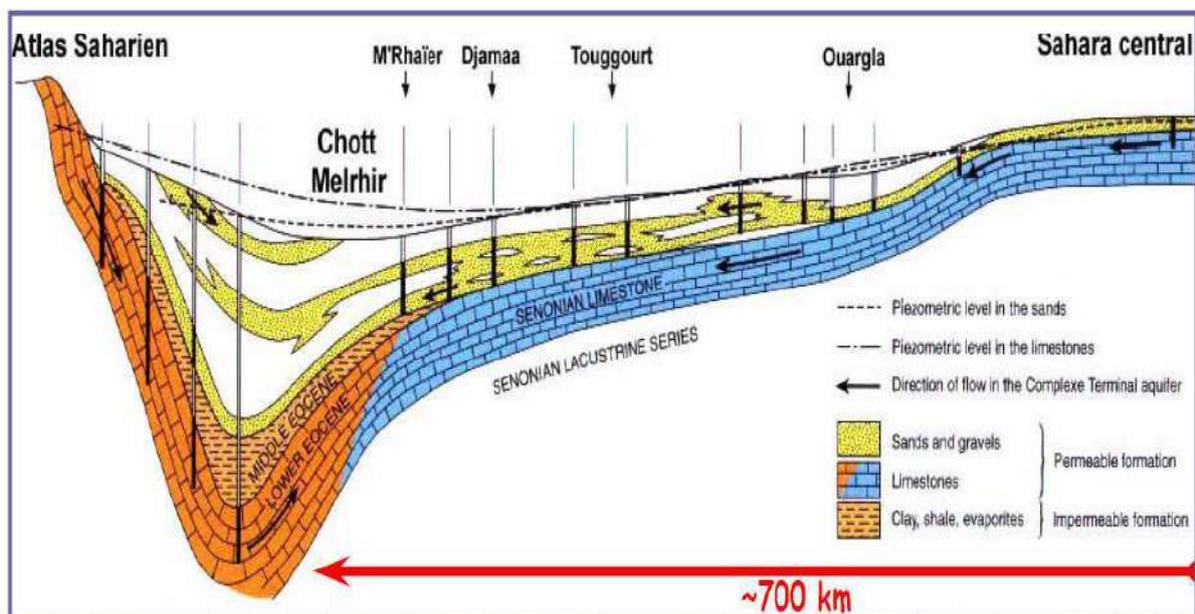


Figure 12 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

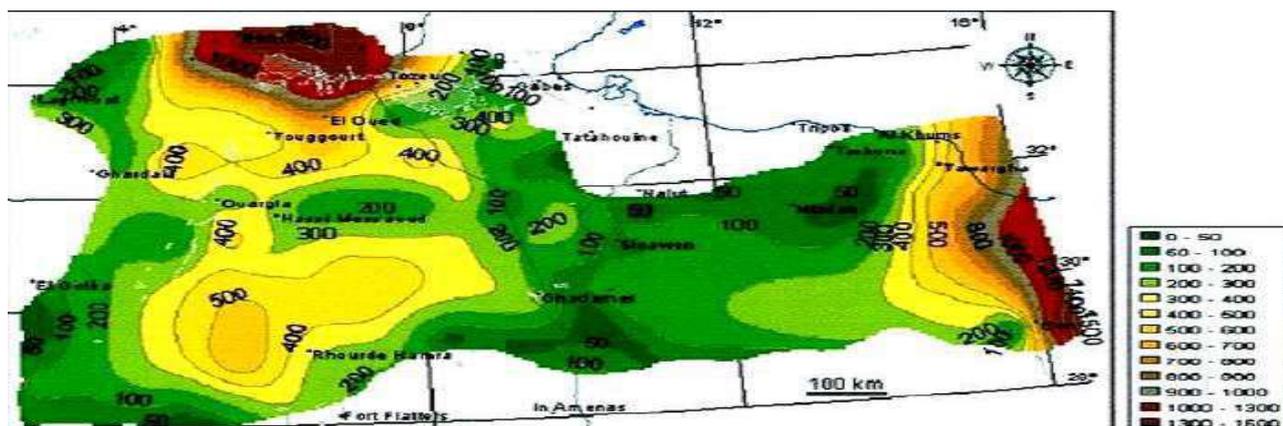


Figure.13: Carte des épaisseurs de CT (OSS, 2003)

I.6.4 Piézométrie du CT:

Comme pour le "CI", la construction de la carte piézométrique du "CT" est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis quarante ans, depuis la publication par Cornet, (1964) de la première carte piézométrique couvrant tout le Continental Terminal du Sahara. Parmi les contributions les plus significatives, on peut citer notamment Bel et Cuche, (1969) et le projet ERESS, (1972).

L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique initiale ou encore peu influencée par pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional.

Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (Oued Righ et Djérid) assez souvent en relais hydrogéologiques. Elle se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre, (OSS, 2003).

L'examen de la carte piézométrique met en évidence les zones d'alimentation, à savoir:

- L'Atlas Saharien du Nord-Ouest.
- Le Dahar à l'Est.
- Le Tinrhert au Sud.
- Le J. Nafusa au Nord-est

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

L'écoulement de cette nappe se produit:

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

- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des chotts et le golfe de Syrte.

I.6.4.1 Recharge et conditions de recharge du CT:

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

Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (BURDON, 1977; MARGAT & SAAD, 1982 et 1984 ; MARGAT, 1990), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (PIZZI et SARTOLI, 1984).

Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (DUBIEF, 1953).

Les précipitations exceptionnelles associées à certaines conditions de surface spécifiques (sols à grains grossiers) peuvent être particulièrement génératrices de recharges (GLENDON et HILLEL, 1988).

L'alimentation des nappes du Sahara septentrional, par exemple, se manifeste sur les bordures Nord du bassin lorsque trois conditions sont présentes :

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

I.7 - Les aquifères utiles dans la région d'Ouargla:

Trois aquifères utiles existent dans le sous-sol de la région d'Ouargla, de bas en haut Nous avons: (**Figure. 08**).

- Les grès et les argiles sableuses du CI, c'est la nappe dite "Albienne".
- Les calcaires de la nappe du Sénonien -Eocène carbonatés.
- L'ensemble détritique (sables et argiles) des formations continentales de la nappe du
- Miopliocène.

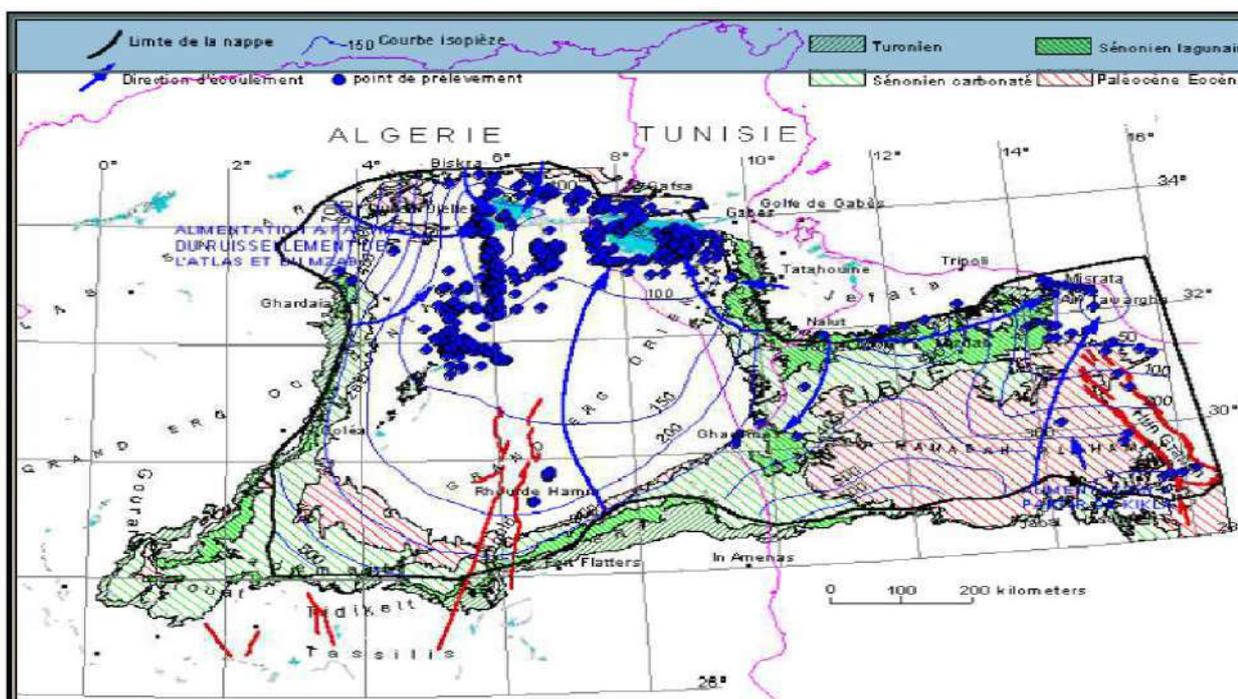


Figure 14: Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003)

Chronostratigraphie	Unités hydrogéologiques		Prof	Lithostratigraphie	Lithologie	
Quaternaire	Nappe phréatique		20m			
Tertiaire	Nappe du Complexe Terminal	Nappe des sables	120m	Mio-Pliocène		
		Impermeable		Eocène évaporitique		
		Nappe des calcaires (Sénono-Eocène)	520m	Eocène carbonaté		
		Impermeable	700m	Sénonien carbonaté		
Secondaire	Crétacé	Nappe du turonien	1000m	Sénonien lagunaire		
		Impermeable		Turonien		
		Nappe du Continental Intercalaire	Nappe de l'Albien	2000m	Cénomaniens	
					Albien Aptien Barrémien	

Figure. 15: Récapitulatif des différentes nappes aquifères de la basse Vallée de l'Oued Mya (ANRH.2004)

Conclusion

Ouargla est exposé à un climat désertique chaud, typique du Sahara, avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et très doux et un système d'aquifères qui renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

La situation géographique de Ouargla est considérée comme une zone de transition et de convergence entre les différentes wilayas du sud du pays, sa situation lui privilège d'être un pôle stratégique important dans le Sahara dans les années à venir.

Chapitre II

Qualité des eaux potable.

II.1 Généralités sur les eaux

L'eau est un composé chimique simple, liquide à température ambiante. A pression ambiante (1 atmosphère), l'eau est gazeuse au-dessus de 100 C° et solide en dessous de 0 C°. Sa formule chimique est H₂O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène [1]. L'eau se trouve presque partout sur la terre et elle est vitale pour tous les organismes vivants connus, près de 70% de la surface de la terre est recouverte d'eau, essentiellement sous forme d'océans. Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, un étang, une rivière, un ruisseau, un canal. La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique, le cycle de l'eau [1].

II.1.1. Origine des eaux potables

a-Eaux de source, eaux minérales : les eaux dites « de source » sont des eaux naturellement propres à la consommation humaine ; on parle alors d'eau potable. Les eaux minérales naturelles, possèdent des propriétés particulières : elles ont des teneurs en minéraux et en oligo-éléments qui peuvent leur donner des vertus thérapeutiques. Comme les eaux de source, elles ne peuvent être traitées. Elles sont d'origine profonde et de composition physico-chimique constante dans le temps, et satisfait à des exigences microbiologiques plus strictes que les autres eaux destinées à la consommation humaine (à l'émergence).

b- Eaux brutes : destinée à la consommation humaine, est prélevée dans un cours d'eau ou une nappe d'eau souterraine. Elle est ensuite acheminée vers une usine de traitement de l'eau où elle subit divers traitements physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques; Ressource en eau avant tout traitement de potabilisation va dépendre à l'autorisation de prélever cette eau pour la rendre potable et la filière de potabilisation appropriée. Ces eaux superficielles destinées à la production alimentaire doivent répondre à des exigences de qualité très précises et fixés par des organismes spécialisés

Les eaux brutes utilisables pour fournir de l'eau destinée à la distribution sont classées en trois

Catégories de qualité :

- A1, bonne ; traitement physique simple et désinfection
- A2, moyenne ; traitement normal physique, chimique et désinfection
- A3, médiocre ; traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection.

II.1.2 Sels minéraux dissous dans l'eau:

1.2.1 Les Éléments nécessaires :

1.2.1.1- calcium : Ca^{2+}

Le corps humain comprend un moyen 1,2 kg de calcium essentiellement dans le squelette; L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/L de calcium; Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul Inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces Peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations.[12].

1.2.1.2- Magnésium: Mg^{2+}

Éléments indispensables à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, leurs origines sont naturelles (dissolution des roches magnésites basaltes, argiles) ou industrielle.

(Industrie de la potasse de cellulose, brasserie). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Mais l'excès donne une saveur amère à l'eau. [12].

1.2.1.3- Sodium : Na^{2+}

Le sodium est un métal abondant, toujours associé à d'autres éléments chimiques. Il se trouve dans la majorité des eaux souterraines et de surface ; Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir d'apports industriels ou domestiques ; La concentration dans l'eau de boisson est normalement inférieure à 50 mg/l, mais elle peut augmenter au cours des traitements d'adoucissement (par échange d'ions) des eaux calcaires.

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût Désagréable et ne peuvent pas être consommées [12].

1.2.1.4- Potassium : K^+

Le potassium est un élément naturel des eaux, où sa concentration à peu près constante, ne dépasse habituellement pas 10 à 15 mg/l, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25 mg/l ; Le potassium règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules ; Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature .

1.2.1.5 - Chlorures : Cl^-

Fréquent dans la nature, sous forme de sel de sodium (Na Cl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl_2). L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportions très variables ; Indépendamment de la nature de la formation géologique traversée, la présence des chlorures peut être

Attribuée aux effluents des industries chimiques, à l'exploitation des puits de pétrole, des mines de potasse, aux drainages d'irrigation...etc.[12].

Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium.[12].

II. 1.2.2 Les Eléments Indésirables:

1.2.2.1-Fer : Fe²⁺

Le fer se classe en 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau. Les besoins pour l'organisme humain se situent entre 2 et 3 mg/j mais 60 à 70% seulement de la quantité intégrée sont métabolisés.[12].

1.2.2.2- Phosphates : PO₄³⁻

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières; Il existe sous forme minérale ou organique. Les formes chimiques sous lesquelles se rencontre le phosphore dépendent de l'acidité du milieu. Dans les eaux naturelles, de pH compris entre 5 et 8, seules les formes H₂PO₄⁻ et HPO₄²⁻ existent en quantités appréciables dans les eaux de surface. La teneur naturelle en

Phosphate ou ortho phosphate est de l'ordre de 0,1 à 0,3 mg/l. La présence de phosphore dans les eaux souterraines est généralement un indice de pollution.[12].

1.2.2.3-Nitrates : NO₃⁻ et Nitrites : NO₂⁻

Les nitrites et nitrates sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH₄⁺) (24) ; Ils sont extrêmement solubles; ils pénètrent le sol et les eaux souterraines où se déversent dans les cours d'eau par ruissellement. Ils constituent une des causes majeures de la dégradation des eaux à long terme ; Les nitrites sont formés par dégradation de la matière azotée mais ils sont rapidement transformés en nitrates dans les sources d'eau potable.

Dans les eaux, la quantité des nitrates maximale admissible est fixée de 50 mg/L; Chez les nourrissons, la réduction du nitrate en nitrite peut provoquer une méthémoglobinémie (inaptitude du sang à transporter l'oxygène).[12].

II. 1.2.3 Les Eléments toxiques :

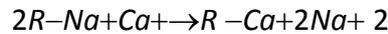
Les éléments toxiques dans l'eau ayant une incidence directe sur la santé, ils regroupent les métaux lourds (mercure Hg, plomb Pb, cuivre Cu, cadmium Cd²⁺ Chrome Cr²⁺), les pesticides et les hydrocarbures. Actuellement pour les éléments toxiques dans l'eau les teneurs tolérées sont de plus en plus minimales, parfois de l'ordre de micro de gramme par litre. [12].

II.1.3. Procédés d'adoucissement des eaux

Plusieurs procédés (physiques et chimiques) sont actuellement disponibles pour résoudre le problème d'entartrage :

II. 1.3.1. L'échangeur d'ions

Procédé destiné à éliminer la dureté de l'eau par l'échange d'ions, l'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement saturé en sodium (Na), qui s'échange avec les ions calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺), responsables de la dureté de l'eau [1, 9] :



II. 1.3.2. L'Osmose inverse

Les procédés membranaires (ultrafiltration, microfiltration, et osmose inverse) prennent une place importante et semblent être la technologie du futur pour ce type de traitement. En effet, ces procédés présentent les avantages suivants par rapport aux autres procédés [10]:

- Pas d'ajouts d'additifs chimiques et absence de boue.
- Réduction des frais d'exploitation (énergie, main-d'œuvre).
- Encombrement réduit
- Possibilité d'exploitation automatique du procédé.

Bien que ces techniques aient connu un développement industriel, leur essor est ralenti par les phénomènes intrinsèques aux techniques membranaires, du coût élevé des membranes, de la polarisation et du colmatage des membranes [11].

• Principe de l'osmose inverse:

L'osmose inverse est un phénomène observé quand deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane. Celle-ci laisse passer le solvant vers la solution la plus concentrée et arrête le soluté. L'égalité des potentiels chimiques ne pouvant se rétablir par diffusion du soluté vers le solvant, celle-ci va alors diluer la solution; la pression correspondante est appelée pression osmotique de la solution (p), le solvant passera du milieu le plus concentré au milieu le moins concentré, ce qui se traduit par une inversion du flux osmotique, d'où le nom d'osmose inverse.[10]

Une membrane sélective, sous l'effet d'une force de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare.

Les caractéristiques principales d'une opération d'osmose inverse sont:

-Le taux de conversion (Y), qui est par définition, la fonction du débit de liquide qui traverse la membrane en régime continu:

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0}$$

Y est le rapport entre le volume de perméat et le volume de produit à traiter initial.

-La sélectivité de la membrane qui est en général définie comme le taux de rétention R de l'espèce (sel, particule,...) que la molécule est censée retenir:

$$R = \frac{C_r - C_p}{C_r} = 1 - \frac{C_p}{C_r}$$

$r C$: Concentration de l'espèce à retenir dans concentrât (rejet).

$p C$: Concentration de la même espèce dans le perméat.

II.1.3.3. Décarbonatations à la chaux

Ce procédé est employé lorsque la dureté carbonatée est due essentiellement aux ions Ca^{2+} .

Pratiquement, l'addition de chaux entraîne la précipitation du $CaCO_3$ (chaux seule) et $Mg(OH)_2$ (chaux en excès), suite à l'augmentation du pH. La cinétique de cette réaction étant relativement lente, le procédé est accéléré soit par une recirculation des boues dans lesquelles se trouvent des germes de cristallisation

déjà formés, soit en ajoutant des cristaux sur lesquels le carbonate de calcium s'agglomère (sable par exemple).

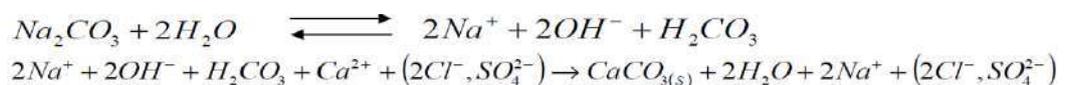


L'addition de chaux nécessite de prendre plusieurs précautions pour sa mise en oeuvre : l'eau ne doit pas contenir de colloïdes en suspension pouvant gêner la cristallisation. Il est donc parfois nécessaire d'ajouter un coagulant. La décarbonatation doit comprendre une zone de clarification appropriée pour séparer les cristaux de $CaCO_3$ de l'eau. Cette technique présente un inconvénient, à savoir la quantité de boues produites, mais celles-ci sont facilement déshydratées.

Pendant, il ne faut pas oublier les avantages de ce procédé : aisé à mettre en oeuvre et ne nécessitant pas l'utilisation d'équipements spécifiques. De plus, il n'est pas contraignant en exploitation, si ce n'est les inconvénients inhérents à l'emploi de la chaux.

II. 1.3.4. Décarbonatation au carbonate de sodium (Na_2CO_3)

Le carbonate de sodium a pour objectif de réduire la dureté permanente, c'est-à-dire, précipité le calcium lié aux chlorures et aux sulfates en solution :



II. 2. L'entartrage et ses conséquences

Le tartre, dépôt adhérent, est formé principalement par la précipitation du carbonate de calcium, environ 90 % du précipité global . Il est soit alcalin, principalement des carbonates de calcium et d'hydroxyde de magnésium ou non alcalin, principalement le sulfate de calcium qui existe sous trois formes: CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ et $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ces trois formes sont beaucoup plus solubles que le

Carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium. Donc, ces tartres ne se forment que dans le cas où la solution serait sursaturée en sulfate de calcium à des températures élevées.

II. 2.1. L'équilibre calco-carbonique

Les eaux naturelles, du fait de leur cheminement dans le sol et au contact avec l'atmosphère, contiennent un certain nombre d'éléments dissous:

- Des cations tels que Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+}
- Des anions tels que Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , etc
- Des gaz dissous, essentiellement CO_2 et O_2
- Du colloïde tel SiO_2 .

L'équilibre calco-carbonique permet de prévoir la tendance de l'eau à l'entartrage ou à la corrosion. Considérons une eau contenant du CO_2 et mise en contact avec du carbonate de calcium solide en excès, au bout d'un certain temps, un équilibre physico-chimique se produit :

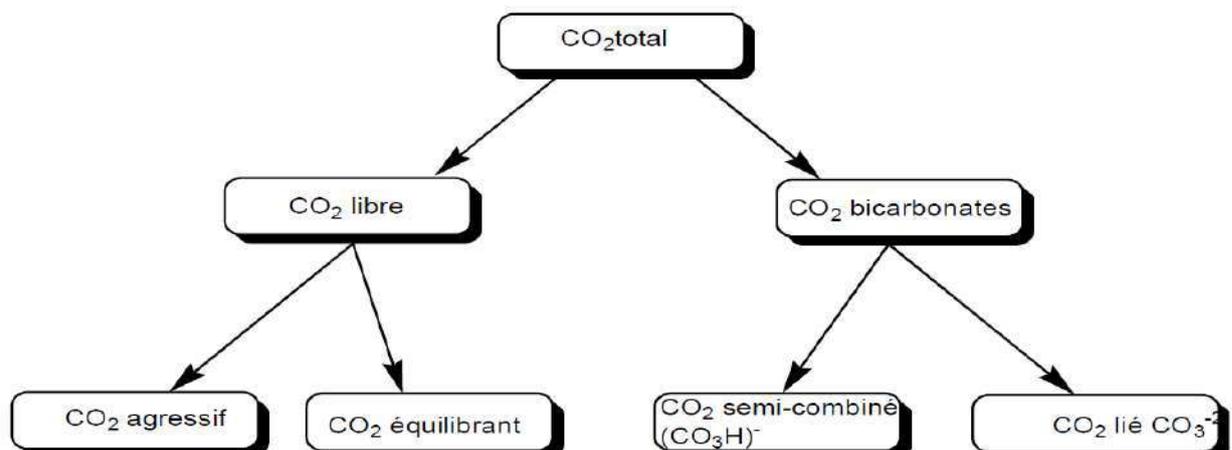


Le pH de l'eau dépend du rapport :

$$\frac{\text{CO}_2 \text{ libre}}{\text{CO}_2 \text{ deshydrogé nocarbonat e}}$$

Si la totalité du CO_2 contenue dans l'eau est supérieure à la concentration du CO_2 d'équilibre, son excès constitue le CO_2 agressif. Ce dernier, en détruisant les carbonates, empêche le dépôt carbonaté protecteur sur les parois métalliques en contact avec l'eau . comme l'indique le diagramme suivant:

Figure01: Diagramme Répartition du gaz carbonique dans l'eau



- $2 CO \text{ libre} = 2 CO \text{ équivalent}$ = absence de $2 CO$ agressif. Eau en équilibre.
- $2 CO \text{ libre} < 2 CO \text{ équivalent}$ = déficit en $2 CO$ agressif. Eau en incrustante.

