



Organisation Pan Américaine de la Santé

Université Quisqueya (UniQ)
Faculté des Sciences. du Génie et d'Architecture (FSGA)

**ÉVALUATION DE LA CONCENTRATION DU FLUOR DANS LES
RESSOURCES EN EAU DE LA RÉGION HYDROGRAPHIQUE
CENTRE-SUD D'HAÏTI**



Ruth ANGERVILLE
Licence en Génie Civil
Option Environnement

UNIVERSITE QUISQUEYA

(UniQ)

FACULTE DES SCIENCES, DU GENIE ET D'ARCHITECTURE

(FSGA)

**EVALUATION DE LA CONCENTRATION DU FLUOR
DANS LES RESSOURCES EN EAU DE LA REGION
HYDROGRAPHIQUE CENTRE-SUD D'HAITI**

Ruth ANGERVILLE

Licence en Génie Civil

Option Environnement

Juillet 1999

**Cette étude, réalisée dans le cadre d'un projet de mémoire
pour l'obtention d'une licence en Génie Civil option Environnement,
a bénéficié d'une bourse de finissants
de la Direction de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
(DESRS)
du Ministère de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports
(MENJS)
dans le cadre de son Programme de Soutien
aux Activités à Caractère Scientifique 1998 – 1999**



TABLE DES MATIERES

	Pages
SOMMAIRE	1
I.- INTRODUCTION	4
II.- REVUE DE LA LITTERATURE	7
A.- Présentation du Fluor	8
B.- Les voies de pénétration du fluor dans le corps humain	9
1.- L'eau de boisson	9
2.- La nourriture	10
3.- L'air	11
4.- Les médicaments et les produits de beauté	11
C.- Effets du fluor sur la santé humaine	12
1.- Effet bénéfique	12
2.- Effets nuisibles	13
2.1.- Effets résultant d'une consommation insuffisante de fluor	14
2.2.- Effets résultant d'une consommation excessive de fluor	14
D.- Risques de santé liés à une consommation excessive de fluor	15
1.- La fluorose dentaire	15
2.- La fluorose squelettique	16
3.- Les manifestations non-squelettiques	17
E.- Les mesures préventives	18
F.- Les techniques de défluoruration	19
G.- Les techniques de fluoruration	23

	Pages
III.- QUESTION DE RECHERCHE	24
A.- Problématique	25
B.- But de l'étude	26
C.- Méthodologie	27
1.- Méthode d'évaluation de la concentration du fluor	27
1.1.- Moyens et techniques	30
1.2.- Paramètres d'évaluation	30
1.2.1.- Conductivité	30
a) Définition	30
b) Importance	31
c) Méthode de détermination	31
1.2.2.- Les fluorures	31
a) Définition	31
b) Importance	31
c) Méthode de détermination	31
1.2.3.- Le potentiel d'hydrogène	32
a) Définition	32
b) Importance	32
c) Méthode de détermination	33
1.2.4.- Les solides totaux dissous	33
a) Définition	33
b) Importance	33
c) Méthode de détermination	33
1.2.5.- La température	34
a) Définition	34
b) Importance	34
c) Méthode de détermination	34

	Pages
IV.- RESULTATS	35
V.- DISCUSSION	43
VI.- CONCLUSION	45
VII.- BIBLIOGRAPHIE	48
VIII.- ANNEXES	53
A.- Codification des sites de prélèvement	54
B.- Relation entre le fluor et la température de prélèvement à l'intérieur des classes	55
C.- Relation entre le fluor et la conductivité à l'intérieur des classes	56
D.- Fréquence des classes dans la distribution	57
E.- Relation entre la conductivité et les solides totaux dissous	58

LISTE DES TABLEAUX

	Pages	
Tableau 3.1 :	Répartition géographique des sites de prélèvement	28
Tableau 3.2 :	Paramètres d'évaluation	30
Tableau 4.1 :	Résultats des analyses physico-chimiques	36
Tableau 5.1 :	Classification des concentrations de fluor obtenues	37
Tableau 5.2 :	Concentration d'ions F⁻ dans l'eau potable en fonction de la température ambiante (Normes Américaines)	42

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Poids des classes	38
Figure 2 : Variation du fluor par rapport à la conductivité	39
Figure 3 : Classification du fluor	40
Figure 4 : Variation du fluor par rapport à la température de prélèvement	41

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AEP	:	Approvisionnement en Eau Potable
°C	:	Degré Centigrade
CAMEP	:	Centrale Autonome Métropolitaine d'Eau Potable
cc	:	centimètre cube
F	:	Fluorures
k	:	Conductivité
Kcal/mol	:	Kilocalorie/mole
L	:	Litre
L/hab/jour	:	Litre/habitant/jour
LAQUE	:	Laboratoire de Qualité de l'Eau et de l'Environnement
m³/an/hab	:	mètre cube/an/habitant
mg/Kg	:	milligramme/Kilogramme
mg/L	:	milligramme/Litre
mL	:	millilitre
mV	:	milliVolt
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
pH	:	Potentiel d'Hydrogène
PNUD	:	Programme des Nations Unies pour le Développement
STD	:	Solides Totaux Dissous
T	:	Température
TDS	:	Total Dissolved Solids
UniQ	:	Université Quisqueya
µg/m³	:	microgramme/mètre cube
µS/cm	:	milliSiemens/centimètre

**Je dédie ce travail à toute ma famille et en particulier à mes parents,
M. et Mme Jean Julien ANGERVILLE**

REMERCIEMENTS

Mes plus sincères remerciements s'adressent

- au Recteur de l'Université Quisqueya: **Dr. Paul SAINT-HILAIRE,**

- à mon Directeur de projet: **Ing. Evens EMMANUEL,**

- à mes lecteurs: **Dr. Ariel AZAËL et Dr. John NELSON,**

- au Doyen de la FSGA, **M. Ernst LARAQUE,**

- à mes camarades de promotion: **Merh BOIS, Naïder Pierre FANFAN, Jonassaint PAUL et Ronuald PIARD,**

- à la Direction de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (DESRS) du Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports (MENJS),

- à **Mme Jessye BAZILE DELATOUR** pour son soutien inconditionnel,

- au Board de l'**UNION SCHOOL,**

- à tous ceux qui m'ont soutenu durant la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

L'eau est un élément indispensable à la vie. Sa demande croît avec l'augmentation de la population et la nécessité de satisfaire les besoins de développement sanitaire, économique et social de l'humanité. Cet aspect quantitatif de l'approvisionnement en eau de la population a fait l'objet de plusieurs recherches, sur la quantité d'eau disponible, qui ont conduit à la recommandation d'une dotation minimale de 100 L/hab/jour en vue de subvenir aux besoins domestiques fondamentaux de l'individu. Pourtant, cet élément précieux, peut contribuer à la détérioration de la santé publique lorsqu'il ne rencontre pas les directives de qualité élaborées pour une eau destinée à la consommation humaine. Dès lors, il importe donc d'accorder une attention particulière au facteur qualitatif de l'eau fournie. Or, cette qualité dépend de la concentration des différents constituants de l'eau.

Cette étude se propose d'évaluer la concentration du fluor, constituant minéral de l'eau, dans les ressources en eau de la Région Hydrographique Centre-Sud d'Haïti.

