

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar-El-Oued



**Faculté des sciences et de la technologie Département des sciences technologie
filière d'hydraulique**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme master Professionnel en hydraulique

Option : Conception et diagnostic de système d'AEP et d'AEU

THEME:

**Contribution à l'étude de l'hyperfluoruration des eaux souterraines de région
d'EL –Oued (souf) et ses conséquences sur la santé humaine**

Présenté par :

- BEN DOYEM Safia

Devant le jury :

- Président: Mr .OUAKOUAK Abdelkader

- Examineur : Mme .BOUCHEMAL Fattoum

- Encadreur : Mr .GUSSEIR Belgacem

Promotion : Juin 2015

Remerciements



Remerciements

Au terme de ce travail, on remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous donné durant tous ces années d'étude.

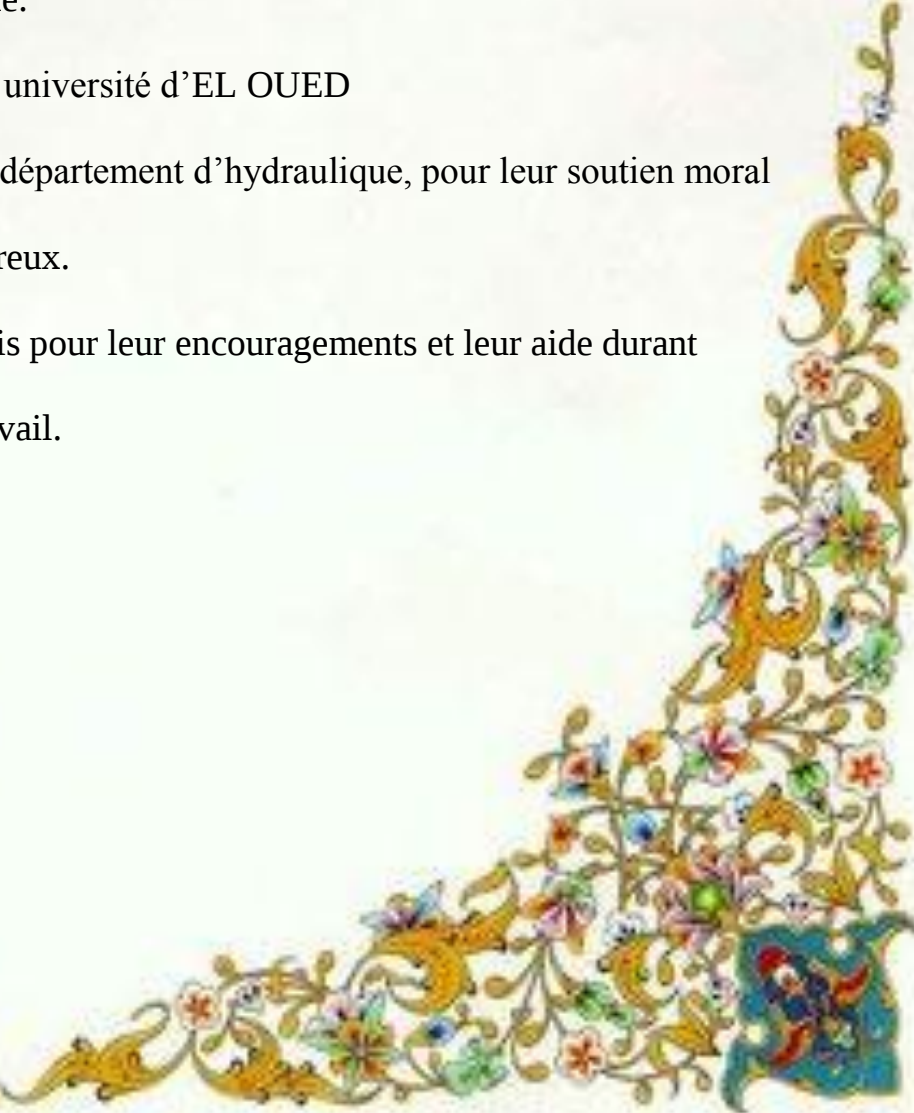
Il s'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail et en particulier :

Mr . Guesseir Belgacem, qui a accepté de diriger ce travail, on lui exprime ici toute notre gratitude.

Tous les étudiants du université d'EL OUED

Notre Enseignants du département d'hydraulique, pour leur soutien moral et leur accueil chaleureux.

Notre collègues et amis pour leur encouragements et leur aide durant la réalisation de ce travail.



Résumé

Cette étude concernant l'hyperfluoruration des eaux des nappes souterraines de la région d'El-Oued (Souf) et ses conséquences sur la santé humaine s'est soldée par la recherche des causes essentielles de cette intoxication fluorée. Suite à des investigations en matière d'analyses, d'enquêtes au niveau du terrain et de recherches bibliographiques, nous sommes arrivés aux résultats prouvant que l'eau est le principal facteur de cet excès de fluor. En plus, d'autres facteurs secondaires s'ajoutent à savoir la consommation du thé et celles des cultures irriguées par cette eau hyperfluorée (dattes, maraichages etc...) . Les valeurs moyennes obtenues des teneurs en fluor sont très élevées pour la nappe phréatique soit 3,37mg /l, et 2,19mg/l pour le C.T. Qui est largement au-dessus des normes de l'eau de boisson (1mg/l) .Par contre, celles du C.I, la concentration moyenne est de 0,85mg/l est acceptable ce qui nous montre que les teneurs en fluor sont inversement proportionnelles à la profondeur. L'ingestion prolongée de cette eau hyperfluorée, ainsi que des aliments constitués par les cultures arrosées par celle-ci et du thé ont causé des fluoroses dentaire et osseuse (ostéoporose) d'où la nécessité de la défluoruration.

Mots clés :

Fluor, nappes souterraines, fluoroses, défluoruration

Abstract :

This study on the water hyperfluoruration groundwater from El- Oued region (Souf) and its impact on human health has resulted in looking for the root causes of this fluorine poisoning. Following investigations in the field of analysis, investigations at the field and bibliographic research, we came to results showing that water is the main factor of this excess fluorine. In addition, other secondary factors add namely tea consumption and those of irrigated crops in this hyperfluorée water (dates, market gardening etc. ...). The average values obtained fluorine contents are very high for the groundwater is 3,37mg / l and 2, 19mg / l for CT which is well above the standard of drinking water (1 mg / l). By cons, those of the CI, the average concentration is 0, 85 mg / l is acceptable which shows us that the fluorine contents are inversely proportional to the depth. Prolonged ingestion of this hyperfluorée water, and foods made from crops watered by it and tea caused dental and skeletal fluorosis (ostéoporeuse), hence the need for defluoridation.

Keywords: Fluor, groundwater, fluorosis, defluoridation

Liste des Abréviations :

D.P.A.T	Direction de la planification et de l'aménagement de territoire
D.H.W	Direction de l'hydraulique de wilaya
O.N.M	Office national de la météorologie
B.N.E.D.E.R	Bureau national des études du développement rural
C.T	Complexe terminal
C.I	Continental intercalaire
I.N.S.P	Institut national de santé publique
O.M.S	Organisation mondiale de la santé

Sommaire

Sommaire

Titre	N° Page
Résumé	
Remerciements	
Liste des Abréviations	
Liste des Tableaux	i
Liste des Figures	ii
Liste des photos	iii
Introduction	01
Chapitre I	
Présentation de la région d'étude	
1.1– Situation géographique du Souf	03
1.2. - Facteurs abiotique	04
1.2.1. - Relief du Souf	04
1.2.2. - Caractères pédologiques de la région d'étude	04
1.2.3 - Hydrogéologie	04
1.2.3.1. - Nappe phréatique superficielle	04
1.2.3.2. - Nappes profondes	05
1.2.3.2.1. - Complexe terminal	05
1.2.3.2.2. - Continental Intercalaire (Barrémien-Albien)	05
1.2.4. - Facteurs climatiques du Souf	05
1.2.4.1.- Températures	05
1.2.4.2. - Précipitations	07
1.2.4.3.- Humidité relative de l'air	07
1.2.4.4.-Insolation	07
1.2.4.5. - Vents dominants et particuliers	07
1.2.4.6. - Evaporation	08
1.3- Conclusion	08
Chapitre II	

Synthèse bibliographique concernant l'hyperfluoruration des eaux de boisson	
2.1.-Généralité concernant les fluorures	10
2.2.- Provenance des Fluorures	10
2.2.1.- Règne minéral	10
2.2.2.- Règne végétal	11
2.3.- Fluoruration	12
2.4.-Conséquences d'une l'hyperfluoruration	13
2.5.- Normes	15
Chapitre III Matériels et Méthodes	
3.1.- Choix des stations d'étude	20
3.2. –Méthodes d'analyse du fluor	21
3.2.1.- Méthode volumétrique	21
3.2.2.- Méthode colorimétrique	21
3.3.1.- Analyse du fluor par électrode spécifique	22
3.3.2.- Théorie	22
3.3.3.- Matériel et réactifs	23
3.3.4.- Manipulation	24
CHAPITRE IV PARTIE EXPERIMENTALE	
4.1.-Caractéristique chimique de l'eau	27
4-1-1.- But	27
4-1-2.-Méthodes d'analyses	27
4.2.- Analyse du fluor	30
4.2.1.-Echantillonnage	30
4.2.2.- Conservation	30

4.3.-Résultats et discussion	30
4.4.-Conséquences d'une hyperfluoruration	32
4.4.1.-Elimination du fluor	34
4.4.2.-Utilisation du phosphate tricalcique	34
Conclusion générale	36

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
N° 01	données climatiques moyennes de la région d' El-Oued (Souf) (2001- 2013) (O.N.M.,d' el-Oued, 2014)	06
N°02	les analyses du professeur A. Minkh, de la chaire d'hygiène de l'institut de stomatologie de Moscou sur différents végétaux alimentaires (Gusseir B., 1977)	12
N°03	régions du sud-algérien où l'eau est naturellement hyperfluorée avec pour certains d'habitants d'âge scolarisés atteints de fluorose dentaire d'après l'I.N.S.P. (1974)	14
N°04	normes admissibles pour les fluorures dans l'eau. (LEONE.1962)	15
N°05	analyse des végétaux à Bayada teneur F ⁻ en mg/kg. (Azout B.,1976)	16
N°06	concentration d'ion fluorure F ⁻ dans la région du Souf (Guesseir B., 1977)	17
N°07	concentration des fluors dans la nappe artésienne dite " le Pontien". (Guesseir B., 1977)	17
N°08	caractéristiques physico-chimique des eaux souterraines de la région d'El-Oued (Zobeidi A., 2010)	18
N°09	valeurs lues sur le voltmètre concernant les solutions étalons de k.F . (Guesseir B., 1977)	25
N°10	reproductibilité sur une concentration de 5 p.p.m avec les solutions décomplexantes (Guesseir B.,1977)	25
N°11	Analyse chimique de l'eau d'un forage El_Oued (Chouhada) et d'un puits à (Bayada)	28

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
N°1	Carte géographique du Souf (DUBOST, 2002 modifié par ALLAL, 2008)	03
N°2	Montrant les stations d'étude	20

Liste des photos

photo	Titre	Page
N° 01	montrant un puit à eau hyper fluorée (Afrique)	10
N°02	montrant un cas de fluorose dentaire	32
N°03	montrant cas de fluorose osseuse	33

Introduction

Introduction

Depuis fort longtemps, l'eau de la région d'El-oued (Souf) était connue pour sa qualité médiocre pour l'alimentation humaine. Durant cette époque antérieure, l'eau de boisson comme l'eau qui sert l'irrigation des cultures provenait dans sa majorité de la nappe phréatique malgré l'existence de quelques forages au Complexe Terminal. Selon Azout (1974), la nappe phréatique est alimentée en grande partie par les eaux de ruissellement de l'Atlas Saharien, qui au cours de leur migration se chargeraient de nombreux éléments minéraux dont le fluor. Plusieurs travaux ont été réalisés par l'Institut des sciences médicales d'Alger dans la région d'El-Oued (Souf) ont montré que l'intoxication fluorée endémique entraîne des lésions irréversibles pour l'émail dentaire compromettant l'esthétique buccale et des lésions osseuses réversibles si le sujet n'est plus soumis à l'agression du fluor.

