



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

N° d'ordre : ...

N° de série : ...

**FACULTE DES SCIENCES
ET DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET DE GENIE CIVIL

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

En Hydraulique saharienne

Option : Aménagement Hydraulique dans les zones arides

Par: M^{me} Lachouri Amel

Née Belmabdi

Thème

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)

Soutenu publiquement le : 09/02/2009

Devant le jury :

Pr. SAOULI S.	Professeur	Université d'Ouargla	Président
Pr. MESSAITFA A.	Professeur	Université d'Ouargla	Rapporteur
Dr. BOUTAOUTAOU D	Maître de conférences	Université d'Ouargla	Examineur
Dr. SEGNI L.	Maître de conférences	Université d'Ouargla	Examineur

Dédicace

A mes parents

A mon marie

A mes deux petites filles (chada et nada)

A mes frères et sœurs

A ma grande famille

A tous ce qui me sens chère

Je dédie ce modeste travail

REMERCIEMENT

Je remercie tout d'abord mon dieu pour pouvoir m'aider et m'encourager pour compléter ce modeste travail.

Merci à mes proches, notamment ma petite famille : mon mari Djamel et mes filles Nada et Chada, désolé parce que j'ai pris de votre temps pour préparer ce mémoire.

Aussi à ma grande famille : mes parents, mes frères, mes sœurs, ma belle mère, mes beaux frères et mes belles sœurs pour leur aide et leur encouragement pendant les trois ans.

« Sans vous, rien n'aurait été possible, merci de votre soutien et de votre amour... »

Ce travail n'aurait pas été le même sans l'encadrement de Mr Amar Messaitfa. Je tiens à vous exprimer ici mes profondes remerciements pour votre aide au cours de ces trois années.

Les travaux de recherche qui font l'objet de ce mémoire ont été réalisés grâce à la collaboration des Laboratoires de valorisation et de promotion des ressources sahariennes (VPRS), laboratoire de génie de procédé et le laboratoire de chimie analytique.

Je souhaite remercier tout d'abord Mr SAIDI, pour m'avoir accueillie dans son équipe, en me donnant l'opportunité d'acquérir une réelle expérience professionnelle dans le milieu.

Mme Nabihah Meftah, Je tiens à vous exprimer ici ma plus profonde gratitude pour l'aide précieuse, et le soutien que tu m'as apportés, au cours des différentes phases de cette étude.

Je remercie, Mr BELFAR et Mr GHILANI les responsables de ces laboratoires, de m'avoir accueillie au sein de leur laboratoire.

Je souhaite également remercier les membres du jury qui ont accepté d'examiner mon travail de recherche, Mr SAOULI, Mr SEGNI et Mr BOUTAOUTAOU, Je remercie tout particulièrement Mr MESSAITFA pour son lecture attentive de mon manuscrit et ses remarques constructives en tant que rapporteur.

Merci aux différentes personnes qui ont participé de près ou de loin et m'ont aidé à l'élaboration de ce mémoire : yamina, khadidja, khawla, mustapha, yacemine, mounia, zineb ghiaba, zaouia, nadia et sa famille, zineb, mounia, Mr bouchaala, Mr nezli..... etc

Mes remerciements s'adressent également à toutes les personnes qui ont toujours pris le temps de répondre à mes diverses et nombreuses questions.

Je vous dis tous merci, merci et merci.....

Liste des tableaux

Le titre	Page
Tableau 01: Apports conseillés et limites de sécurité en fluor pour différentes classes d'âges (Arnaud, 2001)	10
Tableau 02: Effets du fluor en fonction de la concentration dans l'eau	13
Tableau 03: Récapitulatif des différentes nappes aquifères (Etude des ressources en eau du Sahara septentrional, 1987)	27
Tableau 04: Teneurs en ions fluorure des eaux algériennes (en mg/L)	30
Tableau 05: Résultats des mesures des solutions d'étalonnage	41
Tableau 06: La teneur en fluorure dans les eaux de la région d'Ouargla	50
Tableau 07: La teneur en fluorure dans les eaux de la région d'El Oued	50
Tableau 08: Les résultats des analyses sur les solutions minéralisées des dattes	51
Tableau 09: Les résultats des analyses sur les solutions minéralisées des aliments	52
Tableau 10: Concentrations d'ions fluorures dans le thé (mg/L)	52
Tableau 11: Le rinçage des échantillons du sable agricole	52

Liste des figures

Le titre	Page
Figure 01: Calculs rénaux	13
Figure 02: Email tacheté	14
Figure 03: Fluorose dentaire	15
Figure 04: Os sains	15
Figure 05: Os fragiles	15
Figure 06: Problème d'ostéofluorose	16
Figure 07: Fluorose osseuse	16
Figure 08: Illustration d'une fluorose osseuse de la main d'un tailleur sénégalais après 15 années d'exposition à une eau de boisson contenant plus de 4 mg/L de F- en région endémique (Fatick, Sénégal).	17
Figure 09: Courbe d'étalonnage du standard	42
Figure 10: Coupe lithologique du forage El-Oued centre	43
Figure 11: Coupe lithologique du forage Ain Sahara	44
Figure 12: Coupe lithologique du forage Tiksebt	45

Liste des cartes

Le titre	Page
Carte 01: Situation géographique de la wilaya de Ouargla	20
Carte 02: Situation géographique de la wilaya d'El Oued	23
Carte 03: Coupe hydrogéologique	26
Carte 04: Le Système Aquifère du Sahara : Le CT et le CI	26
Carte 05: Localisation des 30 pays affectés par la fluorose endémique parmi les 50 répertoriés présentant des teneurs en fluor $> 1,5$ mg/l	35
Carte 06: Géologie mondiale simplifiée d'après Atlas Général Bordas (1957)	36
Carte 07: Localisation des régions arides et semi-arides	36

ملخص:

في المنطقة الشرقية من شمال الصحراء, سلطت العديد من الدراسات الأولية الضوء على مشكلة وجود الفلور المتوطن الذي يؤدي الى تشوهات الأسنان و العظام, و يرجع السبب الرئيسي لتلك الإصابة الى استهلاك مياه الشرب المفلورة بشدة لمدة طويلة نسبيا.

وفيما يتعلق بمنطقتي ورقلة و الوادي, أجريت العديد من التحاليل حيث أعطت فكرة عن وجود الفلور في مياه الآبار و في نظامنا الغذائي. و أظهرت النتائج التي توصلنا إليها أيضا أن هذه المياه كانت تتميز بتمعدن عالي و صلابة مفرطة (< 112 °F).

كلمات المفتاح: فلوروز, مياه, أغذية, فلوروز, جنوب, حصيلة

Résumé :

Dans la zone orientale du Sahara septentrional, plusieurs enquêtes épidémiologiques ont mis en évidence l'existence d'un problème de fluorose endémique qui se traduit par des déformations dentaires et osseuses. La cause essentielle de cette affection est attribuée à l'ingestion, pendant un temps relativement long, à des eaux de boisson fortement fluorées.

Concernant les deux régions de Ouargla et El-Oued, diverses analyses ont été réalisées, donnant une idée sur la présence du fluor dans les eaux de forages et dans notre régime alimentaire. Nos résultats ont également montré que ces eaux étaient caractérisées par une minéralisation importante et une dureté excessive (>112 °F).

Mots clés: Fluorure, Eaux, Aliments, Fluorose, Sud, Bilan

Abstract:

In the eastern zone of northern Sahara, several epidemiological studies have highlighted the problem of endemic fluorosis leading to dental and bone deformities. The main cause of this case is attributed to ingestion, for a relatively long time, water drinking heavily fluorinated.

Regarding the two regions of Ouargla and El-Oued, various tests have been conducted, giving an idea about the presence of fluoride in the water drinking and our food diet. Our results also showed that these waters were characterized by significant mineralization and excessive hardness (>112 °F)

Keywords: Fluoride, Water, Food, Fluorosis, South, Review

Introduction générale

Si les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , ...) sont présents en quantité relativement importante dans l'eau et les aliments et leurs présences sont nécessaires pour la santé humaine. Les oligo-éléments, le fluor en particulier est indispensable en faible quantité. Il est bénéfique à faible dose, indispensable à la croissance et au maintien du tissu osseux et des dents et en prévenant la carie dentaire, il présente, en effet un risque de fluorose dentaire et squelettique si sa teneur dépasse les niveaux admissibles (1,5 mg/l). En effet, à partir de 0,5 mg/L, une eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/L, le risque de fluorose débute et devient fort au-dessus de 1,5 mg/L. La norme admise varie dans un domaine de concentration de 0,7 à 1,5 mg/L pour des températures de 12 à 25 °C (Pontie et al. 1996).

La fluorose (dentaire et osseuse) est la pathologie la plus répandue dans le monde, elle continue également d'être un problème de santé publique en Afrique du Nord. Au sud Algérien, nous assistons à une fluorose "silencieuse" parmi les citoyens (Messaitfa, 2007). Les eaux souterraines et les aliments consommés semblent à l'origine de cette fluorose (Messaitfa, 2007). A l'exception des travaux de Safer (2006) et Messaitfa (2007) qui ont permis de déterminer un bilan partielle de la teneur en fluorure consommé par la population des principales régions de sud Algérien, aucun bilan complet n'est dressé pour quantifier les apports de fluorure dans ces régions arides. Par ailleurs, les conditions climatique aride ($> 40^\circ\text{C}$ en été), induit une forte transpiration du corps humaine et par conséquence, il semble (Messaitfa, 2007) que les normes de potabilité des eaux vis-à-vis du fluorure préconisé par l'OMS (1,5 mg/l) est loin d'être appliquée dans telle condition.

L'objectif de cette étude, vise en premier lieu, de déterminer la distribution des ions fluorures dans les eaux potables et les principaux aliments (thé, dattes, pomme de terre, semoule, lentilles, carotte, citrouille) consommés dans les régions d'études et en deuxième lieu, d'établir un bilan, d'estimer le niveau d'exposition et de localiser les zones à risques de fluorose dans deux principales régions du Sud-Est Algérien (Ouargla et à El-Oued).

Le travail est articulé en six chapitres:

Le premier chapitre, présente une généralité détaillée sur l'ion fluorure et le deuxième chapitre présente les principales caractéristiques de la cuvette d'Ouargla et El-Oued. Le chapitre trois, décrit la chimie des ions fluorures dans les eaux et le chapitre quatre est réservé à la méthodologie suivie et les moyens utilisés dans la réalisation de cette étude. Le chapitre cinq, présente la discussion des principaux résultats obtenus sur la teneur des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments consommés dans les régions étudiées. Le dernier chapitre est réservé à l'élaboration d'un bilan de consommation de l'ion fluorure par les habitants des régions étudiées.

CHAPITRE 1: GENERALITES

1. Introduction

Du latin le fluor signifiant fondre, couler. C'est un gaz jaune - verdâtre inflammable et à odeur piquante et irritant, toxique par inhalation et ingestion. De masse atomique 18,988 gr et de grande réactivité (plus électronégatif), il est découvert en 1886 par Henri Moissan. Il occupe la 13^{ème} place dans l'ordre d'abondance des éléments d'écorce terrestre (Taylor, 1964; Wedepohl, 1974). Il ne se présente pas à l'état élémentaire dans la nature mais sous forme de sels que l'on regroupe sous le terme générique de fluorures. Il oxyde tous les métaux sauf l'or, le platine et l'iridium (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1993)

Le fluor étant ni volatils, ni absorbables par la peau (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1993), il arrive à l'organisme humain par quatre voies principales:

- a) L'eau de boisson
- b) Fruits et légumes
- c) Les dattes
- d) Le thé (Kettab, 1992)

2. Sources et niveaux environnementaux

À l'état libre, le fluor est un gaz diatomique de couleur jaune pâle. On ne le trouve jamais sous cette forme dans la nature, car il est chimiquement très réactif, il est d'origine naturelle provient de la dissolution de certaines roches.

Sa présence en excès dans les eaux de boisson est à l'origine d'intoxications graves. Comme tout oligo-élément, le fluor est nécessaire et bénéfique pour l'organisme humain à de faibles concentrations, mais toxique à plus fortes doses.

En effet, à partir de 0,5 mg/L en ions fluorure, une eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/L, le risque de fluorose débute et devient fort au-dessus de 1,5 mg/L. La norme admise varie dans un domaine de concentration de 0,7 à 1,5 mg/L pour des températures de 12 à 25 °C (Pontie et al. 1996)

Il est utilisé dans la fabrication de l'aluminium, de l'acier, du verre, de l'émail, de la brique, de la poterie et du ciment, dans la production de substances chimiques fluorées et d'engrais phosphatés, dans la fonderie, le soudage et le brasage des métaux. Le fluorure de sodium (NaF) est utilisé dans la préparation de divers pesticides (Santé Canada, 1997).

Les paramètres importants pour l'occurrence du fluor sont la géologie, les temps de contact avec des minéraux fluorés, la composition chimique de l'eau souterraine ou encore le climat (Chernet et al. 2001). On le rencontre sous forme de fluorine (CaF_2), de cryolithe ($\text{Na}_3(\text{AlF}_6)$) et de fluoro-apatite ($\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$) (Koritnig, 1963 ; Pontie et al. 1996).

En plus, les activités industrielles et agricoles et les caractéristiques physico-chimiques de certains sels et des nappes d'eau (températures élevées par exemple) au contact de ces roches favorisent la concentration du fluor dans l'eau, les aliments et l'atmosphère.

Les recherches effectuées ont permis d'identifier une grande diversité, naturelle ou anthropique, des sources possibles de fluor, mais également des processus chimiques et hydrologiques impliqués dans la présence de fluor dans l'eau souterraine.

2.1. Les sources naturelles

Les sources naturelles à l'origine de la teneur en fluor des eaux souterraines les plus couramment constatées sont :

- La nature des roches de l'aquifère:

D'un point de vue géologique, les eaux riches en fluor peuvent se rencontrer dans les trois grands types de terrain que sont les bassins sédimentaires, les zones de socle cristallins et les régions volcaniques. Dans le premier cas, illustré par les exemples de la ceinture partant de la Turquie vers l'Asie et le nord de l'Afrique (Algérie, Tunisie, Maroc), l'origine du fluor provient du fait que, excepté pour les évaporites, le fluor est l'halogène le plus abondant des roches sédimentaires (Wedepohl, 1974). La fluorite, l'apatite ou fluoapatite des bassins phosphatés et les micas sont les principaux minéraux fluorés de ces roches (Koritnig, 1963).

- Le temps de contact entre l'eau et les minéraux fluorés :

Dans le second cas, la région la plus connue et la mieux documentée est le Rift Est Africain, où des teneurs allant jusqu'à 180 mg/l ont pu être observées dans des lacs au Kenya (Gaciri et Davies, 1993). L'origine du fluor vient alors soit du lessivage des roches magmatiques alcalines possédant des minéraux tels que l'apatite, le topaze ou la fluorine soit de l'activité volcanique elle-même engendrant des apports gazeux fluorés (Chernet et al. 2001). Enfin, des exemples d'eaux souterraines dépassant largement la teneur en fluor recommandée par l'OMS (<1.5mg/l) et provenant d'aquifères granitiques ont été localisés en Inde, en Thaïlande, en Chine, en Afrique du sud et dans la partie Est du Sénégal. Mais les réservoirs granitiques, bien que potentiellement les plus aptes à fournir du fluor, n'en libèrent dans leur grande majorité qu'une faible partie dans les eaux souterraines. Ceci correspond au fait qu'en tant qu'élément majeur le fluor de ces roches est difficilement mobilisable à basse température (Travi, 1993).

L'hydrodynamique du système aquifère joue quant à lui un rôle important par le temps de contact entre l'eau et les roches. Ainsi, lorsque le flux des eaux souterraines est relativement lent, une nette augmentation des teneurs en fluor est observée. Le rôle du climat est donc ici très important. En effet, les faibles précipitations des régions arides entraînent généralement des temps de transfert de l'eau souterraine plus longs que dans les zones humides. Les temps de contact eau/roche plus long provoquent alors un enrichissement de l'eau en substances minérales.

L'importance de l'hydrodynamique du système est également notable par la présence de quantité de fluor souvent plus fort en aquifère captif que dans les aquifères superficiel. En région aride, l'évaporation qui affecte les eaux superficielles et des sols, susceptibles de s'infiltrer, est aussi un facteur important de l'augmentation des concentrations des eaux souterraines.

- Le contrôle chimique des eaux :

Par rapport au contrôle chimique, la concentration en fluor dans les eaux dépend essentiellement de l'état de saturation vis à vis de la fluorine (CaF_2). Si l'eau est sous-saturée, la teneur en fluor est généralement le reflet de la quantité disponible au sein de la roche lessivée. Par contre, dans le cas d'une eau saturée, la concentration de fluor est alors limitée par la valeur de la constante de solubilité (K_s) de la réaction de dissolution de la fluorin



$$K_s = [\text{Ca}^{2+}] [\text{F}^-]^2$$

$$K_s = 10^{-10,57} \text{ à } 25^\circ\text{C} \text{ (Smyshlyaev et Edeleva, 1992)}$$

La comparaison des teneurs en fluor obtenues par Travi (1993) dans les aquifères Sénégalais et Tunisiens illustre clairement ce rôle joué par la constante de solubilité de la réaction précédente. En effet, bien que situés tous les deux dans des formations sédimentaires phosphatés et présentant tous les deux des eaux saturées par rapport à la fluorine, les concentrations mesurées au Sénégal peuvent s'élever jusqu'à 13 mg/L tandis que celles obtenues en Tunisie ne dépassent que rarement les 2 mg/L.

La cause d'une telle différence vient de la présence, dans le cas de la Tunisie de roches tel que le gypse (CaSO_4) engendrant un apport et une concentration non négligeable de calcium dans les eaux souterraines limitant ainsi les teneurs en fluor beaucoup plus tôt qu'au Sénégal.

Les fortes teneurs de fluor semblent donc associées le plus souvent à des eaux souterraines, possédant de fortes valeurs de pH (>7) facilitant ainsi les échanges ioniques entre fluorures (F^-) et groupements hydroxyles (OH^-), et de type bicarbonaté - sodique (Na^+ , HCO_3^-) caractérisées par des faibles concentrations en magnésium et en calcium en raison de la faible solubilité de la fluorine.

2.2. Les sources anthropiques

L'apport en fluor dans les eaux souterraines peut également provenir d'activités anthropiques. L'utilisation intensive des engrais phosphatés (fluorapatite), d'insecticides ou d'herbicides contenant des fluorures en tant que constituant essentiel ou sous forme d'impuretés (cryolite, fluorosilicate de baryum), induit généralement une pollution des nappes phréatiques aux alentours des sols ayant subi un tel traitement.

Les industries de l'acier, de l'aluminium, du verre, de fabrication de briques et de tuiles, représentent également une source potentielle de contamination en fluor du milieu.

Les rejets d'eaux usées (Coker et Davis, 1981) et les émissions gazeuses tels que : HF ou SiF_4 , peuvent se solubiliser au contact d'un milieu aqueux et intégrer ainsi le cycle de l'eau.

Chapitre 2: GENERALITES SUR LA REGION D'ETUDE

1. Présentation de la région d'Ouargla

1.1 Cadre géographique

La wilaya de Ouargla se situe au Sud Est de l'Algérie, elle s'étend sur une superficie de 163.233 Km², le relief se caractérise par des pentes faibles (< 1 ‰) (Khadraoui, 2000). Elle est limitée au Nord par les wilayate de Djelfa et d'El Oued, au Sud par les wilayate d'Illizi et de Tamannrasset, à l'Ouest par la wilaya de Ghardaia et à l'Est par la Tunisie (carte 1). Selon les statistiques de 2004, la population est estimée à 415000 habitants, répartie sur 21 communes.



Carte 01. Situation géographique de la wilaya de ouargla

1.2. Aspect climatique

Dans ce cadre on a utilisé les données fournies par la station météorologique de Ouargla (O.N.M : office nationale de la météorologie).

La cuvette de Ouargla se caractérise par un climat aride à été très chaud ($> 45\text{ °C}$) et un hivers froid ($< 10\text{ °C}$) avec une amplitude thermique très élevée, une précipitation très faible et irrégulière, une évaporation très élevée (ONM).

1.2.1. La température

La température moyenne calculée sur les sept dernières années (2001-2007) montre que le minimum de $2,7\text{ °C}$ est observée en janvier 2002 (figure 7 en annexe) et le maximum de $46,5\text{ °C}$ est observée en août 2004 (figure 8 en annexe).