Le fluor, suivant sa teneur dans l'eau consommée, peut avoir des effets tant bénéfique que néfaste sur la santé. L'importance de cet élément de même que ses incidences sur la santé ont été présentées dans une revue de littérature qui constitue le cadre théorique de cette étude.

La méthodologie adoptée pour l'atteinte de l'objectif susdit comprend deux phases:

- Une phase expérimentale où sont effectués le prélèvement d'échantillons dans les points d'eau sélectionnés et la détermination de la concentration en ions fluorures

de ces échantillons ainsi que d'autres paramètres physico-chimiques tels: la conductivité, le potentiel d'hydrogène, les solides totaux dissous et la température;

- Une phase interprétative présentant les résultats obtenus de même que les recommandations qui en découlent.

Les résultats issus des analyses de laboratoire pour la concentration en ions fluorures des ressources en eau de la Région Centre-Sud se trouvent dans une échelle comprise entre 0 et 2 mg/L. Ces résultats ont fait l'objet d'un regroupement qui a conduit à la formation de trois classes. La première classe comporte les concentrations inférieures à 1 mg/L, la seconde regroupe les concentrations comprises entre 1 et 1.5 mg/L, et la troisième classe, celles supérieures à 1.5 mg/L.

A partir de cette classification et tout en tenant compte des facteurs géologique et hydrogéologique ainsi que de la température ambiante, les recommandations suivantes ont été produites:

- Etudier la possibilité de fluorurer l'eau desservant les localités de la classe 1;
- Etablir, pour la classe 2, un réseau de suivi en vue de contrôler toute variation possible de la concentration en ions fluorures de l'eau utilisée par la population de ces localités et de développer les techniques correctives nécessaires;
- Envisager une technique de défluoruration domestique, pour les zones constituant la classe 3, qui permettra de diminuer la teneur en fluor de l'eau consommée par la population de ces zones.

Il a également été recommandé de procéder à la détermination de la dose optimale de fluor que doit contenir l'eau de boisson consommée par la population de la Région

I.- INTRODUCTION

Centre-Sud; cette dose optimale permettra donc de délimiter le seuil de fluoruration et de défluoruration de l'eau consommée par cette population. Pour ce faire, il faudra tenir compte tant de la température ambiante que de l'apport des autres sources de pénétration du fluor dans l'organisme.

Lanoix et Roy (1976) considèrent que, pour être saine, l'eau ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques, ni des quantités excessives de matières minérales et organiques; elle doit, par ailleurs, être limpide, incolore et ne présenter aucun goût ou odeur désagréable.

Les recherches effectuées jusqu'à cette date sur les composants minéraux ou organiques de l'eau ont permis de dégager les effets possibles de chacun de ces composés sur la santé publique. Ainsi, quelques maladies spécifiques à ces composés ont pu être identifiées et, le plus souvent, ces maladies sont dues soit à un excès soit à une insuffisance de certaines de ces substances dans l'eau de boisson. Le fluor en est un cas typique.

"La consommation continue d'une eau qui contient des ions fluorures peut être soit bénéfique, soit nuisible. Ainsi, une eau qui contient environ 1.2 mg/L d'ions fluorures contribue à renforcer l'émail des dents (ce qui réduit les risques d'apparition de la carie dentaire), alors qu'une eau dont la concentration d'ions fluorures est supérieure à 1.5 mg/L favorise la fluorose dentaire (hypercalcification de l'émail des dents due à une trop forte adsorption d'ions fluorures). En plus de marbrer les dents, une eau dont la concentration est supérieure à 5 mg/L peut provoquer des piqûres de l'émail des dents et même entraîner la perte de ces dernières. Il faut par conséquent, selon les cas, augmenter ou réduire la concentration d'ions fluorures dans les eaux de consommation" (Desjardins, 1988).

En Haïti, la détermination de la concentration du fluor dans l'eau de boisson ne figure pas dans la liste des résultats des analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire de la CAMEP (Centrale Autonome Métropolitaine d'Eau Potable); ainsi en est-il des autres organismes d'Etat responsables de l'AEP pour l'ensemble du territoire.

II.- REVUE DE LA LITTERATURE

A.- PRESENTATION DU FLUOR

Le Fluor, de symbole chimique F, a été découvert le 26 Juin 1886 par le Professeur Henri Moissan*. C'est un élément halogène gazeux, de couleur jaune-pâle, très corrosif, très toxique, présentant une odeur âcre et irritante. A la fin du 19^{ème} siècle et au début du 20^{ème} siècle, il fut généralement considéré comme une simple curiosité de laboratoire. Moissan lui-même doutait sérieusement que sa découverte puisse être d'une quelconque utilisation pratique. Ce n'est qu'à la décennie des années 20 que furent découverts les divers champs d'application du fluor, le faisant ainsi devenir l'élément indispensable de l'industrie moderne (Rajiv Gandhi National Drinking Water Mission, 1993).

Desjardins (1988) avance que "le fluor, considéré comme le 13^{ème} élément le plus abondant de la croûte terrestre, se rencontre surtout sous forme de fluorine, CaF_2 , de cryolithe, Na_2AlF_6 , et d'apatite de fluor, $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ ". Cet élément diatomique présente une énergie de dissociation remarquablement basse (38 Kcal/mol); comme conséquence, il est très réactif et est doté d'une forte affinité à se combiner avec d'autres éléments pour former des composés appelés fluorures. Etant le plus électronégatif de tous les éléments du tableau périodique, le fluor est par conséquent l'agent oxydant le plus puissant connu jusqu'à cette date (Rajiv Gandhi National Drinking Water Mission, 1993).

La majeure partie du fluor existant dans la nature se retrouve dans différentes roches, dans les sols, les eaux, les plantes et d'autres organismes tant bien vivants que dans la matière inerte. Cet élément est également utilisé dans une large variété de composés industriels importants. On l'utilise plus particulièrement dans les usines produisant l'acier, l'aluminium, les composants électroniques et les fertilisants agricoles ainsi que dans les

* MOISSAN, H., Professeur de chimie à l'Ecole Supérieure de Pharmacie et à la Sorbonne, Paris; un Prix Nobel lui fut décerné en 1905 pour cette découverte chimique.

usines qui exploitent les procédés de galvanoplastie. Ceci a comme conséquence une certaine augmentation des concentrations d'ions fluorures des eaux usées provenant de ces usines qui vont à leur tour augmenter la teneur naturelle en fluor du cours d'eau récepteur (Desjardins, 1988).

B.- LES VOIES DE PENETRATION DU FLUOR DANS LE CORPS HUMAIN

Les principales voies d'exposition aux fluorures sont l'eau, les aliments, l'air, les médicaments et les produits de beauté.