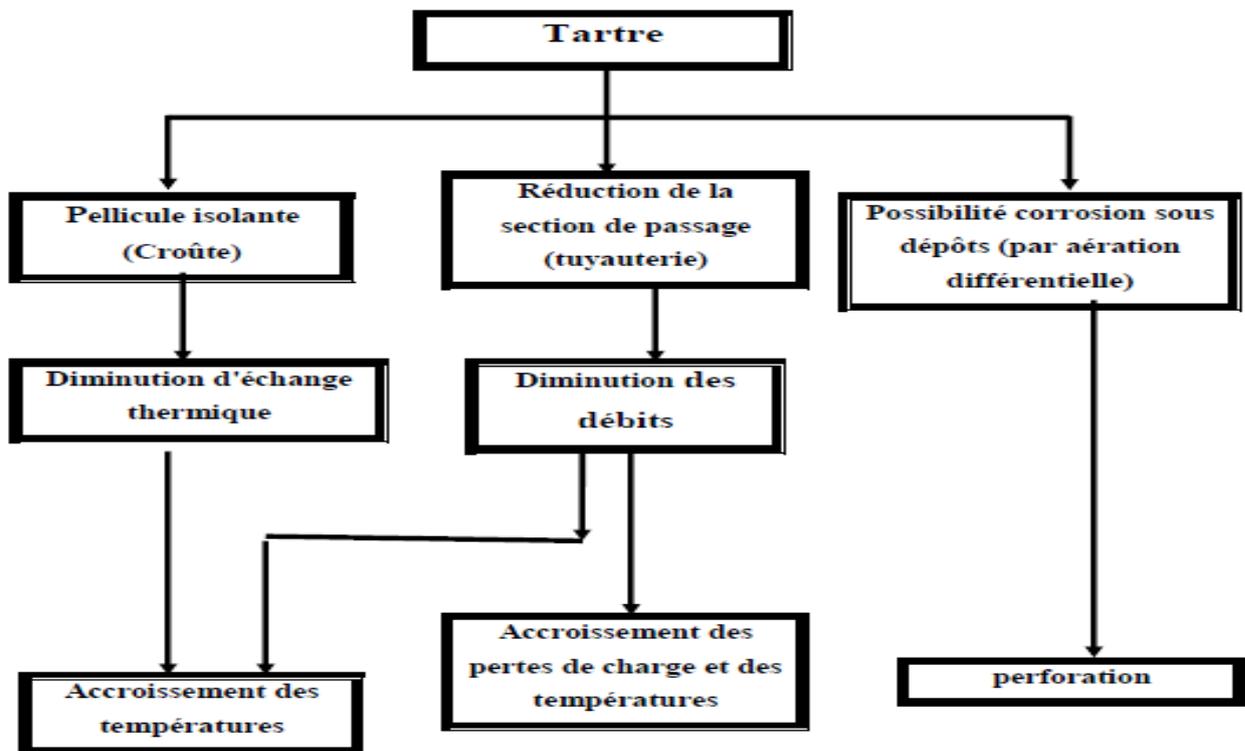
II.3 Conséquences de l'entartrage

II. 3.1. Conséquences hydrauliques

En réduisant les sections et en dégradant l'état des surfaces, ces tartres fortement adhérents, augmentent, à débit constant, les pertes de charge et par conséquent les dépenses énergétiques liées à la circulation des fluides. Déjà gênantes dans le cas de tuyauteries démontables et nettoyables, ces formations deviennent catastrophiques quand elles affectent les conduites enterrées.

Le tartre a également un pouvoir de corrosion (par aération différentielle)

Figure02 : Diagramme Conséquences du tartre sur les installations hydrauliques



II.3.2. Conséquences thermiques

Bien que le problème ne se pose pas dans la zone d'étude, tout dépôt au contact d'une paroi au travers laquelle se fait un échange thermique mène à une résistance de transfert. Si on veut maintenir constant le flux thermique à travers cette paroi il est donc nécessaire d'augmenter la différence de température entre la surface interne entartrée et les parois métallique externe.

II.3.3. Conséquences technologiques

On peut citer l'alourdissement des structures porteuses des tours de refroidissement, réservoirs, mais aussi l'alourdissement des équipements internes qui rendent plus difficile leur manutention. L'entartrage peut avoir pour conséquences technologiques.

- blocage des organes de manoeuvre des robinetteries,
- impossibilité d'obtenir l'étanchéité siège - clapet des robinetteries,
- blocage des soupapes de sécurité,
- diminution du volume utile des réservoirs,
- dégradations des états de surface des appareils sanitaires,
- entraînement de particules en suspension qui peuvent être abrasives,

II.4. La dureté des eaux et ses conséquences

Une eau est dite "dure" lorsqu'elle est chargée en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) et, par opposition, "douce" lorsqu'elle contient peu de ces ions. La dureté d'une eau s'exprime en degrés français ($^{\circ}\text{F}$). Un degré français correspond à une teneur en calcium et magnésium équivalente à 10 mg/L de CaCO_3 .

II. 4.1. Les principaux éléments responsables de la dureté

La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} . Les plus abondants étant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Les ions Fe^{2+} , Mn^{2+} et Sr^{2+} sont facilement oxydables et leurs impacts sur la dureté sont négligeables.

- **Le calcium**

Est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature. Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprissent entre 100 et 140 mg/l. La directive de l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 200 mg/L.

- **Le magnésium**

Est un des éléments aussi très répandus dans la nature, il constitue environ 2,5 % dans l'écorce terrestre. La directive de la communauté européenne recommande un niveau guide de 30 mg/l et l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 85 mg/l.

Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à 1,5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine la lixiviation des terrains traversés, ou les pollutions industrielles; dans les eaux de distribution, il provient le plus souvent de la corrosion des conduites d'aménées. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage.

En pratique on considère souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et la dureté magnésienne:

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

On distingue deux types de dureté, carbonatée ou temporaire et non carbonatée ou permanente. L'eau peut être classé suivant son degré de dureté:

- Eau douce, de 0 à 60 mg/l de CaCO₃,
- Eau modérément dure de 60 à <120 mg/l de CaCO₃
- Eau dure, de 120 à <180 mg/l de CaCO₃
- Eau très dure, 180 mg/l et plus de CaCO₃

II. 4.2. Normes et recommandations

Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et en outre répondre à des critères organoleptiques essentiels (incolore, insipide, inodore, fraîche) appréciés par le consommateur (tableau 1). L'organisation mondiale de la santé a édicté des normes

Internationales pour l'eau de boisson, qui comprennent un exposé général des normes bactériologiques, physiques, chimiques, biologiques et radiologiques.

Tableau 01. Les concentrations admissibles dans l'eau potable.

Eléments	Unité	O.M.S
pH	-	7-8.5
Conductivité	µS/cm	-
Dureté	°F	-
Ca ²⁺	mg/L	200
Mg ²⁺		150
Na ⁺		-
K ⁺		-
Al ³⁺		200
SO ₄ ²⁻		200
Cl ⁻		44
NO ₃ ⁻		-
NO ₂ ⁻		-
NH ₄ ⁺		-

II.4.3. L'impact de la dureté sur les utilisations domestiques

L'eau dure n'est pas mauvaise pour la santé. Au contraire, il semble que les populations alimentées en eau naturellement dure sont moins sujettes à l'infarctus du myocarde. En revanche, l'eau adoucie peut présenter certains inconvénients tels que pour des localités ayant des anciennes canalisations en plomb induit à la solubilité du Plomb.

L'utilisation domestique des eaux dures pose les principaux problèmes suivants:

- Entartrage des appareils et des canalisations d'eau.
- Consommation d'énergie
- Consommation de lessive

Depuis la première exploitation des eaux géothermales, aucun traitement n'a été entrepris pour résoudre le problème d'entartrage dans la région d'Ouargla. La décarbonatation successivement à la chaux, Ca(OH)_2 (traitement de la dureté carbonatée) et au carbonate de sodium, Na_2CO_3 (traitement de la dureté non carbonatée), semble la plus appropriée. Elles sont d'application facile, sûre et économique, comparativement à la résine échangeur d'ions, grand consommateur de produits chimiques de sa régénération. L'osmose inverse, concurrente de la nano filtration. Est d'une perméabilité non sélective. et s'accompagne, comme l'électrodialyse, d'une forte consommation d'énergie. Les inhibiteurs (l'hexamétaphosphate), malgré leur efficacité. sont très coûteux et contenant des métaux lourds. Le recours à l'hydroxyde de sodium est déconseiller du fait de sa contamination par le mercure. La décarbonatation au CO_2 . Est très coûteux si la source est industrielle alors que la source naturelle (air), moins chère, risque d'être polluée.

Les inhibiteurs les plus utilisés actuellement sont les phosphates moléculaires déshydratés, les phosphates bimétalliques à base de zinc, les ortho phosphates et les produits à base de silicate. Ces produits sont utilisés seuls ou en mélange.

Il existe des publications sur les mêmes problèmes dans les pays limitrophes, telles que: Rousset Etal (2000) qui a utilisé le poly phosphate de sodium dans les réfrigérants au Sud de la Tunisie, pour réduire la sédimentation.

Conclusion :

En raison de la qualité de l'eau potable qui dépassent la salinité de 3 g / l, provoquant des problèmes au niveau des différents systèmes d'eau dans la ville de Ouargla,

Depuis la première exploitation des eaux géothermales, aucun traitement n'a été entrepris pour résoudre le problème d'entartrage dans la région d'Ouargla. La décarbonatation successivement à la chaux, Ca(OH)_2 .

Chapitre III
Généralité des systèmes
d'alimentation.

III. Introduction

L'analyse du fonctionnement général des systèmes d'alimentation d'une ville permet de comprendre l'organisation et la gestion.

Généralement l'alimentation en eau potable des quartiers de la ville de Ouargla se fait à partir de forages situés au sein même du quartier et renforcée à partir des zones limitrophes en cas d'insuffisance. Il est à noter que les réseaux de toute la ville sont maillés (avec des vannes de sectionnement) qui, avec le temps et les différents travaux de voirie sont devenues inaccessibles.

Compte tenu de la configuration du relief plat de la ville et de la difficulté d'assurer une bonne pression dans les réseaux (hauteur limitée des châteaux d'eau due aux problèmes de stabilité des sols) les responsables ont jugé utile de raccorder plusieurs forages sur les réseaux de distribution (en injection directe), soit des forages Albiens (artésiens), soit en utilisant des groupes électropompes immergés dans les forages. Cette situation provoque un déséquilibre dans la distribution de l'eau surtout pendant les heures de grande consommation et influe beaucoup sur l'état de fonctionnement des pompes. Cette pratique est possible mais elle nécessite des équipements adéquats (à savoir des pompes à vitesse variable) qui régulent le débit en fonction des besoins.

L'existence de plusieurs réseaux dans la ville, le non isolement des anciens réseaux réhabilités ou en cours de réhabilitation (3 à 4 réseaux par endroit) rend le réseau très complexe, très long et engendre des difficultés d'alimentation de ces réseaux compte tenu des divers branchements en service sur pratiquement tous les conduites existantes. Le réseau de la ville d'Ouargla est du type maillé sur toute la superficie ce qui complique beaucoup la gestion compte tenu de la taille de la ville.

La distribution d'eau potable à Ouargla est, selon l'exploitant, pratiquement partout 24h/24, néanmoins certains quartiers connaissent des perturbations dans la distribution du fait de la non utilisation des vannes de sectorisation qui sont inaccessibles.

Il faudrait pouvoir repérer, éventuellement changer ces vannes pour pouvoir les manipuler pour une gestion optimale de la ressource.

III.1 Description générale du système AEP

Des ouvrages de production et les réseaux, on décrit le système et son fonctionnement général.

III.1.1 Gestion

L'ADE unité d'Ouargla est composé de 3 centres de distribution d'eau. Chaque centre gère son secteur de distribution sous la direction de l'unité. Il revient à chaque centre de faire l'entretien des réseaux, des équipements hydrauliques et hydromécaniques, la réparation des fuites, la relève des compteurs et la distribution des factures. Ces centres sont respectivement:

- Centre ville Ouargla
- Centre Rouissait
- Centre Ain Beida

III.2-2 Canalisations

Les conduites d'adduction et de distribution sont des vecteurs de transport qui permettent de relever la production d'eau aux zones de consommation et constituent le cœur du réseau matériel ; et leur bonne connaissance est la base d'une bonne gestion.

Installées souvent depuis des décennies leur détérioration entraîne des pertes et des disfonctionnement dans les approvisionnements des populations.

Le linéaire total des réseaux d'alimentation en eau potable de la ville d'Ouargla est de l'ordre de 760000 MI à ce jour.

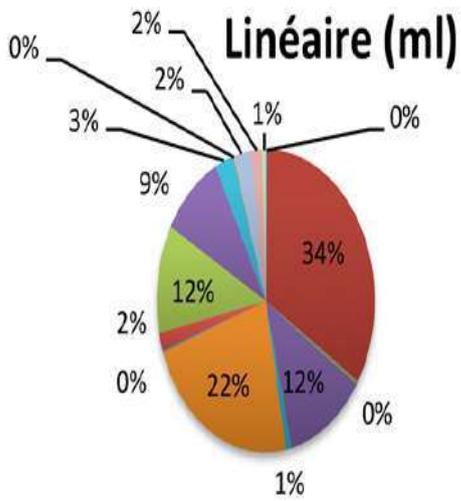
Le réseau de distribution est composé essentiellement de conduites en PEHD, PVC Amiante ciment, fonte, PRV et Acier comme représenté ci-dessous.

Tableau 01 : Essentiellement de conduites par Matériaux

Mat.	PEHD	PVC	A,C	FONTE	PRV	ACIER
long Km	518.4	170	55	11,36	4,57	0,67

Tableau 02 : Essentiellement de conduites par Diamètre

DN	40	63	90	110	125	150	160	200	250	315	400	500
Long km	2,05	230,36	90,29	178,03	8,06	9,98	104,86	84,77	23,35	17,47	8,01	1,96



- 40 mm
- 63 mm
- 80 mm
- 90 mm
- 100 mm
- 110 mm
- 125 mm
- 150 mm
- 160 mm
- 200 mm
- 250 mm
- 300 mm
- 315 mm
- 400 mm

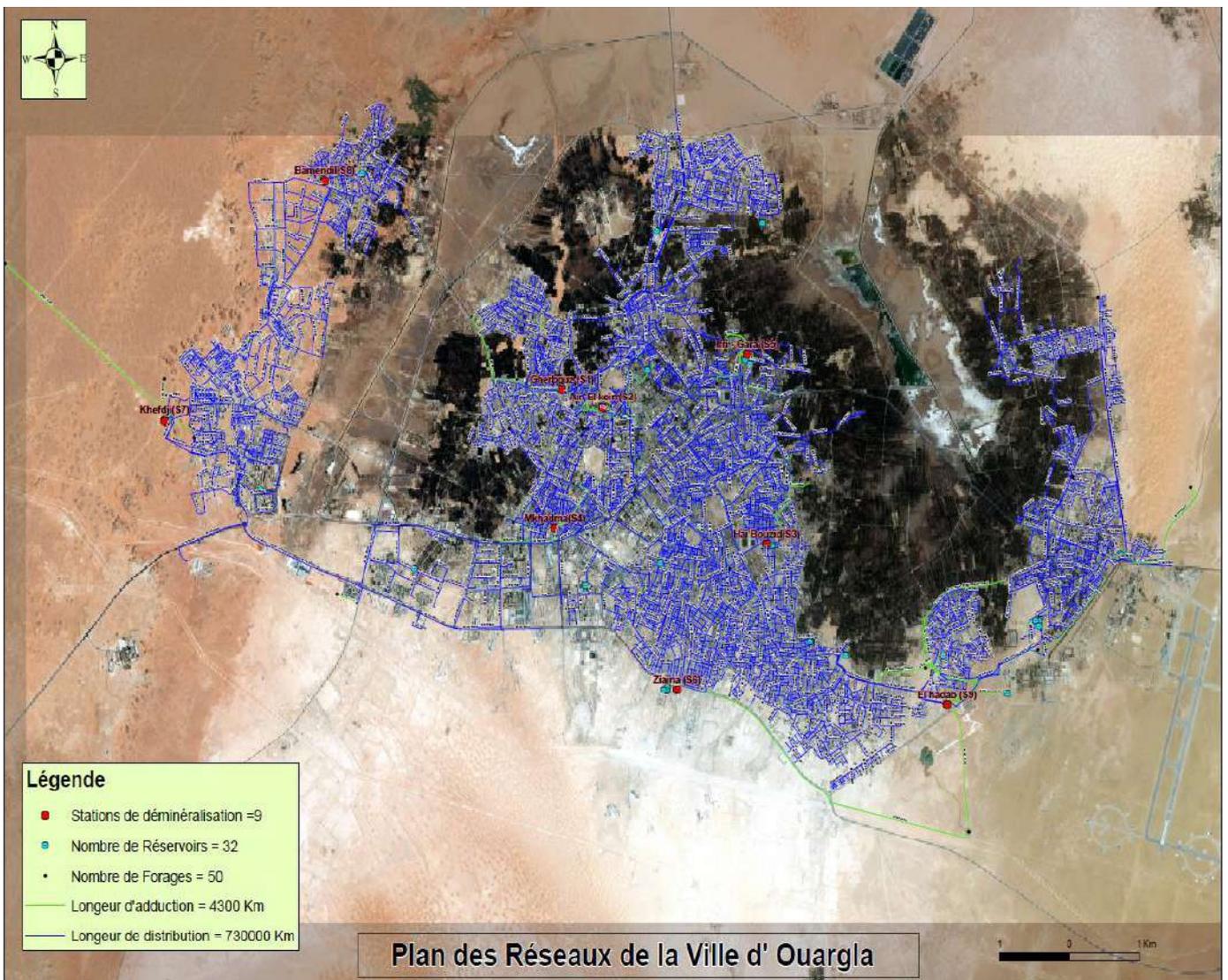
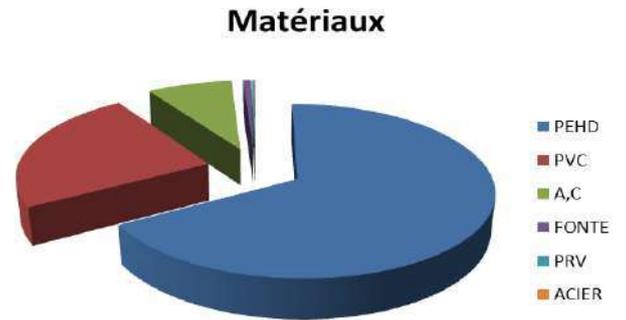


Figure 01: Plan des Réseaux d' AEP de la ville d'Ouargla

III.2.3 Le stockage

Actuellement 37 réservoirs totalisant 50 100 m³ sont présents sur la ville, dont 6 en construction (9 000 m³), 2 désaffectés (750 m³) et 29 en exploitation (41 350 m³). La configuration de la ville a nécessité la construction de château d'eau ; les seuls réservoirs au sol alimentant gravitairement la ville sont situés sur le plateau dominant la ville à l'ouest de Khafdji.

Réservoirs de distribution circulaires surélevés ;

- La capacité de stockage de la ville est de 49200 m³. Le nombre total de réservoirs 37
- Le nombre de réservoirs en cours de construction : 9 avec une capacité de 21000 M³
- Le nombre des réservoirs désaffectés est : 04 avec une capacité de 1500 M³
- Un réservoir hors étude : réservoir militaire avec un volume de 250 M³
- Le nombre de réservoirs en exploitation est de : 23 avec un volume de 26700 M³

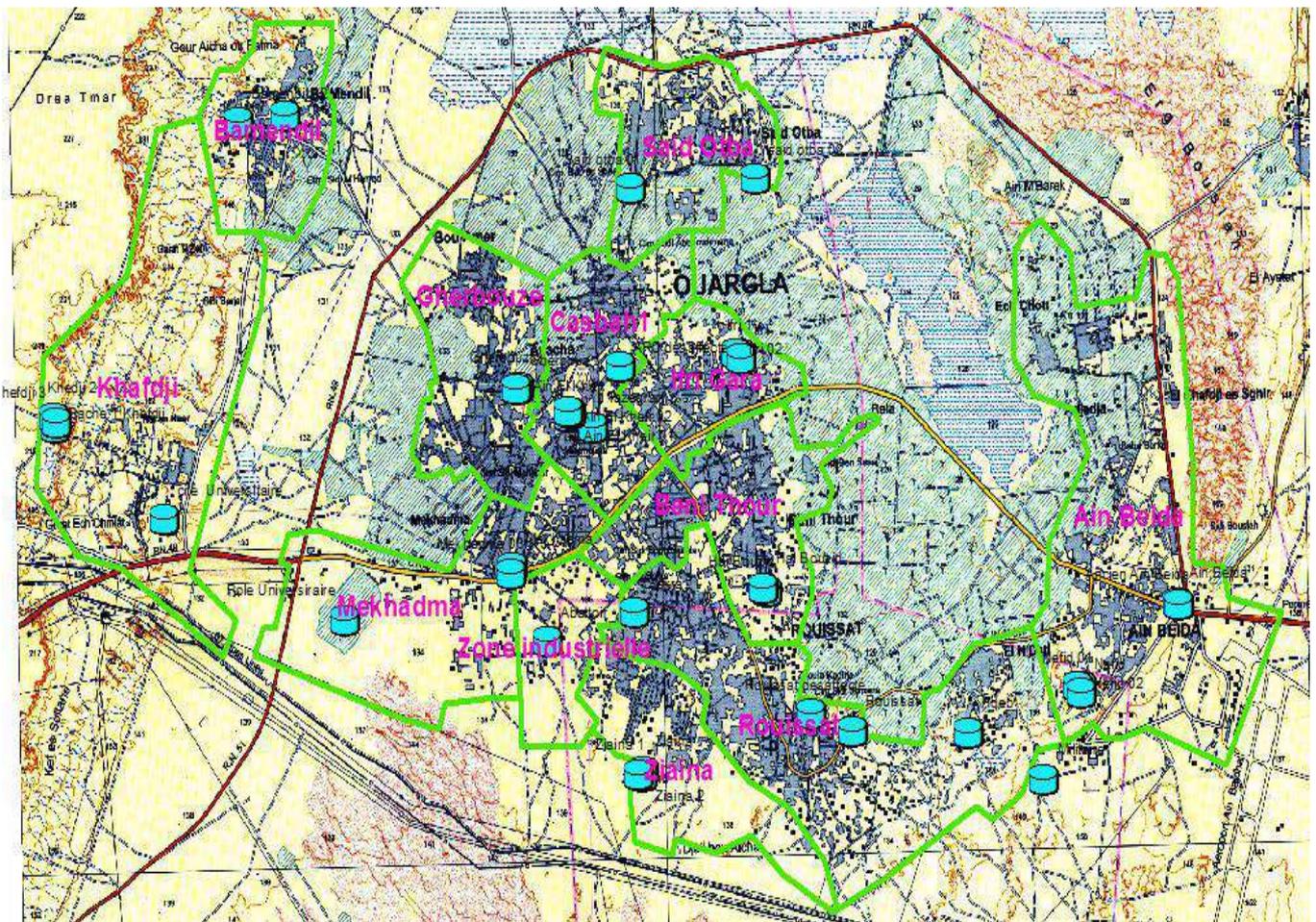


Figure 02: Situation des Réservoirs à Ouargla

III.3. Synoptique de l'AEP d'Ouargla :

Synoptique de l'AEP de Ouargla fait état de neuf principaux complexes complétés par la concrétisation de neuf stations de déminéralisation et continuellement aménagés selon les besoins en eau de la population. Les neuf complexes reçoivent l'eau d'une soixantaine de forages appartenant à trois formations géologiques principales : l'Albien, le Sénonien et le Miopliocien.