1.2.2. Les précipitations

Les précipitations proviennent essentiellement des perturbations orageuses, courtes et violentes. La plupart des précipitations se produisent en hiver, bien que certains hivers soient pratiquement secs. Les précipitations enregistrées durant les sept dernières années (2001-2007), sont très faibles et irrégulières à l'exception de celles enregistrées en janvier 2003 (155 mm) (figure 9 en annexe).

1.2.3. L'évaporation

L'analyse de l'évaporation mensuelle enregistrée durant la période 2001 - 2007 montre que l'évaporation croît de janvier à juillet. La maximale (583 mm) est enregistrée au mois de juin l'année 2006 et la minimale (98 mm) est enregistrée au mois de décembre de l'année 2004 (figure 10 en annexe).

1.2.4. L'humidité de l'air

L'humidité de l'air est faible, généralement inférieure à 50 % de mars à octobre. La maximale (66 %) est enregistrée en décembre des années 2004 et 2005, alors que la minimale (21 %) est observée en juin 2006 (figure 11 en annexe).

1.2.5. Le vent

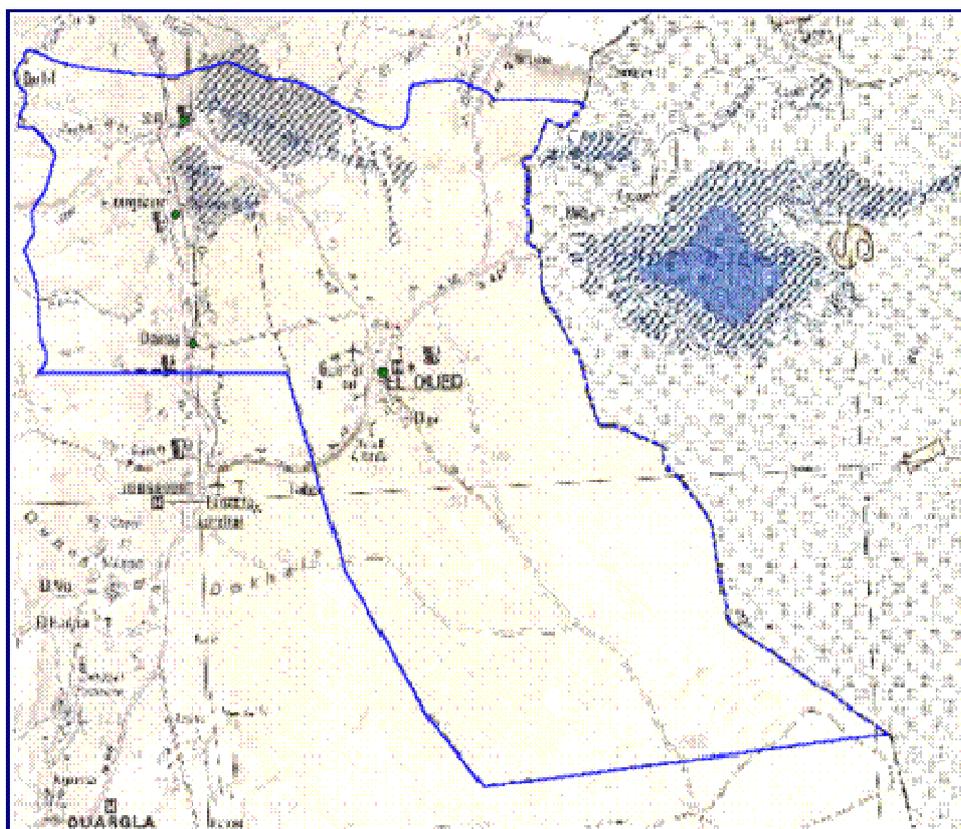
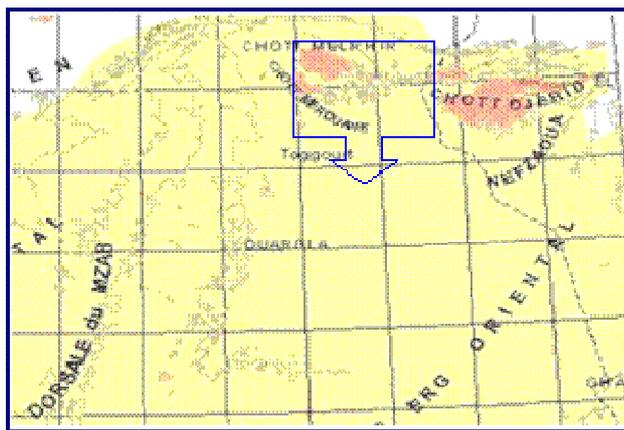
La vitesse moyenne des vents varie de 2 à 5,5 m/s, elle est plus importante au printemps (mars et avril), plus faible en hiver avec une vitesse minimale marquée en septembre 2005 de 0,4 m/s. (figure 12 en annexe) (ONM).

2. Présentation de la région d'El-Oued

2.1. Cadre géographique

La wilaya d'El Oued est située au Nord-Est du Sahara Septentrional, elle est limitée par les wilayates suivantes: Biskra, Khenchela et Tebessa au Nord, de Djelfa au Nord-Ouest, de Ouargla au Sud et au Sud Ouest et par la Tunisie à l'Est (carte 06).

La wilaya d'El Oued occupe une superficie de 44.586 km², avec une population de 529.842 habitants donnant ainsi une densité de 12 hab/km². Du point de vue topographie, la wilaya se caractérise par une importante variation de côte (75 m à El Oued et -6 m à Meghaier) (Benzeguir et Benhmida, 1993).



Carte 02. Situation géographique de la wilaya de El Oued

2.2. Aspect climatique

L'étude des paramètres climatiques (température, précipitation, évaporation, humidité, etc...) ainsi que leur répartition dans le temps et l'espace sur une période allant de 2002 à 2007 a permis de déduire la précipitation est très faible, la température est élevée, l'humidité est faible et l'évaporation est très élevée.

2.2.1. La température

Selon les figures 13 et 14 (en annexe), le maximum des moyennes mensuelles (43,4°C) est enregistré au mois de Juillet de l'année 2005, tandis que le minimum (2,6 °C) est observé au mois de Janvier de l'année 2005.

2.2.2. Les précipitations

Les précipitations enregistrées durant la période allant de 2002 à 2007, sont très faibles et irrégulières. La maximale (53,6 mm) est enregistrée en janvier 2006 (figure 15 en annexe).

2.2.3. L'évaporation

L'évaporation mensuelle maximale (414 mm) est enregistrée au mois de juin 2007 minimale (38 mm) au mois janvier (figure 16 en annexe).

2.2.4. L'humidité de l'air

L'Humidité de l'air varie de 27 % en juillet à 72 % en décembre (figure 17 en annexe).

2.2.5. Le vent

Les vents ont une direction Est - Nord-Est, ils sont les plus fréquents, la vitesse moyenne des vents varie de 1,1 à 6,1 m/s (figure 18 en annexe) (ONM).

3. Hydrogéologie de la zone d'étude

La région d'étude, présente des potentialités en eau assez importantes, représentées par trois types d'aquifères, l'un libre correspondant à la nappe phréatique, les deux autres sont captifs, correspondant aux nappes du complexe terminal et du continental intercalaire.

3.1. La nappe phréatique superficielle

Contenue dans les sables quaternaires, de faible profondeur, avec une large extension dans les vallées de Ouargla et d'Oued Righ (Zemmouri et Besbes, 1994). De fait de sa grande salinité et de sa contamination par l'infiltration des eaux usées, la nappe phréatique est inexploitable dans la région.

3.2. L'aquifère du Complexe Terminal (CT)

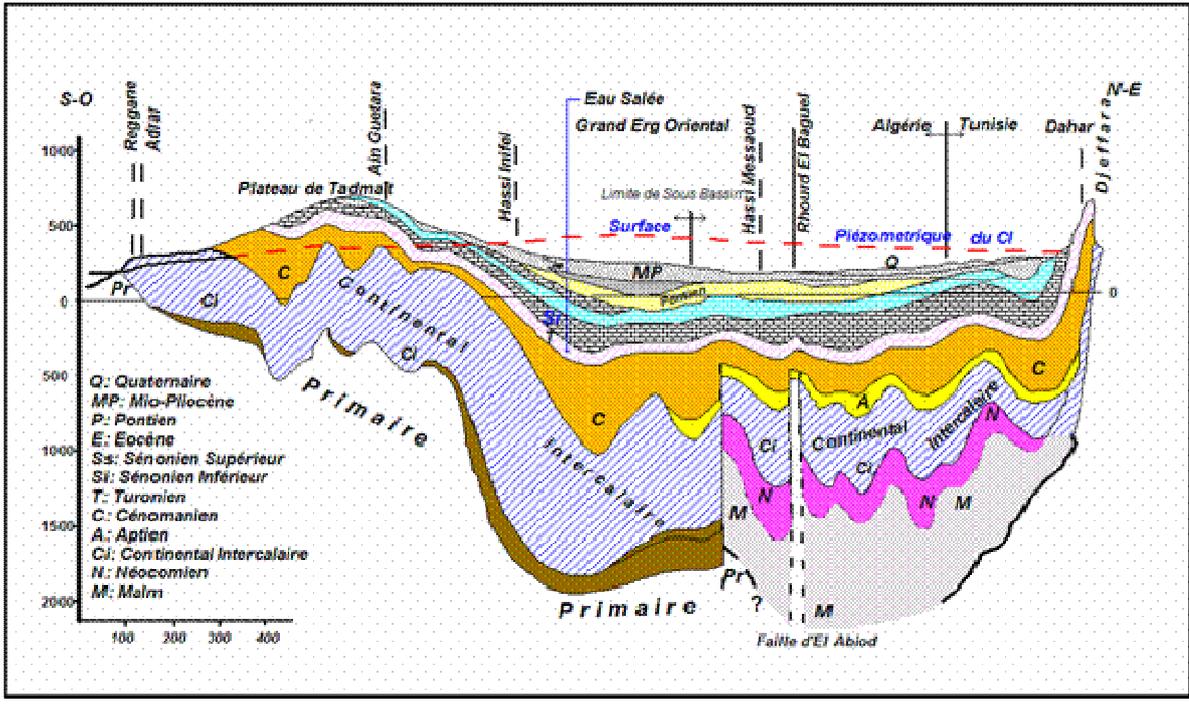
De fait qu'il est accessible à des profondeurs souvent inférieures à 500 m et avec des conditions de mobilisation facilement maîtrisables (faibles artésianisme et température de l'eau), il est largement exploité dans la région. De haut en bas, le Complexe Terminal englobe les trois nappes suivantes:

- **La nappe du Mio-pliocène**, formée d'une alternance de sables et d'argiles et repose en discordance sur le Sénonien. Son épaisseur moyenne est de 150 m.
- **La nappe du Sénonien-Eocène**, formée de dolomies, de calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes et d'argiles. Reconnu sur une épaisseur de 360 m et repose sur la série imperméable du Sénonien lagunaire.
- **La nappe du Turonien**, formée de calcaires, localement fissuré dans la région de Hassi Messaoud. Son épaisseur moyenne est de 60 m et repose sur un substratum imperméable du Cénomani anhydritique et argileux.

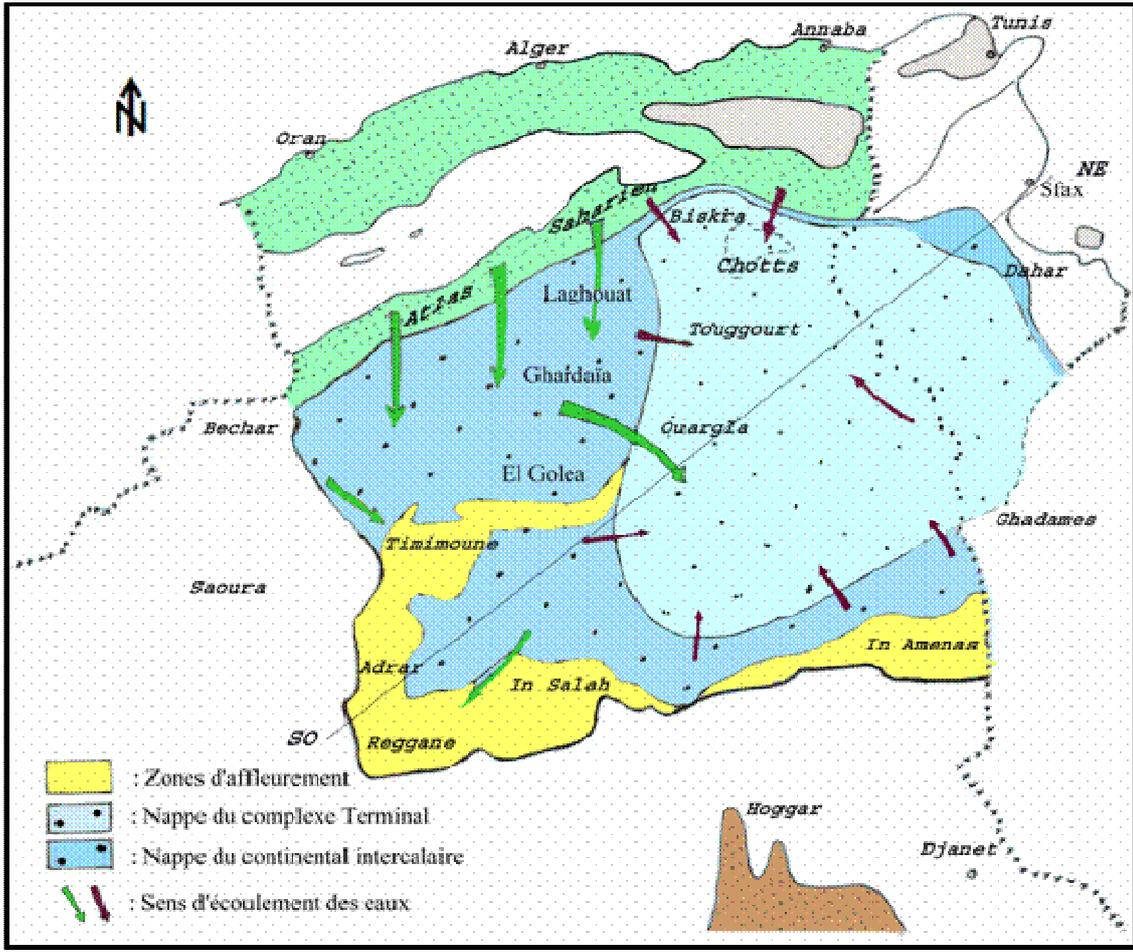
3.3. Système aquifère du Continental Intercalaire (CI)

Il occupe l'intervalle stratigraphique compris entre le Trias et le sommet de l'Albien. Les niveaux aquifères sont contenus essentiellement dans le Barrémien et l'Albien qui sont constitués de dépôts continentaux gréseux et sablo-argileux du Crétacé inférieur.

Dans la zone d'étude, la puissance du réservoir utile est supérieure à 250 m. Les mesures de pressions statiques indiquent des valeurs comprises entre 15 et 18 bars (eau jaillissante).



Carte 03. Coupe hydrogéologique



Carte 04. Le Système Aquifère du Sahara : Le CT et le CI

Tableau 3. Récapitulatif des différentes nappes aquifères (Etude des ressources en eau du Sahara septentrional, 1987)

Chrono stratigraphie	Unité hydrogéologique	Profondeur	Lithostratigraphie
Quaternaire	Nappe phréatique	20 m	Mio – pliocène
Tertiaire	Nappe des sables		
	Nappe du complexe terminal	Impermeable	Eocène évaporitique
		Nappe des calcaires (Sénono – Eocène)	Eocène carbonaté Sénonien carbonaté
		Imperméable	Sénonien lagunaire
Secondaire	Crétacé	Nappe du turonien	Turonien
		Imperméable	Cénomaniens Vraconien
		Nappe du continental intercalaire	Nappe de l'Albien

Chapitre 3: Chimie des ions fluorures dans les eaux

1. Introduction

Indispensable à la santé humaine, il est pratiquement présent dans tous les tissus et en particulier dans l'os, le cartilage, l'émail dentaire et la thyroïde. Dans l'eau, le fluor n'existe pas à l'état libre, mais sous forme de fluorures liés à d'autres ions: calcium, sodium, aluminium,...etc. L'ingestion par l'eau de boisson constitue la principale voie d'apport en fluor de l'organisme, les aliments en apportant très peu. C'est un minéral naturel provenant en majeure partie des roches sédimentaires.

1.1. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines se chargent en fluor après lessivage des roches phosphatées, probablement par dissolution des apatites fluorées dont la solubilité augmente avec la température des nappes considérées (à $T > 35\text{ °C}$). Le niveau de saturation des eaux dépend principalement du déplacement de l'équilibre de formation de la fluorine (CaF_2) :



La teneur en calcium, l'équilibre des eaux en calcite (CaCO_3), gypse ($\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$) et la formation de complexes calciques (CaSO_4 , CaHCO_3^+ , CaCO_3) sont des facteurs importants pour le déplacement de cet équilibre.

1.2. Les eaux de mer

Dans l'eau de mer, la solubilité totale en fluorine est essentiellement due au complexe formé avec les ions magnésium MgF^+ . Le fluorure de calcium, se dissout partiellement selon l'équilibre suivant:



1.3. Les eaux minérales

Certaines eaux minérales sont connues pour renfermer des teneurs importantes en fluorures, ceci est différent pour les eaux minérales algériennes comme l'indique le tableau 04 ci-dessous.

Tableau 4. Teneurs en ions fluorure des eaux algériennes (en mg/L)

Eaux minérales	Concentration (mg/L)
EI-GOLEA	0,3
IFRI	/
SIDI IDRIS	0,26
LALA KHDIDJA	< 0,25
AYRIS	/

1.4. Les eaux de surface

Dans les eaux de surface, la présence de fluorures est surtout liée aux rejets des unités de production d'acide phosphorique et d'engrais phosphatés, ainsi qu'à ceux des usines d'aluminium dont le principe de fabrication repose sur l'électrolyse d'une solution d'alumine dans la cryolithe fondue (AlF_3 , 3NaF).

Les opérations particulières susceptibles d'introduire des poussières fluorées dans l'atmosphère sont le broyage, la calcination, la fusion des minéraux contenant du fluor et le traitement électrochimique pour la fabrication de l'aluminium.

Dans ces installations, les tours de lavage, faits pour diminuer la pollution atmosphérique peuvent avoir pour conséquence un accroissement de la charge en fluor des eaux de surface par les rejets liquides.

La directive de l'Organisation Mondiale de Santé (OMS) donne une teneur limite de 1 mg/L pour les fluorures, alors que la directive des Communautés Européennes (CE), tient en compte de la température moyenne de l'aire géographique considérée, ceci pour tenir compte de la consommation quotidienne d'eau en fonction de la chaleur ambiante. Ainsi, elle préconise une teneur de 1,5 mg/L pour des températures allant de 8 à 12 °C et de 0,7 mg/L pour les températures de 25 à 30 °C. Les normes américaines donnent des valeurs s'échelonnant de 1,4 à 2,4 mg/L selon la température. La valeur moyenne retenue par l'ensemble des organismes de normalisation est de 1 mg/L à 20 °C (Travi, 1993).

2. Pharmacocinétique et métabolisme

Les fluorures ingérés sont rapidement absorbés à partir du tractus gastro-intestinal sous forme d'acide fluorhydrique (Whithord, 1994 ; Chavassieux et Meunier, 1995). La vitesse d'adsorption des composés fluorés dépend toutefois de leur solubilité aqueuse. Le fluorure de sodium est plus facilement absorbé que le fluorure de calcium (Santé Canada, 1997).

Après absorption, les ions fluorures sont rapidement distribués sous forme ionique par la circulation systématique, ils sont éliminés rapidement du plasma par excrétion urinaire, par distribution et rétention dans les tissus minéralisés (Whithord, 1994). Le fluorure accumulé dans les tissus minéralisés ne sont remis en circulation que très lentement.

Le contenu total en fluorures dans la dentine et les os tend donc à augmenter au cours de la vie. Advenant une interruption de l'exposition, les niveaux de fluorures dans les tissus osseux devraient diminuer lentement lors du remodelage des os (Ekstrand et al. 1990).