1.- L'eau de boisson

Les sources d'entrée du fluor dans le corps sont plutôt nombreuses. Cependant, il est rudement estimé que la plus grande partie de la consommation totale de fluor se fait à travers l'eau potable (Rajiv Gandhi National Drinking Water Mission, 1993). Les fluorures existent sous forme de traces dans de nombreuses sortes d'eau, mais les teneurs les plus élevées se trouvent fréquemment dans les eaux souterraines. Les teneurs naturelles en fluorures des eaux sont généralement inférieures à 1 mg/L, mais, suivant que la zone soit riche en fluorures minéraux, on peut enregistrer une teneur pouvant parfois atteindre 10 mg/L. L'excès de fluorures dans l'eau peut provenir de trois phénomènes naturels ou artificiels (Foletti, C. et al., 1997):

1) Origine Géologique

Le fluor se rencontre dans la nature dans différents minéraux le plus souvent associés aux formations volcaniques; quand l'eau rencontre ces mêmes

minéraux dans des conditions favorables, le fluor rentre en solution avec l'eau afin de former son ion négatif, le fluorure (F⁻).

2) Origine Industrielle

La production de l'aluminium est l'un des procédés qui nécessite l'utilisation de composés inorganiques de fluor qui peuvent entrer dans le cycle hydrogéologique par les eaux résiduelles.

3) Origine Agricole

Le fluorure est libéré dans la production et l'utilisation d'engrais phosphaté, lequel contient jusqu'à 4% de cet élément et peut, par conséquent, contaminer l'eau.

La quantité d'ions fluorures ingérés est fonction, non seulement de la teneur en fluorures de l'eau, mais également de la température de l'air ambiant qui conditionne la consommation quotidienne d'eau. Ainsi, une consommation quotidienne de 2 litres d'eau fluorée ayant une concentration en fluorures se situant entre 0.6 et 1.7 mg/L favorise une ingestion de 1.2 à 3.4 mg de fluorures puisque ces derniers, ingérés avec l'eau, sont absorbés presque en totalité. Là où la fluoration n'est pas pratiquée, l'exposition journalière va d'une fraction de milligramme à peut-être 20 mg dans des circonstances tout à fait exceptionnelles (OMS, 1986).

2.- La nourriture

La majeure partie des articles alimentaires contiennent au moins des traces de fluor et particulièrement les récoltes agricoles qui absorbent les fluorures à partir du sol et de l'eau. Par conséquent, dans les régions où la croûte terrestre contient des minéraux

composés de fluor en abondance, les récoltes sont donc fortement contaminés; de plus, en utilisant de l'eau fluorée, les industries alimentaires peuvent voir doubler la teneur en fluor des aliments qu'elles préparent. Certains aliments, comme le poisson, diverses légumes, le café, le thé et le tabac, sont particulièrement riches en fluor; on peut enregistrer des teneurs de l'ordre de 100 mg/kg. Le taux d'absorption de fluorures avec la nourriture reste cependant élevé, sauf pour divers denrées (tels que le poisson et certaines viandes) dont les fluorures ne sont absorbés qu'à 25%. Néanmoins, la façon dont les Indiens préparent le thé en y ajoutant du lait riche en calcium annule les effets nuisibles du fluor à certains degrés (OMS, 1986; Susheela, A. K., 1991; Nelson, J., 1999).

3.- L'air

L'origine des composés du fluor qui sont présents dans l'air peut être attribuée, en grande partie, aux émissions industrielles. En effet, des procédés industriels comme la métallurgie et ceux utilisés pour la production de l'aluminium, d'engrais phosphatés, de briques, de tuiles et de céramiques, de produits pharmaceutiques, de la pâte dentifrice, etc..., dégagent des composés du fluor dans le milieu de travail, polluant ainsi l'environnement. Les concentrations varient avec le type d'activité, mais on estime que l'exposition inférieure en général à $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sauf peut être pour les employés de ces industries personnes vivant dans le voisinage de ces dernières), est insignifiante par rapport à celle ingérée (OMS, 1986).

4.- Les médicaments et les produits de beauté

De nombreux produits tels que les pâtes et poudres, la gomme à mâcher, les compléments vitaminés, les crèmes

mmateurs.

sodium ainsi que certains médicaments contiennent des fluorures solubles surtout sous forme de minérale. Diverses études ont révélé que les dentifrices et les bains de bouche constituent une voie d'exposition non négligeable. Ainsi, il a été évalué que chaque brossage des dents peut entraîner l'absorption de quelque 50µg de fluorure, et que les bains de bouche fournissent jusqu'à 2 mg de fluorures (OMS, 1986).

C.- EFFETS DU FLUOR SUR LA SANTE HUMAINE

Le fluor a un double effet sur la santé humaine: l'un bénéfique, si on utilise la "concentration optimale"¹; et l'autre nuisible s'il est consommé en excès ou de façon insuffisante.

Selon Desjardins (1988), les fluorures une fois ingérés, sont transportés par le sang et vont par la suite se fixer uniquement au niveau des os et des dents, le surplus étant éliminé par les reins. L'eau, constituant la plus grande source d'apport de fluor à l'organisme, doit, par conséquent, contenir une concentration optimale d'ions fluorures.

1.- Effet bénéfique

Les recherches effectuées ont permis de constater qu'une teneur n'excédant pas 1 mg/L de fluor dans l'eau de boisson permet de réduire les risques de carie dentaire. En effet, les ions fluorures consommés se déposent dans l'émail en trois étapes: 1) au moment de la formation de l'émail, avant la percée de la dent; 2) après la percée de la dent jusqu'à sa calcification complète; 3) pendant toute la vie de la dent, à sa surface (Desjardins, 1988).

¹ Concentration optimale de fluor: quantité de fluor à la fois carioprotectrice et non toxique pour les consommateurs.

Triller (1998) considère que l'action du fluor se situe à deux niveaux: la voie systémique, pendant la minéralisation des dents (par le fluor systémique²), et la voie topique, après l'éruption des dents (par le fluor topique³). Au contact de l'émail des dents, les ions fluorures se combinent avec certaines substances (les carbonates) pour former de nouveaux composés chimiques (les fluorures) qui vont diminuer la solubilité de l'émail en milieu acide, lui permettant ainsi de mieux résister aux attaques des acides et des bactéries responsables de la carie dentaire (Desjardins, 1988).

2.- Effets nuisibles

Les ions fluorures ingérés, de par leur charge négative, seront attirés par des ions de charge positive, tels que le calcium pour former des cristaux de fluoroapatite de calcium. Ces derniers seront déposés au niveau du squelette et des dents, puisque ce sont les seules parties du corps humain qui contiennent la plus forte quantité de calcium (Rajiv Gandhi National Drinking Water Mission, 1993). L'accumulation de quantités toxiques d'ions fluorures perturbe la santé humaine et se traduit par la fluorose dentaire, la fluorose des os; elle provoque également certains états pathologiques et peut même entraîner la mort si la dose d'ions fluorures avoisine les 2g (OMS, 1986).

² Fluor systémique: Fluor apporté par les eaux de boissons naturellement ou artificiellement fluorées; il peut aussi être incorporé au sel ou prescrit sous forme de comprimés ou de gouttes.

³ Fluor topique: Fluor véhiculé par les dentifrices, les bains de bouche, vernis, gels, résines de scellement qui sont utilisés individuellement ou au cours de traitements au cabinet dentaire.