Ces aménagements utilisent un peu moins d'une quarantaine voir trente-sept ouvrages réservoirs partiellement enterrés et surélevés « châteaux d'eau ». et six stations de pompage nécessaires pour leurs fonctionnement.

L'eau arrive à l'amont des complexes à des températures allant de 45°C à 50°C ; nous remarquerons donc que les ouvrages tampons et de stockage ont longtemps utilisés de l'eau relativement chaude avant la réalisation de déminéralisation favorisant ainsi toute réaction chimique aussi aujourd'hui le mélange de l'eau dure à une eau moins dure est bénéfique pour les ouvrages de stockage et contribue à la préservation des canalisations.

SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'AEP DE OUARGLA

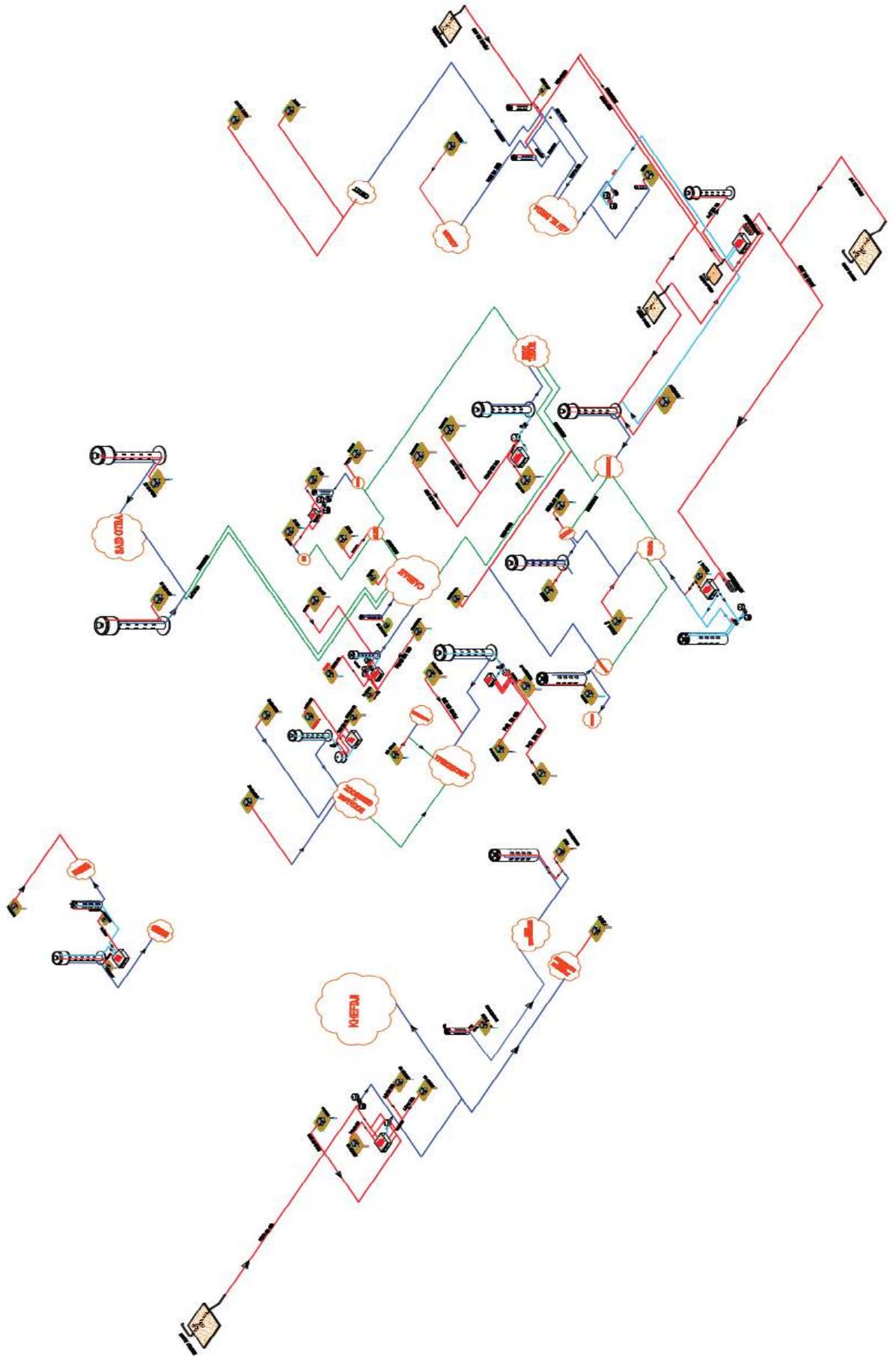


Figure 03 : Synoptique de l'AEP d'Ouargla

III.4 Les ouvrages de productions

III.4.1 Les forages

Toute la production d'eau d'Ouargla se fait à partir de forages.

Les nappes utilisées sont celles des strates géologiques du Miopliocien (nappe restreinte), du Sénonien, et de l'Albien.

On peut subdiviser les forages en types de nappes.

Actuellement les plus importants et de récente réalisation (2006 et plus) et classés par type d'aquifères sont les :

- 05 Forages albien
- 46 Forages Sénonien
- 17 Forages du Miopliocien

III.4-1.1 Forages Albiens :

L'Albien est le premier étage stratigraphique du crétacé période entre 98 et 112 millions d'années. La nappe albienne située en grande partie dans le Sahara Algérien abrite plus de cinquante millions d'hectomètres cube d'eau (50 000 000 M³). Nous comptons cinq forages Albiens. D'une profondeur allant de 1335 mètres à 2000 mètres soit 8,3% des forages d'Ouargla.



Forage Habib albien 02



Forage Ain Beida Albien

III.4-1. 2 Forages Sénoniens :

Le Sénonien résultant d'un regroupement stratigraphique ; formation après l'Albien.

Période entre 71 et 89 millions d'années du crétacé. Nous dénombrons quarante-quatre forages Sénoniens d'une profondeur allant de 50mètres à 200mètres soit 73,3% des forages d'O Ouargla.



Forage Ain Baida



Forage Khafdji Chott

III.4-1-3. Forages du Miopliocène :

Le MIOPLIOCÈNE une période allant du miocène au pliocène, de 1 à 23 millions d'années du néogène. Nous comptons cinq forages du Miopliocène d'une profondeur allant de 70 Mètres à 140 Mètres. Soit 8,3% des forages d'Ouargla.



Forage Gharbouze 02



Forage Sokra

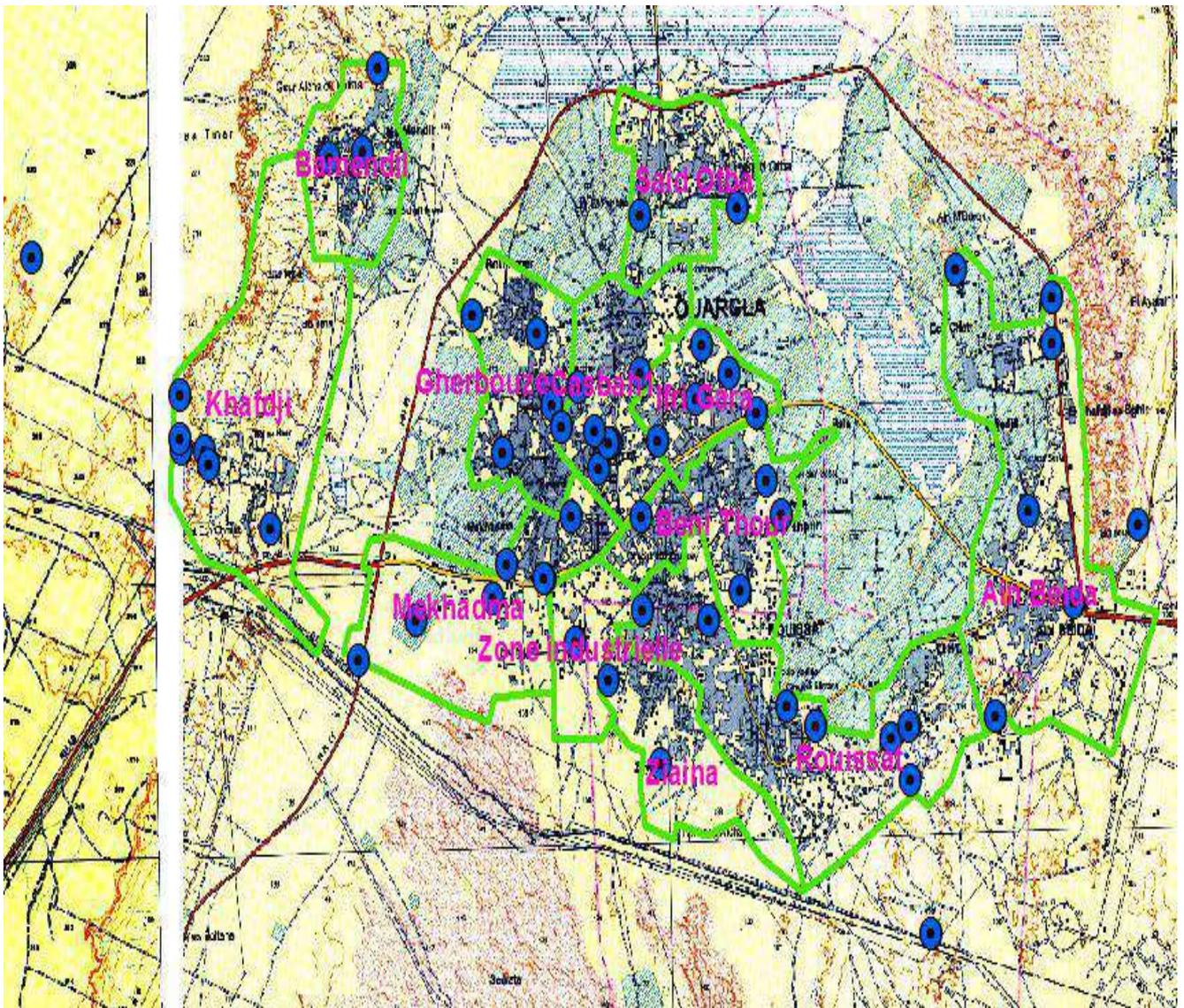


Figure 04: Situation des forages à Ouargla

Tableau 03 : ci-joint donne les noms des forages d'O Ouargla.

DAIRA	COMMUNE	N°	Nom du Forage	NAPPE	Destignation	Débit (L / S)		Année de mise en service	Observation
						Mobilisé	Exploité		
OUARGLA	OUARGLA	1	Centre de Tazegrarte	SENONIEN	Château Tazegrarte	40	35	1969	Forage Exploité
		2	Lala mimouna	SENONIEN	Complexe Ain El Kheir	30	32	1982	Forage Exploité
		3	Matmoura	MIOPLIOCENE	Complexe Ain El Kheir	42	26	1968	Forage Exploité
		4	Ain Hadj	SENONIEN	Complexe Ain El Kheir	36	22	1998	Forage Exploité
		5	Ain Rahma	SENONIEN	Complexe Ain El Kheir	35	34	1998	Forage Exploité
		6	Gherbouz 1	SENONIEN	Complexe Gherbouz	29	26	1982	Forage Exploité
		7	Gherbouz 2	SENONIEN	Complexe Gherbouz	30	15	1991	Forage Exploité
		8	Université	MIOPLIOCENE	Complexe Mekhadma	27	26	1991	Forage Exploité
		9	Mekhadma 1	SENONIEN	Complexe Mekhadma	30	33	1978	Forage Exploité
		10	Mekhadma 3	SENONIEN	Complexe Mekhadma	30	14	2004	Forage Exploité
		11	Abatoir .Sokra 2	SENONIEN	Château Abatoir	40	15	1994	Forage Exploité
		12	Beni thour 1	SENONIEN	Complexe BeniThour	37	35	1979	Forage Exploité
		13	Ain elouiz	SENONIEN	Complexe BeniThour	45	26	2000	Forage Exploité
		14	Sidi Ben Saci	SENONIEN	Complexe BeniThour	42	20	2000	Forage Exploité
		15	Douane	SENONIEN	Réseaux	26	19	1990	Forage Exploité
		16	Sellise	SENONIEN	Réseaux	30	32	1993	Forage Exploité
		17	IFRI 1	SENONIEN	Réseaux	23	21	1996	Forage Exploité
		18	Nakhil	SENONIEN	Réseaux	35	24	1990	Forage Exploité
		19	Bahmid	MIOPLIOCENE	Complexe Ain El Kheir	19	18	1941	Forage Exploité
		20	Saidotba	SENONIEN	Château SaidOtba	20	12	1990	Forage Exploité
		21	Bamendil 1	MIOPLIOCENE	Château Bamendil 1	45	26	1983	Forage Exploité
		22	Cité Universitaire	SENONIEN	Château Cité universitaire	25	5	2007	Forage Exploité
		23	El Khefgi 1 (-2-)	MIOPLIOCENE	Réseaux	13	13	2003	Forage Exploité
		24	El Khefgi 2 (-4-)	SENONIEN	Réservoir el Khefgi	60	22	2003	Forage Exploité
		25	Sidi Amrane	SENONIEN	Réseaux	27,5	14	2009	Forage Exploité
		26	Bouameur 1	SENONIEN	Réseaux	10	6	2009	Forage non Exploité
		27	Pôle Universitaire	SENONIEN	Réseaux	30	26	2011	Forage Exploité
		28	IFRI 2 (SILICE)	SENONIEN	Réseaux	49	26	2011	Forage Exploité
		29	Hay Nacer 1 (El Khefgi 5)	SENONIEN	Réservoir el Khefgi	20	23	2011	Forage Exploité
		30	Hay Nacer2 (El Khefgi 6)	SENONIEN	Réservoir el Khefgi	45	24	2011	Forage Exploité
		31	SaidOtba 2	SENONIEN	Château SaidOtba 2	40	31	2012	Forage Exploité
		32	Bamendil 3	SENONIEN	Château Bamendil 2	30	26	2012	Forage Exploité
		33	Bouameur 2 (Ain El Kheir)	SENONIEN	Complexe Gherbouz	25	30	2014	Forage Exploité
		34	F - HaiNacer Albien	ALBIEN	Complexe elKhefgi	200	0	2013	Forage non Exploité

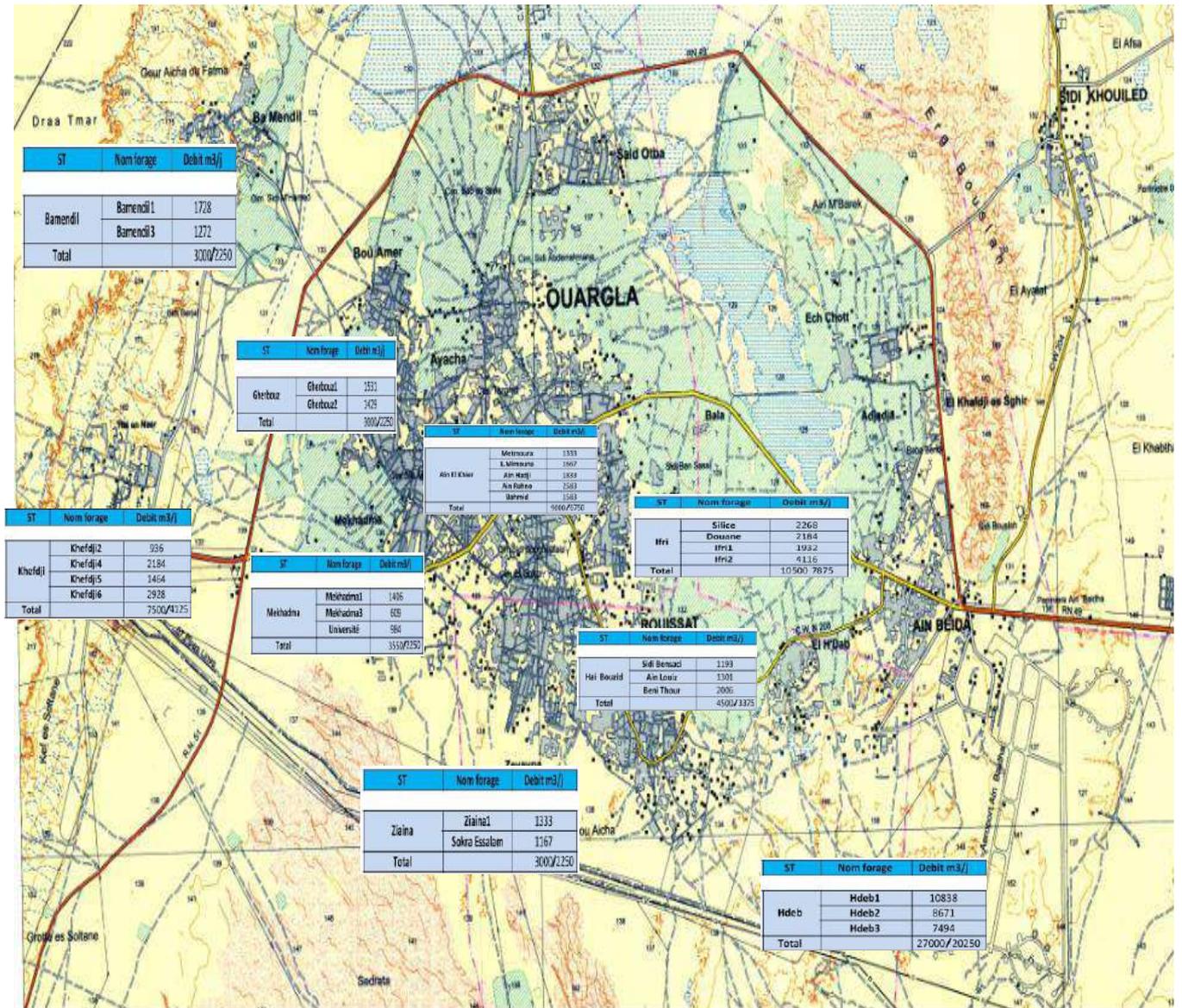
DAIRA	COMMUNE	N °	Nom du Forage	NAPPE	Destignation	Débit (L / S)		Année de mise en service	Observation
						Mobilisé	Exploité		
OUARGLA	RUISSAT	35	F- Sokra	SENONIEN	Château Sokra	30	27,78	1978	Forage Exploité
		40	F-EssalamSokra	SENONIEN	Réseaux	40	35	2011	Forage Exploité
		41	F-Rouissat	MIOPLIOCE NE	Château ROUISSAT	40	24	2012	nécessité de réalisation de la conduite de refoulement
		43	F-Ziaina 2	SENONIEN	Réseaux	40	15	2014	Forage Exploité
		44	F - ElHadeb 1	ALBIEN		200	95	1974	Forage Exploité
		45	F - ElHadeb 2	ALBIEN		200	90	1987	Forage Exploité
		46	F - ElHadeb 3	ALBIEN		160	110	0	Forage Exploité

III.5-1 Les stations de déminéralisation

La plupart des eaux exploitées, en particulier à partir des forages prélevant dans le continental terminal présentent des minéralisations excessives pour l'alimentation en eau potable. Des stations de déminéralisation ont donc été réalisées. La mise en service de ces stations est en cours mais quelques ajustements des systèmes de distribution et d'alimentation des stations restent à régler avant leur mise en service définitive. Actuellement, les 9 stations de déminéralisation construites sont en instance d'exploitation jusqu'à règlement des problèmes de débits.

Actuellement on peut retenir que :

- Les 9 stations de déminéralisation sont prévues pour produire 77047 m³/j (traitement de 57786 m³/j avec un rendement de 75%)
- Ces stations sont alimentées par 28 forages dont le débit totaliserait (pour une exploitation 24h/24) 76 637 m³/j.
- Cette ressource apparait en première analyse insuffisante mais surtout mal répartie comme le montre le tableau récapitulatif fourni en annexe.
- On dénombre également 26 forages non raccordés aux complexes avec unité de déminéralisation. Ces forages sont raccordés au réseau, soit via un réservoir sur tour, soit en injection direct, cette situation pouvant évoluer assez vite en fonction des besoins de l'exploitation. Ces forages totalisent actuellement une capacité de production de 45 300 m³/j en exploitation 24h/24.



TOTAL : 52850 / 71050

Figure 05 : Situation Usines de Déminéralisation à Ouargla

Conclusion :

Ouargla fait état de neuf principaux complexes complétés par la concrétisation de neuf stations de déminéralisation et continuellement aménagés selon les besoins en eau de la population. Les neuf complexes reçoivent l'eau d'une soixantaine de forages appartenant à trois formations géologiques principales : l'Albien, le Sénonien et le Miopliocien.

Classés par type d'aquifères sont les :

- 05 Forages albien
- 46 Forages Sénonien
- 17 Forages du Miopliocien

Actuellement 37 réservoirs totalisant 50 100 m³ sont présents sur la ville, dont 6 en construction (9 000 m³), 2 désaffectés (750 m³) et 29 en exploitation (41 350 m³). La configuration de la ville.

Chapitre IV
Caractéristiques des eaux de La Zone
d'Etude.

IV Introduction

La ville d'Ouargla assure ses besoins en eau potable par un ensemble de forages d'eau souterraine.

Historiquement les forages étaient implantés au sein même du territoire de la ville.

La baisse de rendement de ces forages et le développement important de la population depuis une vingtaine d'années a contraint les autorités à construire un ensemble de forages

La distribution de l'eau s'organise autour de ces forages par l'intermédiaire de réservoirs relais et par injection directe des forages sur le réseau de distribution. Elle est effectuée par alimentation toute la journée (H24) ; toutes fois certains quartiers de la ville en bout de réseau rencontrent beaucoup de difficultés.

Le traitement de l'eau est limité à la désinfection, qui s'effectue généralement par injection d'hypochlorures de sodium au niveau des forages.

Il existe 9 usines de traitement spécifique (déméralisation) regroupant la majorité des eaux captées dans les forages avant distribution.

L'objectif de cette étude est d'établir un diagnostic des installations de traitement (équipements, qualité des eaux), et de proposer le cas échéant des améliorations au dispositif actuel.

Depuis la première exploitation des eaux géothermales, aucun traitement n'a été entrepris pour résoudre le problème d'entartrage. Solution de L'adoucissement à la chaux a été choisie en basant.

D'adoucissement des eaux géothermales par deux types de chaux, l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2) et l'oxyde de calcium (CaO).

IV.1 Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux

Pour la présentation et l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux.

On a adopté les symboles suivants pour les forages de chaque nappe

IV1-1 Variations des concentrations chimiques des forages chaque nappe.

Tableau .01: Concentrations chimiques des nappes Albien

Albien	Ca⁺² (mg/l)	Mg⁺² (mg/l)	Na⁺ (mg/l)	K⁺ (mg/l)	Cl⁻ (mg/l)	SO₄⁻² (mg/l)	HCO₃⁻² (mg/l)
Max	220,44	99,65	350	25	830,28	675	134,2
Moyenne	189,18	80,2	300	21,2	623,47	500,4	122,8
Min	172,34	63,19	250	18	510,36	232	113,9

Tableau .02: Concentrations chimiques des nappes Sénonien :

Sénonien	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ ⁻² (mg/l)
Max	312,6	136,1	600	30	1083,1	960	137,9
Moyenne	292,57	122,7	425	23	941,46	705	117
Min	272,54	109,3	250	16	799,81	450	96,16

Tableau .03: Concentrations chimiques des nappes Miopliocien :

Miopliocien	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ ⁻² (mg/l)
Max	312,62	97,22	400	23	819,81	732	148,8
Moyenne	255,71	75,34	312,5	18	674,4	558	122,5
Min	200,4	51,04	250	14	579,86	444	85,4

IV2 Les faciès chimiques :

IV2-1 Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle.

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet de différencier les familles d'eaux, permet de déduire les observations suivantes :

- Domination du calcium et sodium sur le magnésium dans le triangle des cations.
- Domination des chlorures et sulfates sur les bicarbonates dans le triangle des anions.

Ainsi, les résultats d'analyses des eaux du Sénonien - Miopliocien - albien de la région d'Ouargla permettent de distinguer deux familles d'eau.