Il est à signaler que peu d'études ont été réalisées dans le cadre de la détoxication des eaux fluorées malgré que son importance. A cet effet, le thème paraît séduisant en matière d'action préventive mais apparemment, il semble difficilement réalisable. Parmi les auteurs qui ont travaillé sur l'hyperfluoruration au niveau de cette région, on trouve Guesseir (1977) et Zoubeidi (2009).

Pour toutes ces raisons, nous avons jugé utile d'apporter notre contribution à l'étude de l'hyperfluoruration de l'eau des nappes souterraines de la région d'EL-Oued (Souf).

Pour aboutir à ce résultat, nous avons structuré notre étude en quatre chapitres qui sont :

- **CHAPITRE I** : présentation de région d'étude dans son contexte géographique, secondée d'une étude climatique, géologique et hydrogéologique.
- **CHAPITRE II** : synthèse bibliographique concernant les fluorures et l'hyperfluoruration des eaux.
- **CHAPITRE III** : matériel et méthodes d'analyses des eaux et du fluor.
- **CHAPITRE IV** : partie expérimentale et interprétation des résultats suivie d'une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I

Présentation de la région d'étude

CHAPITRE I– PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

1.1–Situation géographique du Souf:

La région du Souf est une partie de la wilaya d'El-Oued rattachée au Sahara septentrional et caractérisée par des facteurs écologiques assez spécifiques.

Elle est située dans le Sud- Est algérien et au Nord du grand Erg oriental (Fig. 1) avec une superficie de 35706 km². Elle est comprise entre le 33° 19' à 33° 61' N et 6° 80' à 7° 10' E (NADJAH, 1971) avec une altitude moyenne de 60 m. Elle est limitée par :

- la zone des chotts (Melghir et Merouane) au Nord
- la zone frontalière tunisienne avec le chott El-Djérid à l'Est
- la wilaya d'Ouargla et la vallée de l'Oued-Righ à l'Ouest
- l'extension de l'Erg oriental au Sud

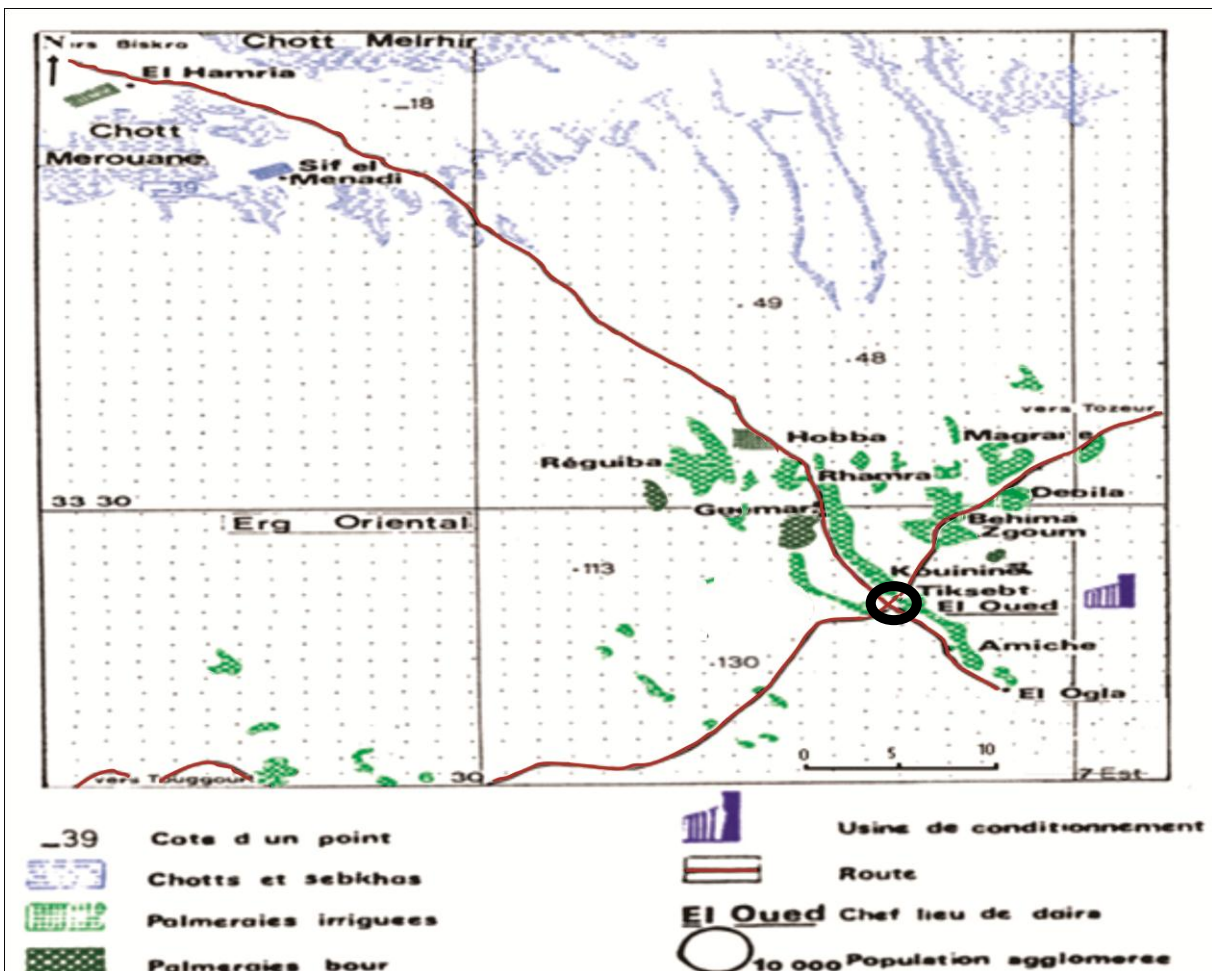


Fig .1- Carte géographique du Souf (DUBOST, 2002 modifié par ALLAL, 2008)

Quant à la ville d'El - Oued, elle se trouve à environ 650 km au Sud- Est d'Alger et à 350 km

De Gabès(Tunisie) selon la D.P.A.T. (2008).

1.2.-Facteurs abiotiques:

Les plus actifs sont au nombre de quatre. Il s'agit du relief, du sol, de l'hydrogéologie et du climat (températures, précipitations, humidité relative, insolation et vents).

1.2.1.-Relief du Souf:

La configuration du relief de la vallée du Souf est sablonneuse avec des dunes qui peuvent atteindre une centaine de mètres de hauteur (NADJAH, 1971). Ce relief est assez accentué et se présente sous un double aspect dont l'un est un Erg occupant les 3/4 de la surface totale et l'autre sous forme de dépressions fermées entourées de dunes. Le Souf tout entier est presque compris entre deux lignes : 80mètres à l'Est et 120mètres à l'Ouest (VOISIN, 2004).

1.2.2. -Caractères pédologiques de la région d'étude:

Le sol du Souf prend deux aspects dont le plus dominant est l'ensemble dunaire qui est constitué par de grandes accumulations sableuses tandis que l'autre partie dénommée localement "Shounes" est située dans la partie Nord-Est-Sud, caractérisée par une superficie caillouteuse avec des croutes gypseuses entourées par de hautes dunes (Ghroud) qui leur donnent aussi une forme de cratère, alors qu'à l'Ouest, on trouve la Tefza constituée essentiellement par du carbonate de calcium (CaCO_3). En outre selon VOISIN (2004), le sable de la région est constitué essentiellement de silice (40 à 60%), de gypse (10 à 40%), de calcaire (2 à 20 %) et d'une très faible proportion d'argile (0 à 5%).

1.2.3-Hydrogéologie:

Les formations géologiques dans la région du Souf présentent une succession régulière allant du Crétacé inférieur jusqu'au Mi- Pliocène, ainsi qu'à celui du quaternaire qui renferment de grands aquifères selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Ouargla (2005). On distingue :

1.2.3.1. -Nappe phréatique superficielle:

Cette nappe se trouve partout dans le Souf, elle est semi-captive et repose sur un plancher argilo- gypseux du Pontien supérieur (VOISIN, 2004). Elle est constituée principalement par des dépôts de sable quaternaire. Son épaisseur atteint les 67mètres et sa profondeur varie de 10 à 40mètres selon la topographie du terrain et sa salinité oscille entre 5 et 7 g/l (D.H.W., 2010). Elle est actuellement exploitée pour l'irrigation.

1.2.3.2. - Nappes profondes:

Elles sont constituées par deux grands réservoirs de deux bassins sédimentaires : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire qui sont exploités dans le cadre de l'irrigation et de l'alimentation en eau potable (D.H.W., 2010).

1.2.3.2.1.-Complexe terminal :

Il est constitué par des calcaires sénoniens de sable du mio-pliocène. L'épaisseur de la nappe est d'une centaine de mètres et de profondeur variable allant de 100 à 500mètres, débitant en moyenne 25 à 35 l / s .Sa température est de l'ordre de 23 à 25 °C. avec une salinité de 3 à 5 g/l(D.H.W., 2010).

1.2.3.2.2.-Continental Intercalaire (Barrémien-Albien):

Cette nappe est contenue dans les argiles sableuses et les grès du Continental Intercalaire. Il s'agit d'une eau fossile emmagasinée au cours des périodes pluviales du quaternaire. Elle se situe entre le massif du Tassili et de l'Atlas saharien, couvrant une étendue de 600.000km²avec une épaisseur importante de plusieurs centaines de mètres (VOISIN,2004). Elle est artésienne, débitant 200 à 250 l / s et caractérisée par une température élevée de 58 à 70 °C, avec une salinité de 1,5 à 2 g / l(D.H.W., 2010).

1.2.4.- Facteurs climatiques du Souf:

Le Sahara est le plus grand des déserts mais également le plus extrême. En effet c'est là que les conditions climatiques atteignent leurs plus grandes amplitudes. Celles-ci sont dues

Cancer, ce qui entraîne de fortes températures et un régime des vents à courants chauds et secs. Pour cela la présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique établie sur 15 ans (1995-2009) selon les données de l'Office National de Météorologie (O.N.M.) d'El-Oued qui sont illustrées dans le tableau 1.

1.2.4.1.- Températures :

Du fait de son appartenance aux régions sahariennes, de sa position continentale et de sa proximité de l'équateur, le Souf présente de forts maxima de températures et de grands écarts thermiques (VOISIN, 2004). Selon les données du tableau 1, la température moyenne annuelle est de 21,18°C. avec une moyenne mensuelle des maxima et des minima atteignant Respectivement les 27,42 °C et 14,37°C. Soit une amplitude entre les moyennes de 13,05°C, considérée comme importante.