2.1.- Effets résultant d'une consommation insuffisante de fluor

Les recherches effectuées sur les causes de la carie dentaire ont permis de constater qu'il existe une certaine corrélation entre l'existence de la carie dentaire et la quantité de fluor consommé. Plus particulièrement, les résultats des recherches réalisées par Dean (entre 1938 et 1941) sur les eaux distribuées dans différents endroits aux Etats-Unis ont conduit à la formulation de l'hypothèse suivante: 1 mg/L d'ions fluorures est approximativement la concentration désirable dans les eaux distribuées à la population pour assurer une santé dentaire optimale. Lorsque la dose décroît on est alors confronté au problème de la carie dentaire, et lorsque cette dernière augmente, on doit faire face aux problèmes de fluorose dentaire (Sawyer et McCarty, 1967).

2.2.- Effets résultant d'une consommation excessive de fluor

Churchill H. V. (1930), de l'Aluminum Co. of America, a mis en évidence de façon substantielle la cause de la fluorose dentaire qu'il attribue aux fluorures. Les recherches qu'il effectua par la suite en collaboration avec McKay, un dentiste de Colorado Springs, ont permis de confirmer que la fluorose dentaire est due à un excès de fluor dans l'eau de boisson (Sawyer et McCarty, 1967).

Lorsque les fluorures sont en excès dans l'organisme, ils peuvent perturber le métabolisme des glucides, des lipides, des protéines, ainsi que celui des vitamines, des enzymes et des minéraux. La teneur en fluorures dans les os croît avec l'âge jusqu'à 55 ans; cependant, le taux de rétention diminue avec l'âge jusqu'à atteindre une certaine "stabilité". Les fluorures retenus par l'organisme sont alors sequestrés dans les tissus calcifiés (surtout au niveau du squelette) et le reste est gardé par le plasma et est ainsi disponible pour l'excrétion. L'organisme ne dispose donc que de deux moyens pour lutter contre une

intoxication au fluor: l'excrétion rénale et la séquestration par les os du squelette (OMS, 1986).

D.- LES RISQUES DE SANTE LIES A UNE CONSOMMATION EXCESSIVE DE FLUOR

La fluorose dentaire et la fluorose squelettique ainsi que les manifestations non squelettiques sont les principaux problèmes de santé découlant d'une intoxication par le fluor et, en particulier, de la consommation d'eau contenant des ions fluorures en excès. Un individu, jeune ou vieux, peut souffrir de l'un de ces cas ou bien d'une combinaison de ces derniers (Susheela, A. K., 1991).

1.- La fluorose dentaire

La fluorose dentaire constitue la première expression clinique chez l'homme de la toxicité du fluor consommé de façon chronique. Cette dernière se manifeste tout d'abord par l'apparition de taches au niveau des dents. On observe par la suite une certaine décoloration des dents visible à l'oeil nu. Ces observations sont faites chez des personnes souffrant depuis longtemps des reins ou de polydipsie et surtout chez les enfants (de 0 à 7 ans) dont les dents sont en cours de minéralisation (OMS, 1986).

Les signes de la fluorose dentaire se manifestent, tout d'abord, par une perte d'éclat, de brillance des dents qui auparavant étaient blanches; ces dernières deviennent ternes et on constate le développement de certaines taches jaunâtres. Cette décoloration jaunâtre, en s'accroissant, devient marron et se présente sous forme de bandes horizontales au niveau de la surface de l'émail. Suivant la position des bandes (au bout des dents, au milieu ou dans la

partie supérieure des dents) on saura à quelle période de sa vie l'individu a été exposé à une forte concentration de fluor (jusqu'à l'âge de deux ans, entre deux et quatre ans, de quatre jusqu'à six ans et plus). Cette exposition peut être soit d'origine hydrique soit d'origine alimentaire ou bien des deux. Dans les stades avancés, la totalité des dents peuvent devenir noires puis elles seront trouées ou perforées, s'effriteront jusqu'à aboutir à la perte totale des dents à un âge précoce. La fluorose dentaire, pouvant se rencontrer tant au niveau des dents de lait que des dents permanentes, constitue par conséquent un problème esthétique pour l'individu qui en souffre (Susheela, A. K., 1991).

2.- La fluorose squelettique

La consommation excessive de fluor peut entraîner des dommages beaucoup plus importants que la fluorose dentaire chez un individu. En effet, le fluor peut endommager un fœtus si la mère consomme de l'eau/de la nourriture ayant une forte concentration de fluor durant sa grossesse ou durant l'allaitement; il peut également provoquer une certaine calcification des vaisseaux sanguins entraînant, par conséquent, l'augmentation de la mortalité infantile. Les avortements, les mort-nés et les enfants qui naissent déformés constituent des cas courants rencontrés dans les régions endémiques (Susheela, A. K., 1991).

La fluorose des os ou du squelette, pouvant affecter les jeunes enfants aussi bien que les individus âgés, se manifeste par des douleurs sévères et une certaine raideur au niveau de la colonne vertébrale, des articulations et de la hanche, une augmentation du contour, de l'épaisseur et de la densité des os (excepté chez certains patients souffrant d'une déficience en calcium), une réduction du canal vertébral, etc.... Les manifestations critiques sont la paralysie incluant la scoliose (déviation latérale de la colonne vertébrale), la paraplégie (paralysie des deux membres supérieurs ou inférieurs), etc... (Rajiv Gandhi National

Drinking Water Mission, 1993). L'individu présentant ces symptômes ne sera pas en mesure de:

- se courber et de toucher ses orteils sans plier ses genoux, sans ressentir des douleurs ou une certaine raideur au niveau de la colonne vertébrale, de la hanche et des articulations;
- toucher sa poitrine avec son menton sans ressentir des douleurs ou une certaine raideur au niveau du cou;
- tendre ses bras de côtés, les replier et essayer de toucher l'arrière de sa tête sans ressentir des douleurs ou une certaine raideur au niveau des articulations et de la colonne vertébrale (Shusheela, A. K., 1991).

3.- Les manifestations non-squelettiques

Cet aspect de la fluorose est souvent négligé en raison de la mauvaise notion dominante qui stipule que le fluor n'affectera que les os et les dents. Le fluor, lorsqu'il est consommé en excès, peut causer plusieurs maladies, y comprises la fluorose dentaire et squelettique. Toutefois, il ne faut pas croire que les maladies regroupées sous ce rubrique sont toujours dues à une intoxication en fluor. Le fluor constitue l'un des facteurs pouvant occasionner de pareilles manifestations non-squelettiques dont les principales sont:

- Des problèmes gastro-intestinaux se traduisant par une douleur abdominale aiguë, la diarrhée, la constipation, des chatouillements au niveau de l'estomac donnant une sensation de nausée, une perte de l'appétit, etc...;
- Des manifestations neurologiques telles que la nervosité, la dépression, une sensation de picotement au niveau des doigts et des orteils, la soif excessive et la tendance à uriner fréquemment, etc...;

- Des manifestations musculaires telles que de la faiblesse musculaire, de la raideur, des douleurs dans les muscles et une perte de puissance musculaire.
- Des manifestations allergiques se traduisant par des éruptions cutanées vraiment douloureuses, lesquelles sont des inflammations périvasculaires, répandues chez les femmes et les enfants;
- Des manifestations au niveau du système urinaire se traduisant par une diminution assez importante en volume de l'urine; l'urine peut être de couleur jaune-rouge et donner lieu à des démangeaisons dans la région urinaire;
- De la migraine;
- La calcification des ligaments et des vaisseaux sanguins qui peut être vue au moyen de radiographie (Susheela, A. K., 1991).