1- Selon le diagramme de Piper (Figure - 01), le faciès chimique des eaux du nappes.

(Albien) de la région d'Ouarglamontre la présence:

- Caractérisée par le faciès chloruré et sulfaté calcique magnésien.

Chapitre IV Caractéristiques des eaux de La zone d'Etude.

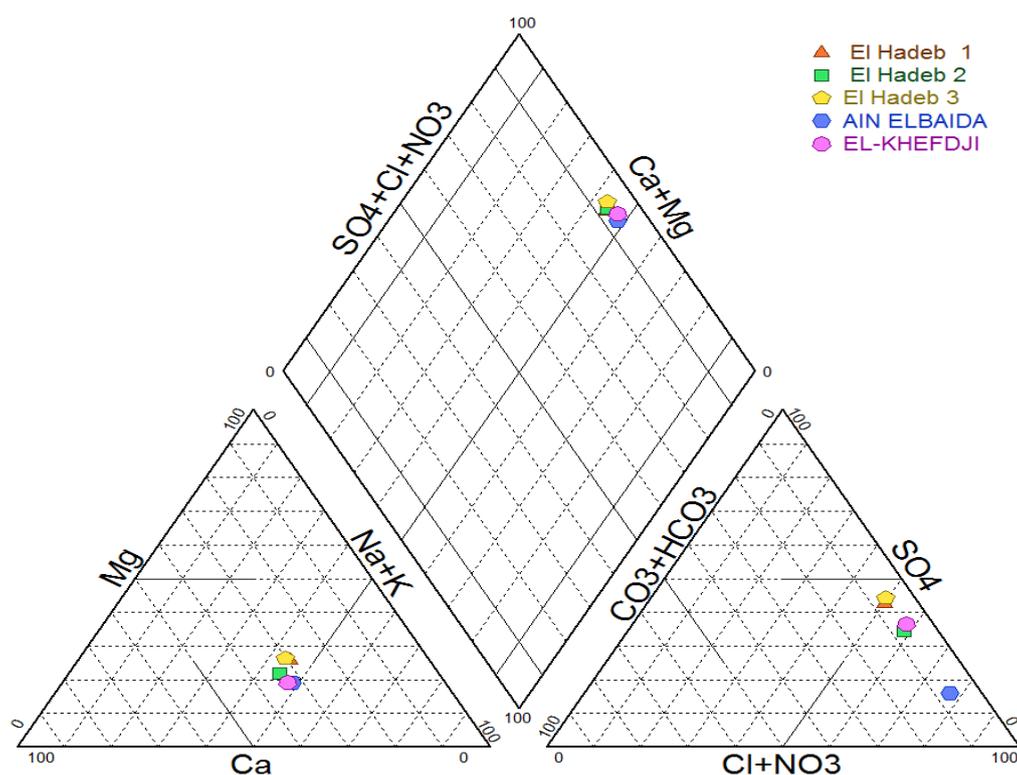


Figure 01: Faciès chimiques des eaux de la nappes albiens de la région d'Ouargla

Tableau .04: les foragela nappes Sénonien région d'Ouargla

N	Nom de forage	F	Nom de forage	F	Nom de forage	F	Nom de forage	F	Nom de forage
F1	Ain hadji	F11	F-Cite Essalem sokra	F21	F- Sidi khouiled 01	F31	Forage Khafdji 05	F39	Forage Ziaina 02
F2	F ain Rahma	F12	F-Sokra	F22	F- Sidi khouiled 02	F32	Forage SNTV	F40	Forage Rouissat
F3	F Lala mimouna	F13	F-Sidi ben saci	F23	F- Sidi khouiled 03	F33	Forage Khafdji 04	F41	forage Adjadja
F4	f-centre ade OGX	F14	F-Ain elouize	F24	F- Sidi khouiled 04	F34	Forage Bamendil 04	F42	Forage Ain Bris
F5	F-Gherbouz 01	F15	F Mekhadma 01	F25	F-Bamendil 03	F35	Forage Bouameur 02	F43	forage Beni Thour
F6	F-Gherbouz 02	F16	F Mekhadma 324	F26	F-Hassi ben abdelah	F36	Forage SaidOtba 01	F44	F El Bour 1
F7	f-ifri 01	F17	F Mekhadma 03	F27	F-Hassi ben abdelah 02	F37	forage Silice	F45	Forage Ziaina 02
F8	f-ifri 03	F18	F- Abattoire	F28	F H.Ben Abdel 01	F38	Forage Boughoufala	F46	Forage Rouissat
F9	f-EL Nakhil	F19	F-Sidi amrane	F29	F-Msaadia(bour 02)				
F10	F-Douane	F20	F-Said otba 02	F30	F-Oum Raneb 02				

2- Selon le diagramme de Piper (Figure - 02 -), le faciès chimique des eaux du nappes (Sénonien - Miopliocien) de la région d'Ouarglamontre la présence deux familles:

- Caractérisée par le faciès chloruré et sulfatée calcique magnésien.
- Caractérisée par le faciès chloruré sodique et potassique sodique sulfatée. Pour un forage.

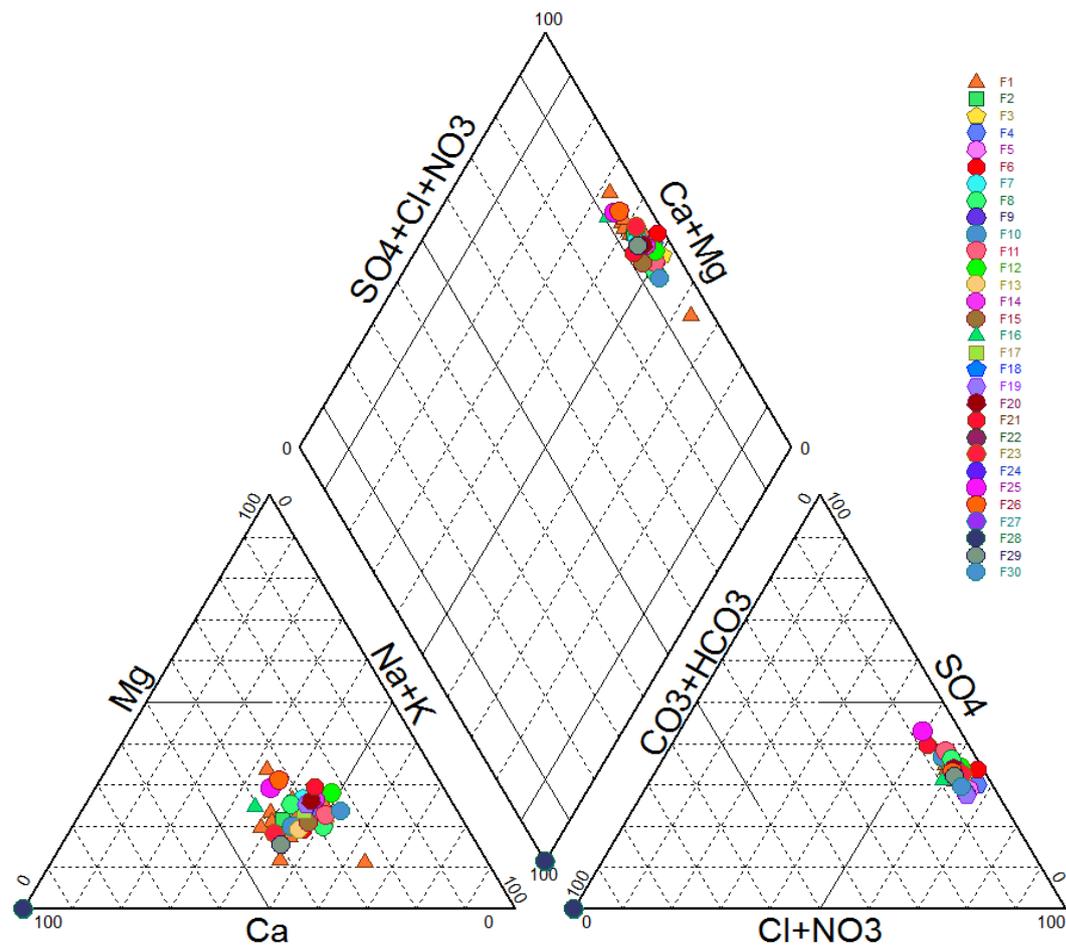


Figure 02: Faciès chimiques des eaux de la nappe Sénomien région d'Ouargla

Tableau .05: les forages de la nappe Miopliocène région d'Ouargla.

N	Nom de forage	F	Nom de forage	F	Nom de forage	F	Nom de forage	F	Nom de forage
F1	Mattmora	F5	EL Koum N'Goussa	F9	Bour el haicha	F13	El khefdgi 02	F16	EL Koum
F2	Bahmid	F6	Oum Raneb	F10	Hassi miloud	F14	Aouinet Moussa	F17	Frane 01
F3	Khafdji Chetta	F7	Cite Université	F11	Bamendil 01	F15	N'Goussa 02	F18	F Hassi Echata
F4	N'Goussa	F8	Université	F12	Bamendil 02	/	/	/	/

3- Selon le diagramme de Piper (Figure - 03), le faciès chimique des eaux de la nappe (Sénomien - Miopliocène) de la région d'Ouargla montre la présence de deux familles :

- Caractérisée par le faciès chloruré et sulfaté calcique magnésien.
- Caractérisée par le faciès chloruré sodique et potassique sodique sulfaté.

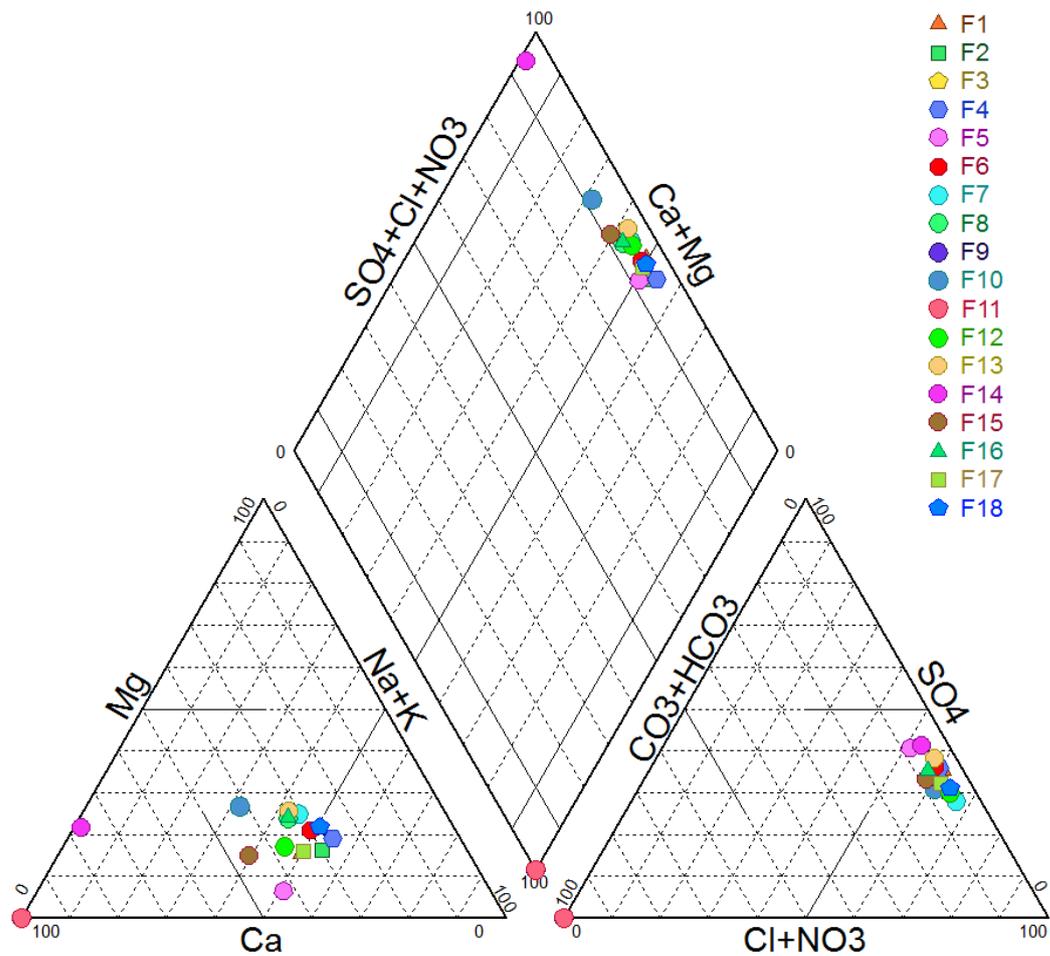


Figure 03: Faciès chimiques des eaux de la nappe Mio-pliocène région d'Ouargla

D'après la classification de PIPER, les eaux de la nappe du nappes (Sénonien - Mio-pliocène - albien) de la région d'Ouargla deux faciès dominants sulfaté sodique et chloruré sodique pour la majorité des puits (Figure - 01- 02 - 03),

La répartition des faciès chimiques pour les (05 Forages albien - 46 Forages Sénonien - 17 Forages du Mio-pliocène) échantillons, se présente comme suit:

- 47.36% des échantillons ont un faciès chimique sulfaté sodique.
- 36.84% des échantillons ont un faciès chimique chloruré sodique.
- 15.78% des échantillons ont un faciès chimique sulfaté magnésien.

IV2-3 Surfer

C'est avec ce logiciel qu'on a pu réaliser les cartes d'emplacements des échantillons et celles de l'évolution des paramètres étudiés. Après avoir introduit les données en un fichier Excel, on choisit la méthode d'interpolation convenable ;

Les courbes des neuf figures des trois nappes étudiées la concentration des Salinité et TH, TAC décroît du milieu coloré foncé vers le milieu coloré le moins foncé.

IV2.3.1 Les nappes Albain

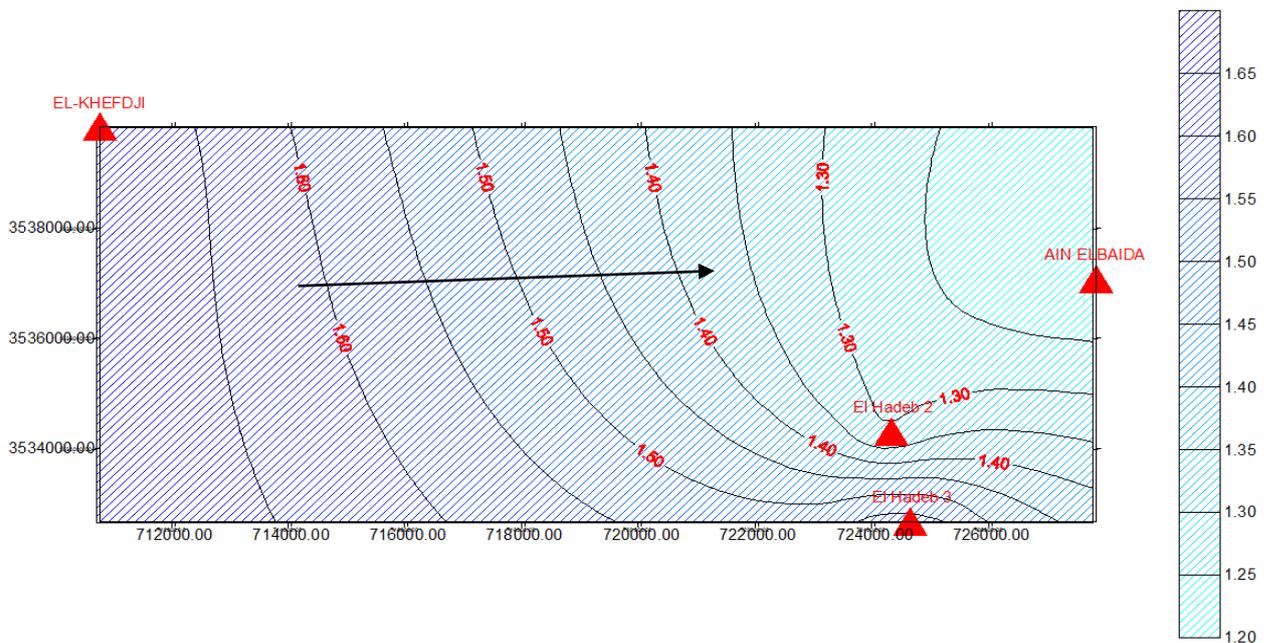


Figure 04: Courbes Salinité des eaux la nappes Albain région d'Ouargla

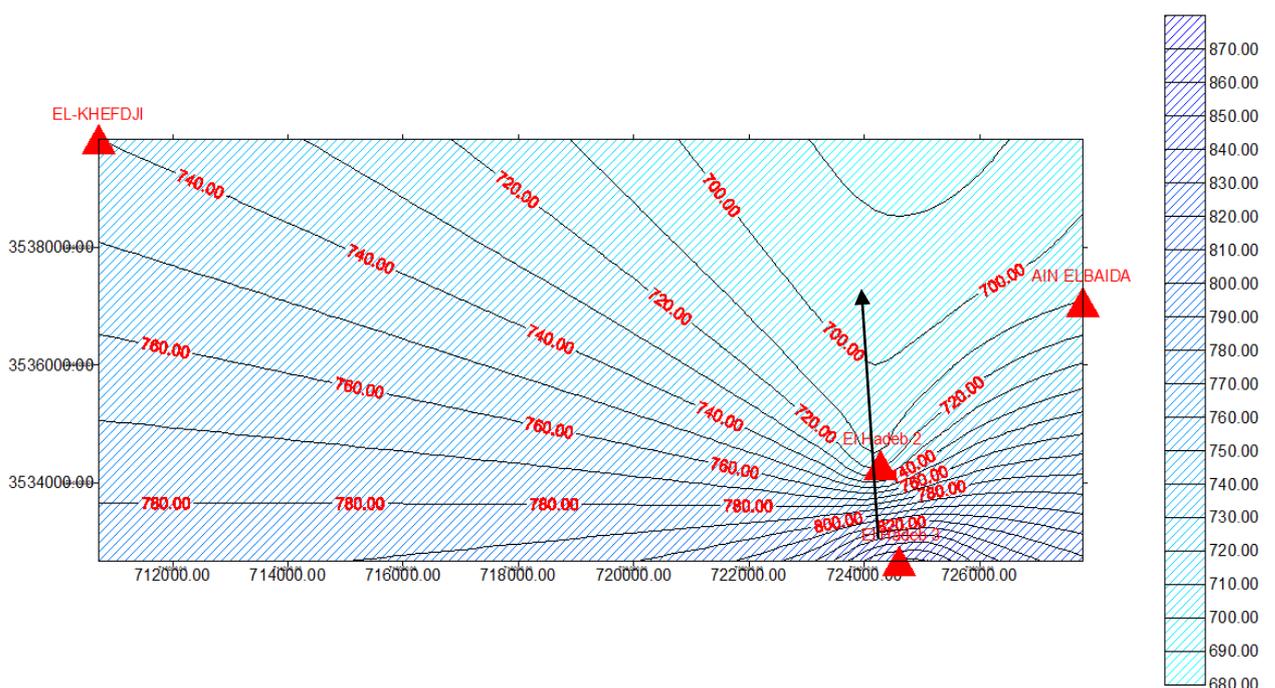


Figure 05: Courbes de TH des eaux la nappes Albain région d'Ouargla

Chapitre IV Caractéristiques des eaux de La zone d'Etude.