Quant aux températures maximales absolues, elles dépassent parfois les 45°C. Durant les mois de juin, juillet et août alors que les minimas absolus descendent au-dessous de 0°C. Pendant 3 à 4 jours durant l'hiver, de décembre à février.

Tableau 1 -Données climatiques moyennes de la région d'El-Oued(Souf) (2001- 2013)
(O.N.M., d' El-Oued, 2014)

Mois Paramètres	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Moyennes annuelles
Température minimale °C. (m)	3,8	6,8	9,4	13	17,4	22,4	24,6	24,5	21,2	15	8,8	5,5	14,37
Température maximale °C.(M)	16,7	18,9	22,1	26,5	31,5	37,5	41,5	40,5	34,7	27,8	21,3	17,3	27,42
Température moyenne °C. (m+M)/2	10,8	12,9	15,8	19,8	24,5	29,9	32,5	32	28	21,4	15,2	11,4	21,18
Minimum absolu °C.	-1,4	-1,5	0,9	4,8	4,9	9,8	14	17,9	18,8	12	6,7	-2,1	7,07
Maximum absolu °C.	27	30	36,5	37,8	43	46 ,6	47,8	47,5	44,9	39,8	30,5	25,8	37,33
Précipitations (mm)	9.5	10.5	11	10	4	2	0	0	4	5,8	9	11	76,80 *
Humidité(%)	63	48,5	38	29,4	30,4	31	24	32,5	40,6	61	60,2	69	43,97
Insolation (h/mois)	263	229	256	240	223	337	365	351	244	196	239	222	3165 *
Evaporation(mm)	110	150	165	206	200	290	330	312	220	190	139	105	2417 *
Vent(m/s)	1,6	2	3,6	4,3	4,4	4,2	4,1	2,5	2,6	2,7	2,6	2,2	3,07

* : Cumul annuel

1.2.4.2.-Précipitations:

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres (RAMADE, 1994). Le climat du Souf est caractérisé par la rareté et l'irrégularité frappante des précipitations inter-mensuelles et inter-annuelles. La répartition des pluies est marquée par une sécheresse absolue durant toute l'année. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 76,80 mm pour une période d'une quinzaine d'années (2001-2013), caractérisées par deux maximas de chutes de pluies en mars et en décembre avec 11 mm pour chaque mois selon les données de l'Office National de Météorologie (tableau 1).

1.2.4.3.-Humidité relative de l'air:

Quant au Souf, l'humidité de l'air est très faible et varie sensiblement à travers les saisons de l'année. En effet, pour la période 2001-2013, l'humidité maximale est enregistrée pendant l'hiver durant le mois de décembre en atteignant 69% alors que pendant la saison estivale, elle chute à 24% en juillet sous l'effet d'une forte évaporation due aux vents chauds et secs, notamment du sirocco. La moyenne annuelle est de 43,97% (Tab.1).

1.2.4.4.-Insolation:

La moyenne annuelle de l'insolation est de 3165 heures marquée par un pic pour le mois de juillet avec un volume horaire de 365 heures et un minimum de 222 heures pour le mois de décembre (Tab.1).

1.2.4.5.-Vents dominants et particuliers:

Le vent est l'un des éléments les plus caractéristiques du climat (SELTZER, 1946), il agit en activant l'évaporation qui pourrait induire ainsi une sécheresse.

D'après les données de l'Office National de Météorologie (2001-2013) pour la région

D'El-Oued, les vents sont fréquents et leur vitesse moyenne annuelle est de 3,07 m/s (Tab.1) avec une direction dominante et variable suivant les saisons.

Le vent du Nord-Ouest (Dahraoui) sévit surtout au printemps, tandis que celui d'orientation Est-Nord (Bahri), se manifeste généralement de la fin mai à la mi-octobre mais parfois très violemment en se transformant en véritables tempêtes de sable avec des vitesses maximales atteignant 15 à 30 m/s soit 54 à 180 km/h (B.N.E.D.E.R., 1983) occasionnant des dégâts importants notamment aux productions agricoles. Il pourrait jouer dans ces conditions

particulières le rôle de facteur de mortalité pour les oiseaux durant la couvaison et le nourrissage (BOUKHEMZA, 1990). Le sirocco (vent du Sud) chaud et sec intervient surtout en été (SELTZER, 1946).

1.2.4.6. –Evaporation:

L'intensité de l'évaporation est fortement renforcée par les vents, notamment ceux qui sont chauds tel que le sirocco (TOUTAIN, 1979). Dans la présente zone d'étude, comme partout en zones arides, l'évaporation est toujours la plus importante en surface une que sous couvert végétal, surtout en été. Elle enregistre une moyenne annuelle de 2417mm en passant par un maximum en juillet avec 330mm à cause des hautes températures et un minimum de 105 mm en décembre (Tab.1).

1.3-Conclusion:

La région d'El-Oued (Souf) est située dans l'étage bioclimatique aride. Elle est caractérisée par la faiblesse de la pluviométrie, les fortes amplitudes thermiques, une intense évaporation ainsi que par l'existence de vents qui sont parfois violents et catastrophiques. Elle renferme d'immenses ressources hydriques (la phréatique, le C. T. et le C.I.) mais par contre , la qualité de ces eaux exige au préalable des traitements (deminéralisation, adoucissement, refroidissement . de fluoruration ...).

CHAPITRE II

Synthèse Bibliographique concernant l'hyper
fluoruration des eaux de boisson

CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE CONCERNANT L 'HYPERFLUORURATION DES EAUX DE BOISSON

2.1.-Généralité concernant les fluorures:

L'ion fluorure est la forme ionique de l'élément fluor.

Le fluor est un minéral naturellement présent dans le sol, l'air, les végétaux, les animaux et les sources d'approvisionnement en eau. Les individus sont quotidiennement exposés à de petites quantités de fluorure provenant de l'air qu'ils respirent, de l'eau et des aliments qu'ils consomment.

Le fluor est considéré comme un élément nutritif étant donné ses effets bénéfiques reconnus sur la santé dentaire. Les fluorures sont souvent ajoutés aux sources d'approvisionnement en eau potable et à des produits dentaires tels que le dentifrice et le rince-bouche. Ils sont également appliqués par des professionnels afin de prévenir les caries dentaires.



Photo1 montrant un puit à eau hyper fluorée (Afrique)

2.2.-Provenance des Fluorures:

On le rencontre sous forme de combinaisons dans les règnes suivants:

2.2.1.- Règne minéral :

Les minerais de fluor sont par ordre d'importance :

- a) La fluorine ou spath fluor, de formule Ca F_2 se trouvant dans les roches anciennes, les terrains siluriens.
- b) La cryolithe ou fluor aluminé de sodium de formule théorique $(\text{AlF}_3) (\text{Na F})_6$.
- c) L'yttrécérite ou fluorure d'yttrium YF_3 qui renferme toujours du cérium.

- d) La flucérine ou fluorure de cérium CeF_3 et la basicerine qui est un fluorure de cérium hydraté.
- e) La conchédrité ou fluosilicate de magnésie que l'on rencontre presque uniquement en Scandinavie.
- f) La topaze pierre précieuse qui est un fluosilicate d'alumine : $\text{Al}_2\text{F}_2\text{SiO}_4$ existant dans les roches granulitiques.
- g) La pycnide qui est une variété bacillaire de la topaze, qui trouve associée au quartz et au mica dans les mines de étain de Bohême et de sexe.

Tous ces minéraux, sauf la fluorine, sont rares, mais le fluor est un constituant permanent des roches éruptive et un élément accessoire de certaines roches très répandues comme le phosphate de chaux ou on le rencontre sous forme d'apatite $3[(\text{CO}_3)_2(\text{PO}_4)_2]2\text{CaF}_2$.

Ainsi les phosphates Nord- Africains ont une teneur en fluorure de calcium de 1,15 à 2,26%.

On le trouve également dans les phosphorites, dans denombreaux silicates et dans les bauxites sous forme de fluosilicates, fluoséniates ou fluovanadates.

2.2.2.-Règne végétal :

Le fluor est constamment présent dans le règne végétal puisque toutes les cendres des végétaux en contiennent.

les plante, les plus riches en fluor sont les plantes marines , les graminées et les équisétacées . Peu de renseignements sont donnés sur la concentration en fluor des principaux produits alimentaire.

Tableau2-Les analyses du professeur A. Minkh de la chaire d'hygiène de l'Institut de stomatologie de Moscou sur différents végétaux alimentaires (Guesseir B., 1977)

VEGETAUX ALIMENTATAIRES	POIDS DE FLUOR (en mg) CONTENU DANS	
	100 grammes de produit frais	100 grammes de produit séchés
- Siegel	0,14 à 0,27	0,16 à 0,30
- Froment (blé)	0,14 à 0,27	0,16 à 0,20
- Orge	0,14 à 0,18	0,16 à 0,20
- Avoine	0,11 à 0,29	0,12 à 0,32
- Navet	0,14 à 0,05	0,20 à 0,32
- Choux	0,14 à 0,04	0,10 à 0,20
- Carottes	-0,04-	-0,30-
- Pomme de terre	0,03 à 0,04	-0,30-
- Ail	-0,15-	-0,15-

2.3.- Fluoruration:

On considère généralement qu'une faible teneur en fluor de l'eau d'alimentation (0,4 à 1 mg/l) est favorable à la formation de l'émail dentaire et protège les dents contre la carie . Par contre un excès de fluor entraîne la destruction de cet émail et provoque un ensemble de troubles à caractère endémique que l'on groupe sous le nom de FLUOROSE : malformation dentaires taches de l'émail, décalcification, minéralisation de tendons, trouble digestifs et nerveux.

Le problème de la fluorose endémique en Algérie a été signalé pour la première fois en 1936 par l'Institut Pasteur d'Alger, qui avait constaté cette intoxication. Des enquêtes sur terrain ont été menées à cette époque par des équipes spécialisées de l'Institut national de la santé publique, qui ont permis de constater certains aspects particuliers de la fluorose endémique dans notre pays.

Le premier de ces aspects est dû à l'origine hydrotellurique du fluor. Par ailleurs au Maroc, le phénomène de la fluorose a été attribué à la présence des mines de phosphates de Khouribga et Youssoufia et qu'en Tunisie ceci se rencontre autour des mines de Gafsa. Par contre, en Algérie le problème se pose différemment du fait qu'on retrouve les

marques de cette intoxication dans une zone située au Sud de l'Atlas Saharien, allant du Gand Erg Occidental jusqu'à l'Erg Oriental et très éloignées des zones phosphatières (Djebel Onk). L'intensité des manifestations fluorées ayant son expression maximale dans la région du Souf qui est causée principalement par l'ingestion prolongée de taux excessivement élevés et anormaux de fluor se trouvant dans les eaux de boisson (Guesseir B., 1977) et (Kamarcho A., 2010).

Le deuxième aspect particulier de cette fluorose est liée à l'écologie de ces régions dont les habitants ont un terrain et un mode de vie spéciaux(climat chaud favorisant l'absorption d'une quantité d'eau importante pouvant atteindre journallement 8 à 10 litres en été et une alimentation riche en datte). De plus, les Soufis boivent beaucoup de thé qui contient aussi du fluor

2.4.-Conséquences d'une hyperfluoruration:

Selon les travaux de l'Institut National de la Santé Publique (1977), l'exposition prolongée à l'intoxication fluorée excessive des eaux de boisson dans la région du Souf avec des teneurs supérieures à 1,5 et dépassant parfois les 3,5 mg / l dans certaines localités du Souf (Bayada, Mih-Ouensaetc...) est à l'origine de fluoroses dentaire et osseuse.