E.- LES MESURES PREVENTIVES

La fluorose est une maladie incurable. Cependant, dans le cas de la fluorose dentaire on peut masquer les indésirables dents décolorées en les capsulant, en les blanchissant ou bien par placage laminaire. Bien qu'elle soit incurable, la fluorose peut être facilement contrôlée au moyen de certaines mesures préventives telles que:

- Dans le cas où l'eau contient plus de 1.00 mg/L de fluor, il faut s'astreindre de l'utiliser pour la cuisson et la boisson;
- Conseiller aux futures mamans et aux mères qui allaitent, d'utiliser de l'eau défluorée pour avoir des bébés en santé;
- Eviter la source majeure de consommation de fluor dans le cas où l'un des symptômes de la fluorose serait détecté;
- La recommandation de consommer de la vitamine C en grande quantité de même que les articles alimentaires riches en vitamine C.

- Une alimentation contenant une quantité adéquate de calcium; boire plus de lait et consommer les légumes riches en calcium.
- Eviter toutes les sources possibles et les articles contenant une forte concentration de fluor (eau, nourriture, médicaments, pâte dentifrice, etc...) (Susheela, A. K., 1991).

F.- LES TECHNIQUES DE DEFLUORURATION

La concentration maximale d'ions fluorures recommandée par l'OMS est de 1.5 mg/L; lorsque la concentration en ions fluorures dépasse cette valeur, il est conseillé de procéder à une défluoruration de l'eau afin de ramener la concentration à la valeur admissible. Toutefois, l'expérience en ce domaine est limitée vu qu'il existe peu d'usines de défluoruration en exploitation dans le monde, bien que la concentration d'ions fluorures de plusieurs eaux destinées à la consommation humaine est supérieure à 4.0 mg/L (Desjardins, 1988).

La dilution dans une eau contenant peu d'ions fluorures constitue la méthode la plus simple pour réduire la concentration d'ions fluorures d'une eau ayant une forte concentration en ions fluorures. Mais, le plus souvent on ne dispose pas toujours d'une autre source d'eau faiblement fluorée à proximité; on est donc porté à utiliser d'autres procédés plus complexes (Desjardins, 1988). L'excès de fluor dans l'eau peut être enlevé soit par adsorption sur une matière en suspension qu'on élimine par la suite au moyen de la filtration, soit en adsorbant les ions fluorures sur une colonne filtrante (Bhattacharya P. et Gunnar J., 1996). Parmi ces différents procédés, on distingue:

- L'adsorption par l'hydroxyde de magnésium. En effet, lors de l'adoucissement d'eaux contenant des concentrations élevées de magnésium au moyen de la chaux, on constate parallèlement une certaine réduction de la concentration des ions fluorures

qui sont adsorbés sur l'hydroxyde de magnésium, $Mg(OH)_2$, lors de la précipitation du magnésium. Toutefois, ce procédé n'est pas le meilleur choix par le simple fait que les produits chimiques sont très coûteux car, à titre d'exemple, il faudrait 209 mg/L d'ions magnésium pour faire passer la concentration d'ions fluorures de 3.0 mg/L à 1.5 mg/L; de plus la quantité de boues produites est considérable (Desjardins, 1988).

La précipitation des ions fluorures sous forme de CaF_2 , au moyen du calcium qui est ajouté à l'eau à travers des sels de calcium tels que: $Ca(OH)_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$. La quantité résiduelle d'ions fluorures est théoriquement fonction de la solubilité du CaF_2 . La concentration résiduelle d'ions fluorures ($[F^-]$) est en relation avec le pH et avec la concentration résiduelle d'ions calcium ($[Ca^{2+}]$); ainsi on a pu constater que la méthode de précipitation avec le calcium ne permet pas d'obtenir une concentration acceptable d'ions fluorures ($[F^-] < 1.5$ mg/L) lorsque la dureté calcique de l'eau est inférieure à 200 mg/L (Desjardins, 1988).

Les constatations faites à l'usine de traitement de La Crosse (Kansas), lors du traitement d'une eau douce très minéralisée contenant 3.6 mg/l d'ions fluorures, ont permis de remarquer que le sulfate d'alumine, $Al_2(SO_4)_3$, qui est un coagulant connu également sous le nom d'alun contribue à la réduction de la concentration en ions fluorures de l'eau. En effet, l'alun qui réagit avec l'alcalinité pour produire un précipité d'hydroxyde d'aluminium, $Al(OH)_3$, semble adsorber les ions fluorures sur ce précipité. Cependant, le passage de la concentration en ions fluorures de 3.6 mg/L à 1 mg/L nécessite l'application de 315 mg/L d'alun (Desjardins, 1988).

- Un autre procédé, permettant de traiter à peu de frais une eau faiblement fluorurée, résulte dans l'utilisation d'échangeurs d'ions tels que l'alumine activée, les résines synthétiques et les phosphates tricalciques (cendres d'os).
- L'alumine activée (constituée à 92% de Al_2O_3) est un matériau granulaire très poreux qui est fortement apprécié pour ses propriétés dessicatives. Ce procédé de défluoruration consiste à filtrer l'eau au moyen d'un lit d'alumine activée qui va éliminer les fluorures, non par échanges d'ions comme on l'a longtemps pensé, mais plutôt par adsorption. L'efficacité de ce procédé est fonction de la qualité chimique de l'eau; en effet, la dureté et la présence de silice et de bore peuvent interférer avec le traitement et réduire son efficacité. De ce fait, ce procédé très prometteur exige au préalable la réalisation d'essais pilotes.
- L'utilisation des résines synthétiques anioniques et cationiques, expérimentée par Benson et al. (1940) permet de réduire une concentration en ions fluorures de 10 mg/L à moins de 1 mg/L par le moyen de deux couples d'échangeurs d'ions. Ce procédé se réalise en deux étapes: la première au cours de laquelle on utilise une résine cationique pour éliminer les ions sodium ($2NaF + H_2Z \leftrightarrow H_2F_2 + Na_2Z$), et la seconde, nécessitant l'utilisation d'une résine anionique pour éliminer le H_2F_2 ($2R_3N + H_2F_2 \leftrightarrow 2R_3NHF$).
- Les recherches effectuées ont permis de constater que le fluor avait une certaine affinité pour les phosphates tricalciques puisqu'on retrouve toujours des concentrations notables de fluor dans les phosphates naturels tels que les apatites et les phosphorites, de même que dans les os; ces derniers vont former des précipités insolubles dans l'eau. Généralement, on utilise: de la cendre d'os régénérée à l'aide de soude caustique et d'acide phosphorique, de la poudre d'os régénérée à l'aide de soude caustique et d'acide

chlorhydrique, de l'apatite synthétique qu'on peut produire dans de l'eau à l'aide d'un mélange soigneusement dosé de chaux et d'acide phosphorique ou de préférence un mélange spécial de phosphate tricalcique, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, et d'hydroxyapatite, $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. L'apatite synthétique peut être soit utilisée comme produit filtrant, ou bien être ajoutée à l'eau traitée sous forme de poudre fine (Desjardins, 1988).