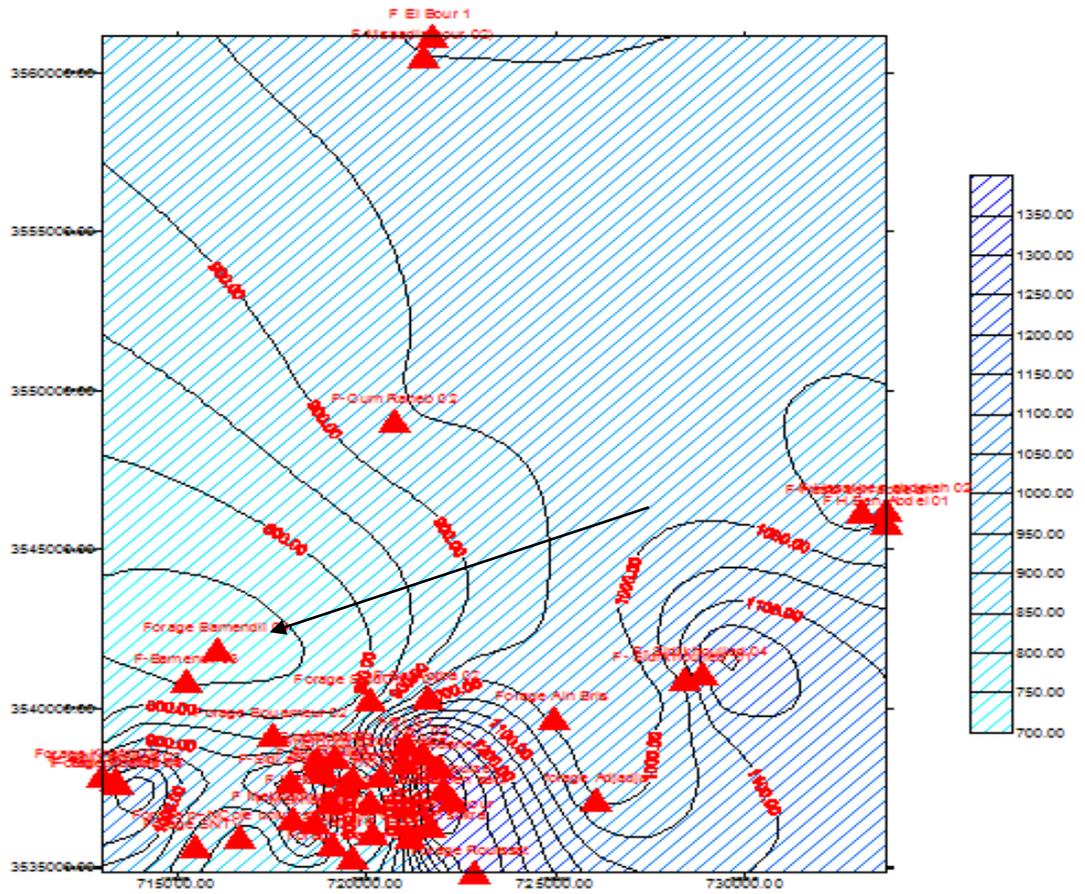


Figure 08: Courbes TH des eaux la nappes Sénonien région d'Ouargla

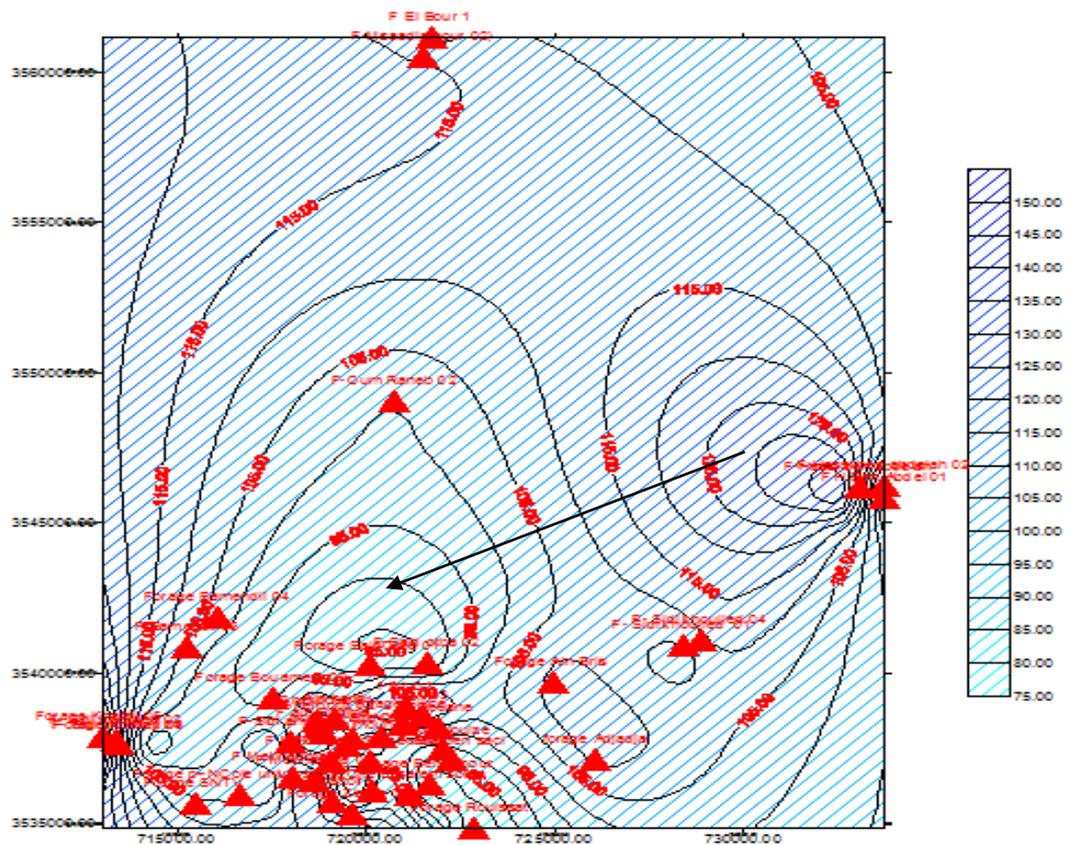


Figure 09: Courbes TAC des eaux la nappes Sénonien région d'Ouargla

IV3.2.3. Les nappes Miopliocien

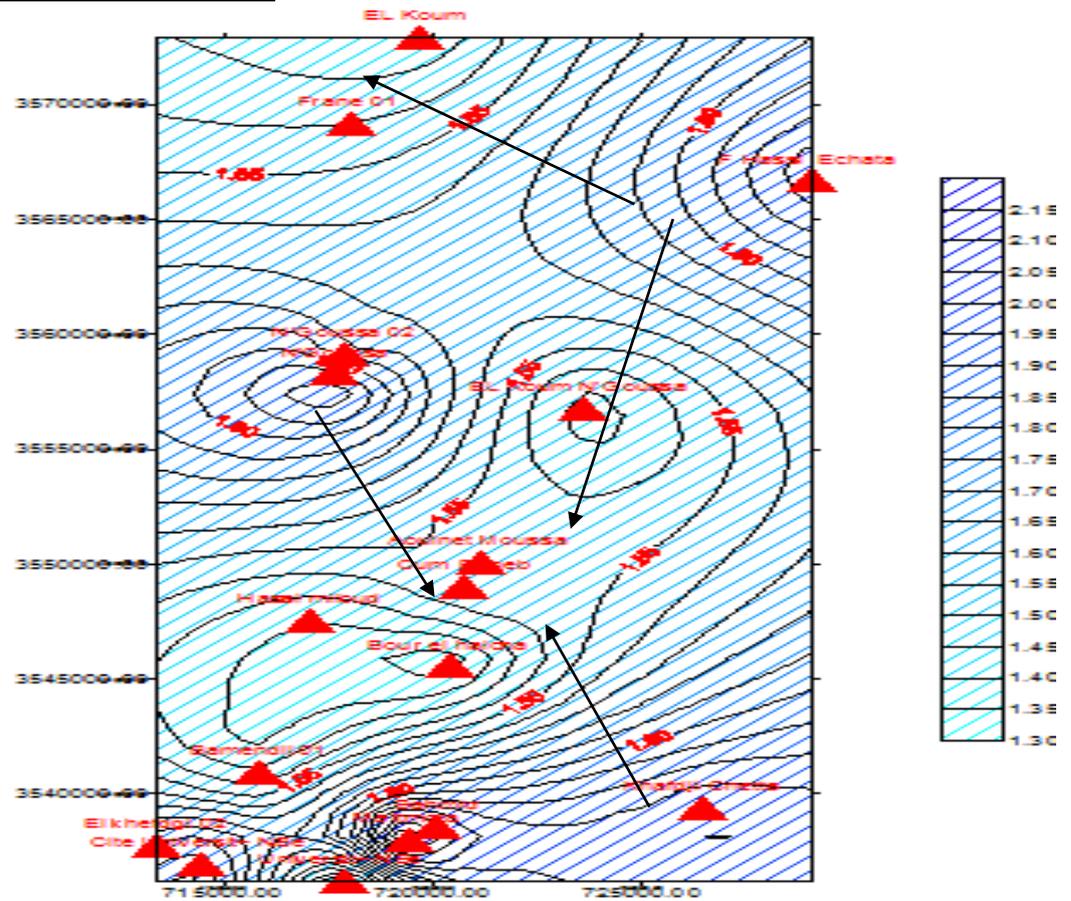


Figure 10: Courbes Salinité des eaux la nappes Miopliocien région d'Ouargla

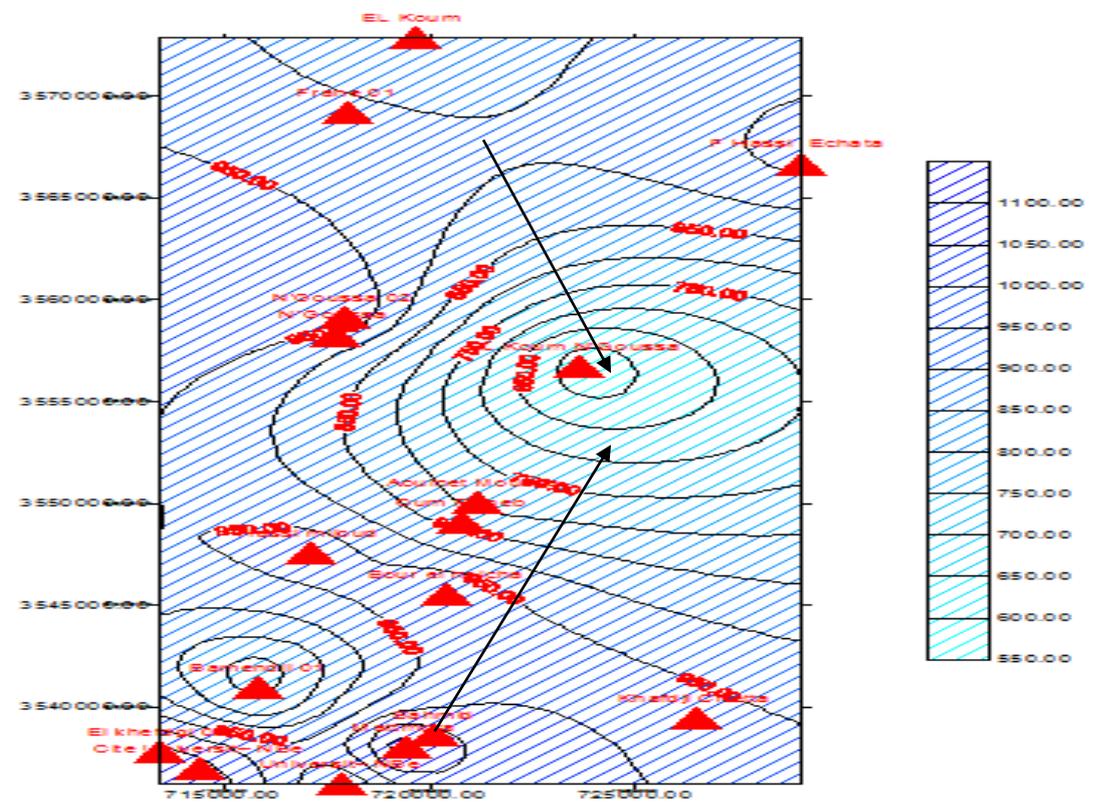


Figure 11: Courbes Salinité des eaux la nappes Miopliocien région d'Ouargla

Conclusion

Afin de concrétiser une étude se rapportant à l'hydrogéochimie de la nappe du nappes (Sénonien - Miopliocien - albien) de la région d'Ouargla, nous avons repéré dans la mesure du possible le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute la région.

Les courbes des neuf figures des trois nappes étudiées la concentration des Salinité et TH, TAC décroît du milieu coloré foncé vers le milieu coloré le moins foncé.

Des inventaires d'analyses fournis par l'ANRH ont été exploités et ont porté sur un certain nombre de paramètres physicochimiques. Des programmes informatiques ont été utilisés pour représenter graphiquement les paramètres sus indiqués et en tirer des renseignements particuliers.

Chapitre V

Différentes méthodes d'adoucissement

V.1 Introduction

La ville de Ouargla est alimentée en eau potable à partir des forages exploitants la nappe (Albienne et Mio-Pliocène et Sénonien) de la cuvette d'Ouargla,

Inconvénient : un pouvoir entartrant très élevé et une concentration en certains ions dépassant les Valeurs recommandées par l'O.M.S. Elle constitue une préoccupation majeure des autorités locales et mobilise chaque année une importante enveloppe budgétaire.

De nos jours le phénomène d'entartrage est l'un des plus grands problèmes qui menacent l'avenir des infrastructures hydrauliques. Cette menace est liée à la présence dans les eaux souterraines d'éléments Responsables de la dureté (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , ...) et aux conditions favorables à l'entartrage

La solution nécessite la maîtrise des facteurs et les procédés adéquats pour réduire la dureté des eaux de la nappe (Albienne et Mio-Pliocène et Sénonien) de la cuvette d'Ouargla,

En dépit des méthodes efficaces pour la réduction de la dureté de l'eau (précipitation chimique, les échanges ioniques,). Il nous incombe dans cette étude d'étudier la précipitation chimique par le traitement la dureté de l'eau par l'addition du la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et du la carbonate de sodium (Na_2CO_3) afin d'obtenir une eau de dureté conforme à la norme de l'O.M.S.

V2. Matériels et Méthodes**V 2-1. Matériels :**

L'aboratoire de l'A D E ADE Unité d'Ouargla contient deux services, un service pour les analyses physico- Chimiques, et l'autre pour les analyses bactériologiques, ils existent dans les services bactériologique et physico-chimique les matériels suivant :

a) Laboratoire physico-chimique :

01. Distillateur (N° SERIE 01/504 BASIC/p H4 PURE – HIT STILL)
02. Popinel (ED115 N°SERIE 7001T, 0026 BINDER)
03. Haut chimique (LAM 12CA N° SERIE13251 ADS LAMINAIRE)
04. Agitateur (N° SERIE A225001 F30 FALC)
05. Multi paramètres portable (HANNA INSTRIMENT HI25550)
06. PH – mètre (HANNA INSTRIMENT)
07. Digitale Thermomètre (utilisé à prélèvement)
08. Spectrophotomètre (5U5707-141021-00 MECASYS) 20. Balance analytique (GR 1200-EC N°SERIE 14267374 AND)



01



02



05



06



07



08



09

b) Laboratoire bactériologique :

10. Des membranes de filtration
11. Haut bactériologique
12. Réfrigérateur
13. Etuve (KB53 N°SERIE7000T ,0027 BINDER)

14. Milieu de culture
15. Des boîtes de pétries
16. Pompe à vide (N86KN18 D-79112FREIBURG KNF néberger)
17. Bain marie (N°SERIEB231310 WB M15 FLAC)
18. Bec benzène
19. Loupe bactériologique
20. Rampe de filtration (A5 60015 N°REF : 10444850 6 PLACE DE FILTRATION SCHLEICHER)
21. Autoclave (N°SERIE 40014150 AUTESTER-F 75DRY PV)

V2.2. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'eau est manuel, l'échantillon est prélevé dans un flacon en plastique. Avant son remplissage, le flacon est rincé plusieurs fois avec de l'eau de forage de la ville. Les paramètres physico-chimiques de l'eau, avant et après traitement, déterminés au laboratoire ADE Unité d'Ouargla.

Les analyses ont été effectuées selon les méthodes décrites par.

V2.3. Le traitement à la chaux

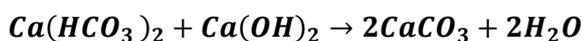
la chaux éteinte ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Les principales caractéristiques

de la chaux éteinte utilisée sont représentées dans le tableau 6 suivant :

Tableau 01. Principales caractéristiques de la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Eléments	Pourcentage(%)
Fer (Fe^{2+})	0, 1
Plomb(Pb^{2+})	0,005
Chlorure (Cl^-)	0,02
Sulfate ($\text{So}4^{2-}$)	0,05
Calcium (Ca^{2+})	97

Le but de ce procédé est la réduction de la dureté temporaire en transformant les bicarbonates en carbonates et la précipitation du calcium sous forme CaCO_3 et le magnésium sous forme d'hydroxyde de magnésium $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Le procédé par l'addition de la chaux seule permet de réduire la concentration d'ions calcium et n'exerce aucune influence sur la dureté non carbonatée et sur la dureté magnésienne :



Pour une bonne réussite du traitement à la chaux, le procédé nécessite de suivre les étapes suivantes :

$$C_{mg/l de CaCO_3} = \frac{C \times 50}{ME}$$

Où C, la concentration des ions en (mg/l); ME, la masse équivalente des ions

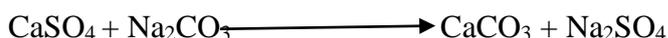
V2.4. Le traitement au carbonate de sodium

Le carbonate de sodium, appelé communément "soude" (Na_2CO_3), est utilisé dans l'objectif de réduire la dureté non carbonatée, c'est-à-dire la précipitation du calcium et du magnésium lié aux Cl^- et aux SO_4^{2-} . Les principales caractéristiques du carbonate de sodium utilisé sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 02. Principales caractéristiques du carbonate de sodium (Na_2CO_3)

Eléments	Pourcentage
Fer (Fe^{2+})	0,0020
Plomb(Pb^{2+})	0,0020
Chlorure (Cl^-)	0,0100
Sulfate (So_4^{2-})	0,0100
Sodium (Na^+)	99

Les équations chimiques qui régissent la réaction de se procéder sont les suivantes :



V2.5. Appareillages d'analyse

V2.5.1 Le pH-mètre

Le potentiel d'hydrogène est mesuré par un pH mètre digital, type 212 HANNAS équipée d'une électrode combinée et sensible.

V2.5.2 Le conductimètre

La conductivité des eaux est mesurée par un conductimètre électrique, type Bio block WTW LF 315. La lecture des résultats est obtenue à 25 °C et exprimées en mS/cm.

V2.5.3 La dureté totale des eaux

La dureté totale des eaux est déterminée en utilisant la méthode titrimétrique à l'EDTA (Éthylène Diamine Tétra Acétate) qui complexe quantitativement le Ca^{2+} et le Mg^{2+} . Le milieu est tamponné à pH compris entre 9,5 et 10 en présence du noir d'ferrochrome T comme indicateur.

V2.5.4 L'alcalinité de l'eau

Le titre alcali nitrique simple (TA) est calculer à pH =8,3, on ajoute l'acide chlorhydrique à l'échantillon analysé en petite quantité jusqu'à atteindre la valeur de pH= 4,3 et on mesure le volume de l'acide ajouté V_1 .

Le titre alcali nitrique complet (TAC) est calculé à pH=4,3, on mesure aussi le volume de l'acide ajouté pour atteindre le pH=4,3.

Les concentrations des ions (OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^-) sont données par les expressions représentées dans le tableau suivant:

Tableau 03. Calcul de l'alcalinité de l'eau

$[\text{HCO}_3^-] = (V_2 \cdot N \cdot 61.1000)/P_e$ $[\text{CO}_3^{2-}] = 0$ $[\text{OH}^-] = 0$	$V_1 = 0$
$[\text{HCO}_3^-] = [2(V_1 - V_2) \cdot N \cdot 61.1000]/P_e$ $[\text{CO}_3^{2-}] = [2V_1 \cdot N \cdot 60.1000]/P_e$ $[\text{OH}^-] = 0$	$V_1 < 1/2V_2$
$[\text{HCO}_3^-] = 0$ $[\text{CO}_3^{2-}] = [2V_1 \cdot N \cdot 60.1000]/P_e$ $[\text{OH}^-] = 0$	$V_1 = 1/2V_2$
$[\text{HCO}_3^-] = 0$ $[\text{CO}_3^{2-}] = [2(V_2 - V_1) \cdot N \cdot 60.1000]/P_e$ $[\text{OH}^-] = [(2V_1 - V_2) \cdot N \cdot 17.1000]$	$V_1 > 1/2V_2$
$[\text{HCO}_3^-] = 0$ $[\text{CO}_3^{2-}] = 0$ $[\text{OH}^-] = (V_2 \cdot N \cdot 17.1000)/P_e$	$V_1 = V_2$

Les titres alcalimétriques (TA) et (TAC) donnés comme suivent :

$$\text{TA} = (V_1 \cdot N \cdot 1000) / P_e \quad (\text{meq/l})$$

$$\text{TAC} = (V_2 \cdot N \cdot 1000) / P_e \quad (\text{meq/l})$$

Tel que :

P_e : Volume de l'échantillon (ml)

V_2 : Volume de l'acide ajouté pour le dosage de bicarbonates (ml)

V_1 : Volume de l'acide ajouté pour le dosage de carbonates (ml)

N : Normalité de l'acide

V2.5.5. Dosage de calcium et de magnésium

Le dosage du calcium est basé sur le principe de la complexométrie de l'échantillon à l'EDTA à pH 12 et en présence d'un indicateur coloré. La méthode provoque la précipitation du magnésium sous forme $Mg(OH)_2$, afin d'éviter son intervention dans la mesure du calcium. Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, la dureté magnésienne est calculée.

V2.5.6. Dosage des ions de chlorures

Selon la méthode de MOHR, les ions chlorures ont été dosés. Cette méthode est basée sur la précipitation des ions de chlorures par l'addition de nitrate d'argent ($AgNO_3$) en présence de bichromate de potassium (K_2CrO_4).

Pour 10 ml de l'échantillon d'eau analysé, on ajoute quelques gouttes de (K_2CrO_4) et on dose par ($AgNO_3$) jusqu'au changement de la couleur du jaune au rouge.

V2.5.7. Dosage de potassium et du sodium

Les teneurs en sodium et en potassium ont été dosées par absorption atomique type "Perkin-Elmer 1100B". D'après les courbes d'étalonnage respectivement pour le potassium et le sodium, les concentrations en ces deux éléments, exprimées en mg/l, sont directement déduites.

V2.5.8. Dosage des ions sulfatés.

Les ions sulfates sont dosés par volumétrie en utilisant du sulfate de baryum et en milieu alcoolique. L'alizarine sulfonates de sodium est utilisée comme indicateur. Les ions gênants sont éliminés par passage de l'échantillon sur une résine cationique.

V2.6 Discussion des résultats.

V2.6.1 Adoucissement des eaux par l'addition de la chaux.

L'adoucissement à la chaux a été choisi en basant sur les critères suivants :

Disponibilité, faible coût de revient et par l'absence des effets secondaires. C'est une suite au travail déjà entamé par Notre travail est axé sur une étude comparative de l'efficacité d'adoucissement des eaux géothermales par deux types de chaux, l'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$) et la soude ($NaCO_3$).

Les principales caractéristiques physico-chimiques des eaux des forages des suivants.

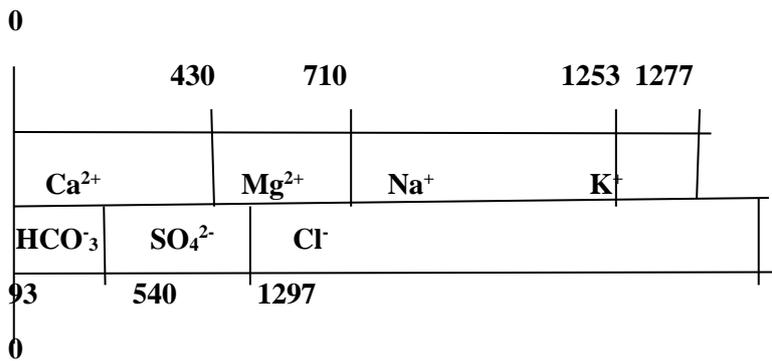
a) Nappe Albien (Forage El hadeb 02) :

Tableau 04. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'albien d'Ouargla.

Elément	Concentration		
	mg/L	ME	eq de CaCO3
Calcium (Ca ²⁺)	172.34	20.039	430
Magnésium (Mg ²⁺)	68.05	12.15	280
Sodium (Na ⁺)	250	22.989	543
Potassium (K ⁺)	19	39.098	24
Chlorure (Cl ⁻)	537.02	35.45	757
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	430	48.035	447
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	113.86	61.0168	93
pH	7.12		
Conductivité en ms/Cm	2680		
Salinité totale en g/L	1.3		
Dureté totale en ppm de CaCO ₃	710		
Dureté totale en degré français	71		
Titre alcalimétrique complet (TAC) en ppm de CaCO ₃	93.33		
Titre alcalimétrique complet (TAC) en degré français	9.333		

Ces caractéristiques sont présentées sous forme d'un diagramme dite à barre des eaux brutes. Ce dernier à pour avantage de déduire directement la dureté totale et la dose optimale de la chaux nécessaire à l'élimination de la dureté carbonatée calcique

- **Diagramme à barres** ;Eau brute pour la nappe Albien d'Ouargla



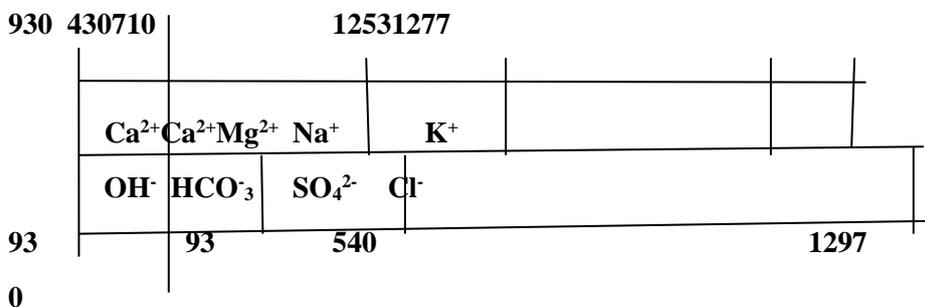
2-7- Etude Théorique :

A- La quantité de chaux nécessaire de (Ca(OH)₂) :

La quantité de chaux en cas d'addition unique est équivalente à la concentration en ions de bicarbonates (HCO₃⁻) Dans l'eau [1]

À partir de là, selon le diagramme à barre d'eau brute (Hadeb 2), la quantité de chaux nécessaire aux eaux de la forage Hadeb 2 (eaux **Albien**) Est de 93 mg / l. En ajoutant 93 mg / l de chaux, le Diagramme à barre [1] pour l'eau brute devient le suivant (diagramme à barre 2)

- **Diagramme à barres** :Ajouter la chaux équivalente à la concentration HCO₃⁻

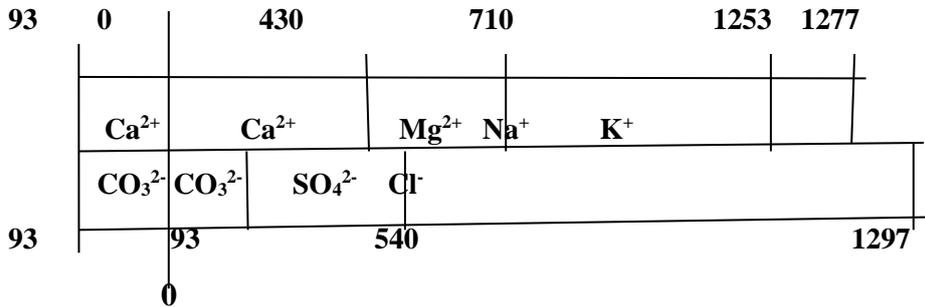


Le processus d'addition de chaux à l'eau brute entraîne une réaction chimique entre l'hydroxyde (OH⁻)Et l'eau bicarbonate HCO₃⁻ est la principale source de formation de carbonate (CO₃²⁻) selon la réaction suivante :



À la lumière de cette réaction, le diagramme à barres 2 devient le diagramme à barres 3 suivant :

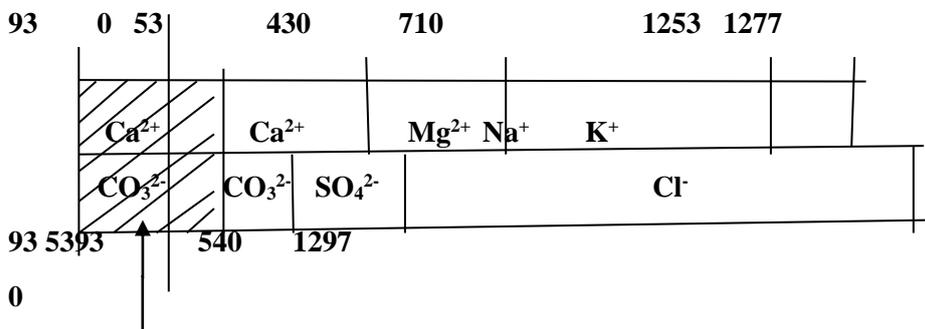
- **Diagramme à barres** :Interaction des ions HCO_3^- et OH^-



B- Dépôt de carbonate de calcium(CaCO_3)

Une fois le bicarbonate converti en carbonate, un pourcentage du calcium contenu dans l'eau se dépose sous forme de carbonate de calcium CaCO_3 (Diagramme à barres 4). Le poids de calcium précipité est estimé à 40 mg / l De calcium pour neutraliser les propriétés agressives de l'eau traitée à 146 mg / l (soit 93 mg / l en raison de l'addition de chaux et de 53 mg / l de Ca^+ d'eau) Ainsi, le Diagramme à barres 9 devient comme suit :

- **Diagramme à barres** :Dépôt de carbonate de calcium CaCO_3



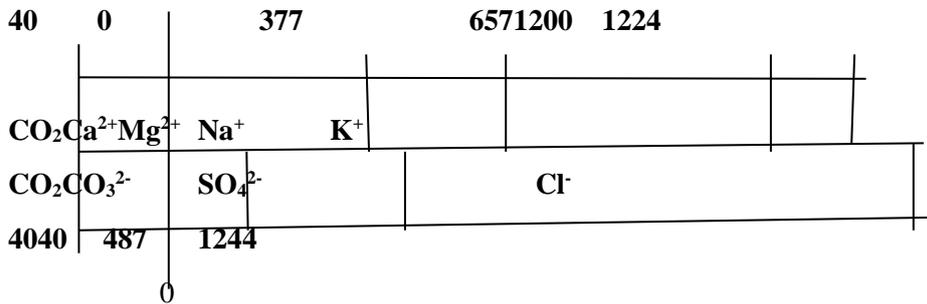
Champ de sédimentation

Par ailleurs, pour éviter l'agressivité des eaux traitées et prévoir le Phénomène de la corrosion des conduites, on laisse 40 mg/l du calcium précipité et ce par barbotage d'un volume du CO_2 équivalent à la concentration du calcium résiduel, soit 40 mg/l. Le CO_2 additionné à pour but de re-solubiliser une masse de CaCO_3 précipité à la forme soluble dans l'eau ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$).