Chez les adultes, en bonne santé, approximativement 50% de fluorure absorbé quotidiennement est excrète par l'urine et le reste est associé aux tissus minéralisés. Entre 6 et 10% des doses ingérées seraient excrétées par les selles. Ils correspondent généralement aux fluorures non absorbés (Whithord, 1994).

La clairance rénale (clairance rénale d'une substance est définie comme le volume théorique de plasma totalement épuré par le rein de la substance considérée par unité de temps, elle est exprimée en ml/min) des fluorures est toutefois plus faible chez les jeunes enfants que les adultes et une insuffisance rénale même modérée accentue la rétention des fluorures dans l'organisme (Chavassieux et Meunier, 1995).

3. Normes et recommandations

3.1. Critère de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Pour l'OMS, la valeur guide recommandée est de 1,5 mg/L (O.M.S, 2000). Pour les zones tempérées, la fluorose dentaire se manifeste lorsque la concentration en fluorure dans l'eau excède les 1,5 à 2 mg/L.

3.2. Norme Américaine

Aux Etats-Unis, la concentration maximale permise en fluorure dans les eaux de distribution est de 4 mg/L (United States Environmental protection Agency, 1986; Meunier, et al. 1989; Sharipo, 1996).

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency, 1985) considère qu'une consommation d'une eau dont la concentration en fluorure soit supérieure à 10 mg/L pendant plus de 20 ans, peut survenir une fluorose osseuse. Une concentration maximale permise de 4 mg/L, constitue une marge de sécurité.

3.3. Norme Canadienne

La concentration maximale de fluorures permise en vertu du règlement de la qualité de l'eau potable est de 1,5 mg/L (Gouvernement de Québec, 2001). Les municipalités qui sont inscrites au programme de fluoruration artificielle des eaux de consommation doivent maintenir une concentration optimale en fluorures de 0,7 mg/L (Gouvernement de Québec, 2004). La concentration maximale acceptable proposée par le ministère de la santé Canadienne (Santé Canada, 2002) est de 1,5 mg/L.

3.4. Norme Française

La norme française fixe à 1,5 mg/l la teneur maximum de fluor en eaux potables.

4. Synthèse bibliographique

Parmi les 185 pays du monde, certains connaissent à titre local (Angleterre, France, Italie) ou de façon plus générale (USA), une occurrence de concentration en fluor dans les eaux souterraines supérieure à 1,5 mg/l. La gamme typique des teneurs en fluor des eaux souterraines s'étend de 0,01 à 4 mg/l (Wateraid, 2002), mais une prédominance pour des teneurs inférieures à 1 mg/L est tout de même remarquée (Bertrand, 2001).

Des maxima supérieurs à 10 mg/l, s'observent dans les eaux exploitées en Inde (18 mg/l). Hormis l'Inde, peu de problème de santé en rapport avec le fluor, est cependant rapportés pour des pays cités précédemment.

L'absence de maladie est essentiellement due à la qualité du réseau de distribution comportant des infrastructures et des traitements adéquates ou bien encore à la possibilité, pour les populations concernées, d'avoir recours à une ressource en eau alternative (nappe phréatique non contaminée, eaux embouteillées).

Cependant, parmi les cinquantaines de pays possédant une eau dans la concentration en fluor soit supérieures à 1,5 mg/L, le problème de la fluorose endémique concerne actuellement environ 30 pays répartis à travers les cinq continents.

Dans les années quatre-vingt, une estimation montrait déjà que près de 260 millions de personnes dans le monde consommaient une eau contenant plus de 1 mg/l de fluor. De nos jours, on remarque qu'en Mexique, la fluorose endémique est un problème de santé affectant autour de 5 millions d'habitants (Diaz-Barriga et al. 1997).

En Chine, on enregistre environ 38 millions de personnes souffrant de fluorose dentaire et 1,7 millions souffrant de fluorose osseuse plus grave. En Inde (Kumar et al. 1991), la fluorose affecterait autour de 25 millions de personnes, dont 1 million de fluorose osseuse, soit 4 % de la population est atteinte par une fluorose aigue.

Ainsi en englobant la population des autres pays comme le Sénégal, le Niger, l'Ethiopie, le Kenya, la Tanzanie et l'Afrique du Sud, le Maroc, l'Algérie, la Turquie et l'Argentine, le total de la population mondiale atteinte de fluorose excède les 70 millions.

La carte 5, permet de constater que la distribution des pays affectés par la fluorose endémique. Elle révèle la présence d'une ceinture géographique, s'étendant le long du Rift Est africain, de l'Erythrée jusqu'en Afrique du sud, ou encore le long d'une ligne partant de la Turquie, passant par l'Irak, l'Iran, l'Afghanistan, l'Inde, le Nord de la Thaïlande et la Chine. L'Amérique et le Japon possèdent des ceintures similaires.

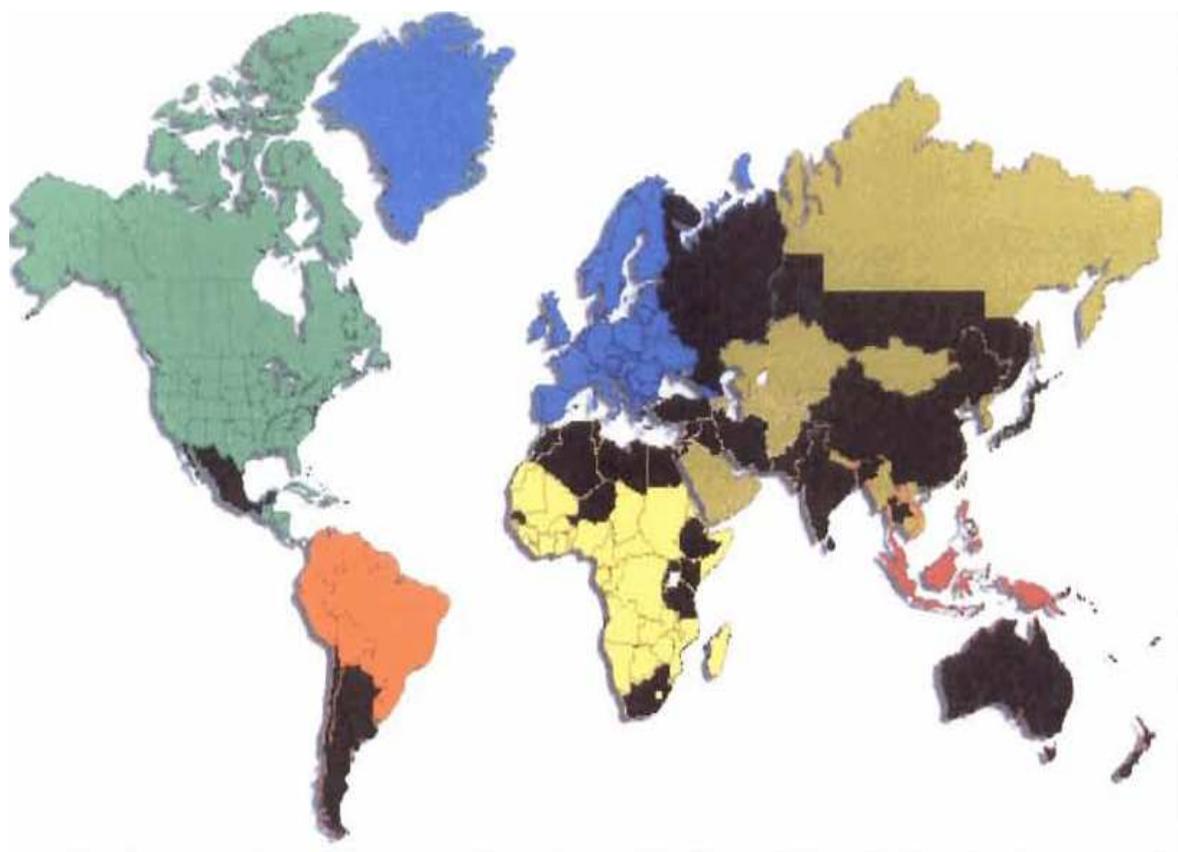
En comparant les cartes 5 et 6, on constate que la fluorose affecte des pays pour lesquels la nature de roche prédominante est très diverse :

- Bassins sédimentaires des pays d'Afrique du Nord et du Sahel
- Zone volcanique de l'Est Africain et du Mexique
- Régions de socle en Inde ou en Australie

En comparant la carte 5 de la fluorose et la carte 7 d'aridité, on remarque que les régions géographiques touchées par la fluorose paraissent essentiellement développées dans les zones définies comme arides ou semi-arides. La conjonction de deux phénomènes bien connus permet de fournir une explication.

Tout d'abord, la forte évaporation pour les zones arides et chaudes (Afrique du Nord, Mexique), entraîne un accroissement des concentrations dans l'eau résiduelle, puisque seule l'eau pure s'évapore.

D'autre part, les faibles précipitations des régions arides entraînent généralement des temps de transfert de l'eau souterraine plus longs que dans les zones humides où les temps de renouvellement sont plus rapides. Il en résulte ainsi un temps de contact eau/roche plus long pouvant être à l'origine d'un enrichissement de l'eau en substances minérales dans les régions arides. A cela vient s'ajouter le fait que pour ces régions, l'eau souterraine correspond à la principale ressource en eau.



Légendes

■ Région I, Afrique

■ Région II, Asie

■ Région III, Amérique du Sud

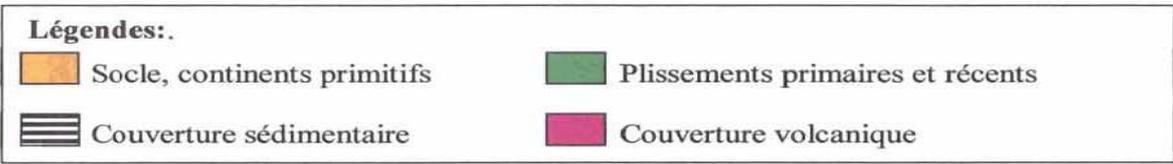
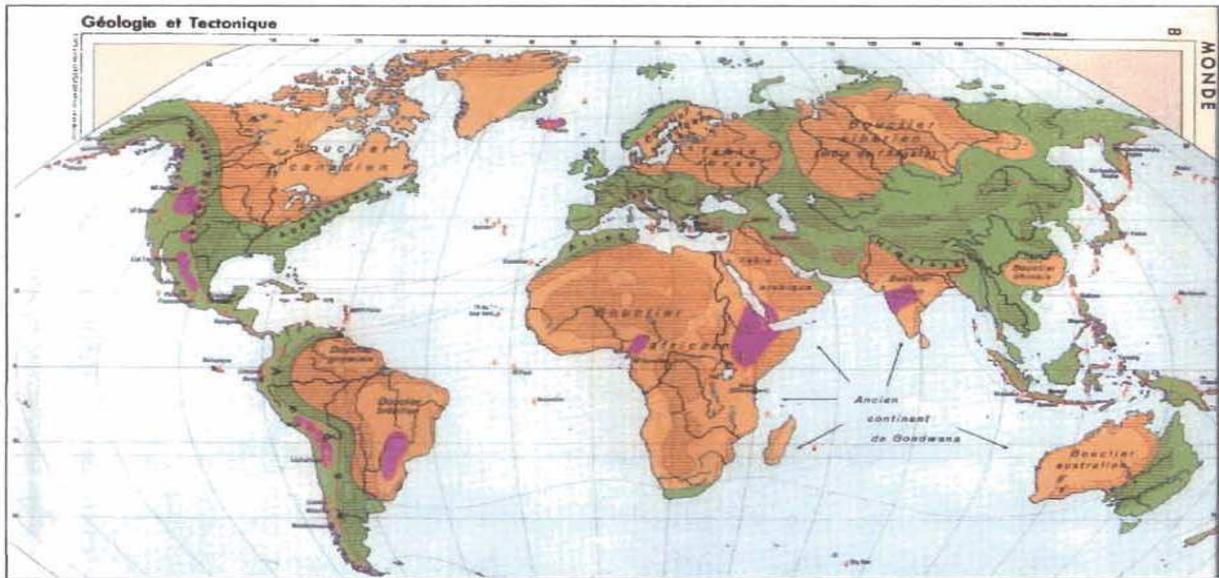
■ Pays où une partie de la population est affectée de façon endémique par la fluorose en relation avec des eaux souterraines riches en fluor (>1.5mg/l, norme OMS)

■ Régions IV, Amérique du Nord et Centrale

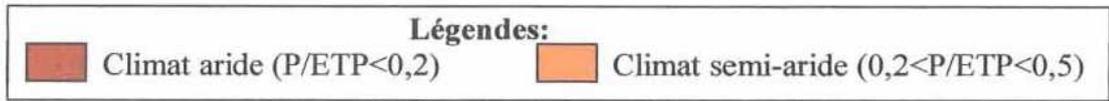
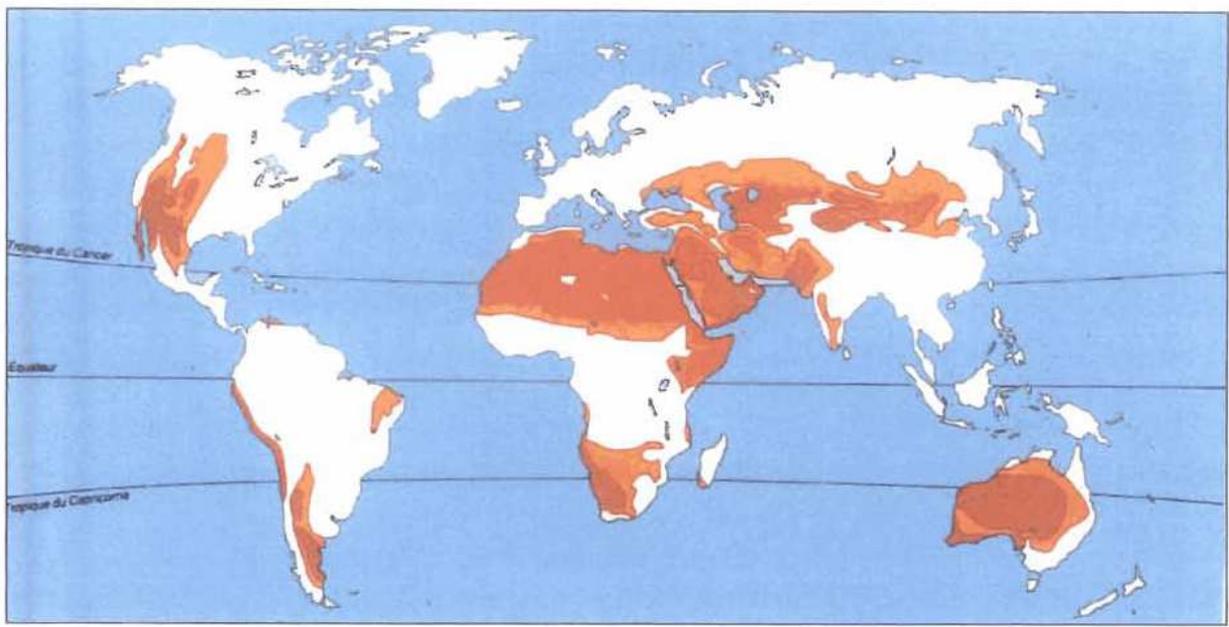
■ Région V, Pacifique Sud-Ouest

■ Région VI, Europe

Carte 05. Localisation des 30 pays affectés par la fluorose endémique parmi les 50 répertoriés présentant des teneurs en fluor > 1,5 mg/L



Carte 06. Géologie mondiale simplifiée d'après Atlas Général Bordas (1957)



Carte 07. Localisation des régions arides et semi-arides

Chapitre 4: Matériels et Méthodes

1. Introduction :

Il existe plusieurs méthodes d'analyse pour le fluorure dans l'eau potable, telles la méthode de l'électrode sélective pour ions fluorures, la méthode colorimétrique, Les méthodes spectrophotométriques (méthode au zirconium et ériochrome - cyanine R), méthode par flux contenu et la chromatographie par échange d'ions.

Il est certes possible de pratiquer le dosage directement sur l'échantillon mais de nombreux éléments comme les chlorures, le fer, les phosphates, les sulfates, étant susceptibles de conduire à des interférences, il est préférable d'effectuer une distillation préalable, comme dans le cas des eaux colorées ou troubles.

La méthode potentiométrique est d'une grande facilité d'emploi et autorise des mesures directes. Elle peut utiliser dans une échelle étendue, de 0,1 à 1000 mg/l (Greenberg et al. 1992; Rodier et Coll, 2005), la méthode colorimétrique (convient pour des teneurs allant de 0,05-1,4 mg/L) (Greenberg et al. 1992).

La plage d'analyse de la méthode de chromatographie par échange d'ions n'est généralement pas recommandée pour les analyses de routine du fluorure en raison de difficultés de quantification pour les faibles concentrations et d'interférences des acides organiques simples, mais elle peut être satisfaisante si l'on a recours à des techniques spéciales, telles la dilution de l'éluant ou l'éluion par gradient (Greenberg et al. 1992)

Pour éviter les contaminations par des produits fluorés, On utilise, pour les prélèvements d'eaux, des flacons neufs en polyéthylène (Rodier et Coll, 2005).

2. Electrodes ioniques spécifiques

Principe

La mesure de l'activité ionique du fluor, dans des conditions expérimentales bien définies, de concentration en ion, de pH et de complexant, permet de déterminer la concentration de cet élément dans l'eau à l'aide d'une électrode spécifique (Rodier et Coll, 2005). Cette électrode sélective aux ions fluorures est une électrode combinée à membrane cristalline (cristal de fluorure de lanthane), elle donne une réponse (potentiel) proportionnelle au logarithme de la concentration aux ions fluorures :

$$E=f(\log [F^-])$$

Cette relation est linéaire pour une gamme de concentration allant de 0,1 mg/L à 10 mg/l en ions fluorures.

La différence de potentiel existant entre l'électrode spécifique et l'électrode de référence placée dans la solution, est une fonction de l'activité des ions correspondant à l'électrode spécifique. Le potentiel de l'électrode est en effet lié à l'activité des ions présents par la relation:

$$E = E_0 + 2,3 \frac{RT}{nF} \log a_H$$

Tels que:

E : Potentiel mesure

E₀ : Constante dépendant du choix de l'électrode de référence et des solutions internes

R : Constante des gaz (J/°C)

T : Température absolue (K)

n : Charge de lion

F : Constante de faraday (96500 C)

$2,3 \frac{RT}{nF}$ = facteur de Nernst: 59,16 /nmV a 25 °C

a_H : activité de lion dans l'échantillon, en solution diluée l'activité est pratiquement égale a la concentration.

Cette étude a porté sur l'analyse du fluor dans le thé, dans les principaux aliments consommés dans la région (les dattes, les lentilles, la carottes, la citrouille, le semoule) et dans l'eau de boisson de 26 forages exploitants la nappe du Continental Intercalaire (CI), à plus de 1200 mètres de profondeur, et de la nappe du Complexe Terminal (CT) peu profonde (60 à 200 m). deux départements (wilayats) sont sélectionnés entant que sites sensibles à la fluorose.

Le fluor total dans les eaux, les aliments et le thé a été dosé par potentiométrie, dans le laboratoire de valorisation et Promotion des ressources sahariennes (VPRS) de l'université de KASDI MERBAH Ouargla, en utilisant une électrode spécifique de fluor (IM/BNC/IC9243/05).

Les échantillons sont mélangés avec un tampon à force ionique total, le Total Ionic Strength Adjustment Buffer (TISAB, pH = 5 à 5,5). Les interférences (Lacroix et Labalade, 1950 ; Oliver et Clayton, 1970 ; Mameri et al., 2001) des ions (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} , Si^{2+}) sont évitées par addition de l'ion gênant.

Les lectures potentiométriques directes sont comparées à une courbe d'étalonnage (Tableau 4 et Figure 19) du standard (0,1 à 10 mg/L). Par ailleurs, les autres paramètres, sont analysées au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH). Le calcium et le magnésium ont été dosés par la méthode titrimétrique à l'EDTA. Les bicarbonates par la méthode volumétrique. Les teneurs en chlorures ont été déterminées selon la méthode de Mohr. L'alcalinité a été dosée par titrage à l'acide sulfurique (N/50). Le pH et la conductivité des eaux ont été mesurés respectivement par un pH-mètre (Hannas 211) et un conductimètre (Bioblock WTW LF 315).