La première se manifeste par des dents tachetées trouées appelées dents « marbrés ».

La deuxième se traduit par une fragilisation des os du squelette qui deviennent cassants. Cette maladie est dénommée : ostéoporose.

Selon (Yousef L., 1998), les teneurs en fluor de quelques échantillons d'eau de la région d'El-Oued (Souf) sont respectivement 4,30mg / l pour la nappe phréatique de Guemar, 1,73 mg/l pour le Pontien (C.T.) de Kouinineet 0,80 mg/L pour la nappe albienne à Sahan Berry. Dans l'eau à traiter. Il est d'ailleurs possible de combiner alors leur action avec du sulfate d'aluminium ; mais il est préférable de les conditionner de façon à constituer un matériau filtrant qu'il faut alors régénérer périodiquement.

Récemment (Kamarcho A., 2010) chercheur au laboratoire de la valorisation et de la promotion des ressources sahariennes à l'Université Kasdi Merbah de Ouargla à mener une expérience de défluoruration consistant à l'utilisation d'une cartouche de charbon actif à base de noyau de datte et de palmes sèches qui s'est soldée par des résultats concluants et encourageants donnant un taux d'adsorption du fluor avoisinant les 44,6 %. Cette technique utilisant les sous -produits du palmiers paraît à priori la plus avantageuse du fait de l'existence de ces composants localement.

Tableau3-Régions du sud-Algérien où l'eau est naturellement hyperfluorée avec pour certains d'habitants d'âge scolarisés atteints de fluorose dentaire d'après L'I.N.S.P.(1974)

LOCALITE	POURCENTAGE
OUARGLA	44%
TOUGGOURT (VILLE)	18%
EL-MEGHAIER	45%
DJEMAA	36%
EL-OUED (VILLE)	20%
GHARDAIA	1.3%
LAGHOUAT	3.2%
EL-GOLEA	2.5%

2.5.- Normes :

Le seuil admissible des fluorures dans l'eau est discuté par plusieurs auteurs :- selon LEONE, les doses limites de Fluorure dans l'eau doivent être de l'ordre de 0,7 mg/l pour les pays chauds puisque dans ces dernière les températures de l'air sont très élevées ce qui exige un appel d'eau considérable pour l'organisme. Quant aux teneurs en fluor recommandées par l'O.M.S.(2006) dans les eaux de boisson, elles sont de 1 mg/l.

Tableau4-Normes admissibles pour les fluorures dans l'eau. (LEONE. 1962)

MOYENNE ANNUELLE DE TEMPERATURES DIURNES MA	CONCETRATIONS RECOMMEDEES POUR LES FLOURURES EN mg/l	
10.0 à 12.0	0.9	1.7
12.1 à 14.6	0.8	1.5
14.7 à 17.6	0.8	1.3
17.7 à 21.4	0.7	1.2
21.5 à 26.2	0.7	1.0
26.3 à 32.6	0.6	0.8

-D'autre part selon le ministère de la santé Publique (U.R.S.S.) en date du 12 Janvier 1967 la concentration des fluorures tolérable est 1,5 mg/l . quantaux normes françaises ce seuil est admis à 1 mg/l.

-Mais selon l'édition de 1962 des Public health-Service Drinking water standard les limites des fluorures admissibles dans l'eau de boisson sont fonction des températures.

Tableau5-Analyse des végétaux à Bayada Teneur F⁻ en mg/kg. (Azout B., 1976)

DATTES	DEGLETNOUR	DEGLETBAYDA	GHARS	TENNECIENE
	6	5.59	6.8	6.2
LEGUMES MARAICHERS	NAVET	POIVRON	CAROTTE	
	4.2	6.1	5	

Pour notre étude on s'est référé à ce tableau qui parait plus précis car il tient compte d'un facteur climatique, la température et donne des limites (inférieures et supérieures) en relation avec cette dernière.

Dans la région du Souf la moyenne annuelle des températures diurnes maximales établie sur une durée de 21 ans (1914-1935) d'après SELRZER est de 25 °C.

Selon Leone (1962) les normes admissibles pour les régions chaudes :

- 0,70 pour limite inférieure
- 0,74 pour limite supérieure

Il convient de tenir compte en plus de l'apport par les aliments.

En tenant compte des valeurs trouvées par AZOUT(T.B-5), toutes en supposant qu'un habitant consomme 300g de dattes par jour et 200g de légumes locaux , on se retrouve avec 2,8 mg de F⁻ par jour , mais ce chiffre peut être majoré jusque 3 par la consommation abondante de thé aliment très riche en fluor

Notons qu'on zone non endémique, l'apport fluoré par la nourriture est estimé à 1,5 mg/j.

Vu l'apport excessive de fluorure par notre nourriture on a préféré maintenir comme norme pour notre eau la limite inférieure, c'est-à-dire 0,7ppm.

En outre il est bien intéressant de remarquer que la toxicité du fluor est variable suivant les individus et la marge de sécurité entre la dose toxique et celle non toxique est extrêmement étroite, mais selon Elsair (1972) des lésions dentaires et osseuses apparaissent quand l'eau de boisson contient de 2 à 4 mg F⁻ / l.

Tableau6-Concentration d'ion fluorure F⁻ dans la région du Souf (Guesseir B., 1977)

LOCALITES	NAPPE	TENEUR DE F ⁻ mg/L	TENEUR MAXIMALE ACCEPTABLE EN mg/L
EL OUED	PONTIEN	2,17	0,7
GUEMAR	"	1,91	0,7
DEBILA	"	2,17	"
HAMRAYA	"	1,97	"
OUED ALLANDA	PHRETIQUE	3,16	"
DEBILA	"	3,09	"
BEHIMA	"	2,91	"
OURMES	"	"	"
TAGHZOUT	"	2,51	"
BAYADA	"	2,88	"
ROBBAH	"	3,16	"

Tableau7- Concentration du fluor dans la nappe artésienne dite " le Pontien " .

(Guesseir, B. 1977)

LOCALITES	PROFONDEURS	PH	T° en °C	Valeurs lues sur le voltmètre en m V	Teneur en F- en mg/L
EL OUED	325	7	29	21.2	2.17
GUEMAR	260	6.8	20	24	1.91
DEBILA	400	7.2	21	21.2	2.17

Tableau 8-Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'El-Oued(Zobeidi A.,2010)

Localisation	Nappe	PH	Cond. (mS.cm ⁻¹)	TH (mg.l ⁻¹)	TAC °F	Ca ²⁺ (mg.l ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.l ⁻¹)	Na+ (mg.l ⁻¹)	K+ (mg.l ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	Cl ⁻ (mg.l ⁻¹)	SO ₄ ⁻ (mg.l ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	- (mg.l ⁻¹)
Debila	Moi-plio	7.57	3.66	1590	12.4	440.88	119.09	440.33	70.40	151.28	801.23	510	7.1	2.25
Hassani	Moi-plio	7.41	3.50	1190	11.4	296.59	109.37	470.13	77.40	139.08	893.16	533	6.3	2.07
Oued El Alenda	Moi-plio	7.50	1.75	1390	13.3	545.08	157.98	460.33	82.07	162.26	198.08	492	4.9	1.89
Sidi kahelli	Moi-plio	7.20	7.13	2490	11.4	264.53	174.64	379.04	55.75	139.08	1264.21	806	8.4	2.64
El Robah	Moi-plio	7.61	3.47	1100	13.1	256.51	109.37	460.33	82.07	161.04	815.42	468	4.9	1.91
El Nakhla	Moi-plio	7.43	3.46	1050	13.1	276.55	99.65	450.53	81.68	159.82	801.23	304	9.4	1.86
Sidi Aoun	Moi-plio	7.48	3.51	1190	12.7	272.54	121.62	440.73	72.74	154.94	815.41	442	6.5	2.10
El Ogla	Moi-plio	7.10	3.51	1090	13.1	272.55	99.65	440.73	85.96	159.82	850.85	710	5.0	2.03
Hassani / Karim	Moi-plio	7.42	3.41	1100	12.7	296.59	102.08	430.92	73.52	140.30	894.14	710	5.0	2.20
Kouinine	Pontien	7.30	4.08	1390	13.1	312.62	157.98	432.90	44.50	157.38	953.68	573	6.2	2.07
Chouhada 1	Pontien	7.28	4.34	1318	11.5	316.63	155.54	470.14	75.46	159.82	829.60	544	5.9	2.63
El Ham raïa	Pontien	7.26	3.44	1330	12.9	392.78	150.69	470.14	57.57	156.16	836.69	510	4.9	1.73
El Meghaier	Pontien	7.84	3.45	1230	13.1	355.70	60.76	180.96	45.45	156.16	758.69	694	5.8	2.05
Still	Pontien	7.41	4.83	1690	12.8	288.58	192.57	181.96	49.86	158.60	935.95	512	6.0	2.13
El-Oued	Pontien	7.55	4.77	1390	12.8	29659	162.84	116.22	58.69	176.90	829.60	546	5.1	10
Mouih Ouensa	Pontien	7.23	4.76	1390	13.0	384.76	157.98	392.76	60.23	169.58	699.23	400	5.1	1.94
Hassi Kahlifa	Pontien	7.83	3.58	1360	14.5	308.10	97.22	146.49	60.16	162.26	794.14	712	7.1	2.17
Reguiba	Pontien	7.94	4.85	1030	13.9	348.69	161.38	589.03	39.57	158.60	815.41	572	6.3	2.04
Ourmes	Pontien	7.66	5.14	1590	13.3	308.61	174.99	203.86	58.69	154.94	1006.8	533	8.1	2.09
Guemmar	Pontien	7.39	4.92	1630	13.0	384.76	211.45	505.82	48.39	168.36	872.14	585	6.1	2.19
Trifaoui	Pontien	7.72	3.44	1590	12.7	268.54	150.69	411.31	72.57	163.48	801.23	698	5.9	2.17
El Bayada	Pontien	7.73	3.46	1060	13.8	392.78	94.78	450.53	79.35	154.94	815.41	469	7.4	2.01
El Magrane	Pontien	7.39	3.45	1230	134.	352.70	60.76	430.92	72.35	154.94	758.69	442	5.8	2.02
Guemmar	Pontien	7.47	4.87	1660	12.7	360.72	189.57	181.96	51.33	161.04	935.95	507	6.3	2.18
Benguecha	Eocéne	7.80	5.66	1100	13.2	252.50	149.28	203.86	43.98	141.52	893.41	559	4.1	2.08
Sidi Amran	Albien	7.51	2.77	1050	11.6	204.40	104.51	102.00	73.39	198.86	397.03	570	1.8	0.85
Djamaa	Albien	7.24	2.76	1030	16.3	236.47	126.38	212.18	52.80	183.00	404.16	620	1.5	0.67
Tindla	Albien	7.49	2.74	1080	15.0	236.47	143.39	212.18	60.16	173.24	389.98	530	1.7	0.62
ChouhadaII	Barrémien	7.03	2.17	1100	14.2	368.75	97.22	283.86	57.80	172.02	617.99	973	1.8	0.63
Hassi Kahlifa	Barrémien	7.01	2.31	810	14.1	348.64	191.3	146.49	60.16	168.36	876.3	952	4.3	0.67

CHAPITRE III

Matériels et méthodes

CHAPITRE III: MATERIELS ET METHODES

3.1.-Choix des stations d'étude:

Les choix des localités obéit aux critères suivants :

- à la source hydraulique : tous les échantillons qui ont subi l'analyse proviennent des 3 nappes aquifères respectives : phréatique, pontienne et Albienne.
- à la distance : toutes les localités choisies sont à une distance de 1 à 3 km du chef de lieu et en plus munies de routes facilitant le travail.
- à la Direction de la prise d'échantillon s'est effectué dans toutes les directions Nord-Sud, Est – Ouest afin de voir s'il y a une influence de la situation géographique.