Cette dernière est suffisante dans le

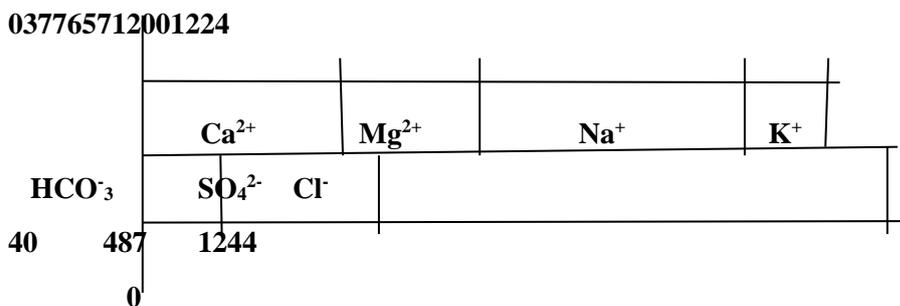
Temps de provoquer la précipitation d'une mince couche de carbonate de calcium sur les parois des conduites et par conséquent isole la conduite des eaux transportées. Le mécanisme et l'action du CO_2 sont présentés sur le diagramme à barre ci-dessous :

- **Diagramme de barre** :Spécifications de l'eau traitée et ajout de dioxyde de carbone (CO₂)



L'état final de l'eau traitée est indiqué dans le diagramme à barre 6.

- **Diagramme à barre** :Spécifications finales de l'eau traitée



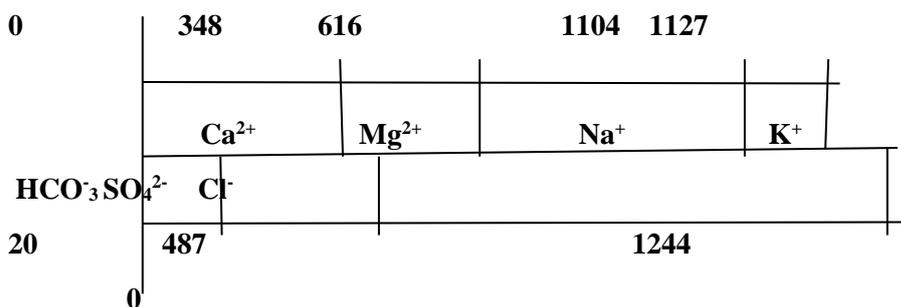
Nous avons conclu du barème précédent que la dureté de l'eau du forage Hadeb 2(Albien) diminuait de la dureté 71F° à la dureté 65.7F° après traitement. Cette légère différence de dureté de 5.3 F° n'a pas permis d'obtenir la dureté souhaitée Selon les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) 50F°, l'addition individuelle de chaux seule n'est pas réalisable pour réduire les difficultés de la couche Albien d'Ouargla à la Champ autorisée.

V2-8 Etude pratique

Les résultats de la précédente étude théorique ont été testés expérimentalement en laboratoire sur la base des spécifications chimiques de l'eau brute de forage elhddeb 2(Nappe Albien).

Suivre les mêmes étapes que précédemment (étude théorique typique) Pour l'étude expérimentale présentée dans le diagramme à barres :

- **Diagramme à barre** :Spécifications finales de l'eau traitée



Le suivi des modifications du degré de PH (Fig. 2) et de la conductivité électrique (Fig. 1) à différents moments est destiné à déterminer le temps de réaction idéal.

La figure 1 montre que la conductivité électrique du puits à eau de (Hadeb 2) est passée de valeur 2680 $\mu\text{s} / \text{cm}$ (avant l'ajout de chaux) à 2713 $\mu\text{s} / \text{cm}$ (après l'ajout de chaux), ce qui est normal pour les fortes concentrations en ions Ca^+ et OH^- , dès immédiatement après 3 minutes. De la réaction décroissante et stabilisante à la valeur 2639 $\mu\text{s} / \text{cm}$ Après 54 minutes de temps de réaction, on constate un dépôt de calcium (CaCO_3). On observe le même phénomène dans les modifications du pH (Fig. 2), où le degré de pH a augmenté de 7,12 (avant ajout de chaux) à son degré. Au maximum (11.02) après avoir ajouté de la chaux, commencez à diminuer et à se déposer à 8.71 degrés après 35 minutes de réaction. Ce sont les mêmes observations générale pour l'eau de (nappe Mio-Pliocène et sénonienne)

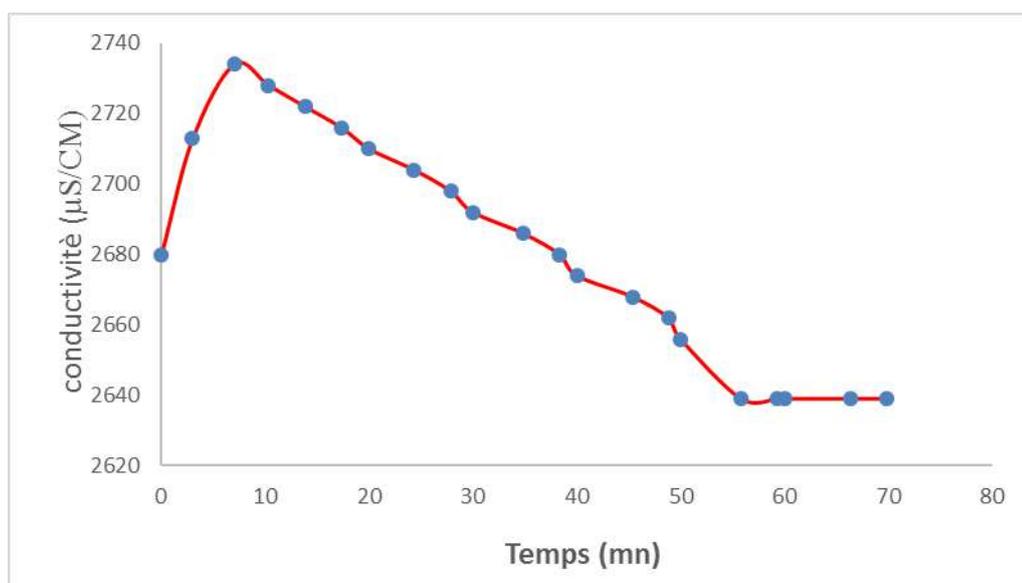


Figure 01. Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux seulement

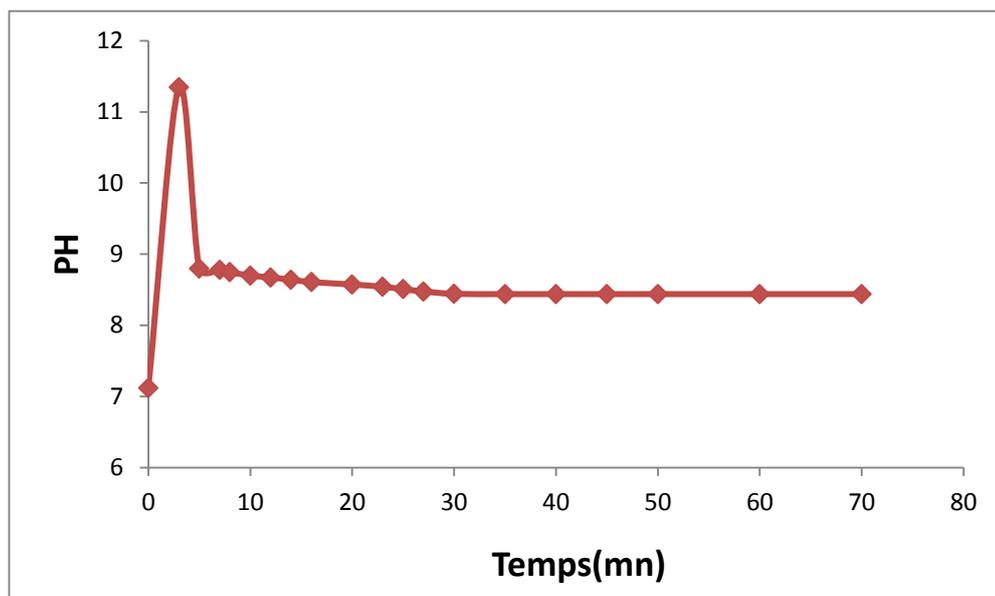


Figure 02. Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux seulement

Tableau 05. Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental en ajoutant à la chaux seulement

Eléments	Eaux Brutes mg/l	Résulta traitée théorique mg/l	Résulta traitée pratique mg/l	Les normes de l'OMS mg/l
Calcium (Ca ²⁺)	172.34	151.09	139.47	200
Magnésium (Mg ²⁺)	68.05	68.05	149.71	150
Sodium (Na ⁺)	250	250	507.61	200
Potassium (K ⁺)	19	19	17.98	20
Chlorure (Cl)	537.02	537	537	-
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	430	430	430	400
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	113.86	48.81	30	500
PH	7.12	-	8.71	7-8.5
Conductivité (µs/cm)	2680	-	2640	-
Dureté (F)	71	65	61.6	50

Le tableau 6 montre la comparaison entre les résultats théoriques et expérimentaux de la méthode en ajoutant de la chaux seulement. D'après les résultats du traitement expérimental, nous observons une diminution de la concentration de calcium dans l'eau brute de 172.34 mg / l à 139.47 mg / l, une diminution de 32.86 mg / l. Bien que la concentration en bicarbonate ait diminué plus de cinq fois par rapport à sa concentration initiale dans l'eau brute, passant de 113.86 mg / l (avant traitement) à 25.62mg / l (après traitement), il s'ensuit que la dureté du forage (Hadeb 2) diminue à 61.6 F (Expérimental) ou 65.7 F (théoriquement) restent dans la plage universellement non autorisée (f50) nécessitant un traitement supplémentaire avec du carbonate de sodium.

V 3- Adoucissement des eaux de nappe Albien par addition du carbonate de sodium

La décarbonation à la chaux Ca(OH)₂ montre que la dureté des eaux de la région de Ouargla est de type non carbonatée et le carbonate de sodium (Na₂CO₃) est la solution pour ce type de dureté. Cette partie de notre travail est réservée à l'étude de l'efficacité du carbonate de sodium sur l'amélioration de la dureté des eaux. Le procédé est basé sur la précipitation du calcium liées aux Cl⁻ et SO₄

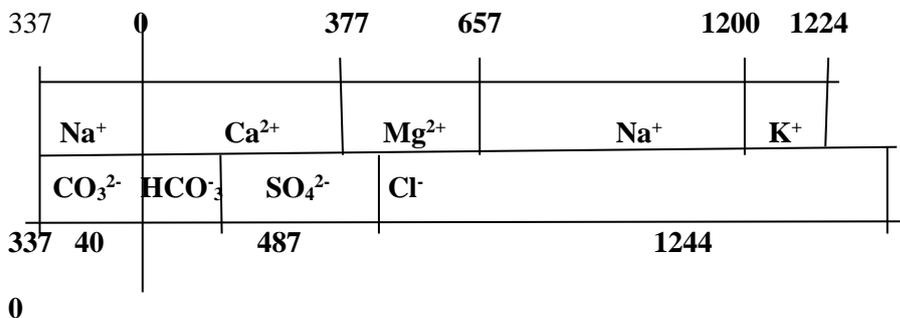
V 3-1. Etude théorique

Comme dans le cas de traitement de la dureté carbonatée des eaux à la chaux, on suit les étapes suivantes :

V 3-1-1 Quantité de carbonate de sodium nécessaire

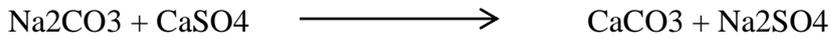
La quantité de Na₂CO₃ en mg/l de CaCO₃ nécessaire à l'élimination de la dureté non carbonatée associée au calcium est de(CaCO₃), soit équivalente à la concentration du calcium résiduel restant en solution prétraitement à la chaux. La caractéristique des eaux est présentée sur le diagramme à barre suivant :

- **Diagramme à barre :**

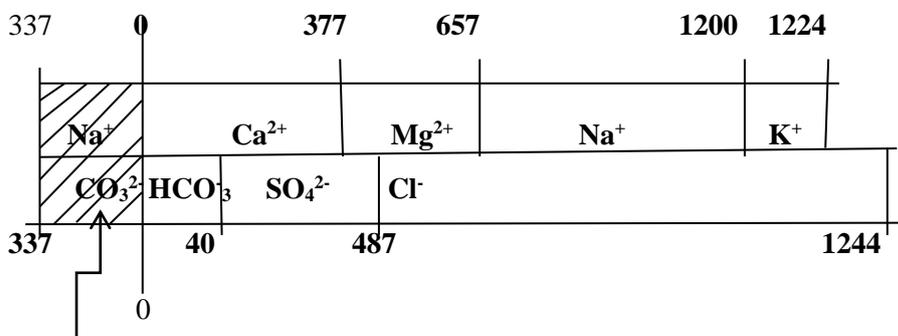


V 3-1-2. Précipitation du carbonate de calcium

Comme l'indique le diagramme suivant, la précipitation du carbonate de Calcium est spontanée après l'addition du carbonate de sodium. Par ce procédé l'ensemble du calcium lié au chlorure et au sulfate sera précipité. Les réactions Chimiques régissant ce phénomène sont les suivantes :



- **Diagramme à barre** : Champ de sédimentation



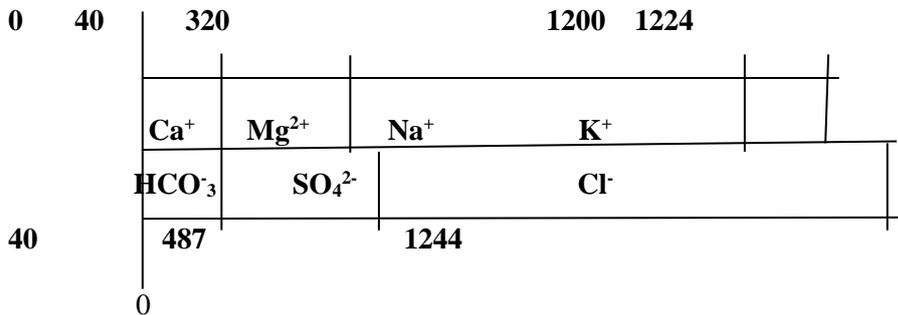
Champ de sédimentation

Par ailleurs, pour éviter l'agressivité des eaux traitées et prévoir le phénomène de la corrosion des conduites, on laisse 40 mg/l du calcium précipité et ce par barbotage d'un volume du CO₂ équivalent à la concentration du calcium résiduel, soit 40 mg/l.

Le CO₂ additionné à pour but de ré-solubiliser une masse de CaCO₃ précipité à la forme soluble dans l'eau (Ca(HCO₃)₂). Cette dernière est suffisante dans le temps de provoquer la précipitation d'une mince couche de carbonate de calcium sur les parois des conduites et par conséquent isole la conduite des eaux

Transportées.

- **Diagramme à barre** : Spécifications finales pour l'eau traitée en ajoutant seulement de la chaux et de la soude



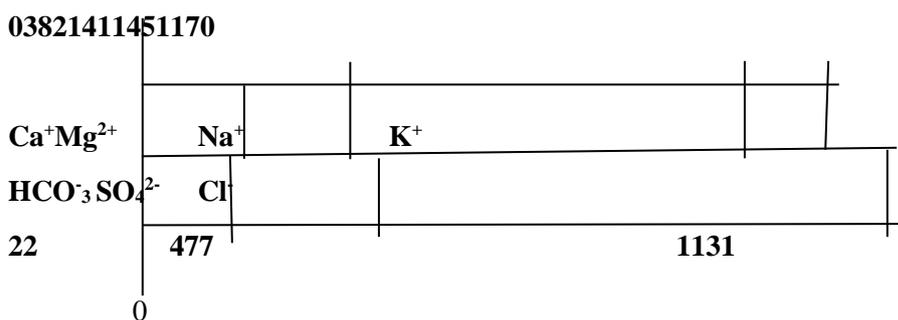
À partir du diagramme à barres de l'état final (nappe Albien) de l'addition de chaux et de soude seulement, on s'attend à une concentration élevée de sodium résultant de l'ajout de soude (Na₂CO₃) à l'eau traitée. Alors que la concentration de calcium a diminué par rapport à sa concentration initiale.

En conséquence, la dureté de l'eau diminue jusqu'à F 32 L'efficacité de traitement est de plus de 45 %. La dureté passe de F 71 avant traitement à F32 atteignant ainsi la dureté souhaitée et conforme aux normes de l'Organisation mondiale de la santé (F50)

V3-2. Etude pratique

Suivre les mêmes étapes que précédemment (étude théorique typique) Pour l'étude expérimentale présentée dans le diagramme à barres :

- **Diagramme à barres** : Les résultats du traitement expérimental en ajoutant seulement de la chaux et de la soude



Comme dans l'expérience utilisant uniquement de la chaux, les modifications de la conductivité électrique (Fig. 3) et du pH (Fig. 4) ont été examinés selon différents moments :

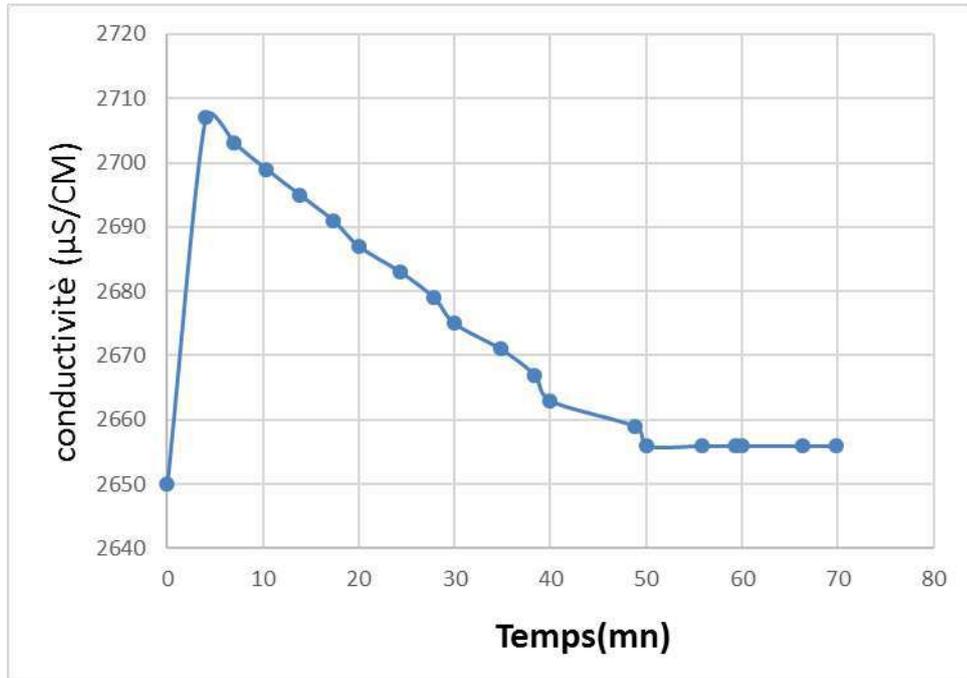


Figure03. Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux et soude seulement

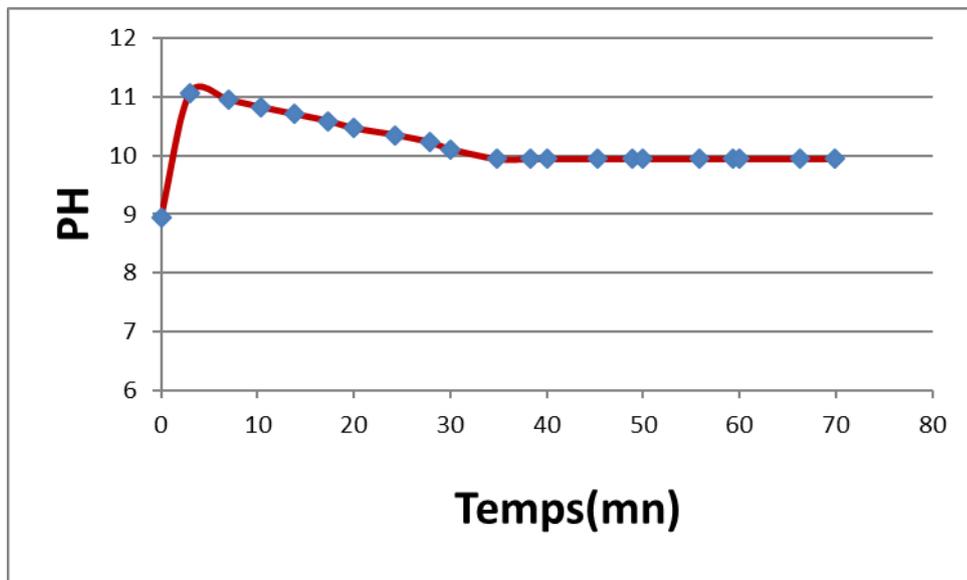


Figure04. Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux et soude seulement

La figure 3 montre que la conductivité électrique de l'eau pour Hadeb 2est passée de la valeur 2650µs / cm (en ajoutant de la chaux uniquement) à la valeur µs / cm2707 (en ajoutant de la soude), commencer immédiatement après quatre minutes de décroissance de la réaction et se stabiliser à 2656 µs / cm après 50 minutes de temps de réaction, preuve de la cessation du

dépôt de sels de calcium CaCO_3 . Alors que les valeurs de pH (Fig. 4) sont convergentes, le pH a augmenté de 8.95 (en ajoutant de la chaux uniquement) et atteint sa valeur maximale (11,07) pour commencer à diminuer et se stabiliser à 9.94 après 35 minutes. D'interaction.