Tableau 5. Résultats des mesures des solutions d'étalonnage (T = 25°C)

Fluorures (mg/L)	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10
Potentiel (mV)	-282,6	-317,8	-336,4	-347,7	-362,4	-377	-387,8	-389,6

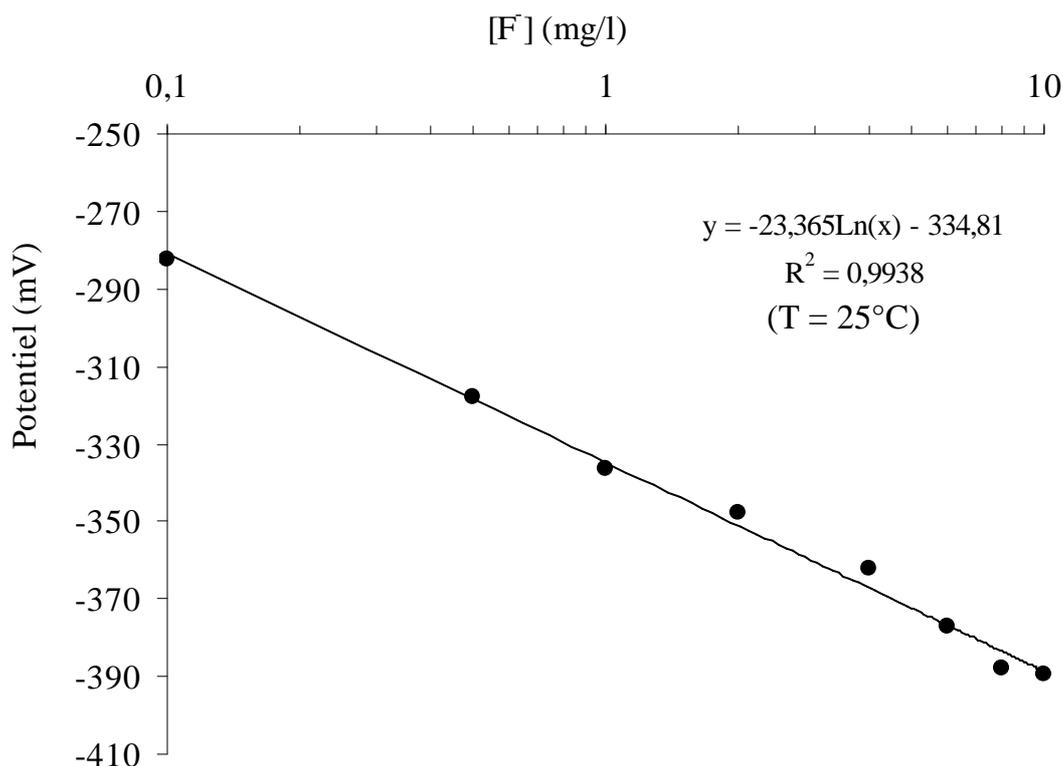


Figure 9. Courbe d'étalonnage du standard

3. Dosage des ions fluorures :

1. Dosage des ions fluorures dans les eaux

1.1. Echantillonnage des eaux

Dans le Sud algérien, l'alimentation en eau potable est assurée exclusivement par des eaux souterraines provenant des nappes du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire (nappe albienne). La qualité chimique des eaux souterraines du Sahara septentrional est du type sulfato - chloruré et fortement minéralisée (Unesco, 1972; Megdoud, 2003).

Les échantillons d'eaux analysées sont prélevés des forages de différentes nappes exploitées (mio pliocène, sénonien et albien) dans des bouteilles en plastique de 500 ml. Avant le prélèvement, les bouteilles sont rincées avec de l'eau du forage.

Les coupes lithologiques de différentes nappes exploitées sont montrées ci-dessous :

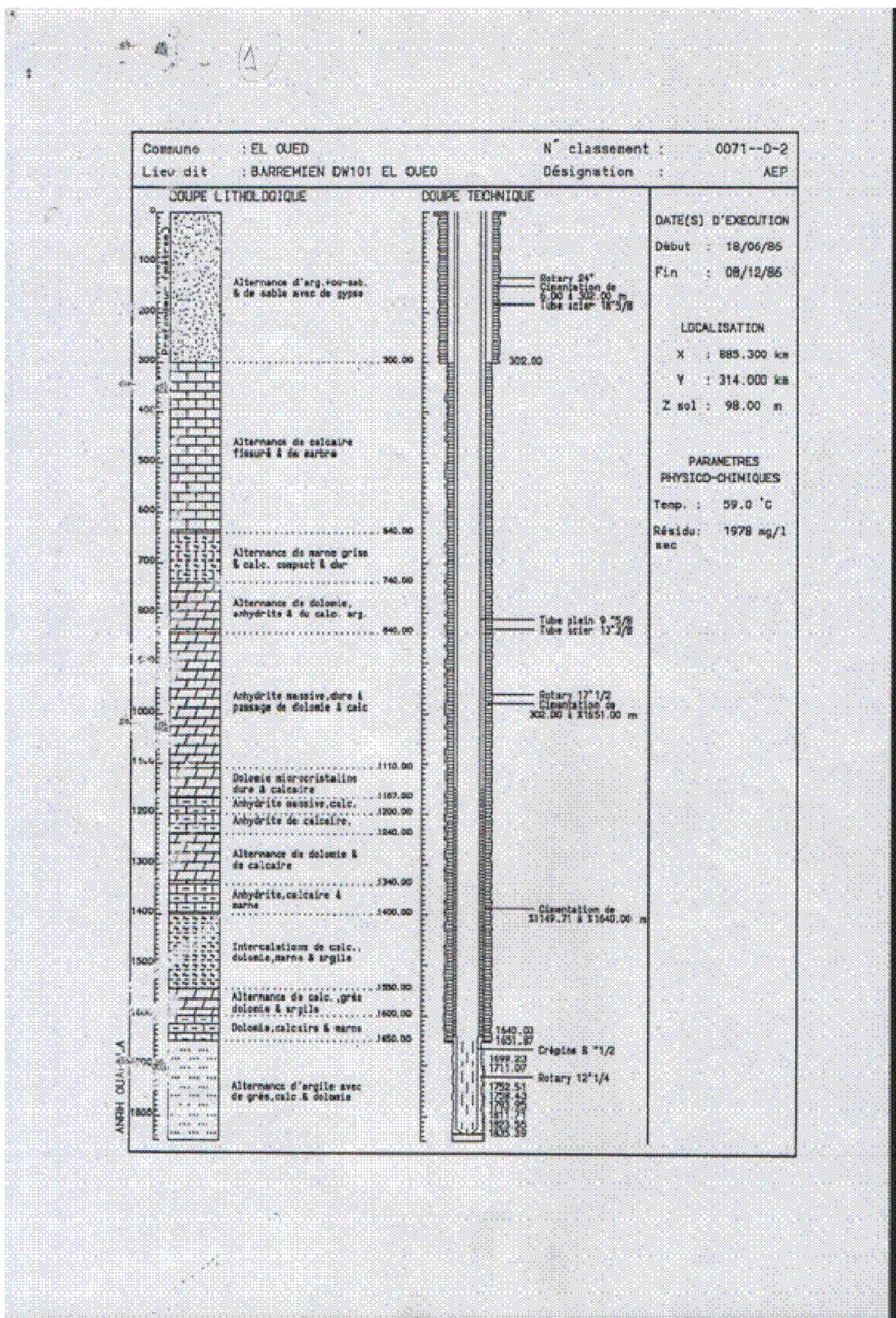


Figure 10. Coupe lithologique du forage El-Oued centre

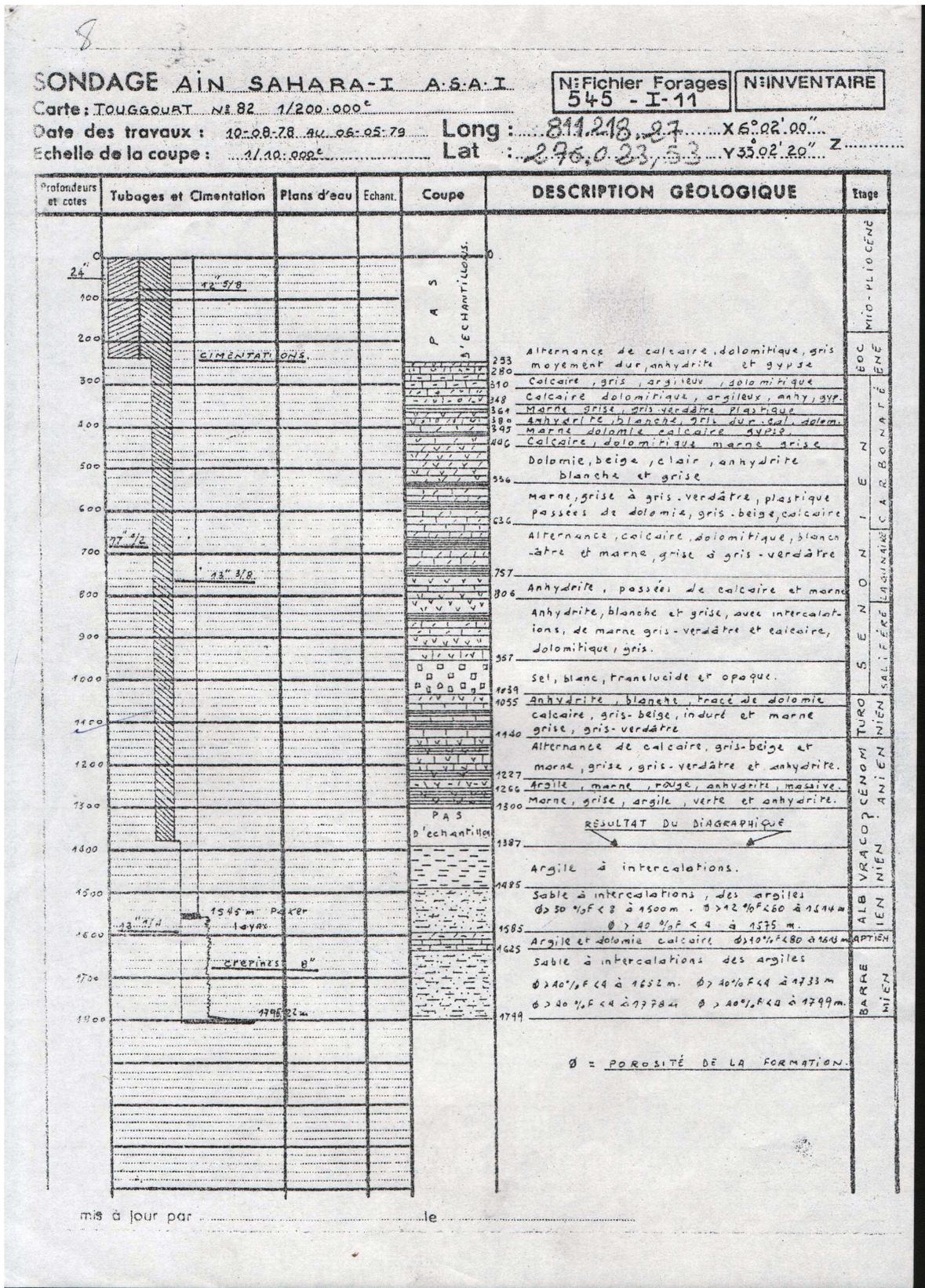


Figure 11. Coupe lithologique du forage Ain Sahara

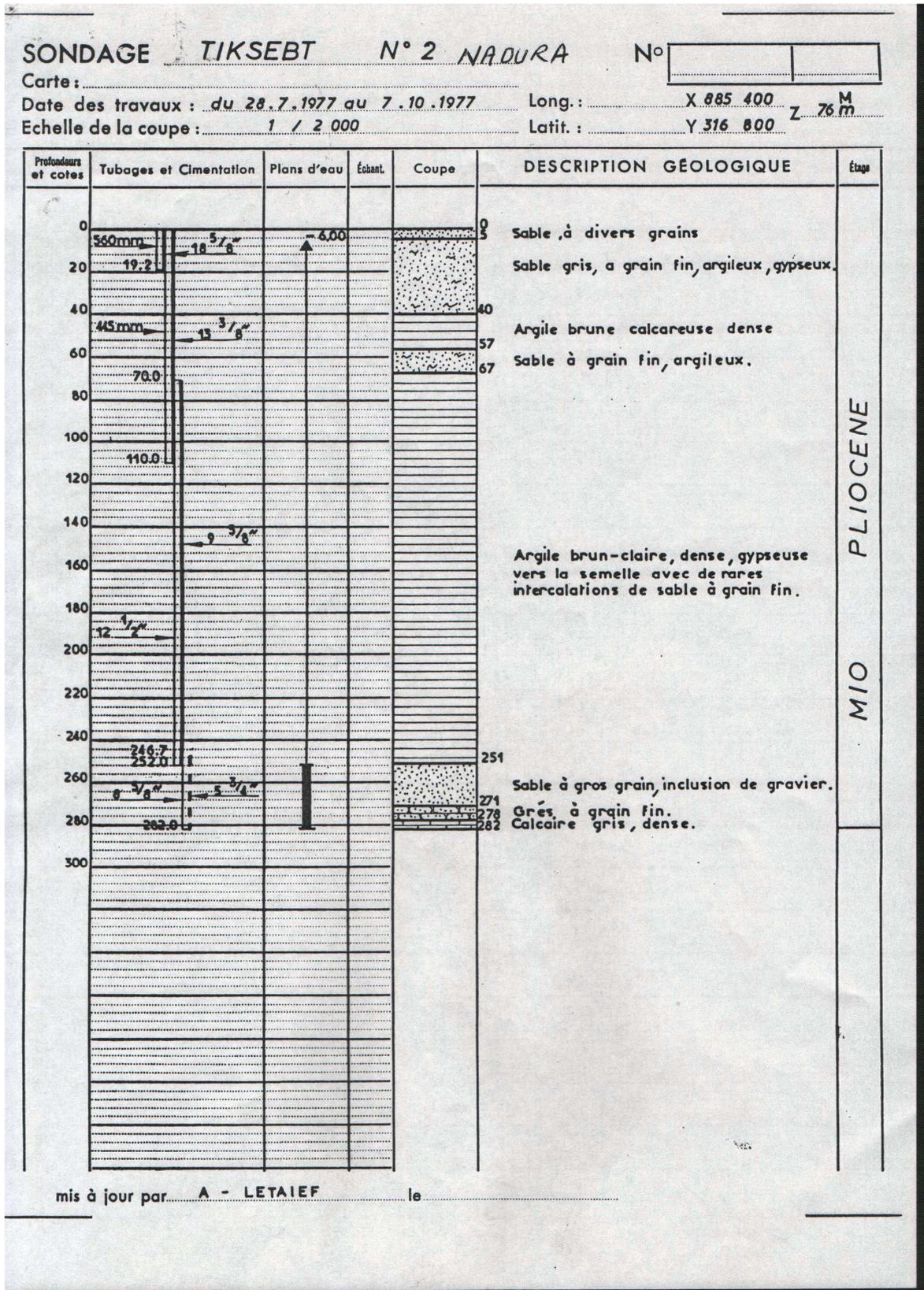


Figure 12. Coupe lithologique du forage Tiksebt

2. Dosage des ions fluorure dans les dattes

La teneur en fluorure des dattes est dosée sur cinq principales variétés des palmiers dattiers (Deglet noor, Ghras, Takarmoust, Tafezouine et Tamjouhret) consommées et cultivées dans la région. Pour ce faire deux méthodes comparatives ont été utilisées. La première, consiste à décomposer la matière organique par calcination des dattes, suivis d'une minéralisation à l'acide chloridrique.

Les dattes dénoyautés sont calcinés à une température de 500 °C pendant deux heures (Comite inter institut d'étude des techniques analytiques, 1973; Messaitfa, 2007), une fois refroidis, les cendres sont broyées doucement jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène (charbon de dattes). La minéralisation, consiste à la mise en contacte d'une masse de 5 gr de charbon de datte avec un volume d'acide chlorhydrique concentré. Après 24 heures de réaction, le minéralisât est ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée, puis filtré sur un filtre millipore et on fait la neutralisation de l'excès HCL par le NaOH. La solution obtenue est prête pour l'analyse.

La deuxième méthode, consiste à la digestion da la matière organique par de l'eau régale. Des quantités des cinq variétés de dattes dénoyautées sont séchées séparément à une température de 105°C pendant 24 heures. Une masse de 5 gr de dattes broyés est mise en acide de l'eau régale. Après la digestion complète de la matière organique, l'échantillon est ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée et neutralisé par le NaOH, la solution obtenue est prête pour l'analyse.

3. Dosage des ions fluorure dans les aliments

Dans le but d'étudier la quantité moyenne journalière de fluorure consommé par un adulte habitant de la région d'étude, une gamme d'aliments les plus consommée est étudiée. Ils s'agissent de la pomme de terre, de la carotte, des lentilles, de la semoule et de la citrouille. Les échantillons sont préparés de la même façon que celui des dattes on utilisant la comparaison entre la calcination -minéralisation et la digestion de la matière organique par l'eau régale.

4. Dosage des ions fluorures dans le thé vert

Les feuilles de thé comptent parmi les aliments les plus riches en fluor (Serbnik et al. 1976; Wald bott et al. 1978; Meirs, 1984). Les humains qui les consomment peuvent accumuler des quantités notables dans leurs organismes.

Pour compléter le bilan de consommation, trois variétés de thé vert les plus commercialisées dans la région est mises à l'étude pour quantifier sa teneur en fluorure. Basé sur le principe de trois doses. Les feuilles du thé, boisson des habitants du Sud algérien par excellence, leurs contenuent en fluorure est analysé après infusion dans de l'eau distillée, l'eau filtrées et l'eau de robinet.

5. Dosage des ions fluorures dans le sol agricole de la région

Pour étudier l'origine et la distribution des ions fluorures dans les aliments produits localement (dattes, carottes, pomme de terre, citrouilles), on a jugé utile de quantifier la teneur en fluorure des sols agricoles de la région. Différentes échantillons de sol prélevé à différente profondeur allant de 0 à 1 m, sont séchés au laboratoire à une température de 105°C.

Après 24 heures de mise en contact, sous agitation, d'une masse de 20 gr de sable du sol sec avec 100 ml d'eau distillée, les ions fluorures sont analysés dans l'eau de rinçage.

Chapitre 5: Résultats et discussions

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons d'eaux, les dattes, le thé et les autres aliments nous ont donc permis d'obtenir les résultats suivants :

1. L'ion fluorure dans les eaux de consommation

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux ci-dessous pour la région d'Ouargla et d'El-Oued, ces résultats indiquent la variation des principaux paramètres physico-chimique (pH, conductivité et minéralisation) des eaux des aquifères exploités.

La teneur en fluorure est présent dans la totalité des eaux échantillonnées (tableau 6 et 7). Les fortes concentration s'observe à Ouargla dans les eaux du forage de Hassi Messaoud (2,58 mg/L) et à El-Oued (2,02 mg/L dans le forage de Hassani Abdelkarim. Par ailleurs, les teneurs en fluorure sont inférieures à la norme recommandée (1,5 mg/l).

Les résultats d'analyse sont évalués et comparés aux exigences de qualité fixées par la réglementation de l'OMS. Les eaux fossiles du Sud Algérien de la nappe du Continental Intercalaire, sont de qualité passable, très minéralisées (> 2,5 g/l), légèrement alcaline (pH autour de 7,5), de teneur élevée en chlorure, exempte des substances toxiques et indésirables et les paramètres microbiologiques sont absents, dure (112 °f) et chaudes (50 à 60 °C).

Les ions fluorures sont présents dans l'ensemble des eaux échantillonnées à des teneurs variable allant de 0,5 à 2,6 mg/L (tableau 6).

Les forages alimentant la ville de Ouargla, présentent les teneurs les plus élevées comparativement a celles approvisionnant la ville d'El-Oued, et par conséquent des risques de santé humaine dans la région Ouargla.

Ainsi, 67% des puits, échantillonnées à Ouargla, montrent des teneurs en fluor inférieur à 1,5 mg/L, alors que seulement 33% des puits, avaient des concentrations en fluor supérieures à 1,5 mg/L. Par ailleurs, à El-Oued (tableau 6), les teneurs sont comprises entre 0,5 mg et 2 mg/L. La plus élevée est observée à Hassani Abdelkarim.