On peut également éliminer l'excès d'ions fluorures dans l'eau de boisson par l'osmose inverse. La potentialité des grains de certaines plantes, considérées comme des coagulants naturels dans le traitement de l'eau, a été évaluée quant à leur capacité d'éliminer le fluor. Ainsi, les expériences faites jusqu'à cette date avec le *Moringa Oleifera* paraissent très prometteuses; en effet, en utilisant une solution de 2% et de 4% de grains pelés, séchés et moulus, que l'on ajoute à l'eau contenant une haute teneur en fluor, on peut faire passer une teneur de 3.3 mg/L à 1.7 mg/L avec 240 cc/L de solution à 4%. Cet effet réducteur peut être augmenté en ajoutant à la solution 7 g/L de chaux éteinte, permettant ainsi d'enregistrer des teneurs acceptables pour la consommation humaine (0.9 mg/L par exemple). Cependant, il faut accentuer les recherches en vue de comprendre le fonctionnement de base de ce procédé afin d'éviter les conséquences négatives de ce dernier sur la santé de la population (Foletti, C. et al., 1997).

Un autre procédé, très simple, connu sous le nom de Nalgonda Technique a été développé en Inde. Ce dernier consiste à ajouter du jus de citron (ou du tilleul) dans l'eau, servant d'adsorbant qui sera par la suite précipité par l'alun. Cependant, l'utilisation de ce procédé nécessite auparavant la détermination de certains paramètres physico-chimiques tels le pH, la turbidité, la conductivité, l'alcalinité, la dureté totale, les chlorures, les sulfates, les solides totaux dissous (STD) et les fluorures qui peuvent avoir des répercussions sur l'efficacité de cette technique (Rajiv Gandhi National Drinking Water Mission, 1993).

G.- LES TECHNIQUES DE FLUORURATION

Parallèlement à la défluoruration, il existe également des procédés qui permettent, lorsque la concentration en fluorures est faible, de fluorurer l'eau de boisson afin de porter la concentration en ions fluorures au voisinage de 1 mg/L. Dans ce cas, on utilise des produits chimiques tels que l'hexafluorosilicate de sodium (Na_2SiF_6), le fluorure de sodium (NaF) et l'acide hexafluorosilicique (H_2SiF_6) qui sont dissociés afin de céder leur ion fluorure (Sawyer et McCarty, 1967).

L'hexafluorosilicate de sodium et le fluorure de sodium sont vendus sous forme solide. Le premier se présente sous la forme d'une poudre fine ou de fins granules blancs ou bleus; le second, sous la forme d'une poudre bleue ou blanche inodore ou bien, de granules blancs inodores. L'acide hexafluorosilicique est vendu sous forme liquide, incolore à jaunâtre, ce qui en facilite la manipulation. Cependant, étant un acide très corrosif, il doit être entreposé dans des réservoirs fermés doublés de caoutchouc ou de vinyle (Desjardins, 1988).

III.- QUESTION DE RECHERCHE

A.- PROBLEMATIQUE

La Région Centre-Sud, telle qu'elle est définie dans une étude réalisée par le PNUD (1991), est géographiquement constituée par la zone métropolitaine de Port-au-Prince, les deux plaines adjacentes de l'Arcahaie au Nord et de Léogâne au Sud-Ouest, ainsi que de l'île de la Gonâve; ce qui représente une superficie de 3,240 km² augmentée de celle de l'île de la Gonâve qui est de 850 km². Cette région entoure la baie de Port-au-Prince et est limitée par la Chaîne des Matheux, au Nord, les montagnes du Trou d'Eau, au Nord'Est, l'Etang Saumâtre et la frontière avec la République Dominicaine, à l'Est, et le Massif de la Selle, au Sud. La Région Centre-Sud correspond administrativement au Département de l'Ouest et regroupe 15 communes.

Les ressources en eau de la Région Centre-Sud d'Haïti sont constituées par une dizaine de fleuves côtiers, les aquifères discontinus des calcaires qu'on retrouve dans les massifs des Matheux, du Trou d'eau et de la Selle, les formations volcano-intrusives qui affleurent dans le massif des Matheux et dans la bordure Nord du Massif de la selle, l'aquifère alluvial de la Plaine du Cul-de-Sac, les ressources en eaux souterraines de la Plaine de Léogâne, et l'aquifère de la plaine de l'Arcahaie traversée par 5 rivières originaires de la chaîne des Matheux (PNUD, 1991).

Barot (1996) souligne qu'une certaine augmentation de la dureté et de la concentration en fluorures et en nitrates a été décelée dans des zones où une remontée saline, due à la surexploitation de leurs aquifères, aurait été constatée.

En effet, l'aquifère de la Plaine du Cul-de-Sac participe grandement à l'approvisionnement en eau de la capitale et, en raison de son exploitation intensive pour l'approvisionnement en eau de la zone métropolitaine, pour les besoins industriels et pour l'irrigation, il a été l'objet de nombreuses études hydrogéologiques (Emmanuel et Azaël,

1998). Ces études révèlent la présence d'une certaine contamination saline et soulignent la nécessité d'un réseau de suivi et d'évaluation de cette contamination. Gonfiantini et Simonot (1987) rapportent, dans l'étude isotopique des eaux souterraines de la Plaine du Cul-de-Sac, que la salinité des eaux souterraines, de la zone de Port-au-Prince, découle de l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers à la suite de leur surexploitation.

D'autre part, Desjardins (1988) stipule que les caractéristiques physicochimiques de certains sols favorisent la dissolution des minéraux qui contiennent du fluor, lequel se rencontre surtout sous forme de fluorine, CaF_2 , de cryolithe, Na_2AlF_6 , et d'apatite de fluor, $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$.

Or, l'aquifère discontinu qui contribue à l'alimentation en eau potable de la Région Métropolitaine provient du Massif de la Selle dont la formation géologique est à prédominance calcaire.

A partir de ces observations, il s'avère prudent de se questionner sur le comportement du fluor dans les eaux de la Région Centre-Sud, en particulier celles provenant de la Plaine du Cul-de-Sac et du Massif de la Selle.

B.- BUT DE L'ETUDE

Evaluer la concentration en fluor de certains points d'eau de la Région Centre-Sud utilisés pour l'approvisionnement en eau potable, eu égard aux normes internationales de l'OMS qui recommande une concentration de 1 à 1.5 mg/L de fluorure dans l'eau de boisson.

C.- METHODOLOGIE

Notre démarche méthodologique comprend:

- Une phase expérimentale où sont effectués:
 - a) Le prélèvement d'échantillons dans les points d'eau sélectionnés;
 - b) La détermination en laboratoire de la concentration en ions fluorures de ces échantillons.

- Une phase interprétative où sont présentés:
 - a) Les résultats obtenus en laboratoire;
 - b) La conclusion et les recommandations.

1.- METHODE D'EVALUATION DE LA CONCENTRATION DU FLUOR

1.1.- MOYENS ET TECHNIQUES

A l'intérieur de ce champ de recherche, un certain nombre de points d'eaux ont été sélectionnés de façon à constituer un échantillon représentatif pour les observations expérimentales. Le tableau 3.1 présente la répartition géographique des sites de prélèvement sélectionnés.