V3-2-1. Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental en ajoutant de la chaux et de la soude

Les résultats du traitement expérimental (tableau 24) montrent que la concentration de calcium dans l'eau brute a diminué, passant de 172,34 mg / l à 15,31 mg / l, soit environ cinq fois moins que la concentration souhaitée (50 mg / l) et que la dureté de (Hadeb 2) a été réduite. Jusqu'à 21.4F (expérimentalement) ou 32F (théoriquement) pour inclure de l'eau dans la plage admissible (50F) alors que les concentrations d'électrolytes de bicarbonate sont inférieures de 60% à leur concentration initiale dans l'eau brute, à savoir 160,23 mg / l (avant Traitement) à 25,55 mg / l (après traitement), alors qu'il est prévu que, en ajoutant de la soude, la concentration en sodium augmente.

Tableau 06 : Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental par la méthode d'addition de chaux et de soude seulement (nappe Albien)

Eléments	Eaux Brutes mg/l	Résulta traitée théorique mg/l	Résulta traitée pratique mg/l	Les normes de l'OMS mg/l
Calcium (Ca^{2+})	172.34	16	15.22	200
Magnésium (Mg^{2+})	68.05	68.04	52	150
Sodium (Na^+)	250	404.60	526	200
Potassium (K^+)	19	18.767	19.54	20
Chlorure (Cl^-)	537.02	537.01	464	-
Sulfate (SO_4^{2-})	430	429.43	437	400
Bicarbonates (HCO_3^-)	113.86	48.81	26.84	500
PH	7.12	-	9.94	7-8.5
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	2680	-	2655	-
Dureté (F)	71	32	21.4	50

V4-Les étapes du traitement de la dureté de l'eau par la chaux et la soude en excès

la méthode de ajout de la chaux et de la soude en excès en deux phases

V4-1- Ajouter de la chaux en excès

La méthode d'addition excessive de chaux a pour objectif d'éliminer la rugosité du carbonate, c'est-à-dire l'élimination du calcium et du magnésium associé au bicarbonate.

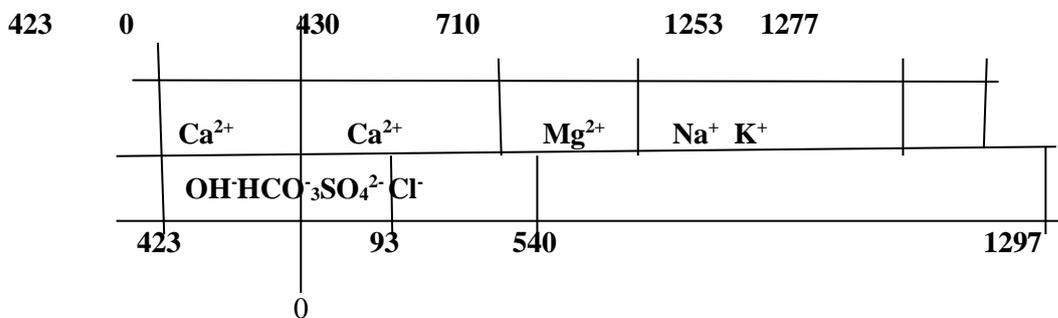
V4-2 Etude théorique

Les réactions chimiques les plus importantes de l'eau (Nappe Albien) sont présentées dans le diagramme à barres comme suit :

V 4.2.1 La quantité de chaux nécessaire

La quantité de chaux nécessaire correspond aux concentrations totales en ions bicarbonate et magnésium. Cependant, comme les sels de magnésium sont 15gm/l avec CaCO_3 à PH = 9, un excès de chaux (50 mg / l) doit être ajouté pour augmenter la valeur du pH à environ 11 degrés, ce qui permettrait une réduction de la solubilité de l'hydroxyde de magnésium dans l'eau à 12,5 mg / l de CaCO_3 . Ajouter la quantité appropriée de chaux (avec 423mg/l) devient un diagramme en barres d'eau brute pour former le diagramme en barres 12 suivant:

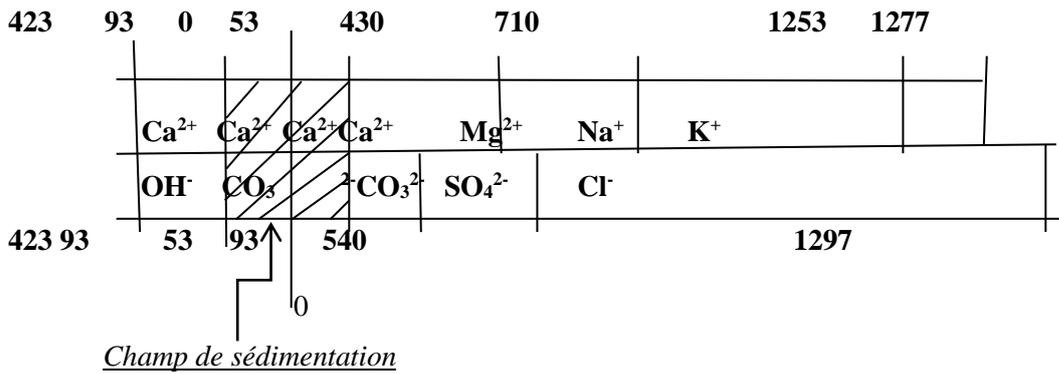
- **Diagramme à barre** :Quantité de chaux nécessaire



V4-2-2 Précipitation des ions calcium(CaCO_3) et magnésium (Mg(OH)_2)

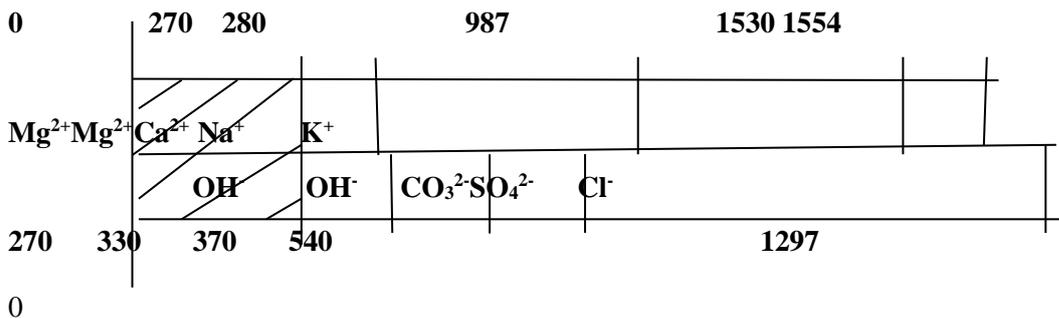
Le poids de calcium précipité sous forme de CaCO_3 est de 146 mg / l, soit 93 mg / l en raison de l'ajout de chaux et de 53 mg / l d'eau traitée, comme indiqué dans le diagramme à barres.

- * **Diagramme à barre** :Détermination de la sédimentation et de la concentration de calcium dans les sédiments



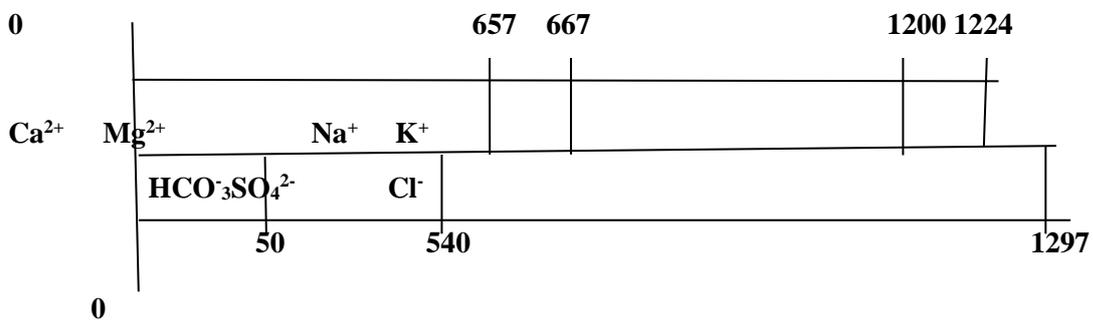
Le poids des ions de magnésium déposés sous forme d'hydroxyde de magnésium, en tenant compte de la nécessité de laisser 10 mg / l de magnésium dissous afin d'éviter les caractéristiques agressives de l'eau traitée, est estimé à 270 mg / l. Le diagramme à barres devient donc le suivant :

- **Diagramme à barre** :Dépôt d'hydroxyde de magnésium (Mg(OH)₂)



En ajoutant la quantité nécessaire de CO₂ (50 mg / l), l'état final de l'additif à la chaux en excès de l'eau traitée est indiqué par un diagramme à barres :

- **Diagramme à barre** :Spécification finale pour l'eau traitée avec la chaux en excès



Dans le diagramme a barre [14], nous constatons que l'addition de chaux avec une augmentation entraîne une réduction de la concentration en magnésium de plus de 90%, c'est-à-dire de 68.05 mg / l (avant l'ajout de chaux) à 2,43 mg / l (après traitement). En revanche, la concentration en calcium passe de

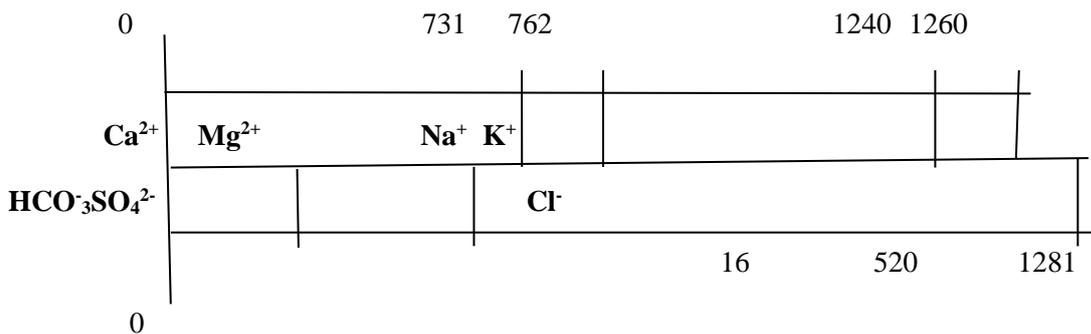
172.34 mg / l (avant l'ajout de chaux) à 263.31 mg / l (après Traitement). En conséquence, la dureté de l'eau du puits du (Hadeb 2) est réduite de la dureté F71 (eau brute) à la dureté F66.7 (après traitement) et, par conséquent, la méthode consistant à ajouter de la chaux en l'augmentant seule n'est pas envisageable pour réduire la dureté de la couche albienne Ouargla. (F50)

V4-3 Etude pratique

Les résultats de la précédente étude pilote étaient considérés comme expérimentaux sur la base des spécifications chimiques des eaux brutes de (Hadeb 2) (Nappe Albien) la vile de Ouargla.

En suivant les mêmes étapes, les spécifications finales indiquées dans diagramme a barre suivant :

Diagramme à barre :Spécifications finales de l'eau traitée



Pour observer les changements de pH et de conductivité électrique ainsi que pour déterminer le temps de réaction idéal, les figures (5) et (6) montrent les variations de conductivité électrique et de pH en termes de temps de réaction.

La figure (5) montre que la conductivité électrique de l'eau dans le puits du désert est passée de 2692 $\mu\text{s} / \text{cm}$ (avant addition de chaux) à la valeur 2761 $\mu\text{s} / \text{cm}$ (après addition de chaux) pour diminuer et se stabiliser à 2648 $\mu\text{s} / \text{cm}$ après 50 minutes de temps, signe de la fin du dépôt de sels Calcium (CaCO_3) et magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})$) Le même phénomène est observé dans les variations de l'indice d'hydrogène (Fig6), où le degré de PH a augmenté de 7.26 (avant addition de chaux) à une valeur maximale de 11.32, pour commencer à diminuer et à se stabiliser à la valeur 10.69 après 30 minutes de réaction.

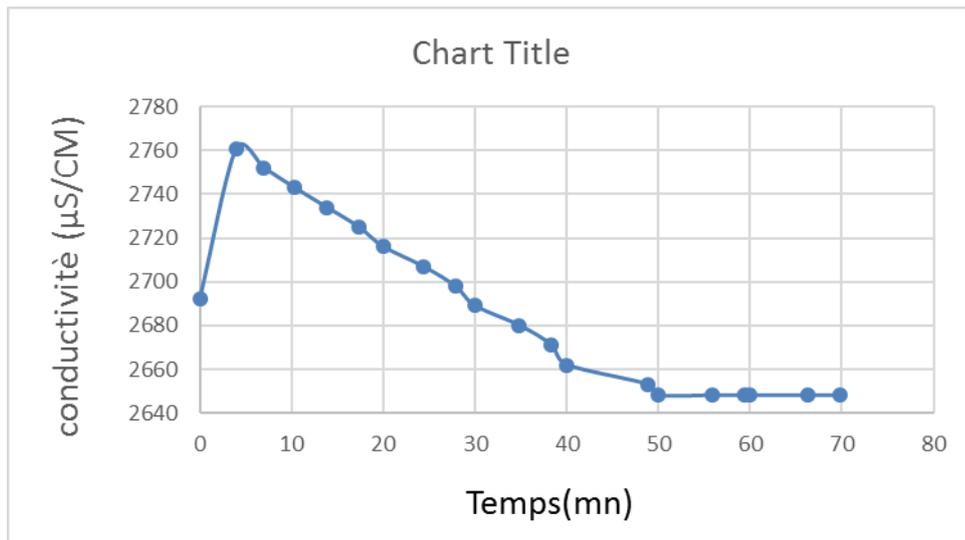


Figure05. Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux en excès

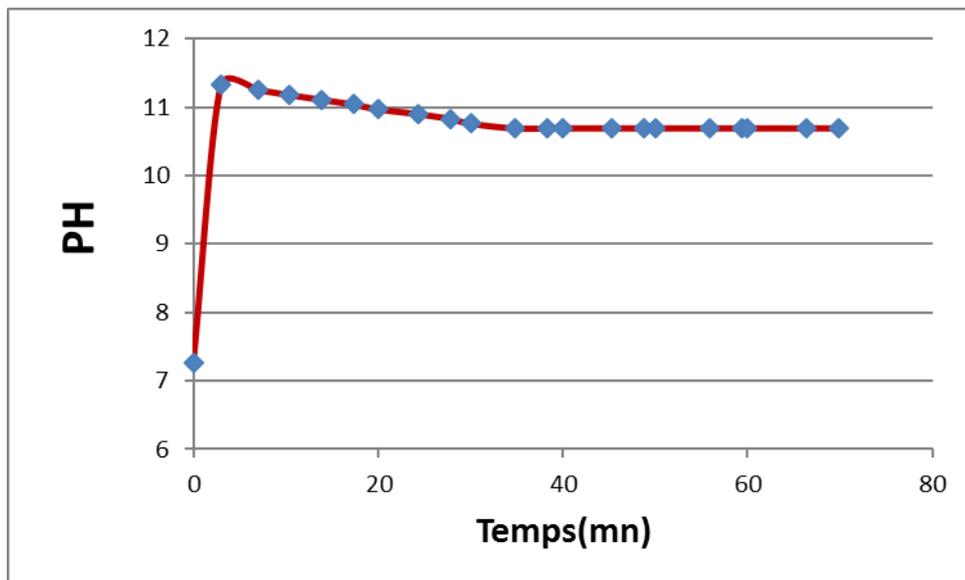


Figure06. Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux en excès

V4.3.1. Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental par la méthode d'addition de chaux en excès

Les résultats de la méthode de traitement par addition d'eau usée de chaux (tableau) indiquent une augmentation de la concentration de calcium dans l'eau brute de 172.34 mg / l à une concentration de

223mg / l en raison d'une addition excessive de chaux. La concentration en magnésium a diminué de plus de 50%, soit de 68.5 mg / L (avant ajout de chaux) à 2.43 mg / l (après

traitement). En conséquence, la dureté du puits de LHADDEB 2 (Nappe Albien) reste théoriquement (F66.7) ou empiriquement (F67.81) dans le champ non autorisé (F50).

Tableau 07 : Spécification pour l'eau de puits de (Hadeb 2) avant et après traitement à la chaux en excès

Eléments	Eaux Brutes mg/l	Résulta traitée théorique mg/l	Résulta traitée pratique mg/l	Les normes de l'OMS mg/l
Calcium (Ca ²⁺)	172.34	223	292	200
Magnésium (Mg ²⁺)	68.05	2.43	7.32	150
Sodium (Na ⁺)	250	250	223	200
Potassium (K ⁺)	19	19	17	20
Chlorure (Cl ⁻)	537.02	537.02	540	-
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	430	430	430	400
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	113.86	61.016	13.5	500
PH	7.12	-	8.71	7-8.5
Conductivité (µs/cm)	2680	-	2639	-
Dureté (F)	71	66.7	67.81	50

V4-3-2 Traitement de dureté par addition de soude

Il convient de noter que la méthode précédente (ajouter de la chaux en excès) n'est pas réalisable seule, ce qui nécessite une seconde étape de traitement pour éliminer la dureté du non-carbonate en ajoutant une solution de carbonate de sodium.

V4-4 Etude théorique

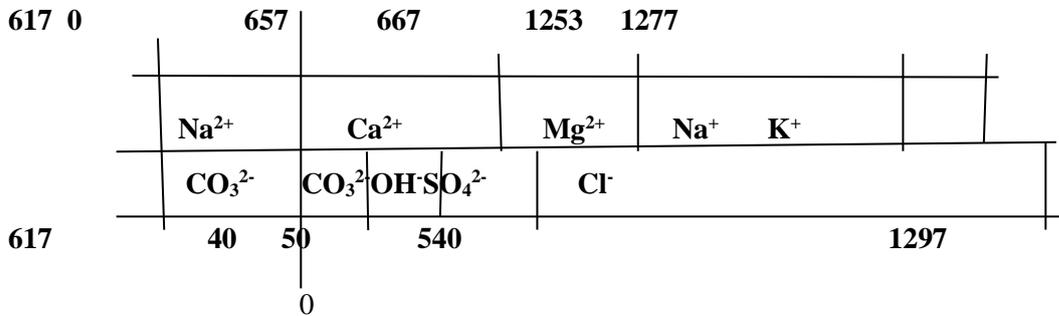
Les réactions chimiques les plus importantes pour atteindre les résultats souhaités sont les suivantes :

V 4.4.1 La quantité de soude nécessaire

La solution de soude appropriée pour l'addition de chaux et de soude a été déterminée en augmentant la différence entre l'équivalent de dureté totale des ions calcium et magnésium et la dureté carbonate associée aux ions calcium et magnésium. En d'autres, la

dureté résiduelle des ions calcium et magnésium après le processus d'addition de chaux en excès (247. Mg / l), comme indiqué dans le diagramme à barres [].

- **Diagramme à barres** : Caractéristiques du puits d'eau pour HADDEB 2 en ajoutant de la soude

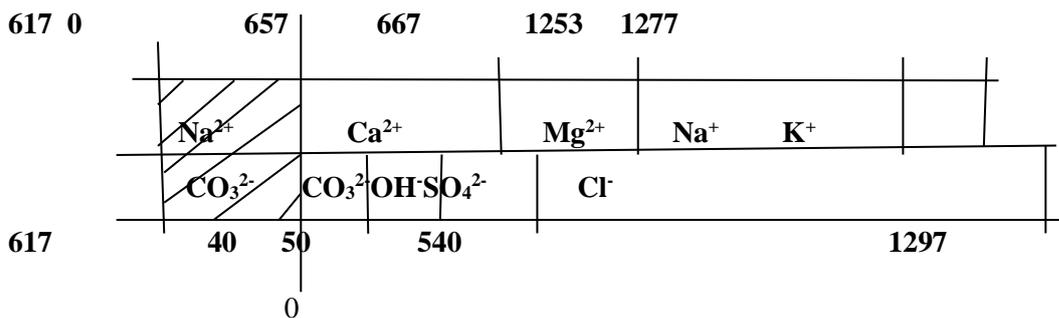


V 4.4.2 Dépôt de carbonate de calcium (CaCO₃)

A ce stade, les réactions chimiques mentionnées précédemment (en plus de la chaux et de l'inhibiteur) sont effectuées, laissant 40 mg / l de calcium dissous pour éviter l'acné caractéristique du préparateur d'eau. Le poids du calcium précipité sous forme de carbonate de calcium (CaCO₃) est estimé à

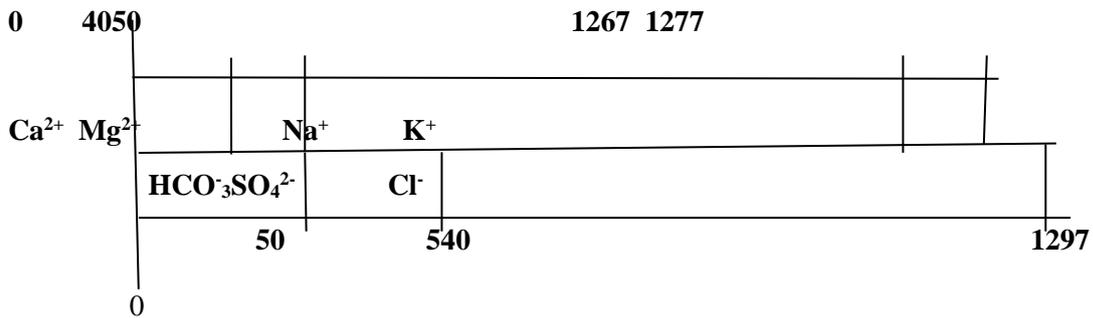
888 mg / l, comme indiqué dans le diagramme à barres suivant :

- **Diagramme à barres** : Détermination de la sédimentation et de la précipitation du calcium



En ajoutant la quantité nécessaire de CO₂ (50mg/l), l'état final de l'eau après l'ajout de chaux et de soude est augmenté par un schéma à barres [].

- **Diagramme à barres :** Les spécifications finales de l'eau traitée après ajout de chaux et de soude en excès

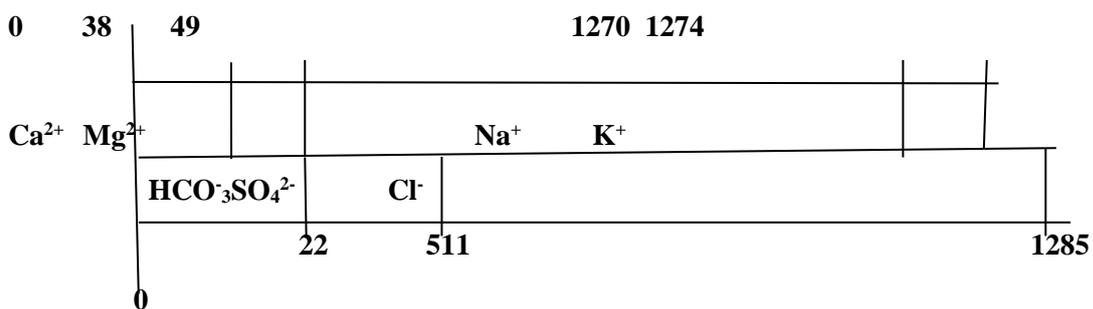


D'après le graphique précédent, la concentration en calcium a diminué de plus de 90%, soit de 172mg / l (eau) à la concentration de 16 mg / l (après traitement). Les ions magnésium ont diminué leur concentration de 68.5mg / l à 2.43mg / l après traitement, alors que la concentration de sodium est observée plus de deux fois que sa concentration initiale, soit de 250mg / l (avant traitement) à 559mg / l (après traitement). Selon cette méthode, la dureté du puits de HADDB2 a diminué de F71 avant traitement à (F5) (après traitement), ce qui permet d'inclure l'eau traitée dans l'eau désirée (F10).