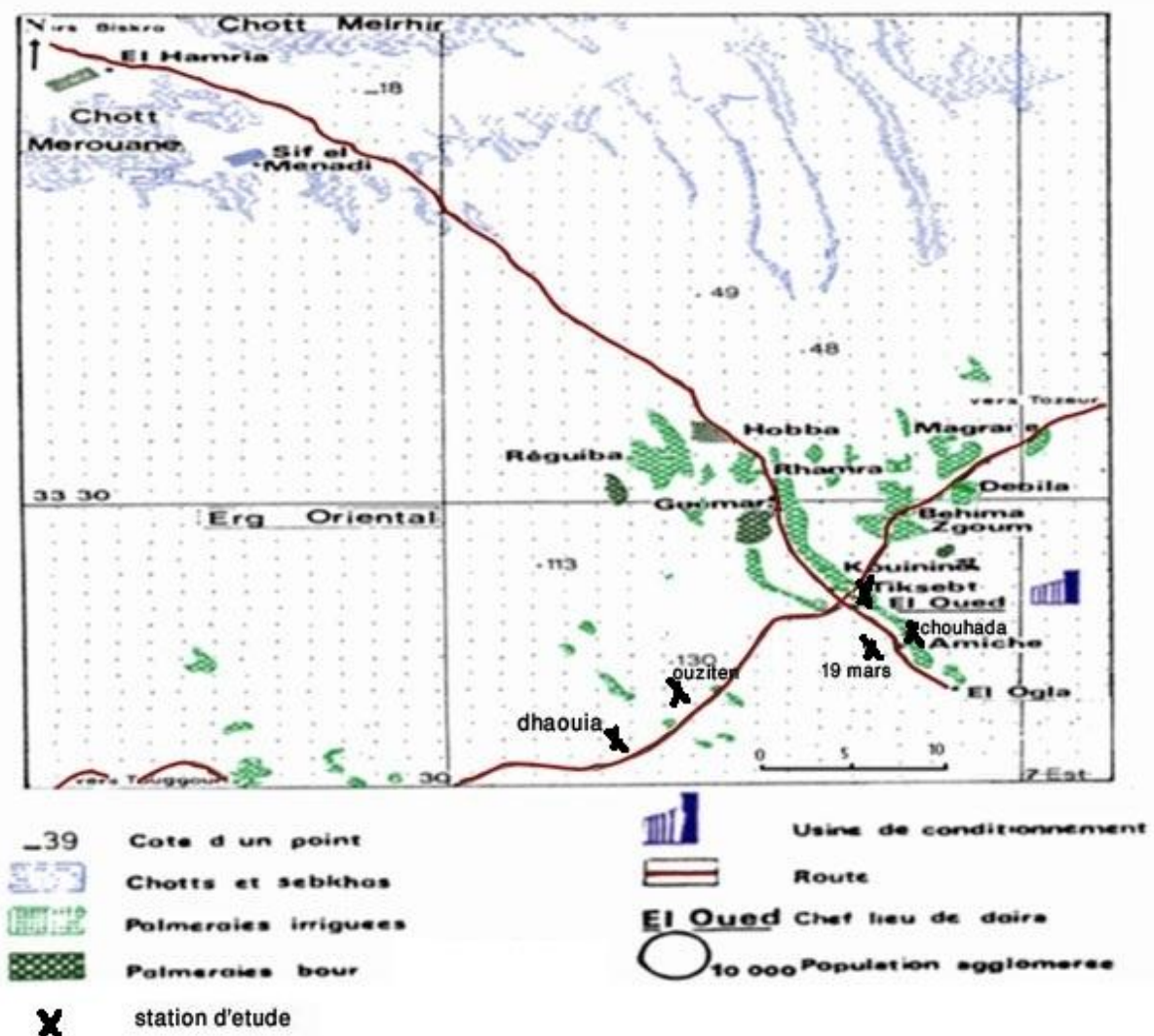


Fig.2- Montrant les Stations d'étude

3.2. –Méthodes d'analyse du fluor :

Le dosage de l'ion fluorure se révèle particulièrement délicate en raison de son comportement différent des autres halogénures, du à son caractère fortement électronégatif ; du fait que l'ion hydrogène et de nombreux ions métallique (Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} ...) complexent l'ion Fluoré et diminuent de ce fait la quantité d'ions fluorure libres dans la solution à doser.

Les méthodes de détermination de cet élément font appel à des techniques aussi diverses que la gravimétrie pour les anciennes, la titrimétrie, la colorimétrie l'absorption atomique et l'ionométrie de découverte plus récente.

3.2.1.- Méthode volumétrique:

Certains cations (thorium, zirconium, lanthane ...) forment des laques colorées stables en milieu acide au contact des réactifs organique tel le SPADNS.

Cependant, en présence d'ions fluorures, ils donnent préférentiellement des sels complexes non ionisés.

Il faut donc fixer la totalité des fluorures à l'état de fluo thoration ou de fluozirconates ... avant qu'un excès de thorium ionisé permet la formation de l'eau colorée avec le SPADNS. Ce changement de coloration peut. Donc indiquer le terme du dosage des Fluorures par le nitrate de thorium.

Selon des résultats obtenus par les laboratoires de toxicologie et de pharmacie de Lille une telle méthode donne des résultats non précis et peu reproductibles avec une erreur allant de 1 à 10%.

3.2.2.- Méthode colorimétrique:

En milieu tamponné à pH 3,5 le complexe rouge formé entre les sels de lanthane et l'alizarine complexion (acide amino – méthyle – 3 – alizarine diacétique) vire au bleu en présence d'ions fluorures par formation d'un complexe ternaire.

L'intensité de la coloration obtenue est proportionnelle à la quantité d'ions fluorures mise en jeu.

Cette réaction a été mise au point en 1959 par BELCHER, LEONARD et WEST et modifiée ensuite par HANOCQ et MOLLE qui pour remédier à la lenteur de formation du complexe ternaire préconisent l'emploi d'un solvant polaire tel le diméthylsulfoxyde.

Cette méthode selon la pharmacie de Lille donne d'excellents résultats, la marge d'erreur restant comprise entre 1 et 2,25%.

Notons que le fluor est souvent sous forme de composés ne réagissant pas avec les réactifs utilisés pour le dosage.

Il convient donc de le transformer en une forme permettant un dosage de fluor.

Pour cela, on procède à une séparation des ions fluorures par distillation réalisée selon le procédé de WILARD et WINTER : méthode basée sur la libération de l'acide fluorhydrique des fluorures par action de l'acide sulfurique ou perchlorique et sur sa transformation en présence de silice en acide fluosilicique entraînable à la vapeur d'eau. Cet acide est isolé par distillation et recueilli dans de la soude diluée ou il s'hydrolyse en fluorure de sodium.

3.3.1.- Analyse du fluor par électrode spécifique:

On a choisi ce procédé au dosage des ions fluorures avec cette méthode car elle présente beaucoup d'avantage dont notamment :

- La rapidité (on peut analyser plusieurs échantillons en temps court)
- La simplicité (technique facile à maîtriser)
- La reproductibilité (les erreurs dépassent rarement 0,8%)
- La sensibilité (l'électrode au fluorure n'est pas sensible) aux

divers cations, ni à la plupart des anions connus, sauf à l'ion hydroxyle qui interfère de façon notable l'électrode est 10 fois plus sensible à l'ion fluorure qu'à l'ion hydroxyle.

L'ion hydrogène est décomplexé en fluorures en ramenant le pH des échantillons entre 5 et 6 .

3.3.2.- Théorie :

Cette méthode de dosage mise au point par FRANS et ROSS en 1966 est basée sur la mesure directe de la concentration ou plutôt de l'activité de l'ion fluorure.

Certains appareils autorisent la lecture en unités px (cologarithme de l'activité) mais la plupart conduisent à un lecteur du potentiel en millivolts que l'on convertit en concentration moléculaire d'ion F^- au moyen d'une courbe d'étalonnage.

Le principe est basé sur la mesure du potentiel entre une électrode spécifique et une électrode de référence qui est donnée par la formule du NERNEST :

$$E = E_0 - 2,3 \frac{RT}{F} \log F^-$$

Ou :

E = potentiel de l'électrode inique spécifique mesuré comparativement à l'électrode de référence (en m.v)

E_0 = potentiel standard du couple d'électrodes dépendant de la construction interne de l'électrode de mesure et du type de l'électrode de référence ($E = E_0$ quand $F^- = 0$)

R = constante de gaz (8,3144 joules / degré mole)

T = température absolue en degré kelvin (K)

F = constante de faraday (96 48 coulombs / équivalent en grammes)

A = F⁻ activité de l'ion dans la solution échantillon ;

$S = 2.303 \frac{RT}{nF}$ facteur de Nernst également pente de l'électrode avec

n (charge ionique y compris le signe polaire)

Il est à remarque que le potentiel des électrodes spécifiques n'est pas fonction de la concentration de l'ion à doser mais de son activité thermodynamique.

Activité et concentration se correspondent à un facteur prés dit : coefficient d'activité ionique gama .

On a la relation :

$$\text{Gama A} = \frac{\text{Activité A}}{\text{Concentration A}}$$

Le coefficient de l'activité est lie à la force ionique du milieu, qu'il est possible de calculer par connaissance très exact de la concentration des différentes espèces ioniques qui s'y trouvent afin d'étalier la force ionique pour cela on travaille avec une force ionique constante.

La solution tampon est à force ionique élevée et constante. Si le milieu où l'on fait le dosage est mal connu et sa force ionique est relativement faible, on dilue l'échantillon dans un tampon de force ionique élevée. Ainsi la force ionique de l'échantillon devient négligeable devant celle du tampon et l'on travaille à force ionique pratiquement constante. Ceci permet d'avoir accès aux concentrations en fonction du potentiel, sans calculer le coefficient d'activité.

3.3.3.- Matériel et réactifs:

Le matériel comprend :

- un pH mètre du type METROHM E 500 (muni d'un voltmètre pour l' évolution du potentiel des solutions)
- Un agitateur magnétique
- Une électrode de référence (calomel) METROM : E A 4028
- Une électrode indicatrice : METROHM E P. E A -306 – F.

Les réactifs :

Solution dénommée : TISAP (Total Ionicstrongh Ajustement Buffer) permettant de travailler à force ionique pratiquement constante.

On fait dissoudre dans 500 ml d'eau distillée :

- 57 ml d'acide acétique
- 58 grammes de chlorure de sodium
- 0,3 gramme de citrate de sodium (ou bien 5g de ti triplex).

Après dissolution on amène le pH entre 5 et 5,5 à l'aide de soude 5M (Na OH à 20%)

On laisse refroidir et on complète à un litre avec de l'eau distillée

Solution étalons :

On prépare une solution mère de 1000 ppm en faisant dissoudre 3,05g de KF dans un litre d'eau distillée.