Tableau 6. La teneur en ions fluorure dans les eaux de la région d'Ouargla

Localisation des forages d'eaux	Cond. (mS/cm)	pH	Concentration (mg/L)							
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻
Université	3,17	7,53	330,0	129,26	590,0	29,0	099,13	956,25	1050,0	1,16
Nakhil	2,08	7,58	226,7	120,38	310,0	16,0	102,18	525,00	1000,0	1,15
El khafdji 4	2,97	7,45	283,3	138,26	480,0	27,0	080,83	860,00	962,50	1,25
Sellice	2,42	7,42	256,7	122,94	386,3	20,0	091,50	655,00	862,50	1,20
Ifri	2,12	7,42	160,0	126,71	403,6	16,5	079,30	520,00	931,25	1,14
Mekhadma 2	3,36	7,43	345,0	161,24	680,0	31,8	134,20	1210,0	1100,0	1,15
Ain Rahma	2,81	7,51	276,7	133,15	465,0	24,0	097,60	790,00	937,50	1,20
Hassi Miloud	2,10	7,97	230,0	104,45	302,5	14,5	083,88	502,50	812,50	1,23
Ain Louiz	3,53	7,35	361,7	152,36	680,0	31,8	115,90	840,00	1781,3	1,11
Bour Elhaicha	1,97	6,78	215,0	110,05	270,0	13,5	082,35	500,00	687,50	0,73
Said Otba	2,20	7,22	224,4	97,79	//	//	558,98	313,44	800	2,51
Bamendil 1	1,85	7,13	210,0	099,83	261,3	13,0	082,35	405,00	737,50	1,12
Ain Sahra	2,44	7,35	190,0	125,00	221,0	29,0	221,00	425,00	782,00	0,64
El-Hadjira	3,98	7,15	340,0	159,00	291,0	19,0	159,00	504,00	1127,0	0,68
Hassi B. Abdalah 1	3,38	7,03	396,8	128,81	//	//	135,07	516,24	1050	1,83
Hassi B. Abdalah 2	2,61	7,09	306,7	133,15	425,0	20,8	115,90	635,00	1112,5	1,91
Sidi Khouiled	3,08	7,11	333,3	037,00	600,0	27,5	097,60	880,00	975,00	1,61
Hassi Messaoud	5,56	7,59	210,0	270,00	770,0	28,0	149,00	1325,0	1063,0	2,58
Blidet Amor	4,63	7,43	173,0	387,00	741,0	31,0	671,00	1613,0	1330,0	0,53
N'goussa	2,52	7,03	265,0	131,81	405,0	16,5	111,33	655,00	1000,0	1,54

Tableau 7. La teneur en ions fluorure dans les eaux de la région d'El Oued

Localisation des forages d'eaux	Cond. (mS/cm)	pH	Concentration (mg/L)							
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻
El-Oued centre	//	7,17	304,4	141,3	//	//	//	//	1049,6	0,46
Robah	3,18	7,20	150	180	300	21	125	700	718	1,04
Bayada	3,93	7,70	140	197	447	25	146	700	1000	1,62
Hassi a/karim	5,2	7,16	55	427	455	30	183	1050	1500	2,02
Chohada	2,74	7,05	109	182	200	35	153	450	690	0,49

2. L'ion fluorure dans les dattes

La teneur en fluor contenue dans les différentes variétés des dattes (tableau 8), varie entre 11 et 71 mg/kg, témoins naturels prélevés des sols et des eaux. La concentration la plus élevée est observée pour la variété Daglet noor (71 mg/kg). On montre que la concentration des ions fluorures dans les sols agricoles augmente avec la profondeur du sol (tableau 11). Elle est de 1,3 mg/L en surface, de 1,6 mg/L à 50 cm et de 1,8 mg/L à 1 m.

D'après les résultats, la concentration de fluorure est très élevée pour la variété Daglet noor et on déduit que la consommation de chaque une de ces variétés augmente la teneur en fluorure dans l'organisme humain.

Tableau 8. Les résultats des analyses sur les solutions minéralisées

Variétés	Teneur en fluorure (mg/kg)	
	Méthode 1	Méthode 2
Daglet noor	70,80	65,42
Ghars	28,65	22,44
Takermoust	10,61	14,94
Tafezouine	21,90	18,74
Tamjouheret	13,91	16,56

3. L'ion fluorure dans les autres aliments

Les autres aliments les plus consommés dans la région, ont des teneurs variables (tableau 9), allant de 5 à 25 mg/kg: la pomme de terre (22,3 mg/kg), la carotte (25,2 mg/kg), les lentilles (5,4 mg/kg), la semoule (6,6 mg/kg), la citrouille (17,9). Les carottes présentent la concentration la plus élevée (> 20 mg/Kg)

Les carottes ont la concentration la plus élevée des autres aliments et que la méthode de calcination donne des bons résultats que la digestion de la matière organique des aliments avec l'eau régale.

Tableau 9. Les résultats des analyses sur les solutions minéralisées

Aliments	Teneur en fluorure (mg/kg)	
	Méthode 1	Méthode 2
Pomme de terre	22,30	14,88
Carotte	25,17	20,63
Les lentilles	05,35	08,21
Semoule	06,63	10,61
Citrouille	17,87	12,22

4. Les ions fluorure dans le thé vert

Pour le thé (tableau 10), la teneur dépend de la durée d'infusion des feuilles et de la qualité de thé. Elle est de 2,21 à 2,80 mg/L en première préparation, de 1,15 à 1,82 mg/L en deuxième préparation, et de 0,93 à 1,39 mg/L en troisième préparation, soit un apport total journalier de 4,29 à 6,01 mg/L, selon le model des feuilles de thé. Ces résultats sont comparatifs à ceux obtenus par Messaïfa (2007) en dosant le fluorure dans le thé.

On voit clairement que la consommation de thé présente une concentration élevée d'ions fluorures et augmente la quantité administrée à l'organisme humaine surtout celle préparée avec l'eau de robinet.

Tableau 10. Concentrations des ions fluorures dans le thé (mg/L)

Qualité du thé	Eau de robinet (Ouargla)		
	Dose 1	Dose 2	Dose 3
chunmée 41022	2,21	1,15	0,93
Chunmée A9380	2,38	1,52	0,95
chunmée 9371	2,80	1,82	1,39

5. L'ion fluorure dans le sable des terres agricole

Les fluorures peuvent être présents dans les sols, principalement combinés avec le calcium ou avec l'aluminium, les résultats du rinçage ont montré une concentration remarquable dans le tableau suivant :

Tableau 11. Le rinçage des échantillons du sable agricole a donné les résultats suivants:

Profondeur (m)	Teneur en ion fluorure (mg/L)	
	Sol irrigué	Sol non irrigué
En surface	1,31	1,01
0,5	1,60	1,76
1	1,83	2,18

Chapitre 6: Bilan de masse de l'ion fluorure consommé

Les fluorures peuvent contribuer à prévenir les caries mais, quand les apports sont élevés, ils peuvent avoir un effet néfaste sur le développement des dents (fluorose dentaire) et sur les os (fluorose osseuse), il existe une étroite fourchette entre les apports qui sont bénéfiques et ceux qui sont néfastes.

Le rôle joué dans divers processus métaboliques par les éléments traces, notamment en tant que co-facteurs, est aujourd'hui bien reconnu et apparaît comme essentiel et bénéfique à la santé humaine. Néanmoins, lors d'une nette augmentation de leur quantité ingérée, certaines maladies peuvent apparaître.

Ainsi, l'exemple du fluor est assez révélateur de ce rôle prophylactique. En effet, l'apport en faible quantité ($> 2,5$ mg/jour) permet de prévenir ou de réduire la carie dentaire et le renforcement des os, une trop forte ingestion de cet élément ($>7,75$ mg/jour) (OMS, 2002), induit généralement le développement la fluorose dentaire ou osseuse, de très grandes quantités ayant pu même être mises en relation avec l'apparition de cancer (Wateraid, 2002).

En réponse au développement de ces maladies, essentiellement liées à la consommation d'eau riche en fluor, bien que les apports alimentaires, comme le thé (plus de 440 mg/L de fluor (Deshmukhet et al. 1995), ou une contamination atmosphérique (rejet d'industrie d'aluminium ou de briqueterie) puissent y contribuer, l'OMS fixa en 1972 la valeur tolérée en fluor dans les eaux destinées à la consommation à 0,8 mg/L pour les pays chauds et 1,5 mg/L pour les pays à climat tempéré.

Cette différence correspondant au fait que de façon générale la consommation d'eau pour un individu donné augmente avec la température.

Compte tenu de la multiplicité des sources, le bilan est indispensable pour éviter une surconsommation, il permet une évaluation précise du score d'exposition au fluor.

1. Eaux de boisson

Les fluorures sont présents dans l'eau. Leur concentration est en général inférieure à 1 mg/L pour les eaux superficielles mais peut atteindre 10 mg/L pour les eaux profondes qui se sont lentement chargées en éléments minéraux avant d'atteindre les aquifères.

1.1. Eaux d'adduction publique

Elles proviennent soit de forages profonds, soit de captages de surface (en rivière ou en lac) et doivent subir divers traitements pour devenir potables.

Dans les pays tempérés, la concentration maximale en fluor (limite de potabilité) est fixée à 1,5 mg /L.

Les zones dans lesquelles les teneurs sont les plus élevées correspondent le plus souvent à la structure de sols formés à l'éocène lors de l'ère tertiaire.

1.2. Eaux embouteillées

La disparité de teneur en fluor est importante, aussi bien pour les eaux minérales (0,02 à 6,5 mg /L pour les eaux plates, voire jusqu'à 9 mg /L pour les gazeuses) que pour les eaux de sources dont seulement (Beltran et Szpunar, 1988) dépassent 1 mg /L tout en restant en delà de la limite de potabilité de 1,5 mg /L (Code de Santé Publique, 1991).

1.3. Biberon

À l'encontre des enfants bénéficiant d'un allaitement maternel qui ne procure qu'un apport infinitésimal de fluor (5 à 10 µg/L) (Fomon et Ekstrand, 1996), l'apport par l'allaitement artificiel, avec des laits maternisés en poudre, varie en fonction de l'eau utilisée pour la préparation des biberons.

Compte tenu de la quantité d'eau ingérée et de leur faible poids, il est souhaitable de ne pas utiliser d'eau contenant plus de 0,2 mg de F⁻/L pour les nourrissons en delà de 4 mois et plus de 0,3 mg F⁻/L au-delà de cet âge.

Ainsi, un enfant de 4 mois, dont l'alimentation est constituée de quatre biberons de 210 ml par jour confectionnés avec une eau à 0,75 mg/L, reçoit un apport journalier de 0,63 mg de fluor. Cet apport correspond à une exposition de 0,13 mg/kg/j, soit plus du double de la norme optimale de 0,05 mg/Kg/j communément admise par l'O.M.S. (1994) (Rapport de Fluorures et santé bucco-dentaire).

2. Alimentation

L'apport alimentaire en fluor est considéré comme faible d'autant que ce dernier est peu métabolisé, du fait de sa liaison avec d'autres éléments tels que le calcium. La quantité de fluor apportée par l'alimentation peut être estimée en moyenne à 0,2 mg/j chez l'adulte.

Cette estimation doit être réduite de moitié pour l'enfant en dessous de 6 ans, dès lors que son alimentation est différenciée.

2.1. Alimentation générale

Le fluor se trouve à l'état de trace dans la plupart des aliments et sa quantité peut être variable d'un aliment à l'autre (Mc Clure, 1949). Certains poissons sont riches en fluor mais celui-ci est essentiellement concentré au niveau des arêtes.

Certaines sardines en boîte peuvent en contenir jusqu'à 16 mg/kg et que la viande désossée mécaniquement est plus riche en fluor du fait de la présence de particules d'os. La nature de l'eau de cuisson influe également sur la teneur en fluor des aliments (Trautner et Sieberg, 1986).

2.2. Thé

Le thé peut représenter un apport non négligeable de fluor (Messaitfa, 2007) puisque la teneur moyenne des feuilles de thé sèches est de l'ordre de 97 mg/kg. Sa concentration dépend non seulement du type de thé mais aussi de l'eau utilisée pour sa préparation et du temps d'infusion soit 0,2 à 0,4 mg de fluor par tasse. La moyenne d'ingestion journalière chez les grands buveurs de ce breuvage peut atteindre 1 mg/j (Frayse, 1989).

3. Sel de table

Le sel généralement iodé et fluoré contient 764 mg/Kg de fluorure de potassium soit l'équivalent de 250 mg de fluor par kilogramme de sel. L'apport journalier de sel a été évalué à 4 grs par jour et par personne pour l'assaisonnement et la cuisson des aliments.

De ce fait un seul gramme par jour est effectivement ingéré, soit 0,25 mg F/j. L'apport de fluor par le sel peut donc être estimé à 0,12 mg par repas (O.M.S (Rapport de Fluorures et santé bucco-dentaire), 1994).

4. Apports médicamenteux

Les médicaments utilisés dès l'apparition des premières dents temporaires en fractionnant la prise de façon à augmenter la durée de contact avec les dents et d'en potentialiser l'effet topique.

Le métabolisme du fluor peut être modifié par l'environnement de la prise. En cas de prise de fluorure à jeun, une absorption à 100 %, comparable à une injection intraveineuse de fluor, est rapidement obtenue. Par contre, pour la même dose assimilée avec un verre de lait, l'absorption décroît à 70 % et peut être réduite jusqu'à 60 % en cas de prise avec un petit déjeuner riche en calcium (Fomon et Ekstrand, 1996).

5. Dentifrices

De nombreuses études effectuées avant la généralisation des dentifrices fluorés ont montré qu'on ne peut pas établir un lien entre le maintien d'une bonne hygiène buccale par le simple brossage dentaire régulier et l'incidence carieuse. Quand le brossage est effectué avec un dentifrice fluoré, les capacités protectrices de celui-ci se situent dans un ordre de grandeur de l'ordre de 20 à 30 % avec un effet cumulatif (Declerck, 1998).

Différents dérivés fluorés peuvent entrer dans la composition d'une pâte dentifrice fluorée, Les fluors minéraux ou inorganiques ont été les premiers utilisés, notamment le fluorure de sodium (Bloch-Zupan, 1999).

Le dosage de fluorure, la quantité de fluorure absorbée sur l'abrasif, la durée de stockage du dentifrice, la quantité de pâte utilisée sur la brosse, la technique de brossage avec ou sans rinçage, le délai entre le brossage et les prises alimentaires, sont autant de paramètres qui influent sur la quantité de fluorure retrouvé dans la salive (Simard et al, 1989).

6. Les autres sources de fluor

Les chewing-gums fluorés peuvent représenter un apport systémique non négligeable s'ils sont utilisés plusieurs fois par jour et de façon régulière.

La mastication d'un chewing-gum procure un apport équivalent à 0,25 mg de fluorure de sodium par tablette soit 0,1131 mg de fluor. Les bains de bouche fluorés, s'ils peuvent constituer un moyen efficace de prévention de la carie, peuvent néanmoins être responsable d'ingestion importante de fluor.

Calcul du bilan de consommation de l'ion fluorure

Il est pratiquement difficile d'établir la quantité totale de fluor ingéré quotidiennement, car les sources sont variables, le fluor est présent dans tous les aliments avec des quantités variables. Les céréales (Haikel et al. 1986), les poissons (Malde et al. 1997), le sel (Martinez-Mier et al. 2005), le thé (Cao et al. 2006, Messaïfa, 2007), et les boissons (Jimenez et al. 2004), sont les aliments les plus riches en fluor.

A l'absence des données le calcul du bilan de consommation de l'ion fluorure est basé sur la consommation moyenne journalière d'eau (1,9 L/jour), thé (0,4 L/jour), et les dattes (0.2 Kg/jour), la quantité journalière ingéré du fluor par un adulte habitant est calculé par l'équation suivante (Heikens et al. 2005):

$$\text{La consommation journalière totale} = \sum_i C_i I_i$$

Tel que : i représente la source (eau, thé, datte, ou autre aliment), C , la concentration de la source (g/jour ou l/jour).

Les résultats obtenus montre que la quantité de fluorure administrée a cause de la consommation d'eau est de 0,4 à 2,5 mg/L, soit en moyenne 2,75 mg/1,9 L d'eau consommée par jour. Pour un homme qui consomme 0,4 L/jour de thé, la concentration de thé varie de 4 à 6 mg/L soit en moyenne de 2 mg/400 mL, la quantité des dattes consommés est de 11 à 75 mg/Kg, soit 8,6 mg/200 g de datte, si on estime que les habitants de ces régions consomment 1/2 Kg /jour d'un des aliments indiqués au tableau 9, on déduit que la quantité consommée est de 0,75 mg/500 g.

Donc:

$$\sum_i C_i I_i = (2,75 \text{ mg}/1,9 \text{ l} \times 1,9 \text{ L/jour}) + (2 \text{ mg}/400 \text{ ml} \times 0,4 \text{ L/jour}) + (8,6 \text{ mg}/200 \text{ g} \times 0,2 \text{ Kg/jour}) + (0,75 \text{ mg}/500 \text{ g} \times 1/2 \text{ Kg/jour}) = 14,1 \text{ mg/jour}$$

$$\sum_i C_i I_i = \mathbf{14,1 \text{ mg/jour}}$$

On voit clairement que la somme du bilan calculé est plus grande que la norme recommandée (< 1,5 mg/L) de fluorure administré quotidiennement par les habitants de Sud –Est Algérien.

Les eaux de l'aquifère "Spokane", dans l'état de Washington, aux USA, des teneurs élevées de fluor ont pu être constatées, notamment dans les puits situés aux alentours du site industriel, illustre parfaitement le cas d'une contamination en fluor provenant de la présence d'usine de traitement d'aluminium (Burkhalter et al. 1984).

3. Eaux de boisson et les ions fluorures :

Le fluor est un constituant essentiel des os et des dents. Il est indispensable pour la minéralisation du tissu osseux car il renforce la fixation du calcium et du phosphore. Il s'oppose à leur dépôt dans les tissus mous. Il intervient dans la tonicité des ligaments. La baisse du fluor peut entraîner une baisse de la fécondité par manque de sollicitation de l'hypophyse.

Les apports conseillés varient selon l'âge et le sexe, comme le montre le tableau 1 suivant:

Tableau 1. Apports conseillés et limites de sécurité en fluor
pour différentes classes d'âges (Arnaud, 2001)

Age - Sexe	Apport Nutritionnel Conseillé (mg/jour)	Limite de sécurité (mg/jour)
Enfants 0 – 6 mois	0,1	0,4
Enfants 6 – 12 mois	0,2	0,5
Enfants 1 – 3 ans	0,5	0,7
Enfants 4 – 8 ans	1	2,2
Garçons et filles 9 – 13 ans	1,5	4
Adolescent(e) s 14 – 18 ans	2	4
Hommes adultes	2,5	4
Femmes adultes	2	4
Personnes âgées valides	2 (femmes), 2,5 (hommes)	4

C'est un élément apprécié par les dentistes du à ses actions systémique incorporé dans l'émail des dents et topique provoquant une re-minéralisation des dents évoluées et inhibant le métabolisme des bactéries cariogènes.

Le fluor est naturellement présent dans de nombreux aliments et son excès peut être responsable de fluorose dentaire chez l'enfant entraînant une hypo-minéralisation de l'émail. Chez l'adulte, à des apports quotidiennes supérieur à 8 mg/jour (Felsenfeld et Roberts, 1991; Allolio et Lehman, 1999; AFSSA, 2001), peut être responsables de fluorose osseuse avec ostéosclérose (douleurs osseuses, déformations...).

Pour les régions tempérées, ce taux est différent dans les régions chaudes où les absorptions quotidiennes d'eau sont plus importantes (AFSSA, 2001), les eaux de source et de distribution sont soumises au décret du 20 décembre 2001 qui limite les concentrations de fluor à moins de 1,5 mg/l.

4. Les effets physiologiques du fluor

4.1. Apport, absorption et distribution

On ne connaît pas exactement le taux d'adsorption optimal de fluorure, on pense souvent que le taux optimal est de l'ordre de 0,05 à 0,07 mg/Kg, mais des cas de fluorose ont été reliés a des taux inférieurs (Levy, 1994).

Les fluorures ingérés sont rapidement absorbés à partir du tractus gastro-intestinal sous forme d'acide fluorhydrique (Whithord, 1994). La vitesse d'adsorption des composés fluorés dépend toute fois de leur solubilité aqueuse (Santé Canada, 2002), après absorption le fluorure est rapidement distribué sous forme ionique par la circulation systémique, mais il est rapidement éliminé du plasma par excrétion urinaire, par distribution et rétention dans les tissus minéralisés (Whithord, 1994).