V4-5 Etude pratique

En suivant les mêmes étapes (étude théorique typique), les spécifications finales de l'étude expérimentale indiquées dans le diagramme à barres suivant ont été obtenues :

- **Diagramme à barres :** Résultats du traitement expérimental de la méthode d'addition de chaux et de soude en excès



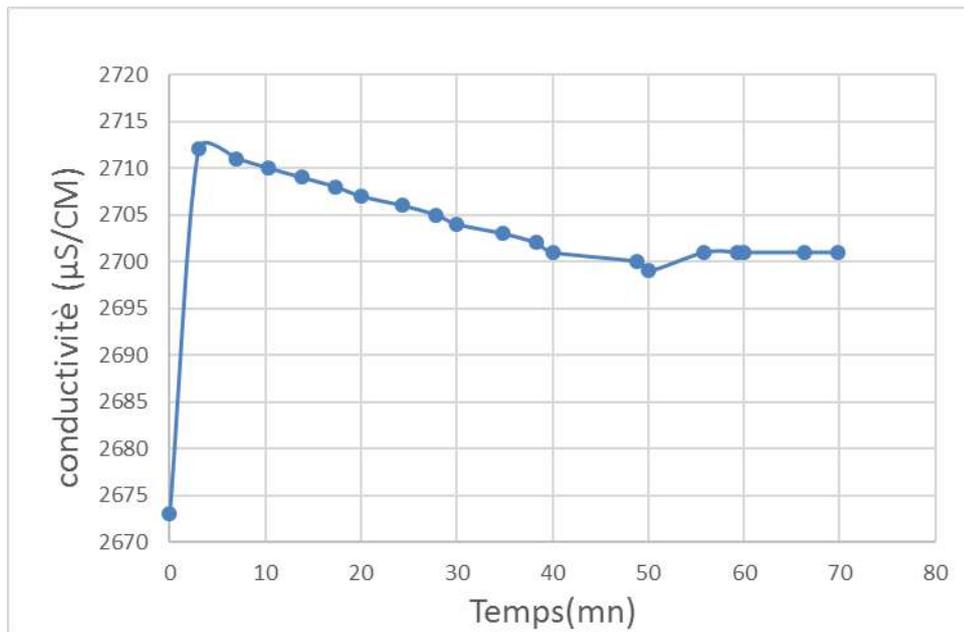


Figure07. Modifications de la conductivité électrique en termes de temps en ajoutant de chaux et soude en excès

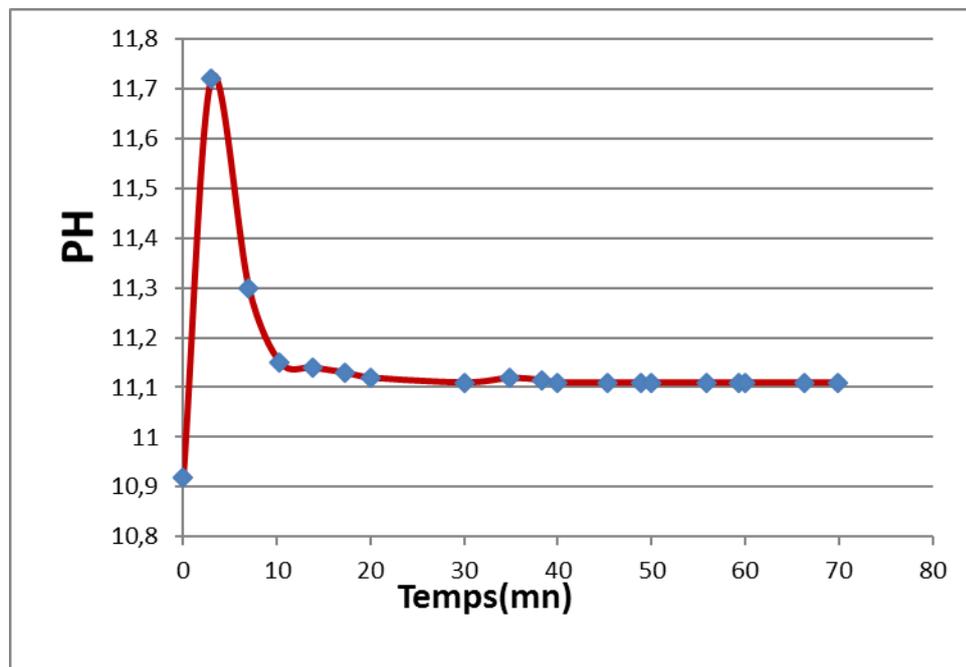


Figure08. Evolution de l'indice d'hydrogène en fonction du temps en ajoutant de chaux et soude en excès

Pour déterminer le temps de réaction, les modifications de la conductivité électrique (Fig.7) et de l'indice d'hydrogène (Fig.8) ont été examinées à différents moments.

La figure 7 montre un léger changement dans les valeurs de conductivité électrique par rapport à la méthode d'addition de chaux en augmentant le chiffre (5) où il augmente de la valeur de 2673µs / cm (avant l'ajout de chaux) à la valeur 2712µs / cm (après l'ajout de soude) pour commencer

immédiatement après trois minutes de réaction diminuant progressivement. Valeur Le temps de réaction est stabilisé à 2701 μ s / cm après 55 minutes de CaCO.

On estime à 105 minutes le magnésium ajouté en ajoutant de la chaux et de la soude au puits du désert. Pour les changements de pH

Il monte de 10.92 (en ajoutant de la chaux) à sa valeur maximale de 11.72 (en ajoutant de la soude), commence après un quart de minute pour diminuer et se décante à 11.11 après 40 minutes de réaction.

V3.2.3. Comparaison des résultats de traitement théorique et expérimental par addition de chaux et de la soude en excès

Comme le traitement de la dureté par addition de chaux par augmentation n'atteignait pas les résultats souhaités et qu'il fallait au moins atteindre une eau dure autorisée, le traitement a été poursuivi en utilisant la méthode consistant à ajouter de la soude et de la chaux par augmentation (Tableau 26).

De ce dernier, nous concluons que la concentration en calcium a diminué de 267,60 mg / l (avant traitement) à la concentration de 15,2 mg / l (après traitement avec de la chaux et de la soude), une diminution de plus de 17 fois et, par conséquent, la dureté de cette eau a diminué 11 fois la dureté de l'eau admissible (F50).

Tableau 08 : Les résultats du traitement à la chaux et à la soude en excès

Eléments	Eaux Brutes mg/l	Résulta traitée théorique mg/l	Résulta traitée pratique mg/l	Les normes de l'OMS mg/l
Calcium (Ca ²⁺)	172.34	16.03	15.22	200
Magnésium (Mg ²⁺)	68.05	2.43	2.67	150
Sodium (Na ⁺)	250	582	583	200
Potassium (K ⁺)	19	19	17	20
Chlorure (Cl ⁻)	537.02	537.02	538	-
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	430	430	430	400
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	113.86	61.016	22.84	500
PH	7.12	-	9.89	7-8.5
Conductivité (μ s/cm)	2680	-	2656	-
Dureté (F)	71	5	4.9	50

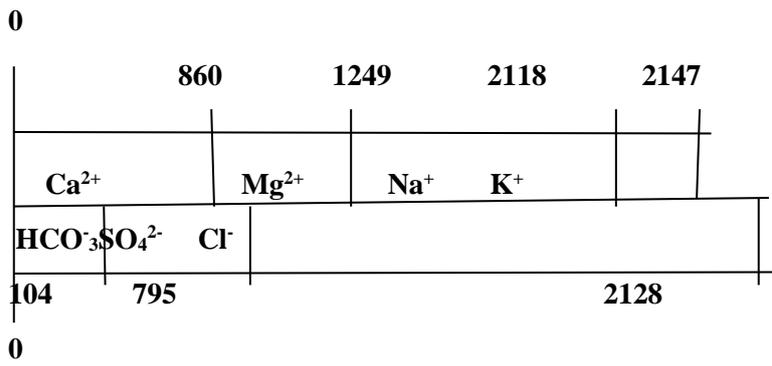
L'étude expérimentale a montré qu'en augmentant l'addition de chaux et de soude, il est possible d'obtenir des résultats très satisfaisants pour la dureté (F 4,9) et correspond aux critères souhaitables (10F). Par conséquent, nous n'utilisons que la méthode d'ajout de chaux et de soude, en particulier si nous savons que l'eau traitée a une dureté autorisée (F 5) et un score de 9.89 pH..

b) Nappe Sénonien (forage Elkhafdji 04) :

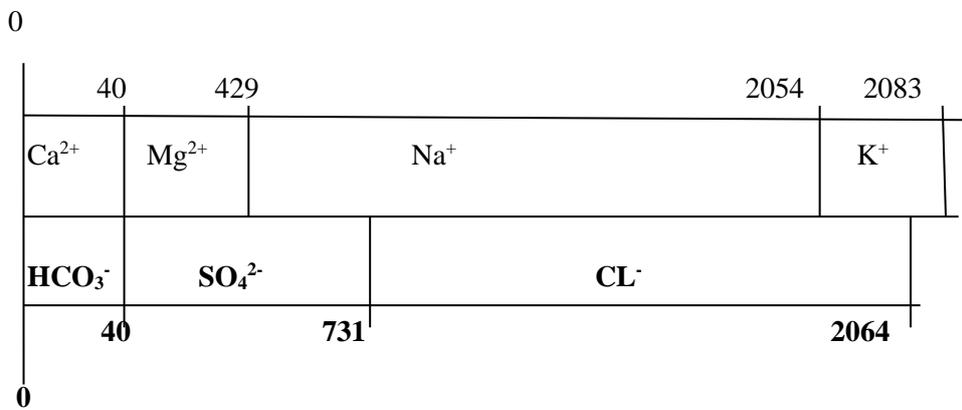
Tableau 09 :Caractéristiques physico-chimiques des eaux de Sénonien d'Ouargla (forage Elkhafdji 4).

Elément	Concentration		
	mg/L	ME	eq de CaCO ₃
Calcium (Ca ²⁺)	344.68	20.039	860
Magnésium (Mg ²⁺)	94.78	12.1525	389
Sodium (Na ⁺)	400	22.9897	869
Potassium (K ⁺)	23	39.0953	29
Chlorure (Cl ⁻)	945.24	35.45	1333
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	664	48.035	691
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	127.3	61.0168	104
pH	7.27		
Conductivité en mS/Cm	4300		
Salinité totale en g/L	1.85		
Dureté totale en ppm de CaCO ₃	1250		
Dureté totale en degré français	125		
Titre alcalimétrique complet (TAC) en ppm de CaCO ₃	104.3		
Titre alcalimétrique complet (TAC) en degré français	10.43		

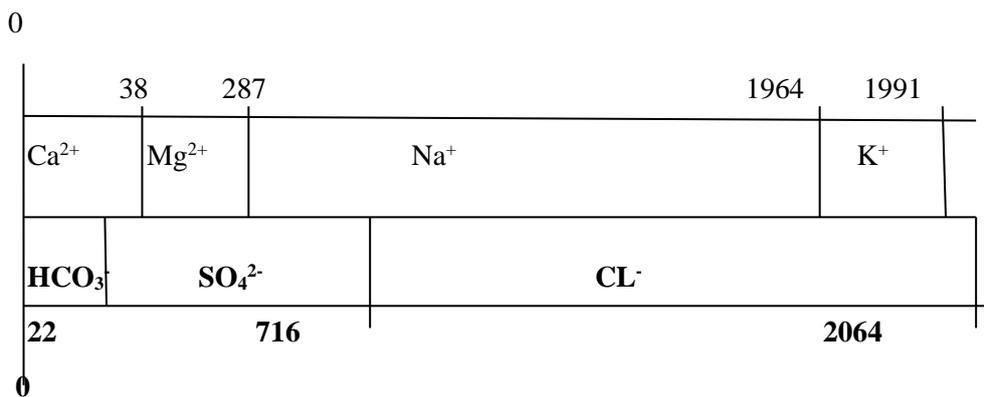
- **Diagramme à barres** :Eau brute pour la nappe Sénonien d'Ouargla



- **Diagramme à barre** : Spécifications finales pour l'eau traitée en ajoutant seulement de la chaux et du soude (théorique)



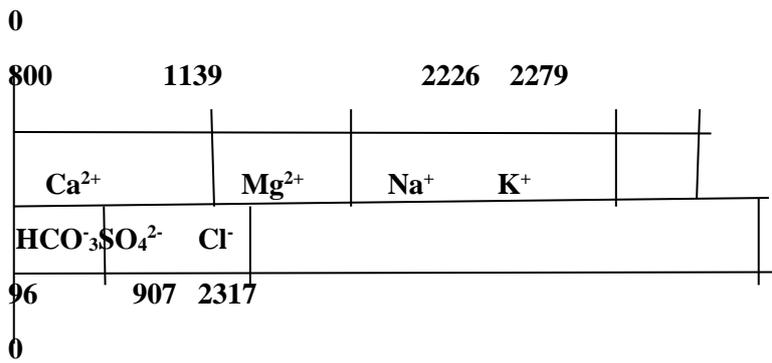
- **Diagramme à barre** : Spécifications finales pour l'eau traitée en ajoutant seulement de la chaux et du soude (pratique)



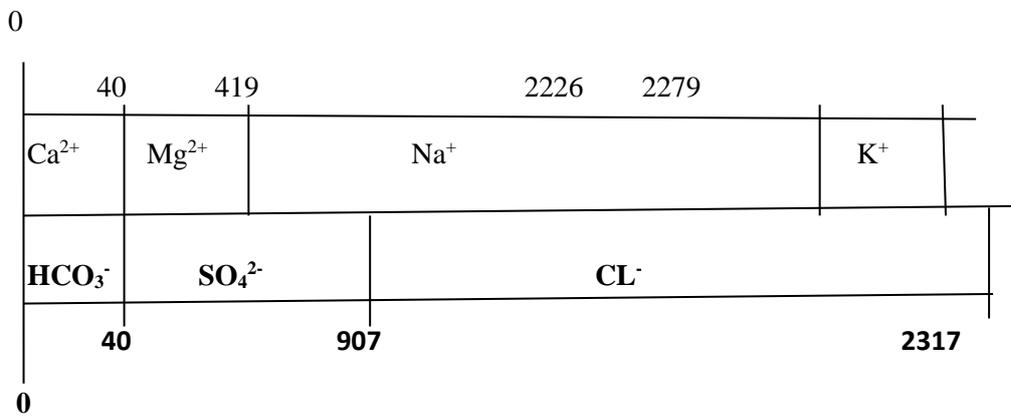
C) Nappe Moi-Pliocène (forage Matmoura) :**Tableau 10 :** Caractéristiques physico-chimiques des eaux de Mio-Pliocène d'Ouargla (forage Matmoura).

Elément	Concentration		
	mg/L	ME	eq de CaCO ₃
Calcium (Ca ²⁺)	320.64	20.039	800
Magnésium (Mg ²⁺)	85.06	12.1525	339
Sodium (Na ⁺)	500	22.9897	1087
Potassium (K ⁺)	42	39.0953	53
Chlorure (Cl ⁻)	999.77	35.45	1410
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	780	48.035	811
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	117.93	61.0168	96
pH	7.03		
Conductivité en ms/Cm	4650		
Salinité totale en mg/L	2.3		
Dureté totale en ppm de CaCO ₃	1150		
Dureté totale en degré français	115		
Titre alcalimétrique complet (TAC) en ppm de CaCO ₃	96.66		
Titre alcalimétrique complet (TAC) en degré français	9.666		

- **Diagramme à barres** :Eau brute pour la nappe Miopliocien d'Ouargla



- **Diagramme à barre** : Spécifications finales pour l'eau traitée en ajoutant seulement de la chaux et du soude (théorique)



- **Diagramme à barre** : Spécifications finales pour l'eau traitée en ajoutant seulement de la chaux et du soude (pratique)

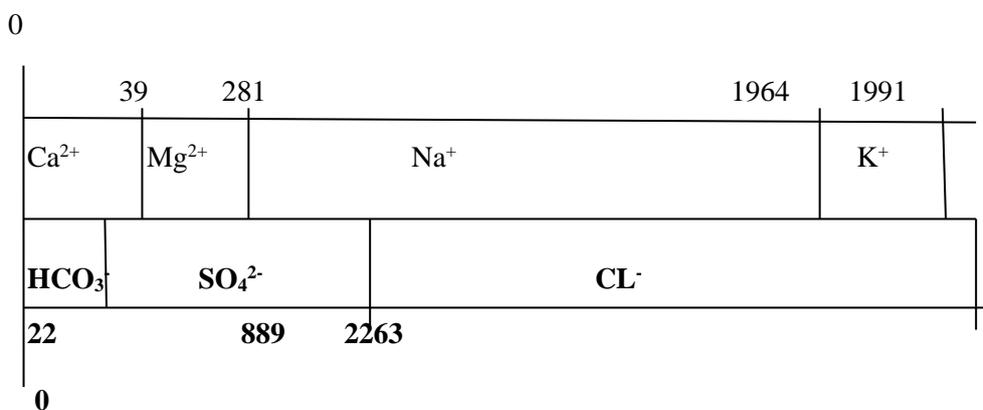


Tableau 11 : Comparaison des résultats de traitement expérimental par la méthode d'addition
Seulement de chaux et de soude (nappe Albien+ Sénonien + Miopliocien)

Eléments	Résulta Nappe Albien mg/l		Résulta Nappe Sénonien mg/l		Résulta Nappe Mio-Pliocène mg/l		Les normes de l'OMS
	Eaux Brutes	Eaux traitée	Eaux Brutes	Eaux traitée	Eaux Brutes	Eaux traitée	
Calcium (Ca ²⁺)	172.34	15.22	344.68	15.23	320.64	15.63	200
Magnésium (Mg ²⁺)	68.05	52	94.78	69.75	85.06	58.81	150
Sodium (Na ⁺)	250	526	400	771	500	824.41	200
Potassium (K ⁺)	19	19.54	23	20	42	40.5	20
Chlorure (Cl ⁻)	537.02	464	945.24	956.44	999.77	974.16	-
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	430	437	664	666	780	831	400
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	113.86	26.84	127.3	26.85	117.93	26.85	500
PH	7.12	9.89	7.27	10.03	7.03	9.70	7-8.5
Conductivité (µs/cm)	2680	2655	4300	2277	4650	4603	-
Dureté (F)	71	21.4	125	28.7	115	28.1	50

CONCLUSION :

Pour adoucissement des eaux souterraines De la région d'Ouargla appliquons de méthodes suivantes:

- 1-Ajouter la chaux seulement
- 2-Ajouter la chaux seulement et soude
- 3-Ajouter la chaux en excès
- 4-Ajouter la chaux en excès et soude

Mais économiquement l'addition de chaux en excès et soude est couteuse et nous pouvons appliquer l'addition de chaux seulement et soude qui a été réduit la dureté et inclure dans la plage admissible (50 °f).

المساهمة في دراسة معالجة عسرة المياه الجوفية (حالة منطقة ورقلة)

ملخص : بشكل عام ، يبدو أن الخصائص المعدنية لمياه منطقة الدراسة لا تتوافق مع معايير المياه الصالحة للشرب بالطبقات المستغلة (CT) و (CI) طبقات خاصة فيما يتعلق (4.9 °f) .

حيث أظهرت الدراسة التجريبية أن إضافة الجير بزيادة والصودا. تمكن من الحصول على نتائج مرضية للغاية لعسرة المياه (10 °f) وفي المعايير المرغوبة .

ولكن من الناحية الاقتصادية، تعد إضافة الجير بزيادة والصودا باهظة الثمن ، ويمكننا تطبيق إضافة الجير فقط والصودا حيث تقي بتخفيف العسرة وإدراجها في النطاق المسموح به (50 °f).

كلمات مفتاحية: مياه جوفية، عسرة، جير، صودا

Contribution à l'étude d'adoucissement des eaux Souterraines (Cas de la Région d'Ouargla)

D'une façon générale les caractéristiques minérale des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non-conformes aux normes de potabilité. Notamment en ce qui concerne les nappes exploitées (nappes de CT et CI).

L'étude expérimentale a montré qu'en augmentant l'addition de chaux et se soude. Il est possible d'obtenir des résultats très satisfaisants pour la dureté (4.9 °f). et correspond aux critères souhaitables (10 °f).

Mais économiquement l'addition de chaux en excès et soude est couteuse et nous pouvons appliquer l'addition de chaux seulement et soude qui a été réduit la dureté et inclure dans la plage admissible (50 °f).

Mots-clés: eau souterraine, dureté, chaux, soude

Contribution to the water softening study (Case of Ouargla Region)

In general, the mineral characteristics of the waters of the study area appeared to be generally mediocre with values that do not comply with the standards of portability. Especially with regard to the exploited sheets (CT and CI layers).

The experimental study has shown that increasing the addition of lime and soda. It is possible to obtain very satisfactory results for the hardness (4.9 ° f). and meets the desirable criteria (10 ° f).

But economically the addition of excess lime and soda is expensive and we can apply the addition of only lime and soda which has been reduced in hardness and include in the allowable range (50 ° F).

Keywords: groundwater, hardness, lime, soda

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

- [01] : ABH. (2006). Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Sahara septentrional, rapport de Mission. Ouargla. 5P
- [02] : ADE (2011) : Algérienne des eaux (Ouargla). Rapport interne de laboratoire des analyses d'eau.
- [03] : ANRH (2008, 2010) Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Ouargla Inventaire des Forages. Rapport interne.
- [04] : A. FOUCAULT 2009 .Climatologie et paléoclimatologie, 138P. DUNOD. ISBN 978-2-10-054165-2
- [05] : BELLAOUER. A (2008). Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région d'Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives. Mémoire Magister, Université de Batna.
- [06] : BESBES M., et ALL(2003) : Système Aquifère du Sahara septentrional. Gestion commune d'un Bassin transfrontière. Eau et environnement; la houille blanche/N°5-2003
- [07] : CHABOUR. N (2006). 1-Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la Plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie, Thèse de doctorat d'état Université De Constantine
- [08] : Cornet A. (1964) Introduction à l'hydrogéologie saharienne, Rev. de géogr. Phys. et de géol. Dyn. 2, Vol. VI, Fasc. 1, 5-72
- [09] : CRNA (1991) Etude Hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la Cuvette de Ouargla. Rapport interne.
- [10] : DJIDEL.M. (2009). Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette D'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- [11] : ENAGEO (1993). Etude géophysique et hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla. Rapport final 1993.
- [12] : HADJ-ABDERRAH MAN E(1998). Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette D'Ouargla. Rapport interne ANRH, Ouargla.
- [13] : GUENDOUZ A. et MOULA. A.S (1992-1995). Etude Hydrochimique et isotopique des eaux Souterraines de la cuvette d'Ouargla 1er rapport interne 1992 et 2ème rapport interne 1995 CDTN/DDHL- ALGER.

Références Bibliographiques

[14] : KILIAN. C. (1931). Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.

[15] : معالجة عسرة مياه طبقة الأبيان حوصلة تجريبية وإمكانية استغلال النتائج في منطقة واد ريغ . لي (قيس بأوية) :

[16] :BENZOUADA Djaafar & BOUSSAID Taha .Étude Hydrochimique des eaux du la complexe terminal d'Ouargla

[17] :Adoucissement des eaux géothermales de l'oued r'hir. étude comparative de deux types de chaux (CaO et Ca (OH)₂)

.

.