Puis on fait des solutions filles étalon de 1, 2, 3,4 et 5 ppm.

3.3.4.- Manipulation :

Dans un bécher de 100 ml, on met à l'aide d'une pipette jaugée 25ml de solution étalon, puis 25 ml de solution décomplexant. On ajoute dans le bécher l'aimant et on met le récipient sur l'agitateur magnétique.

On trempe dans le bécher les 2 électrodes (électrode de référence et spécifique)

On met en marche l'agitateur puis le voltmètre et on relève la différence de potentiel donnée par l'appareil.

Remarque :

Le lecteur du potentiel doit être prise qu'après stabilisation des chiffres donnés par le voltmètre (par exemple : pour 1 ppm on doit attendre presque 10 minutes pour avoir la stabilité).

On répète la même opération avec la différente solution à doser (25 ml de solution de concentration inconnue plus 25 ml de solution décomplexent).

Puis en super position à la courbe d'étalonnage (graphe01)obtenue en portant sur du papier semi- logarithmique (de préférence) le potentiel en fonction de la concentration des étalonnages on obtient les concentration recherchées de nos échantillons.

Tableau9-Valeurs lues sur le voltmètre concernant la solution étalons de K.F. (Guesseir B., 1977)

CONCENTRATION En mg / l	LOGC	POTENTIEL TISAB: citrate de sodium	POTENTIEL En m V TISAB: Ti triplex : IV
1	0,00	37	23,4
2	0,30	20,8	5,4
3	0,48	10,2	-5,0
4	0,60	2,8	-12,8
5	0,70	-2,6	-18,2

Soit à remarquer :

- Qu'avec la solution TISAB (citrate de sodium) : la pente de la courbe est de – 57 mV
- Alors qu'avec la solution TISAB (ti triplex IV) : la pente de la courbe est de -59 mV .

On voit qu'avec les 2 solutions TISAB on n'est pas loin de la pente théorique qui est de :

- 57 mV pour une température de 15° C
- 59 mV pour une température de 25° C

Notons que nos échantillons ont subi les analyses avec la solution standard TSAB : citrate de sodium.

Précision de la méthode :

Tableau 10- reproductibilité sur une concentration de 5 p.p.m avec les solutions de complexates (Gusseir B., 1977) suivantes :

- Ti triplex IV
- Citrate de Sodium

N° DE L'EXPERTENCE	CONCENTRATION en mg/l	
	TI TRIPLEX IV	CITRATE DE SODIUM
1	5,00	5,00
2	5,02	5,02
3	5,02	5,00
4	5,00	5,01
5	5,01	5,03
6	5,00	5,02
7	5,02	5,03

CHAPITRE IV

Partie expérimentale

CHAPITRE IV : PARTIE EXPERIMENTALE

Dans cette partie, nous avons procédé à la caractérisation chimique de l'eau et par la suite aux analyses du fluor et suivi par l'interprétation des résultats obtenus.

4.1.-Caractéristique chimique de l'eau :

4-1-1.- But :

Afin d'identifier notre eau on a procédé à l'analyse chimique complète et des duretés afin d'avoir l'ensemble de ses caractéristiques.

Afin de pratiquer de telles analyses on a choisi les localités suivantes : EL_OUED (Chouhada : C.T) et Bayada (puits à la nappe phréatique).

4-1-2.-Methode d'analyse

Les éléments choisis pour l'analyse sont : Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; K^+ ; Cl^- ; HCO_3^- ; et SO_4^{2-} ; Les méthodes d'analyses sont les suivantes :

- Na^+ et K^+ ont été déterminés avec parphosonètre à flamme (Eppenderf)

- Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; et SO_4^{2-} ; ont été déterminés par dosage des diverses duretés, au moyen d'une titration complexométrique avec E.D.T.A.

La dureté non carbonatée (dureté permanente) a été prise comme approximation de la concentration de SO_4^{2-} ; elle résulte de la différence entre la dureté totale (TH) et l'alcalinité (T.A.C.)

- HCO_3^- par dosage de l'alcalinité (T.A.C.) ceci a été effectué par titration potentiométrique avec de l'acide chlorhydrique au moyen d'un potentiographe (Metrohm : E536) et d'un dosimat (metrohm E535) . A un Ph 7 la teneur en bicarbonate est égale approximativement au T.A.C.

- Cl^- déterminé par titration avec le nitrate d'argent

Tableau 11 : Analyse chimique de l'eau d'un forage El_Oued (Chouhada) et d'un puits à (Bayada)

Eléments	EL OUED	BAYADA	Teneurs maximales acceptables la C.E.E.
	Teneurs trouvées en mg /l	Teneurs trouvées en mg /l	
Ca^{+2}	292	752	100
Mg^{+2}	103	67	50
Na^{+}	490	215	100
K^{+}	33	70	10
HCO_3^{-}	152	66	60
Cl^{-}	816	355	200
SO_4^{2-}	990	2054	250
F^{-}	2,17	2,88	0,70
TOTAUX	2877	3582	1

C.E.E : comité Européen des eaux

En outre on croit qu'il est nécessaire de rappeler quelques définitions relatives duretés :

On appelle dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des concentrations calciques et magnésienne.

-la dureté calcique est celle qui correspond à la teneur globale en sels de calcium.

-la dureté magnésienne est celle qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium

-la dureté permanente ou non carbonatée celle qui persiste après ébullition de l'eau .Elle correspond au sulfate de calcium et de magnésium.

-la dureté temporaire s'obtient par la différence entre la dureté totale et la dureté permanente.

Discussion :

-D'après le tableau (11) on voit que l'eau des deux nappes(C.T et la phréatique) de la région du souf est :

-calcique

-magnésienne

-sulfatée

-dure

-et fluorée

Car les normes sont dépassées largement.

Les teneurs les plus élevées sont celles du calcium et des sulfates ceci s'explique peut-être par la richesse de ces régions en gypse ce qui conduit par conséquent à l'obtention d'eau très dure (dans notre cas c'est surtout la dureté permanente qui est trop forte).

Il est à signaler qu'au point de vue sanitaire ; la dureté n'a qu'une importance minime; on n'a pu constater jusqu'ici des dommages pour l'organisme qui auraient pour origine l'adsorption d'eau dure

N'empêche que les taux excédentaires des sulfates et des chlorures les rendent très purgatives et que par ailleurs la cholique néphrétique est chose courante due à l'excès des sels dans l'eau.

Comme inconvénients de la dureté on peut citer aussi :

-une consommation supplémentaire de savon (car les sels de calcium et de magnésium précipitent avec le savon qui perd ainsi son pouvoir détersif et ne mousse plus que difficilement)

-Des risques de dommage pour les installations d'eau chaude dues à la dureté carbonatée mais pour notre cas ce problème ne se pose pas car cette dernière est trop faible

Mais il ne faut pas oublier parfois l'aspect bénéfique d'une certaine dureté qui contribue à la formation d'une couche carbonatée sur les canalisations qui se trouvent ainsi protégées contre la corrosion.

Conclusion :

Expérimentalement, les analyses prouvent que l'eau de la région a une concentration en sels très élevée et que l'eau du C.T des teneurs plus basses que celles de la nappe phréatique ainsi que les fluorures.

4.2.- Analyse du fluor :

4.2.1- Echantillonnage :

En ce qui concerne la nappe phréatique, les échantillons ont été pris dans différents puits suivant les localités consommatrices de cette eau. A chaque prélèvement la température, le pH et la profondeur du puits ont été relevés afin de bien caractériser l'échantillon.

De même pour le cas des forages le " PONTIEN " (eau de robinet), les échantillons ont été pris de différents lieux en fonction des populations se servant de cette eau sauf le forage de Débila qui est utilisée pour l'irrigation.

Notons que la température, le pH ainsi que la profondeur ont été notés lors de la prise d'échantillon. (Les pH ont été estimés avec " papier pH" ainsi que les profondeurs des puits, qui ont été approximée avu d'œil).

4.2.2.- Conservation :

Les verres étant attaqué par le fluor, l'emploi pour le conditionnement des échantillons a été écarté, Le polyéthylène a été retenu vu sa grande inertie chimique pour l'eau.

Tous les échantillons ont été conservés en attendant leurs manipulations à une température de 1 à 4° Cen chambre froide.

4.3.-Résultats et discussion:

Les résultats obtenus des analyses des fluorures des différents échantillons prélevés des différentes nappes aquifères de la zone d'El-Oued sont énumérés ci-dessous :

1°) Au niveau de la nappe phréatique

- Puits (Chouhada) profondeur (20m) : teneur en mg/l de F : 2,85
- puits (Tiksebt) profondeur (15m) : teneur en mg/ de F : 3,62
- puits (Debila) profondeur (10m) : teneur en mg / de F : 3,09
- puits (Taghzout) profondeur (15) : teneur en mg / de F : 3,90
- puits (Bayada) profondeur (10) : teneur en mg /de F : 2,88
- puits (Robbah) profondeur (15) : teneur en mg / de F : 3,16
- puits (Ogla) profondeur (15) : teneur en mg / de F : 3,10

- puits (Oued Allanda) (20) : teneur en mg / de F : 3,20
- puits (Behima) profondeur (20) : teneur en mg / F : 2,91
- puits (Nakhla) profondeur (15) : teneur en mg / F : 3,15
- puits (Daouia) profondeur (10 m) : teneur en mg / l de F : 5,28
- La moyenne de la teneur du fluor dans le nappe phréatique est de : $3,37 \text{ mg F / l} \pm 0,67$

2°) Au niveau de la nappe du Complexe Terminal

- forage (Chouhada) profondeur (260 m) : teneur en mg / l de F : 2,16
- forage (Tiksebt) profondeur (250m) : teneur en mg/l de F : 2,01
- forage (El oued) profondeur (260 m) : teneur en mg / l de F : 2,17
- forage (Guemar) profondeur (260 m) : teneur en mg / l de F : 1,91
- forage (Debila) profondeur (260 m) : teneur en mg / l de F : 2,17
- forage(Hamraya) profondeur (260 m) : teneur en mg / l de F : 2,97
- forage (Daouia) profondeur (280 m) : teneur en mg/l de F : 1,97
- La moyenne de la teneur des fluors dans la nappe complexe terminal est de : $2,19 \text{ mg F / l de} \pm 0,33 \text{ F/l}$

3°) Au niveau du Continental intercalaire

- forage (Chouhada) profondeur (1800 m) : teneur en mg/ l de F : 0,83
- forage (Ouadziten) profondeur (1600 m) : teneur en mg/l de F : 0,88
- forage (19 mars) profondeur (1650 m) : teneur en mg / l de F : 0 ,86
- La moyenne de la teneur des fluors dans la nappe continental intercalaire est de : $0,85 \text{ mg F / l de} \pm 0,02 \text{ mg F / l}$

Selon les normes américaines et de l'O.M.S. (2006) pour les eaux potables, les concentrations admises sont de 0,70 mg /l (qui est retenue pour notre étude) de fluor pour les régions chaudes et de 1,5 mg/l comme teneur maximale pour les autres contrées à climat différent. A cet effet, nous constatons que les concentrations en fluor obtenues dans les deux (02) premières nappes sont excessivement élevées et dépassant largement les normes de la qualité des eaux de boisson allant de 1,91 à 2,97 mg/l pour le C.T. et de 2,85 à un maximum de 5,28 mg / l pour la Phréatique (Daouia). Par contre, les teneurs trouvées au niveau de la nappe dite Albien oscillant entre 0,83 et 0,88 mg/l sont conformes aux normes et de ce fait, elles sont acceptables. En outre, il apparaît selon ces résultats, que les concentrations de fluor sont inversement proportionnelles à la profondeur ce qui laisse prédire que la défluoruration ne concerne à priori que les deux premières nappes qui semble à l'origine des fluoroses

(dentaires et osseuses). D'autre part, il est à signaler que selon notre enquête au niveau du terrain et les dires des responsables de la D.H.W. c'est uniquement le C.T. et le C.I. qui sont utilisés actuellement pour l'alimentation humaine. La nappe phréatique était autrefois à double usage agricole et comme eau de boisson d'où la présence de fluorose dentaire (dents marbrés) caractérisés chez les habitants âgés. Actuellement, cette nappe est destinée exclusivement pour l'irrigation des palmeraies et des autres cultures qui sont consommées par les habitants de la région ce qui augmente le taux de fluor ingéré.