Calcul rénal d'oxalate de calcium



Complexe soluble dans le milieu urinaire



Figure 1. Calculs rénaux

4.3. Les effets néfastes des ions fluorure

A très fortes doses, l'ion fluor peut provoquer des états pathologiques tels que gastroentérite hémorragique, néphrite aiguë et diverses lésions au niveau du foie et du cœur pouvant entraîner la mort.

Il est à noter que plus la température est élevée, plus la consommation d'eau de boisson augmente, ce qui peut impliquer que les concentrations indiquées ci-dessus doivent être revues à la baisse (Savary Patrick, 2003).

Tableau 2. Effets du fluor en fonction de la concentration dans l'eau

Dose (mg/L)	Effets
< 0.5	déficiences en fluor pour prévenir les caries dentaires
Entre 0.5 et 1,5	dose optimale pour prévenir les caries
Entre 1.5 et 4	risque de fluorose dentaire : taches sur l'émail
> 4	risque de fluorose osseuse : douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations

4.3.1 La fluorose dentaire :

A des concentrations $> 1,5$ mg/l, il apparaît une modification de l'émail dentaire provoquant des tâches jaunes ou marron, ou bien une apparence opaque crayeuse avec des stries ou des piqûres. Ce phénomène est connu sous le nom de "Darmous" dans le sud Algérien, "émail tacheté" et "Emottel Enamel" dans les pays anglo-saxons (Giambo et al. 1995) ou bien la fluorose dentaire qui est la conséquence d'une consommation exagérée de fluor pendant la période de minéralisation des dents (Frayssé MC, 1989).

Elle se manifeste par des taches opaques blanches, plus ou moins étendues, sur l'émail. Il s'agit de zones d'hypo - minéralisation ou de porosités diffuses surmontées d'une petite couche d'émail hyper - minéralisé. Il en résulte une grande vulnérabilité de l'émail avec perte de substance et coloration dans le temps pour les stades les plus avancés.

Elle peut apparaître lorsque l'apport journalier est supérieur à $0,1$ mg/Kg. Des disparités apparaissent avec la susceptibilité personnelle des enfants. Fejerskov et al (1996), estiment qu'il existe un risque de fluorose en denture permanente dès que l'apport excède $0,02$ mg/Kg/j soit une quantité bien inférieure à la dose prophylactique optimale de $0,05$ mg/Kg/j préconisée par l'O.M.S. (O.M.S, 1994).



Figure 2. Email tacheté



Figure 3. Fluorose dentaire

4.3.2. La fluorose osseuse

L'exposition prolongée à des concentrations en ions fluorures supérieures à dix fois la norme admise (1,5 mg/L), représente un danger important d'intoxication sur le squelette:

- L'ostéopéotrose, c'est à dire une hyper calcification, qui s'accompagne dans les cas graves une érosion osseuse et l'os perd sa souplesse et devient dur et cassant.

- L'ostéoporose, est une maladie diffuse du squelette, caractérisée par une masse osseuse basse et des altérations de la microarchitecture osseuse, responsables d'une augmentation de la fragilité osseuse (World Health Organization, 1994).

C'est une maladie grave qui s'accompagne d'une augmentation de la morbidité et de la mortalité (Cree et al. 2003; Kanis et al. 2004), c'est-à-dire la décalcification du tissu osseux ou l'os devient poreux, léger, friable et cassant (Meunier et al. 1989 ; Kettab, 1992; Sharipo, 1996).

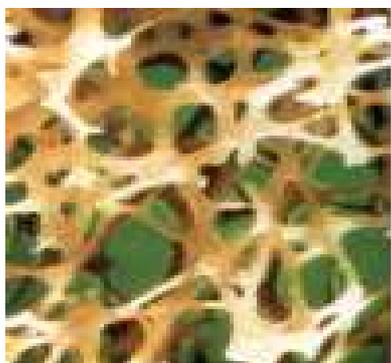


Figure 4. Os sains

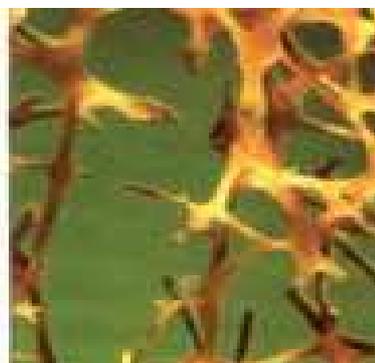


Figure 5. Os fragiles



Figure 6. Problème d'ostéofluorose



Figure 7. Fluorose osseuse

La fluorose dentaire est une atteinte d'ordre esthétique. Au Sénégal, comme dans de nombreux pays du monde, les études montrent qu'à partir de 2 mg/L, tous les enfants sont atteints et que 60 % d'entre eux ont des fluoroses graves pour des teneurs voisines de 4 mg/L (OMS (Recommandations Genève), 1994).

Des atteintes plus graves encore concernant les os et les articulations (fluoroses osseuses) sont observés lorsque l'eau contient plus de 7 mg/L (figure 6). La radiographie de la main, laisse apparaître des excès de matière au niveau des articulations. Il s'agit d'une accumulation de fluorure de calcium (CaF_2) sur l'os, sous la forme cristallographique cubique face centrée, alors qu'initialement la structure de l'os est amorphe (Dean, 1934; Sy et al. 1996).

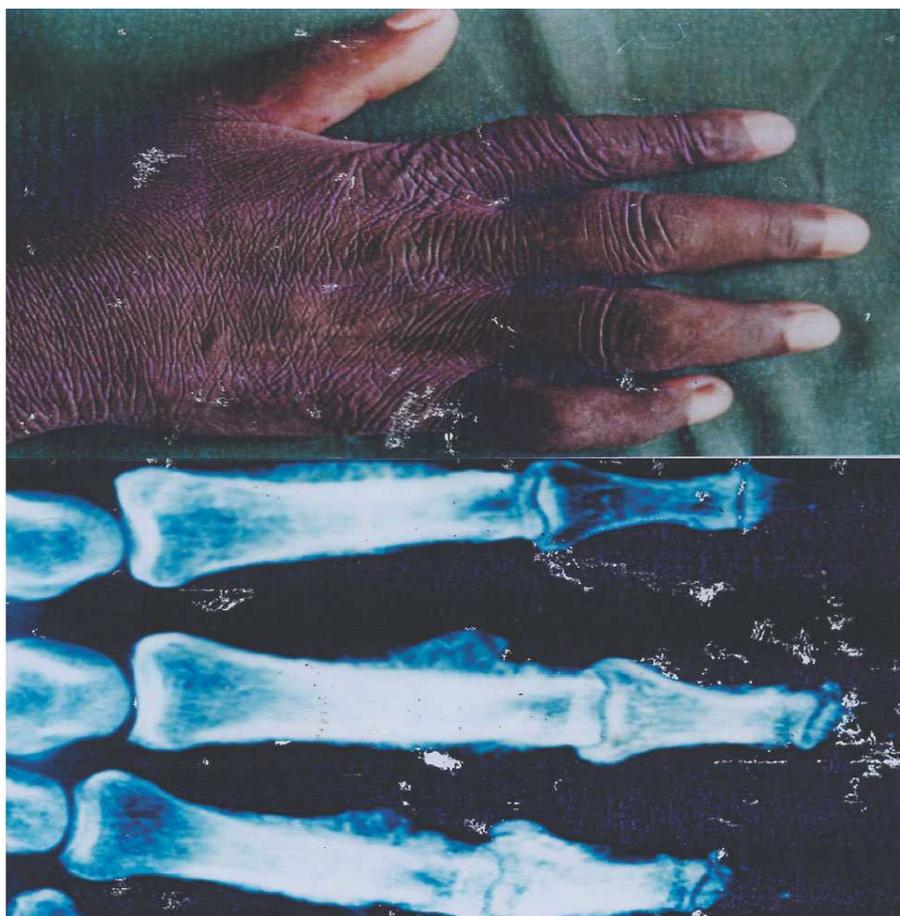


Figure 8. Illustration d'une fluorose osseuse de la main d'un tailleur sénégalais après 15 années d'exposition à une eau de boisson contenant plus de 4 mg/L de F en région endémique (Fatick, Sénégal).

5. L'intoxication fluorée

Les principales conditions d'intoxication fluorée sont connues, le fluor sous forme de sels inorganiques se trouve en abondance dans les roches phosphatiques et volcaniques ainsi que dans certains minéraux comme la cryolithe. Ces sels peuvent être dissous par les eaux de ruissellement en contaminant les eaux de boisson, les végétaux et les aliments.

Ainsi, l'intoxication de l'homme se fait en consommant les boissons et les végétaux contaminés, mais aussi parfois par contact direct avec la poussière du minerai des gisements phosphatiques (Haikel et al. 1986).

La teneur en fluorures des eaux de surface peut varier selon le lieu et la proximité des sources de contamination. L'OMS a fixé à 1,5 mg/L la concentration normale de l'eau de boisson en fluorures et considère que des valeurs supérieures font courir un risque accru de fluorose (OMS (Recommandations Genève), 1994).

Aucun traitement de la fluorose n'est actuellement proposé, si ce n'est que l'aspect préventif (arrêt de la consommation des eaux fluorées). Certaines études radiologiques (Zakraoui et al. 1987 ; Mrabet et al. 1995), montrent une régression possible des lésions après de nombreuses années après l'arrêt de l'intoxication.

La triple association de calcium, vitamine D₃ et de l'acide ascorbique, semble (Farley et al. 1990) favoriser la régression des signes de fluorose dentaire et osseuse chez des enfants âgés de 6 à 12 ans.

Conclusion générale

Dans le but d'établir un bilan de sensibilisation sur le régime alimentaire et son impact sur l'apport de fluorure d'une part et pour l'évaluation des risques de fluorose dans deux principales communautés du Sud-Est Algérien (Ouargla et El-Oued) d'autre part, on est basé sur la détermination de la concentration des ions fluorures dans les eaux de consommation et les principales aliments consommés (Thé, pomme de terre, semoule, lentille, carotte, citrouille).

Les résultats ont montré que les principales sources de fluor sont : l'eau, de 0,5 à 2,6 mg/L, le thé, de 4,3 à 6 mg/L, les dattes de 10 à 71 mg/kg et l'apport des autres aliments les plus consommées dans la région qui peuvent être des sources en plus.

Les eaux des deux régions étudiés présentent des teneurs élevés en fluor qui dépassent la norme de potabilité ($>1,5$ mg/L) et par conséquent le risque de la fluorose dentaire est très probable. 70 % des puits échantillonnés à Ouargla ont montrés une teneur inférieur à 1,5 mg/L, alors que seulement 30 % des puits ont plus de 1,5 mg/L. A El-Oued, deux échantillons parmi les cinq analysés, ont montré des teneurs supérieures à l'admissible.

La teneur en fluor contenue dans les différentes variétés des dattes, varie entre 11 et 71 mg/kg, témoins naturels prélevés des sols et des eaux comme la déjà signalé Messaïtfa, (2007). La concentration la plus élevée est observée pour la variété Dagletnoor (71 mg/kg). On montre que la concentration des ions fluorures dans les sols agricoles augmente avec la profondeur du sol. Elle est de 1,3 mg/L en surface, de 1,6 mg/L à 50 cm et de 1,8 mg/L à 1 m de profondeur.

Les autres aliments les plus consommées dans la région, ont des teneurs variables, allant de 5 à 25 mg/kg. La pomme de terre (22,3 mg/kg), la carotte (25,2 mg/kg), les lentilles (5,4 mg/kg), la semoule (6,6 mg/kg), la citrouille (17,9 mg/kg). Les carottes présentent la concentration la plus élevée (> 20 mg/Kg).

Pour le thé, la teneur dépend de la durée d'infusion des feuilles et de la qualité de thé. Elle est de 2,21 à 2,8 mg/L en première préparation, de 1,15 à 1,82 mg/L en deuxième préparation, et de 0,93 à 1,39 mg/L en troisième préparation, soit un apport total journalier de 4,29 à 6,01 mg/L, selon la qualité des feuilles de thé.

La quantité de fluor effectivement ingère par un adulte dépasse l'optimale de 0,05 à 0,07 mg/kg/jour (Levy, 1994).

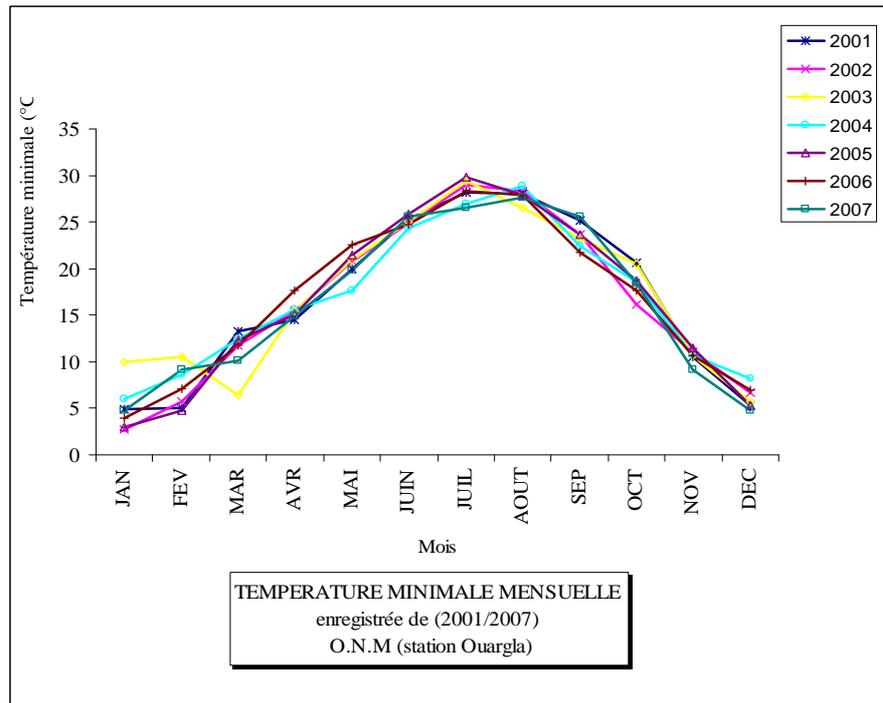


Figure7. Température minimale mensuelle

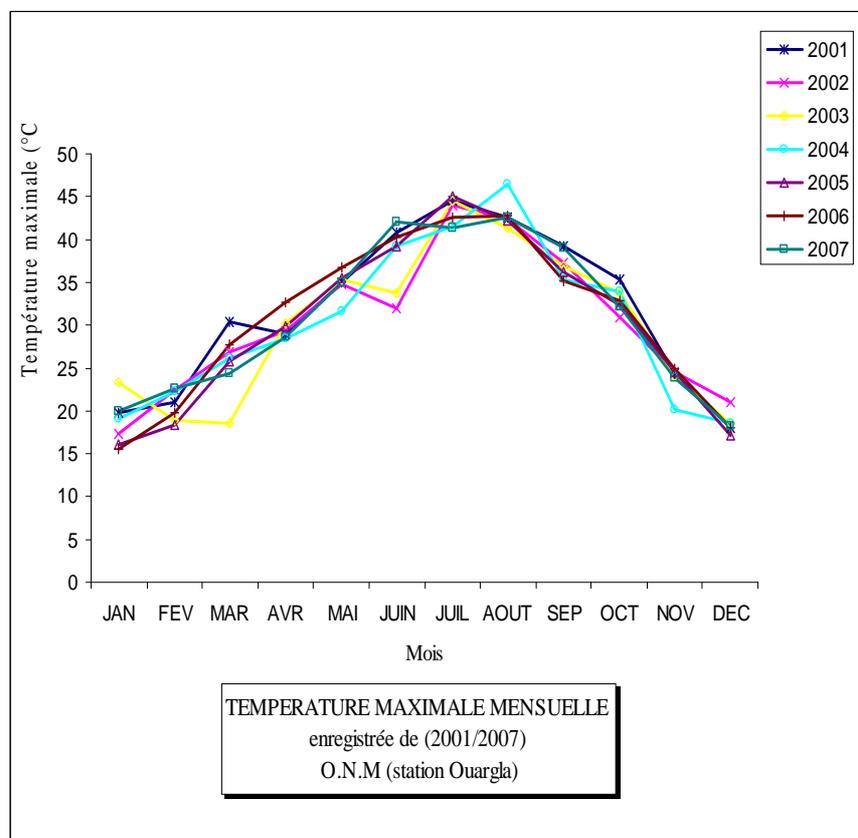


Figure8. Température maximale mensuelle

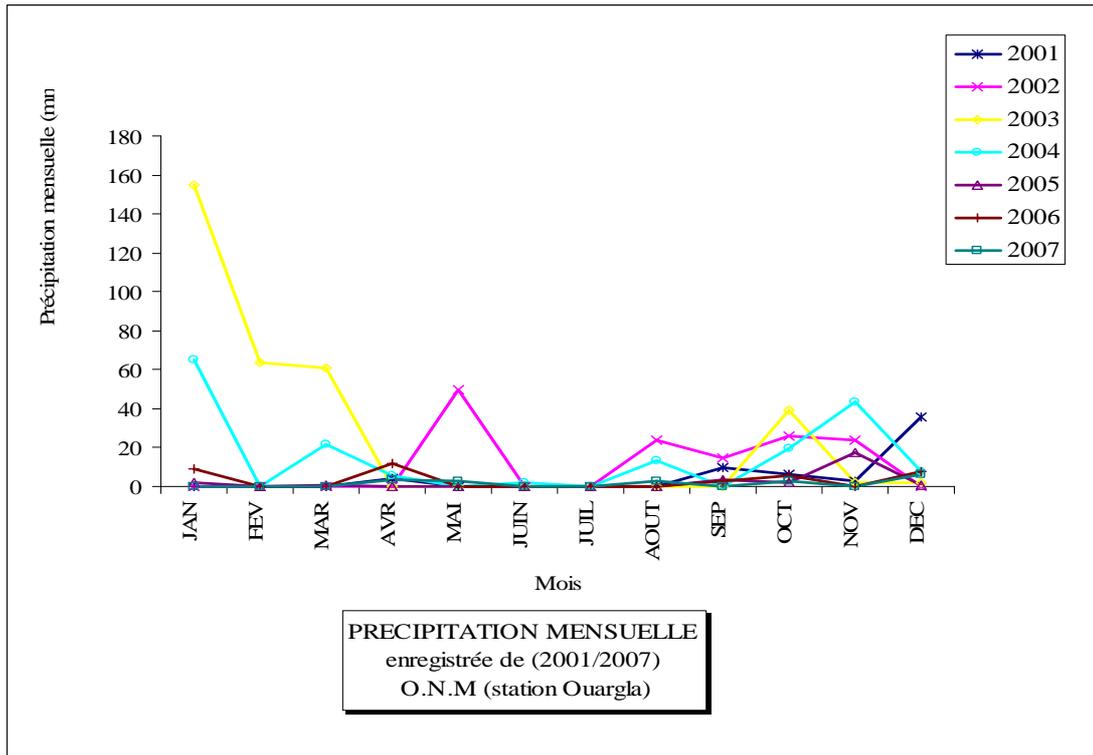


Figure 9. Précipitation mensuelle (mm)