Tableau 3.1.- REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES SITES DE PRELEVEMENTS

ARRONDISSEMENT	SITES DE PRELEVEMENT	POINTS DE PRELEVEMENTS
Arcabaie	Luly	Robinet
	Williamson	Source
	Carrefour Damier	Pompe à bras
	Rivière Bretelle	Rivière
	Source Matelas	Source
	Titanyen	Pompe à bras
	Lafiteau	Robinet
Croix-des-Bouquets	Noailles	Pompes à bras
	Savanne Blond	Pompe à bras
	Michaud	Pompe à bras
Léogâne	Brache	Pompe à bras
	Darbonne	Pompe à bras
	Flon	Pompe à bras
	Masson	Robinet
	Rivière Rouyonne	Rivière
Port-au-Prince	Les puits d'eau	Forage
	D'Adesky	Forage
	Baron	Forage
	UniQ	Robinet
	Morne Bateau	Source
	Thomassin 42	Robinet
	Kenscoff	Pompe à bras
	Tunnel Diquini	Source
	Source Corossol	Source
	Source Leclerc	Source
	Source Turgeau	Source
	Tête-de-l'eau	Source

Tous les échantillons d'eau ont été collectés dans des gallons en matière plastique (3.785 L de capacité) préalablement préparés à cet effet, selon les recommandations du Standards Methods For The Examination of Water and Wastewater (1995). La température de chaque échantillon prélevé a été déterminée sur place au moyen d'un TempTestr™ (OAKTON™) de poche, modèle 35628-00. Les prélèvements ont été, par la suite, transportés au Laboratoire de Qualité de l'Eau et de l'Environnement (LAQUE) de l'Université Quisqueya (UniQ), où ces paramètres physico-chimiques ont été déterminés:

- Conductivité (k) avec un TDS/Conductivity/Temperature Meter, OAKTON®, WD-35607-20;
- Fluorures (F⁻), selon la méthode colorimétrique SPADNS au moyen d'un spectrophotomètre HACH DR/2010 sur une longueur d'onde de 580 nm;
- Potentiel d'Hydrogène (pH), au moyen d'un pH/mV/Temp Meter, OAKTON®, W-35615-Series;
- Solides Totaux Dissous (STD) avec un TDS/Conductivity/Temperature Meter, OAKTON®, WD-35607-20.

La détermination de ces paramètres nécessita la mobilisation d'autres matériels de laboratoire tels que:

- Des ampoules AccuVac contenant une solution rouge de SPADNS Zirconium
- un Bécher de 100 mL
- un Bécher de 50 mL
- de l'eau déionisée Culligan
- de l'eau distillée
- Un stabilisateur.

1.2.- PARAMETRES D'EVALUATION

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités à la détermination des paramètres physico-chimiques indiqués dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2.- PARAMETRES D'EVALUATION

PARAMETRES	SYMBOLE	UNITE	VALEUR INDICATIVE
Conductivité	k	μS/cm	< 1500 ^(b)
Fluorures	F	Mg/L	1 à 1.5 ^(b)
Potentiel d'Hydrogène	PH	---	6.5 à 8.5 ^(b)
Solides Totaux Dissous	STD	Mg/L	< 1000 ^(b)
Température	T	°C	18 à 34 ^(c)

^(a) Normes de l'OMS; ^(b) Normes Américaines; ^(c) Normes Nationales du Guatemala (COGUANOR)

1.2.1.- Conductivité

a) Définition

La conductivité, k, est la mesure de la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Cette habilité dépend de la présence d'ions dans l'eau, de leur concentration totale, de leur mobilité et de la température à laquelle la mesure a été faite (Standards Methods For The Examination of Water and Wastewater, 1995).

b) Importance

La conductivité nous renseigne sur le taux de minéralisation de l'eau en nous indiquant la quantité de sel dissout dans cette dernière (Standards Methods For The Examination of Water and Wastewater, 1995).

c) Méthode de détermination

La conductivité des échantillons d'eau a été déterminée par un TDS/Conductivity/Temperature Meter. Le processus de mesure, pour chaque échantillon, s'est déroulé de la manière suivante: 1) agitation manuelle des échantillons; 2) prélèvement de 100 mL d'eau au moyen d'un Bécher; 3) introduction de l'électrode dans le Bécher contenant l'échantillon. La lecture a été faite après stabilisation de l'appareil.

1.2.2.- Fluorures

a) Définition

Les fluorures sont les composés qui résultent de la combinaison du fluor avec d'autres éléments de charge positive (Rajiv Gandhi National Drinking Water Mission, 1993).

b) Importance

Les fluorures sont des éléments essentiels et indispensables dans la lutte contre la carie dentaire lorsque leur concentration dans l'eau de boisson reste dans la limite des normes prescrites. En effet, en excès dans l'eau ils peuvent porter atteinte à la santé humaine en provoquant la fluorose dentaire, la fluorose squelettique ainsi que des manifestations non-squelettiques.

c) Méthode de détermination

La concentration en ions fluorures des échantillons d'eau a été évaluée au moyen d'un Spectrophotomètre HACH DR/2010 (longueur d'onde: 580 nm), en utilisant comme réactif une solution rouge de Zirconium contenue dans des ampoules AccuVac préfabriquées. Les procédures de détermination sont tirées du manuel Water Analysis HandBook de la compagnie HACH. Une série de trois déterminations ont été effectuées

pour chaque échantillon; les variations enregistrées entre ces détermination étaient de l'ordre du centième. La valeur ainsi retenue est la plus forte des deux valeurs les plus proches.

1.2.3.- Potentiel d'Hydrogène

a) Définition

Le potentiel d'hydrogène (pH) d'une solution est le cologarithme décimal de sa concentration en ions hydrogène. Il mesure l'équilibre acide-base atteint par les différents composés en solution dans un système aqueux. Dans les eaux naturelles, le pH est surtout une fonction du système carbonaté qui est composé du dioxyde de Carbone, de l'acide Carbonique, du Bicarbonate et du Carbonate. L'échelle du pH mesurant l'acidité d'une solution varie de 0 à 14; ainsi, une solution présentant un pH entre 8 et 14 est alcaline, et celle présentant un pH entre 1 et 6 est acide. Le pH d'une solution neutre est égal à 7 (Water Resource Characterization DSS – NCSU WQL- pH, 1999).

b) Importance

Le pH de l'eau nous permet de connaître la tendance du milieu dans lequel nous travaillons (acide, alcaline ou neutre). De plus, le pH a des effets sur la santé humaine qui résultent du fait qu'un faible pH de l'eau peut provoquer la corrosion des canalisations de distribution d'eau potable. Cette corrosion peut provoquer la libération d'ions métalliques tels que le cuivre, le plomb, le zinc et le cadmium dans l'eau de boisson; ces ions métalliques seront ingérés par l'homme et vont contribuer au développement de problèmes de santé pour l'être humain (Water Resource Characterization DSS – NCSU WQL- pH, 1999).

c) Méthode de détermination

La détermination du pH des échantillons d'eau, réalisée au moyen d'un pH/mV/Temp Meter, a été réalisée selon le processus suivant: 1) agitation manuelle des échantillons; 2) prélèvement de 100 mL d'eau au moyen d'un Bécher; 3) introduction de l'électrode dans le Bécher contenant l'échantillon. La lecture a été faite après stabilisation de l'appareil.