Par ailleurs, nos valeurs semblent assez rapprochées de celles trouvées par Yousef (1988) dans la région d'El-Oued (Souf) avec 4,30 mg/l pour la nappe phréatique, 1,73mg/l pour le C.T et 0,80 mg/l pour le C.I.d'où la nécessité d'une défluoruration de la nappe du Complexe Terminal qui alimente les autres localités du Souf en eau potable.

D'autre part, selon les travaux Kamarcho (2009) dans la région du Souf, les teneurs de fluorure trouvées varient entre 1,8 et 4 mg F / l ce qui montre une fois de plus l'hyperfluoruration d'où la nécessité d'un traitement afin de rabaisser cet excès à un taux acceptable (0,6 à 0,7 mg F /l)

4.4.-Conséquences d'une hyperfluoruration:

D'après les résultats obtenus il apparaît que les teneurs en fluor dans les eaux des nappes souterraines du Souf sont hyperfluorées à l'exception de celle du continental intercalaire. Ceci, conjugué aux apports des fluorures introduits par l'alimentation des cultures irriguées par ces eaux ainsi qu'au thé (riche en fluor) entraîne des conséquences très graves sur la santé humaine. Selon les travaux de l'institut National de la Santé Publique (1977), l'exposition prolongée à l'intoxication fluorée excessive des eaux de boisson dans la région du Souf avec des teneurs supérieures à 1,5 et dépassant parfois les 3,5 mg / l dans certaines localités du Souf (Bayada, Mih-Ouensa, etc...) est à l'origine de fluoroses dentaire et osseuse.

La première se manifeste par des dents tachetées trouées appelés dents « marbrés »



Photo2 montrant un cas de fluorose dentaire

La deuxième se traduit par une fragilisation des os du squelette qui deviennent cassants. Cette maladie est dénommée : ostéoporose.



Photo3 montrant cas de fluorose osseuse

Pour Mourchini (2000), le fluor introduit dans l'organisme par les eaux de boisson et les aliments, est fixé par les tissus, en association avec le phosphore, dont il assure la fixation dans la cellule.

Par conséquent comme maladies dues à une hyperfluoruration on peut noter :

-d'une part des altérations de l'émail classé selon TRANDLEY DEAN en 5 stades :

- a) petites tâches blanches crayeuses.
- b) tâches blanches plus étendues (à la moitié de la surface de la dent) et quelques taches marrons clairs sur les incisives supérieures et inférieures .
- c) dents entièrement crayeuses avec taches brunes.
- d) piqueté brun sur toute la dent et taches brunes plus étendues .
- e) dents déformés, érodés avec des taches en forme de cupules à fond noir.

Selon l'I.N.S.P. à EL-Oued (ville) 75% de la population est porteuse de « darmous »,

Alors que le taux est plus élevé dans les villages aux environs de 96%.

-d'autre par des altérations osseuses qui sont de 2 sortes :

- ostéopéotrose s'est à dire hypercalcification dans ce cas l'os perd sa souplesse, devient dur et cassant, des douleurs articulaires du type rhumatismal sont ressenties.

-l'ostéoporose s'est à dire décalcification du tissu osseux, l'os devient poreux ; léger, friable et cassant.

En outre les observations des médecins de prévention sanitaire d'El-Oued sont les suivantes :

- les thorax « porcelaine » des sujets hypercalcifiés. En plus l'expansion thoracique est limitée.
- les sujets âgés ont une démarche particulière : tronc penché avec membre supérieure ballants.

Soit à remarquer que l'intoxication endémique entraîne des lésions irréversibles pour l'émail dentaire compromettant définitivement l'esthétique buccal d'autre part des lésions asseuses réversibles si le sujet n'est plus soumis à l'agression du fluor.

Probablement d'autres systèmes subissent aussi cette intoxication reins, endocrines, régulations métaboliques car il semble qu'au niveau sanguin, le fluor pourrait diminuer la concentration de calcium, essentiellement du calcium ionisé donc favoriser l'hypocalcémie.

A cet effet, il est indispensable de procéder au traitement de ces eaux hyper fluorées par les procédés suivants afin d'élimination de l'excès du fluor.

4.4.1.-Élimination du fluor :

Dans certaines eaux naturelles, on trouve jusqu'à 10mg /l de fluor .On cherche à ramener cette dose aux environs de 1mg/l (taux admissibles). Les procédés employés sont les suivants.

4.4.2.-Utilisation du phosphate tricalcique :

On a remarqué depuis longtemps l'affinité du fluor pour ce corps, puisqu'on trouve toujours des teneurs notables en fluor dans les phosphates naturels, tels que les apatites, les phosphorites (2à5%), de même que dans les os .On pense que dans l'apatite de formule $(3\text{CaCO}_3) 4 \text{CaCO}_3$, l'ion carbonate est remplacé par du fluor pour donner de la fluorapatite (ou CaCO_3) est remplacé par du fluor pour donner de la fluorapatite insoluble.

Dans la pratique on utilise. Soit des produits naturels, tirés des os de bétail en particulier cendre d'os (noir animal) ou poudre d'os, soit de l'apatite synthétique, que l'on peut fabriquer au sein de l'eau par un mélange soigneusement contrôlé de chaux et d'acide phosphorique.

Ces substances peuvent être distribuées sous forme de poudre fine dans l'eau à traiter. Il est d'ailleurs possible de combiner alors leur action avec celle du sulfate d'aluminium. Mais il est préférable de les conditionner de façon à matériau filtrant qu'il faut alors régénérer périodiquement.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent travail a abordé la problématique de l'hyperfluoruration des eaux de la région d'El-Oued (Souf) notamment au niveau de la Phréatique et Complexe terminal renferment des taux excessivement élevés atteignant jusqu'à pour la première les 5,28 mg / l à Daouia et 2,97 mg/l de fluor à Hamraya pour la deuxième. Par contre, la troisième nappe du C.I. renferme des teneurs acceptables variant entre 0,83 à 0,86 mg/l de fluor tout en précisant que cette étude est le résultat d'enquêtes et d'analyses réalisés le long de ce travail. A cet effet, l'ingestion prolongée de taux anormaux de fluor dépassant les 1mg /l dans l'eau de boisson ont des conséquences graves sur la santé humaine se traduisant par des fluoroses de type dentaire et osseuse et par conséquent la défluoruration est indispensable.

D'après les résultats de notre étude, la défluoruration ne doit porter qu'au niveau de la nappe du C.T. car la phréatique est utilisée pour l'irrigation et le C.I. a des teneurs acceptables.

De plus, il ressort de ces analyses que les concentrations de fluor vont en diminuant avec la profondeur soient 5,28mg/l à Daouia pour 10 m et 0,83mg /l pour 1800 m (forage Chouhada).

Au vu des conséquences néfastes sur la santé humaine beaucoup de chercheurs se sont intéressés par la défluoruration des eaux de boisson dans les régions sahariennes en général (ù l'eau est hyperfluorée) et en particulier dans la région du Souf. Parmi ces scientifiques, nous citons KAMARCHO, (2009) de l'Université de Kasdi Merbah a procédé à l'utilisation des sous -produits du palmier pour déflorer l'eau de boisson. cette technique consistait en la préparation d'un charbon actif élaboré à partir de noyau de dattes et de palmes de dattier et ses expériences ont donné des résultats probants se traduisant par une adsorption de 44,6 %.

Par ailleurs, nous pensons qu'ils urgent d'élargir l'utilisation de l'eau de la nappe Albienne aux autres localités ou bien on doit recourir aux procédés de défluoruration. Le choix de la technique dépendra de l'étude économique. Est nécessaire de reconduire ces études sur un temps plus long afin de confirmer authentiquement. Par ailleurs, nous suggérons que ce travail soit continué par d'autres études notamment en matière de déminéralisation (osmose inverse, électrodialyse, échanges d'ions etc. ...) afin d'améliorer la qualité de ces eaux.

Enfin, nous suggérons aux responsables et décideurs d'équiper nos laboratoires en matériels d'analyse adéquats (électrodes spécifiques de fluor, spectrophotomètre etc...) car nous avons rencontrés énormément de problèmes de moyens et de documentation.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Références Bibliographiques

- [1]ACHOURS., 1990- la qualité des eaux souterraines du Sahara septentrional Algérie.
- [2]ALAMIRB B., 2002- Eléments minéraux et métaux lourds dans la compositions
et l'analyse des eaux potables normes de qualité.
- [3]AZOUT B. ,1978- contribution à l'étude des fluorures dans la région d'El-Oued.
- [4]D.H.W.d'EL-OUED ,2010- Rapport relatif à l'hydraulique de wilaya.
- [5]GUESSEIR B. ,1977- Défluoruration de l'eau des nappes souterraines
d'El-Oued: (SOUF) –thèse d'ingéniorat I.N.A
El- Harrach., 1977.
- [6]KAMARCHO A. ,2009– Utilisation des noyaux de datte comme charbon actif
thèse de nagés Teri. UNVERSETE de Ourgla.
- [7]Lachouri Amel 2009 : Distribution des ions fluorures dans les eaux et les
Principaux aliments. Evaluation du risque de la
Fluorose dans deux communautés du Sud-est Algérien
(Ouargla et El-Oued)
- [8] NADJAH, 1971: Rapport relatif à la région de Souf
- [9]O.N..M. D'El-oued, 2010- Etude climatologique de la région d'El-oud
(1998-2012).Ed. Office mati-météo-10p.
- [10] RAMADE, 2003- Rapport concernant les changements climatiques 140p
- [11]SEDIRA A., GHEMIMAA. , 2013- contribution à l'étude des fluorures dans
Les eaux des nappes souterraines du Souf.
L.M.D, université El-Oued.
- [12]SELTZER, 1946- Procès de climatologie.
- [13]YOUCEF I. ,1998- Teneurs en fluor de quelques échantillons d' eau du sud
Algérien.
- [14]Zobeidi., 2010 - Distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux
Aliments Consommés dans la wilaya d'El-Oued.
- [15] Source [http: //www.cadvivion.com](http://www.cadvivion.com).