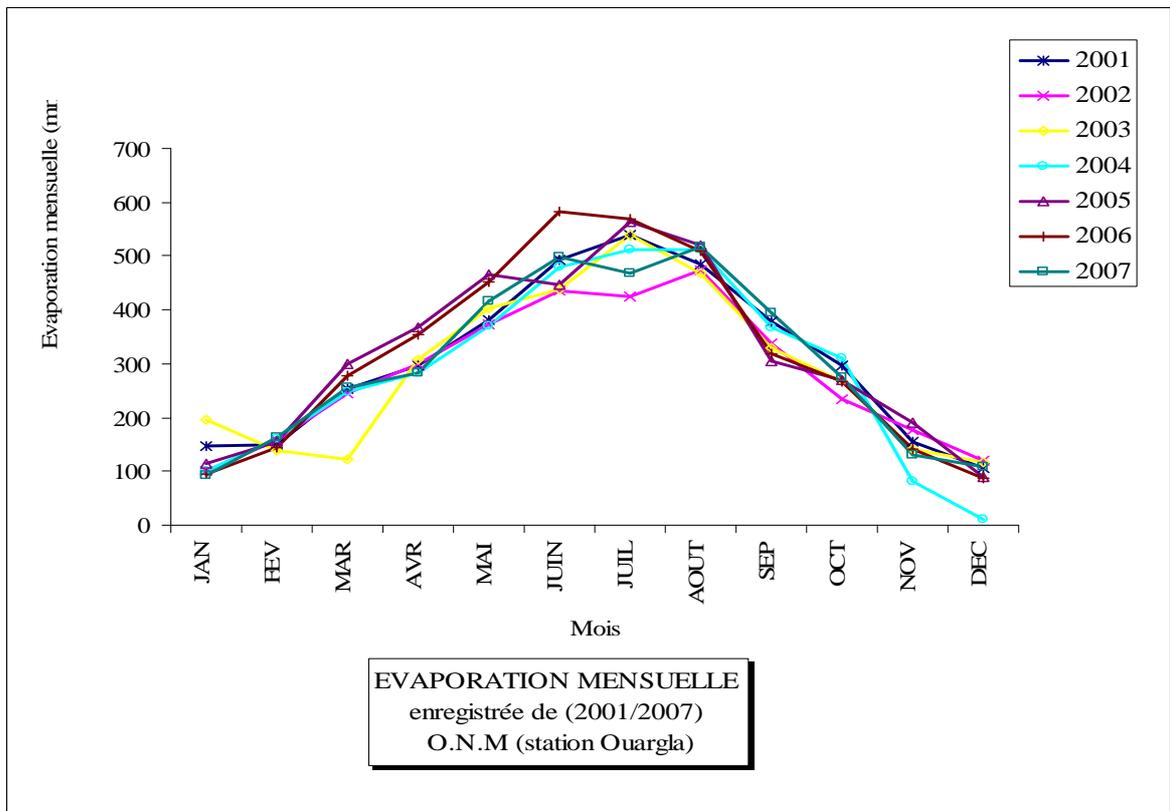


Figure 10. Évaporation moyenne mensuelle (mm)

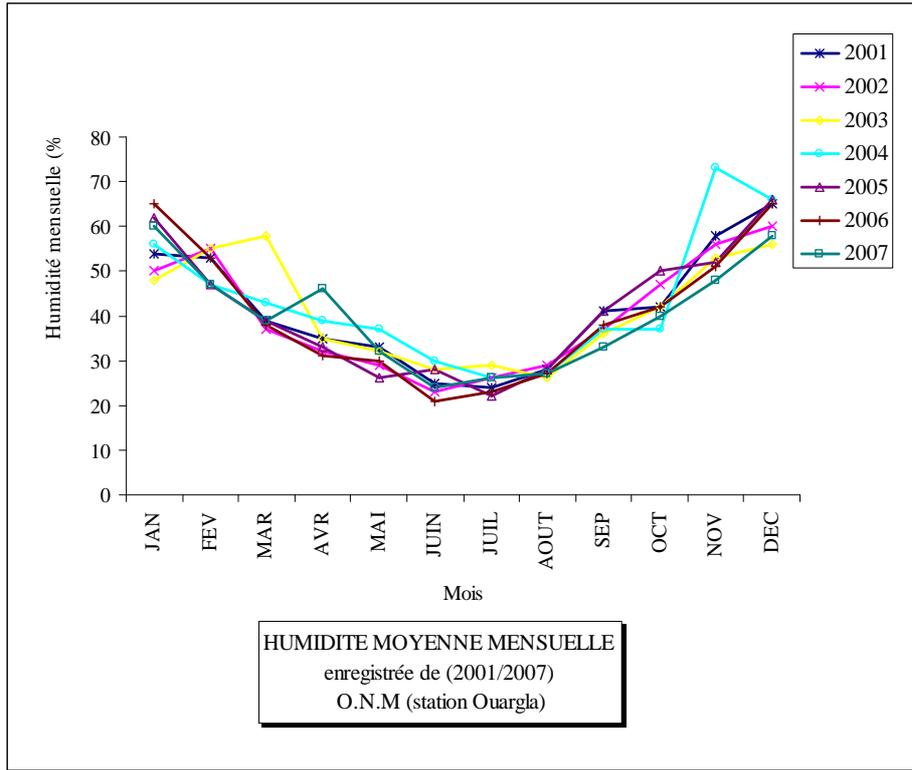


Figure 11. Humidité moyenne mensuelle (%)

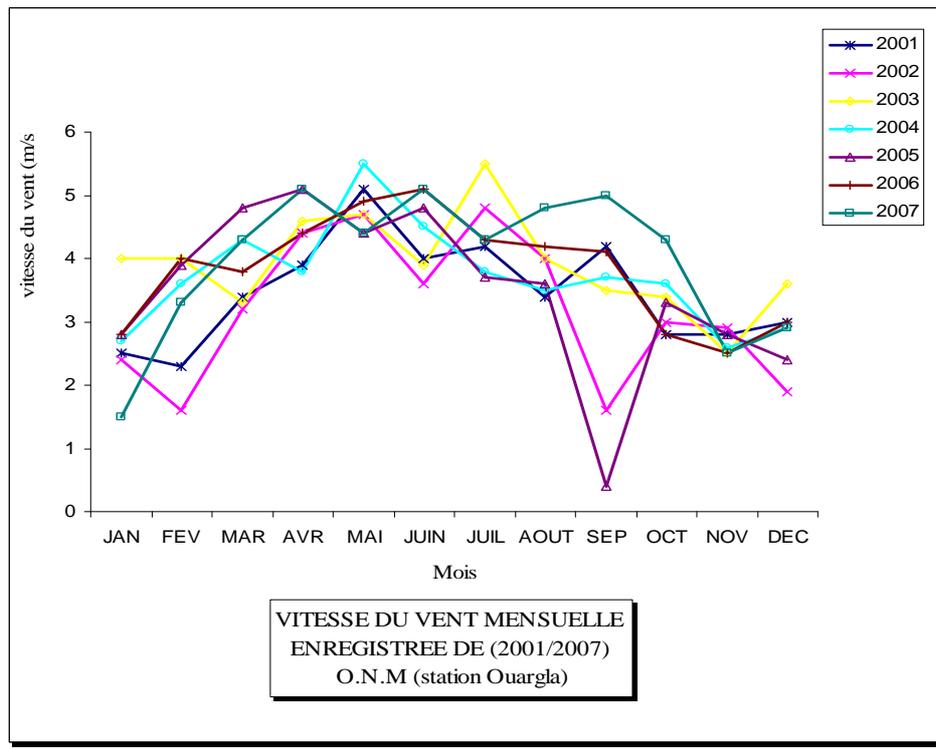


Figure 12. Vitesse du vent moyenne mensuelle (m/s)

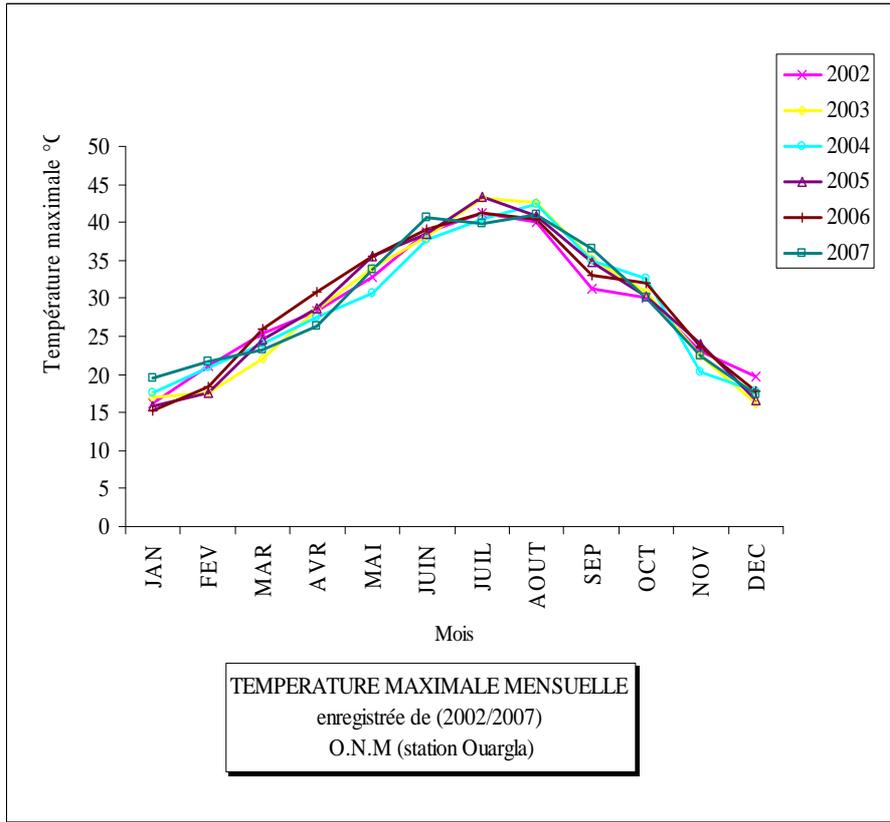


Figure13. Température maximale mensuelle

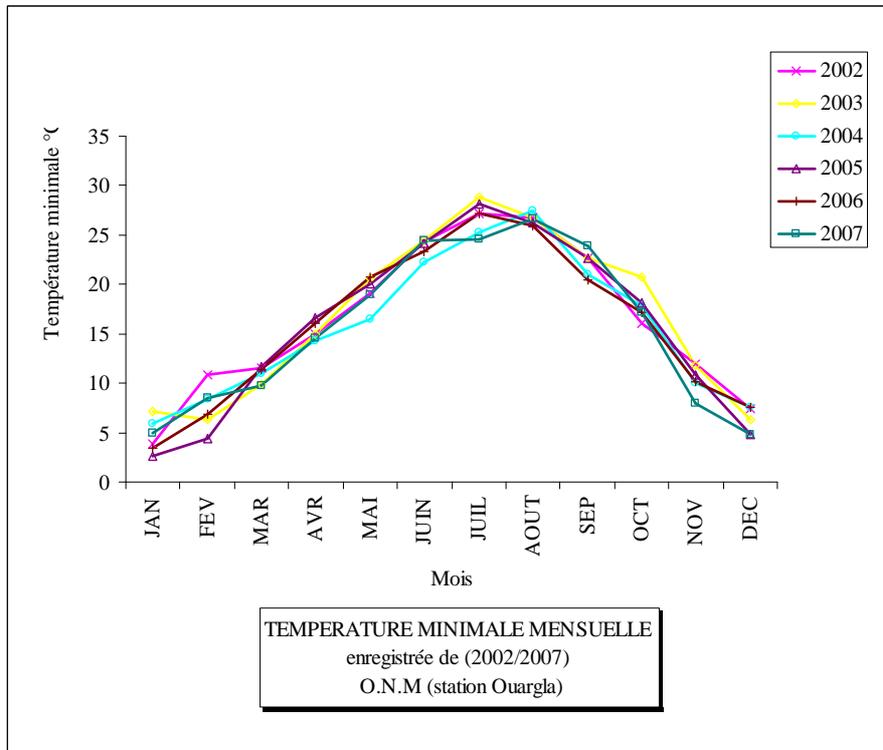


Figure14. Température minimale mensuelle

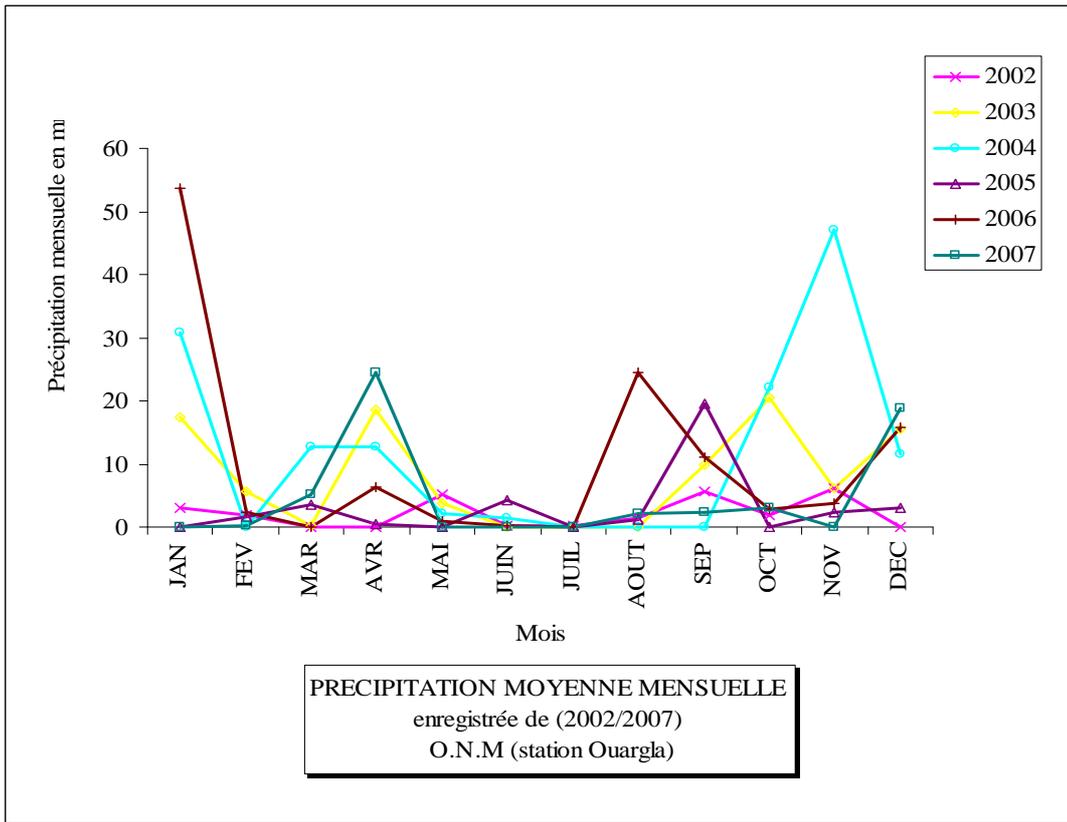


Figure15. Précipitation mensuelle

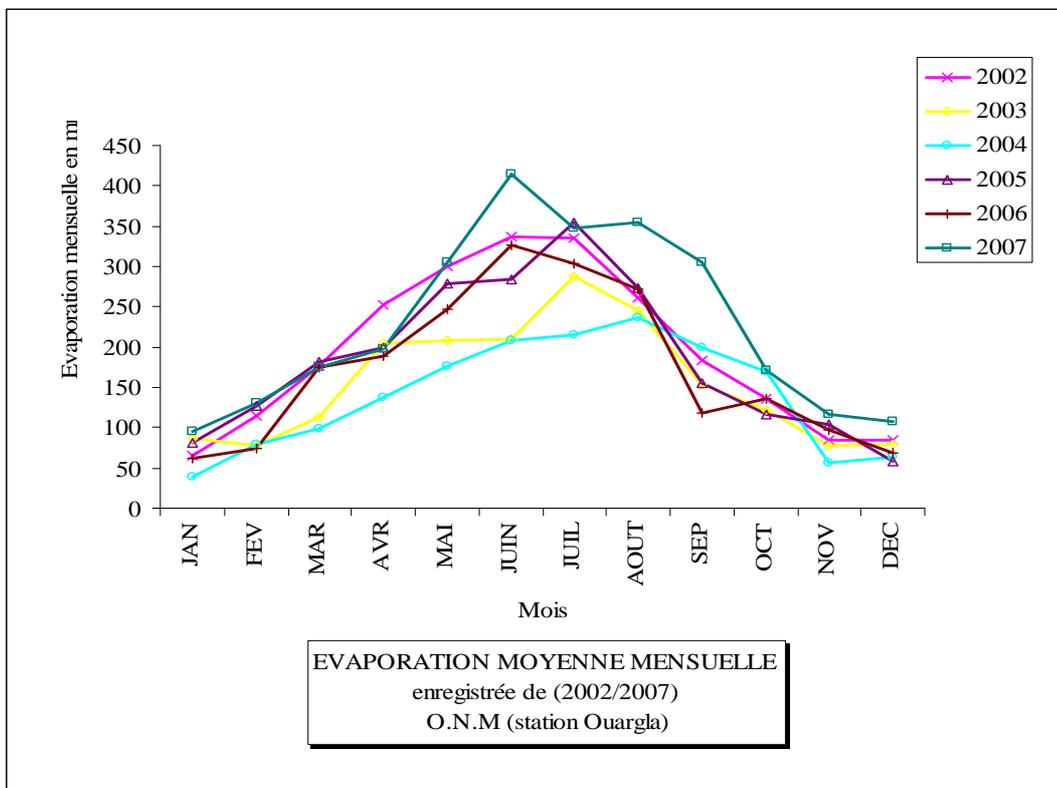


Figure16. Évaporation moyenne mensuelle

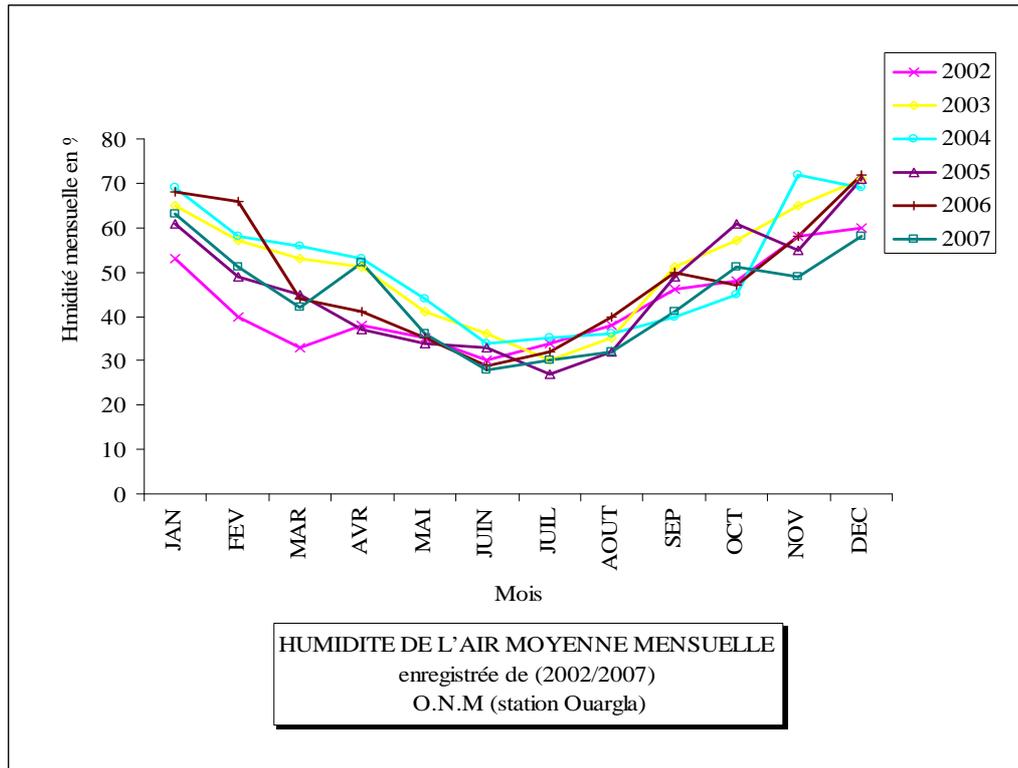


Figure17. Humidité moyenne mensuelle

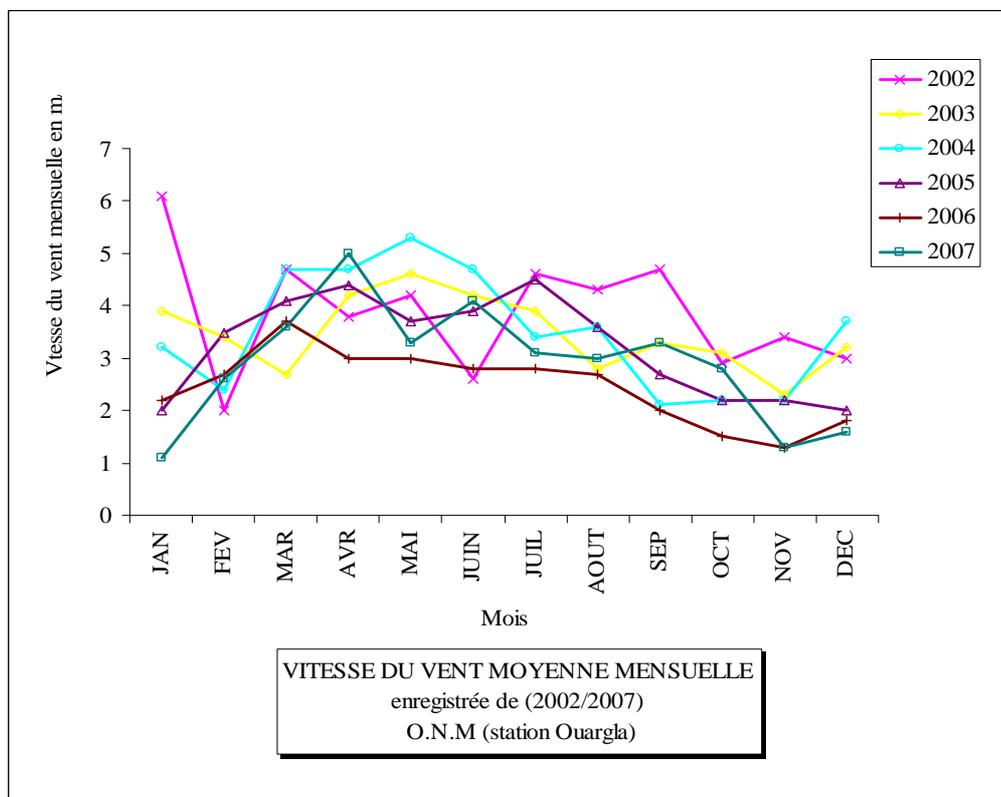


Figure 18. Vitesse du vent moyenne mensuelle

Bibliographie

N° AUTEUR

- [1] **Agency for Toxic Substances and Disease Registry.**, Toxicological for fluorides hydrogen fluoride and fluorine (1993)
- [2] **Agrarval. M, Raink, Sherivastav. R et Dass S.**, defluoridation of water using amended clay. J. of cleaner Produc., 2003, 11, p. 439
- [3] **Allolio. B et Lehman. R.**, Drinking water fluoridation and bone. Exp. Clin. Endocrinol. Diabètes, 1999, 107: 12-20
- [4] **Anonyme:** étude AFSSA 2001: rapport sur la fluoration des eaux
- [5] **ANRH**, 1997
- [6] **ARIST/CRCI BOURGOGNE** (2004)
- [7] **Arnaud M.** Biodisponibilité des minéraux. Journées d'études de l'Association des diététiciens de langue française (ADLF), Paris, 1999 : 35-41.
- [8] **Balaji.**, Defluoridation plants
- [9] **Beltran ED, Szpunar SM.** Fluoride in toothpastes for children: suggestion for change. Pediat Dent 1988; 10:185-8.
- [10] **Bertrand, F. (2001).** "Variabilité spatiale et temporelle des teneurs en fluor dans les eaux souterraines des aquifères de socles. Exemple du bassin de Maheshwaram, Andhra Pradesh, Inde." DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie, Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud.(rapport de stage): 42 pages.
- [11] **Bloch-Zupan A.** Les dentifrices fluorés. Dans: Carioprophyllaxie. Analyse critique des spécialités de l'Olafleur. Laboratoires Gaba, 1999.
- [12] **Burkhalter, R.A., Mix, T.J., McCall, M.F., Provost, D.O. (1984).** "Assessing Cyanide Contamination from an Aluminum Smelter." Environmental Sampling for Hazardous Wastes. American Chemical Society, Washington: p 15-26.
- [13] **Cao J, Zhao Y, Li Y, Deng HJ, Yi J, Liu JW.**, (2006) Fluoride levels in various black tea commodities: measurement and safety evaluation. Food Chem Toxicol 44: 1131-1137
- [14] **Chavassieux. P et Meunier. P. J.**, (1995), Bénéfices et risques des apports fluorés, Arch Radiat, 2(6), 568-572
- [15] **Chernet, T., Travi, Y., Valles V.** (2001). "Mechanism of degradation of the quality of natural water in the Lakes Region of the Ethiopian rift valley." Water Res. 35(12): p. 2819-32.
- [16] **Code de Santé Publique.** Décret n°91-257 du 7 mars 1991. Dispositions relatives aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles.
- [17] **Coker. E. G et Davis. R. D.**, "Agricultural and environmental aspects of fluoride in sewage sludge." Water Res. Topics 1: p.2 1 1-220 (1981)
- [18] **Cree MW, Juby AG, Carriere KC,** Mortality and morbidity associated with osteoporosis drug treatment following hep fracture. Osteoporos Int 2003, 14 : 722-7
- [19] **Dean. H.T.**, Classification of mottled enamel diagnosis, J. Am. Dent. Assoc., 1934, 21, P. 1421
- [20] **Declerck. D.**, Les dentifrices au fluor. Rev Belge Méd Dent 1998; 53:269-77.
- [21] **Deshmukh. A. N, Wadaskar. P. M et Malpe. D. B.**, "Fluorine In Environment: A
- [22] **Diaz-Barriga, Navarro-Quezada. A, Grijalva. M.I, Grimaldo. M, Loyola-Rodriguez. J .P et Ortiz. M.D.**, "Endemic fluorosis in México." Fluoride, vol.30: p.233-239 (1997)
- [23] **Directives de qualité de l'eau de boisson**, 2^{ème} Ed Volume 1. Recommandations Genève, OMS, 1994 50 p

- [24] **Dore Marcel.**, Chimie des oxydants et traitement des eaux, technique et documentation-Lavoisier, 1989, P. 14
- [25] **DUBIEF**, 1959
- [26] **Ekstrand. J, Spak. C. J et Vogel. G.**, Pharmacokinetics of fluoride in man and its clinical relevance, J Dent Res, 69 Spec N°, 550-555 (1990)
- [27] **Etude des ressources en eau du Sahara septentrional** – Projet RAB 80/01 PNUD - 1987
- [28] **Faber**, 1960 in Abderrahmane, 1997 ANRH
- [29] **Faurcade. A. et Sobole. J. C.**, L'eau potable en Bourgogne (2003)
- [30] **Fejerskov O, Baelum V, Richards A.** Dose-response and dental fluorosis. Dans Fejerskov O., Ekstrand J., Burt B., Fluoride in Dentistry. Copenhagen: Munksgaard, 1996, p. 153-166.
- [31] **Felsenfeld. A. J et Roberts. M. A.**, A report of fluorosis in the united states secondary to drinking well water. J. A. M. A., 1991, 265: 486-488
- [32] **Fraysse MC.** Etude épidémiologique de la fluorose dentaire et de la carie en Jordanie. Thèse Doct État Odontol. Nantes, 1989
- [33] **Fluorures et santé bucco-dentaire.** Rapport d'un comité d'experts sur la santé bucco-dentaire et l'utilisation des fluorures. Genève: O.M.S., 1994, 41p.
- [34] **Fomon. S. J et Ekstrand. J.**, Fluoride intake. Dans: Fejerskov O., Ekstrand J., Burt B. Fluoride in Dentistry. Copenhagen: Munksgaard, 1996, p. 40-52.
- [35] **Gaciri, S. J., Davies, T. C. (1993).** "The occurrence and geochemistry of fluoride in some natural waters of Kenya." Hydrological sciences journal, vol. 143: p. 395-412.
- [36] **Giambo NJ., Probst K., Denbesten PK-** 'Characterization of fluorosed human enamel by color reflectance, ultrastructure, and elemental composition ' Fluoride 28: 4, 216 (1995) also Caries Research 29 (4) 251-257 (1995)
- [37] **Gouvernement de Québec.**, règlement sur la qualité de l'eau potable, L. R. Q., C. Q -2, r. 18. 1. 1 (2001)
- [38] **Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. et Eaton, A.D. (dir. de publ.).** Standard methods for the examination of water and wastewater. 18e édition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, DC (1992)
- [39] **Haikel. Y, Voegel. JC et Frank. RM.**, Fluoride content of water, dust, soils and cereals in the endemic dental fluorosis area of Khouribga (Morocco). Arch Oral Biol 1986; 31:279-286
- [40] **Heikens A, Sumari S, Bergen MV, Widianarko B, Fokkert L, Leeuwen KV, Seinen W** (2005) The impact of the hyperacid Ijen Crater Lake: risks of excess fluoride to human health. Sci Total Environ 346:56-59
- [41] **Jean Rodier et Coll.**, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition, Dunod, Paris (2005)
- [42] **Jimenez Fartan MD, Hernandez Guerrero JC, Loyola Rodriguez JP, Ledesma Montes C** (2004) Fluoride content in bottled waters, juices and carbonated soft drinks in Mexico City, Int J Paediatr Dent 14: 260-266
- [43] **Kanis JA, Oden A et al.** Excess mortality after hospitalisation for vertebral fracture, Osteoporos Int 2004; 15: 108-12
- [44] **Kayser. C.**, entretien avec l'ingénieur de travaux ruraux de la DDAF de la Nièvre (2005)
- [45] **Kettab. A.**, Traitement des eaux (les eaux potables), office des publications universitaires 12/1992 Codification 2.02.3623
- [46] **Khadraoui. A.**, Eaux et sols en Algérie- Gestion et impact sur l'environnement. , décembre 2000

- [47] **Koritnig, S. (1963).** "Zur Geochemie Des Fluors Den Sedimenten." Fortchr. Geol. Rheinld. Westf., vol. 10: p.23 1.
- [48] **Kumar, V.V., Sai, C.S.T., Rao, P.L.K.M., Rao, C.S. (1991).** "Studies on the distribution of fluoride in drinking water sources in medchal block, Randa Reddy District, Andhra Pradesh, India." Journal of Fluorine Chemistry, Elsevier, Lausanne, Switzerland, vol.55 (3): p.229-236
- [49] **Latha. S. S, Ambika. S. R. et Prasao. S. J.,** Fluoride contamination status of ground water in Karnataka. Current Science, 76(6), 730-734 (1999)
- [50] **Levy. S. M.,** Review of fluoride exposures and ingestion. Community Dent Oral Epidemiol 1994; 22(3): 173-80
- [51] **M. C. Bell, T. G. Ludwig.,** The supply of fluoride to man: ingestion from water, in: fluorides and human health. WHO monograph series 59, World Health Organization, Geneva, 1970
- [52] **Malde MK, Maage A, Macha E, Julshamn K, Bjorvatn K.,** (1997) Fluoride content in selected food items from five areas in east Africa. J Food Compos Anal 10:233-245
- [53] **Maier F. J, Am. J.,** Public Health, 1938, 37, 1011
- [54] **Martinez Mier EA, Soto Rojas AE, Buckley CM, Zero DT, Margineda J.,** (2005) Fluoride concentration of bottled water, tap water, and fluoridated salt from two communities in Mexico. Int Dent J 55: 93-99
- [55] **Mc Clure. F. J.,** Fluorine in food, survey and recent data Public Health Rep., 1949, 64, 1061-1074
- [56] **Megdoud M.** Qualité des eaux du Sahara septentrional. Troisième communication au Séminaire d'El Oued de l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH), 19 et 20 mai 2003, volume I : 42-9
- [57] **Meirs. P.,** "Zur Toxizität von Fluorverbindungen, mit besonderer Berücksichtigung der Onkogenese", Verlag für Medizin Dr. Ewald Fischer, Heidelberg (1984)
- [58] **Memento Technique de l'eau,** 2eme Edition, Tome 1
- [59] **Messaitfa A. (2007).** Fluoride contents in groundwaters and the main consumed foods (dates and tea) in Southern Algeria region. Environ Geol. 55:377-383
- [60] **Meunier. P. J, Fermeñas. M, Duboeuf. F, Chapuy. M. C et Delmas. P. D.,** Augmentation de la densité osseuse vertébrale chez les grands buveurs d'eau minérale riche en ions fluor. Pres. Med., 1989, 18, 1423-1426
- [61] **Mrabet. A, Fredj. M, Ben Ammou. S, Tounsi. H et Haddad. A.,** Spinal cord compression in bone fluorosis, A propos of 4 cases. Rev Med Interne 1995; 1:533-5
- [62] **N. Mameri, D. Belhocine, R. Yeddou, H. Grib, H. Lounici et B. Bariou.,** Water Res. 32(5) (1998) 1604
- [63] **Nawlakhe. W. G et Bulusu. K. R.,** Nalgonda technique. A process for removal of fluoride from drinking water. Water Quality Bull (14) ,218-220 (1989)
- [64] **Ndao. I, Lagaude. A et Travai. Y.,** Science et techniques de l'eau, 1992, 26, 243-249
- [65] **Organisation mondiale de la santé. ,** Fluoride in drinking water, Environmental health information section, (2002)
- [66] **Organisation mondiale de la santé. ,** fluorures in directives de la qualité pour l'eau de boisson; Volume 2, Genève, pp. 272-279 (2000)
- [67] **ONM**
- [68] **Pontie. M, Rumeau. M, Ndiaye. M et Diop C.M.,** sur le problème de la fluorose au Sénégal: bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de défluoruration des eaux de boisson, cahiers santé, 1996, 6, p.27
- [69] **Review."** Gondwana Geol. Mag, vol.9: pp. 1-20 (1995)
-

- [70] **Rün. K.**, Resorbierbarkeit und retention von in mineral wässem und erfrischungget ränken enthaltenem fluorid bei mensch und laboratoräumsratte, diss würzburg (1968)
- [71] **Safer M.C.**, (2006). Le Fluorure dans les eaux souterraines du sud est Algérien. Bilan chimique, Problèmes engendrés et procédé de défluorisation, Thèse de Magister, Université de Ouargla, 61 pages.
- [72] **Santé Canada.**, le fluorure, Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (2002)
- [73] **Santé Canada.**, le fluorure. Recommandations pour la qualité de l'eau potamboable au Canada (1997)
- [74] **Savary Patrick.** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition Technicités, Novembre 2003. Chapitre Fluorures p. 100 -101.
- [75] **Serbnik, Friszman. S, Van der Miynsbrugge. F.**, Teneurs en fluor de quelques thés prélevés sur le marche et de leurs infusions, Arch Belg Med Soc Hug Med 33 : 551-556 (1976)
- [76] **Sharipo. A.**, Fluor, in : les limites de sécurité dans les consommations alimentaires des vitamines et de minéraux pp. 75-89. Conseil supérieur d'hygiène publique de France, TEC et DOC Lavoisier édition. , Paris, 1996
- [77] **Simard, P. L et al.**, The ingestion of fluoride dentifrice by young children. J Dent Child 1989; 56:177-81.
- [78] **Smyshlyaev, S. I., Edeleva, N. P.** (1992). "Determination of the solubility of minerals.
- [79] **Solubility product of the fluorite."** Izv. Vysshikh Uchebn. Zavedenii Khim Teknologiya,
- [80] **Souterraines des aquifères de socles.** Exemple du bassin de Maheshwaram, Andhra Pradesh, Inde." DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie, Université Pierre et Marie Curie, Université Paris Sud. (rapport de stage): 42 pages (2001)
- [81] **Srmulari. M, Pragathi. A et Karthikeyan. J.**, A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials, Environ. Pollut., 1998, 99, P.285
- [82] **Sy. M. H, Sene. P et Diauf. S.**, Fluorose osseuse au niveau de la main, Société d'Edition de Assainissement d'Enseignement Médical des Hôpitaux de Paris, 1996, 15(2), P.109
- [83] **Tardat H., Beaudry J.** (1984). Chémie des eaux, Ed le Griffon d' argile INC, Québec
- [84] **Taylor. S. R.**, Geochim. Cosmochim. Acta, vo1.28: p.1273-1285 (1964)
- [85] **Trautner. K et Sieberg. G.**, An experimental study of bio-availability of fluoride from dietary sources in man. Arch Oral Biol 1986; 31:223-8.
- [86] **Travi Y.**, Hydrogéologies et hydrogéochimie des aquifères du Sénégal, Sciences géologiques, Mémoire n°95, 1993
- [87] **UNESCO.**, (1972) Etude des ressources en eau du sahara septentrional. Rapport final (ERESS project: study of the northern sahara water resources) UNESCO, Paris, 79 p
- [88] **United States Environmental protection Agency** (1985), National primary drinking water regulations; Fluoride; Final rule in Federal register (40 CFR part 141, November 1985), p. 47142-47155
- [89] **United States Environmental protection Agency** (1986), National primary and secondary drinking water regulations; Fluoride; Final rule in Federal register (40 CFR part 141, 142, and 143, April 1986), p. 11396-11412
- [90] **Wald bott. G. L;** Burgstahler, AW; Mc Kinney, HL – “ fluoridation the great dilmma” Coronado Press (1978)
- [91] **WaterAid,** Prince Consort House, 27-29 Albert Embankment, London, SE 1 7UB, UK
- [92] **Wateraid.** , Water quality fact sheet: Fluoride. (2002)
-

- [93] **Wedepohl. K. H.**, "Hand-book of Geochemistry." Springer-Verlage, Berlin, Heidelberg, New York, vol.11-4: p.9K- 1 (1974)
 - [94] **Whithord. G. M.**, Intake and metabolism of fluoride, *Adv Dent Res*, 8(1), 5-14(1994)
 - [95] **WHO** Headquarters Office in Geneva, 20 Avenue Appia, 12 1 1 Geneva 27, Switzerland
 - [96] **World Health Organization.** Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. WHO Technical Report Series. Geneva: WHO; 1994
 - [97] **Yang. C. L et Dluhy. R.**, Electrochemical generation of aluminum sorbent for fluoride adsorption, *J. of Hazardous Materials*, 2002, 94(3), P.239
 - [98] **Zakraoui. L, Cheour. I, Mrabet. A, Jeridi. T, Hamza. M. H, Hamza. R et al.** Aspects inhabituels de la fluorose osseuse. *Rhumatologie* 1987; 17: 101-5
-

Sommaire

Le titre	Page
Introduction générale	01
Partie bibliographique	
Chapitre 01 : généralités	
1. Introduction	05
2. Sources et niveaux environnementaux	05
2.1. Les sources naturelles	07
2.2. Les sources anthropiques	09
3. Eaux de boisson et les ions fluorures :	10
4. Les effets physiologiques du fluor	11
4.1. Apport, absorption et distribution	11
4.2. Les effets des ions fluorures:	12
4.3. Les effets néfastes des ions fluorure	13
4.3.1. La fluorose dentaire :	14
4.3.2. La fluorose osseuse	15
5. L'intoxication fluorée	18
Chapitre 2: généralités sur la région d'étude	
1. Présentation de la région d'Ouargla	20
1.1 Cadre géographique	20
1.2. Aspect climatique	21
2. Présentation de la région d'El-Oued	22
2.1. Cadre géographique	22
2.2. Aspect climatique	23
3. Hydrogéologie de la zone d'étude	24
3.1. La nappe phréatique superficielle	25
3.2. L'aquifère du Complexe Terminal (CT)	25
3.3. Système aquifère du Continental Intercalaire (CI)	25

Chapitre 3: Chimie des ions fluorures dans les eaux

1. Introduction	29
1.1. Les eaux souterraines	29
1.2. Les eaux de mer	29
1.3. Les eaux minérales	30
1.4. Les eaux de surface	30
2. Pharmacocinétique et métabolisme	31
3. Normes et recommandations	32
3.1. Critère de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	32
3.2. Norme Américaine	32
3.3. Norme Canadienne	32
3.4. Norme Française	33
4. Synthèse bibliographique	33

Partie expérimentale**Chapitre 4: Matériels et Méthodes**

1. Introduction :	39
2. Electrodes ioniques spécifiques	40
3. Dosage des ions fluorures :	42
Dosage des ions fluorures dans les eaux	42
Dosage de fluorure dans les dattes	46
Dosage des ions fluorure dans les aliments	46
Dosage des ions fluorures dans le thé vert	47
Dosage des ions fluorures dans le sol agricole de la région	47

Chapitre 5: Résultats et discussions

1. Le fluorure dans les eaux de consommation	49
Le fluorure dans les dattes	51
Le fluorure dans les autres aliments	51
Le fluorure dans le thé vert	52
Le fluorure dans le sable des terres agricole	52

Chapitre 6: Bilan de masse de l'ion fluorure consommé

1. Eaux de boisson	55
2. Alimentation	56
3. Sel de table	57
4. Apports médicamenteux	57

5. Dentifrices	57
6. Les autres sources de fluor	58
Calcul du bilan de consommation de l'ion fluorure	59
Conclusion générale	61