Table des matières des Annexes

Annexe	Titre	Page
1	photo montrant des cas d'os sains	I
2	photo montrant des cas d'os sains	I
3	photo montrant de cas Fluorose osseuse	I
4	photo montrant un problème d'ostéoporose	I
5	photos montrant cas de Fluorose osseuse	I
6	photos montrant cas d'émail tacheté : Fluorose dentaire	II
7	photos montrant cas de Fluorose dentaire sévère : incisives centrales au stade 1, incisives latérales au stade 2, canines au stade 3 et prémolaires au stade 5. (a) Secteur maxillaire droit, (b) secteur maxillaire gauche.	II
8	photo montrant cas d'une électrode combinée sélective aux ions fluorures	III
9	photo montrant cas d'adsorption sur l'alumine activée	I V
10	Tableau des normes des paramètres physico – chimiques concernant les eaux de boisson selon la C.E.E.(1985) et l'O.M.S.(2006)	V
11	Fig. montrant une coupe lithologique du forage TIKSEBT (D.H.W. d'El-Oued ,2010).	VI
12	Tableau de présentation des forages Albiens d'Oued Souf	VII
13	Tableau de caractéristiques physico chimique de l'eau Albien d'Oued Souf	VIII

ANNEXES

ANNEXE



ANNEXE1: photo montrant des cas Os sains

ANNEXE 2: photo montrant des cas Os fragiles



ANNEXE3: photo montrant de Fluorose osseuse



ANNEXE4 : photo montrant un problème d'ostéoporose



ANNEXE 5 : photos montrant cas de Fluorose osseuse

ANNEXE



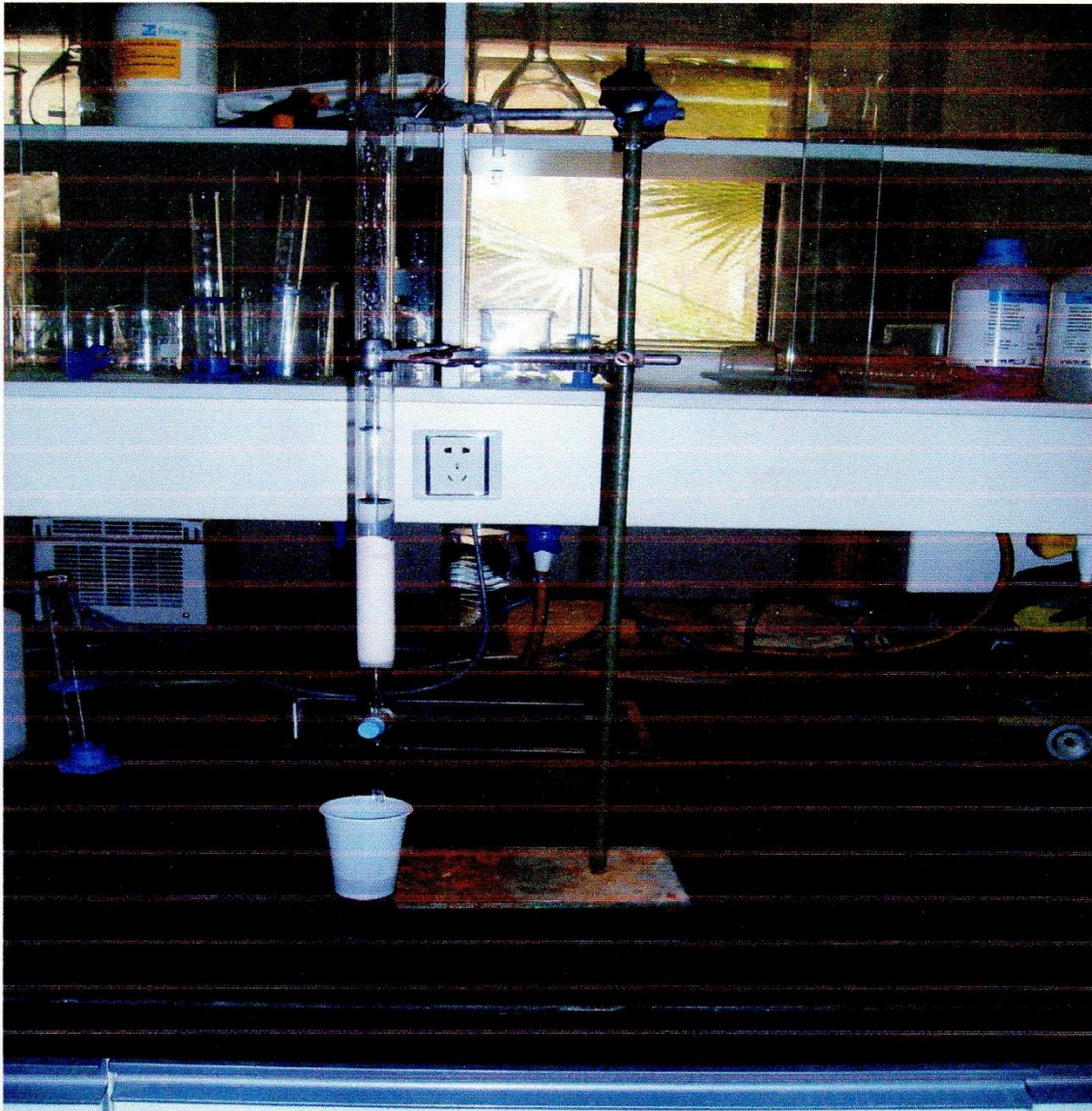
ANNEXE6 :photos montrant cas d' émail tacheté
: Fluorose dentaire



ANNEXE 7: photos montrant cas de Fluorose dentaire sévère : incisives centrales au stade 1, incisives latérales au stade 2, canines au stade 3 et prémolaires au stade 5. (a) Secteur maxillaire droit, (b) secteur maxillaire gauche.



ANNEXE 8 : photo montrant cas de électrode combinée sélective
aux ions fluorures



ANNEXE 9: photo montrant cas d'adsorption sur l'alumine activée

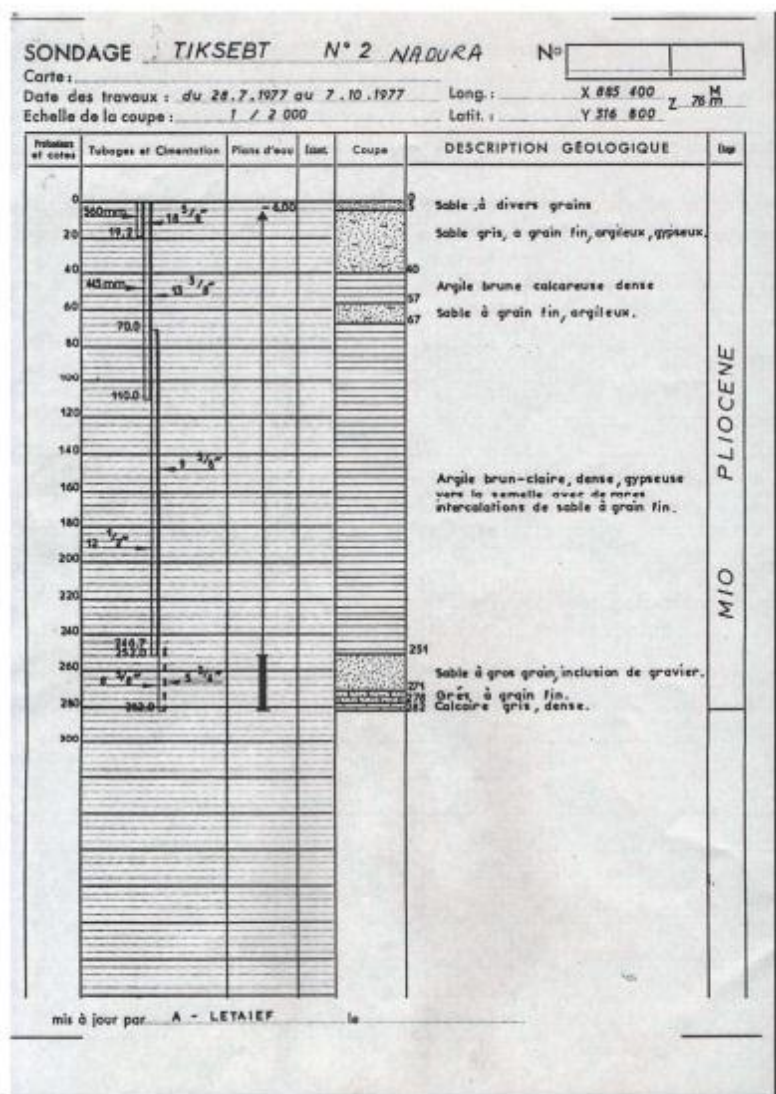
ANNEXE

ANNEXE 10 : Tableau de normes des paramètres physico-chimiques concernant les eaux de boisson selon la C.E.E. (1985) et l'O.M.S. (2006)

Paramètre	Unité	Normes OMS	Normes CEE
Paramètres physiques			
PH	/	6.5-8.5	6.5-8.5
C.E	micros/cm	400	450
T	°C	25	20
Salinité	%	-	-
Paramètres chimiques			
Na⁺	mg/l	100	30
TH	mg/l	300	150
Ca⁺⁺	mg/l	125	100
Mg⁺⁺	mg/l	50	30
NH₄⁺	mg/l	0,5	0,003
K⁺	mg/l	12	10
Cl⁻	mg/l	300	250
Turbidité	NTU	0, 3	0,1
HCO₃⁻	mg/l	50	30
TAC	F°	12	15
NO₃⁻	mg/l	50	50
Fe (total)	mg/l	0,5	0,3
PO₄⁻	mg/l	2	0,3
NO₂⁻	mg/l	2	0,3
SO₄⁻	mg/l	400	250
RS	mg/l	1500	1000

ANNEXE

ANNEXES11 :Fig. montrant une coupe lithologique du forage TIKSEBT (D.H.W. d'El-Oued ,2010).



ANNEXE

ANNEXE 12 : Tableau de présentation des forages Albiens d'Oued Souf

Forage d'oued Souf	Année de réalisation	Profondeur (m)	Débit (l /S)	Horizon capté	Température (c°)	Pression (bar)
E-B Forage 19 Mars Albien c /19 Mars	2011	1650	150	Barrémien	60	15
E-B Forage Ouadziten Albien c /ouadziten	1986	1600	145	Barrémien	55	16
E-B Forage Chouhada Albien c/Chouhada	1987	1800	145	Barrémien	55	16

ANNEXE

ANNEXE 13 : Tableau des caractéristiques physico – chimique de l'eau Albien d'Oued souf

Lieu de prélèvement Paramètre - Unité		E-B Forage 19Mars Albien c/19 Mars	E-B Forage Ouadziten Albien c/Ouadziten	E-B Forage Chouhada Albien c /Chouhada
Paramètres physiques				
PH	/	7,09	7,42	7,51
C.E	micros/cm	2640	2590	2470
T	°C	61,8	61,8	61,1
Salinité	%	1,4	1,3	1,9
Paramètres chimiques				
TH	mg /l	870	1280	900
Na ⁺	mg /l	150	180	190
Ca ⁺⁺	mg /l	196,39	232,46	191,76
Mg ⁺⁺	mg /l	92,35	138,538	104,511
NH ₄ ⁺	mg /l	//	0,022	0,002
K ⁺	mg /l	30	32	33
Cl ⁻	mg /l	584,97	815,41	496,342
Turbidité	NTU	0,450	1,072	2,58
HCO ₃ ⁻	mg /l	152,50	147,620	169,58
TAC	F°	12	12	11,8
NO ₃ ⁻	mg /l	0,35	0,125	0,174
Fe (total)	mg /l	//	0,061	0,288
PO ₄ ⁻	mg /l	0,013	0,27	0,35
NO ₂	mg /l	0,029	0,020	0,001
SO ₄ ⁻	mg /l	809,5	812	824
RS	mg /l	2000	2040	2010