1.2.4.- Solides Totaux Dissous

a) Définition

Le vocable Solides Totaux Dissous, STD, exprime la présence des sels minéraux dont les ions les plus importants sont les carbonates, les bicarbonates, les chlorures, les sulfates, le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium, qui sont en solution dans l'eau. La concentration des STD caractérise la minéralisation de l'eau (Banton, O. et L. M. Bangoy, 1997).

b) Importance

Les solides totaux dissous influent sur le goût et l'odeur de l'eau; selon les résultats de certains travaux épidémiologiques, les STD dans l'eau de boisson auraient un effet bénéfique pour la santé. Cependant, certains composants des STD agissent sur la corrosion ou l'incrustation dans les réseaux de distribution (OMS, 1986).

c) Méthode de détermination

L'évaluation des STD dans les échantillons d'eau a été réalisée au moyen d'un TDS/Conductivity/ Temperature Meter, OAKTON®, WD-35607-20. Le processus de mesure, pour chaque échantillon, s'est déroulé de la manière suivante: 1) agitation manuelle des échantillons; 2) prélèvement de 50 mL d'eau au moyen d'un Bécher; 3)

introduction de l'électrode dans le Bécher contenant l'échantillon. La lecture a été faite après stabilisation de l'appareil.

1.2.5.- Température

a) Définition

La température, T en °C, est une propriété intensive de la matière qui donne lieu à un transfert de chaleur entre deux corps.

b) Importance

La température influe sur le goût et accentue l'odeur de l'eau lorsqu'elle s'élève; l'élévation de température a également tendance à accroître la corrosion dans les réseaux de distribution. Avec la baisse de la température, la viscosité de l'eau augmente, tandis que la vitesse de sédimentation et de filtration diminue. D'une manière générale, la température influe sur tous les aspects du traitement et de la production de l'eau potable. De plus, la température est l'un des facteurs qui conditionne la solubilité dans l'eau de la plupart des sels (OMS, 1986).

c) Méthode de détermination

La température de chaque échantillon prélevé a été déterminée sur place au moyen d'un TempTestr™ (OAKTON™) de poche, en insérant l'électrode de l'appareil dans l'échantillon.

IV.- RESULTATS

RESULTATS

Le tableau 4.1 présente les résultats obtenus pour les différents paramètres physico-chimiques déterminés pour chacun des échantillons prélevés.

Tableau 4.1.- RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

SITES DE PRELEVEMENT	Conductivité k en $\mu\text{S/cm}$	Fluorures F ⁻ en mg/L	Potentiel d'Hydrogène pH	Solides Totaux Dissous STD en mg/L	Température de Prélèvement T en °C
Luly	602	1.54	6.91	316	27
Williamson	585	1.64	6.80	304	25
Carrefour Damier	1037	0.42	6.59	523	28
Rivière Bretelle	1191	0.83	7.99	597	33
Source Matelas	611	1.24	6.82	302	26
Titanyen	852	1.70	6.78	430	29
Lafiteau	1001	1.92	6.93	498	30
Noailles	665	0.08	6.95	332	27
Savanne Blond	624	0.09	6.90	314	27
Michaud	622	0.26	6.84	312	27
Les puits d'eau	1484	0.51	6.75	741	28
D'Adesky	1008	0.27	6.80	505	28
Baron	1025	0.45	6.71	515	28
Morne Bateau	1607	1.85	6.76	799	31
Thomassin 42	292	0.15	7.16	157	20
Kenscoff	353	0.00	7.19	180	17
Brache	668	0.02	6.83	351	26
Darbonne	520	0.02	6.91	265	26
Flon	699	0.05	6.83	367	28
Masson	515	0.20	6.83	257	27
Rivière Rouyonne	451	0.18	7.71	226	31

RESULTATS

UniQ	470	0.19	7.02	235	25
Tunnel Diquini	460	0.19	6.70	290	23
Source Corossol	360	0.11	6.80	189	26
Source Leclerc	560	0.17	6.75	280	25
Source Turgeau	400	0.26	7.25	199	23
Tête de l'eau	401	0.05	6.95	202	23

Valeur indicative pour les paramètres déterminés: k (< 1500mg/L); F⁻ (1 à 1.5 mg/L); pH (6.5 à 8.5); STD (< 1000 mg/L); T (18 à 34 °C).

La concentration des ions fluorures dans les ressources en eau de la Région Centre-Sud de la République d'Haïti se retrouve dans une échelle comprise entre 0 et 2 mg/L. La valeur minimale de fluor déterminée est de 0.00 mg/L, alors que la valeur maximale est de 1.92 mg/L. Les résultats obtenus pour les points de prélèvement permettent de procéder à un regroupement sous forme de classe de la concentration du fluor en fonction des normes de l'OMS. Le tableau 5.1 fournit les critères spécifiques à la classification de ces résultats.

Tableau 5.1.- CLASSIFICATION DES CONCENTRATIONS DE FLUOR OBTENUES

CLASSE	CONCENTRATION DE FLUOR	RELATION AVEC LES DIRECTIVES DE L'OMS
CLASSE 1	0.00 – 0.99 mg/L	En dessous des directives
CLASSE 2	1.00 – 1.50 mg/L	A l'intérieur des directives
CLASSE 3	1.51 – 2.00 mg/L	Au dessus des directives

Les informations des tableaux 4.1 et 5.1 permettent d'apprécier le poids de chacune de ces trois classes par rapport au nombre d'échantillons prélevés (Fig. 1). En effet, la classe 1 compte 77 % des échantillons, tandis que la classe 2 ne dispose que de 4 % des observations, et enfin la classe 3 ne comporte que 19% des échantillons.

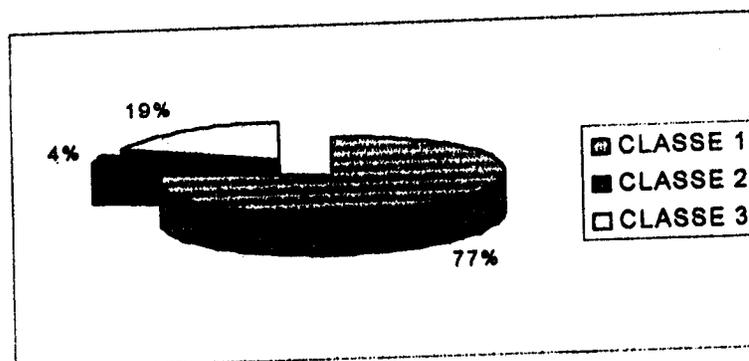


Fig. 1: Poids des classes.

A l'exception de la concentration de 1.85 mg/L de fluor de l'échantillon de Morne Bateau (Arrondissement de Léogâne), toutes les autres concentrations des classes 2 et 3 sont obtenues d'échantillons prélevés dans l'Arrondissement de l'Arcahaie.

A priori, le point d'eau de Morne Bateau semble être contaminé par l'eau de mer. Situé à 10 mètres environ de la mer, sa concentration élevée en sel dissout exprimée par la valeur de la conductivité électrique soit 1607 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indique non seulement une contamination saline par une intrusion d'eau de mer ou d'eau saumâtre, mais également une eau qui n'est pas destinée à la consommation humaine (Fig. 2).

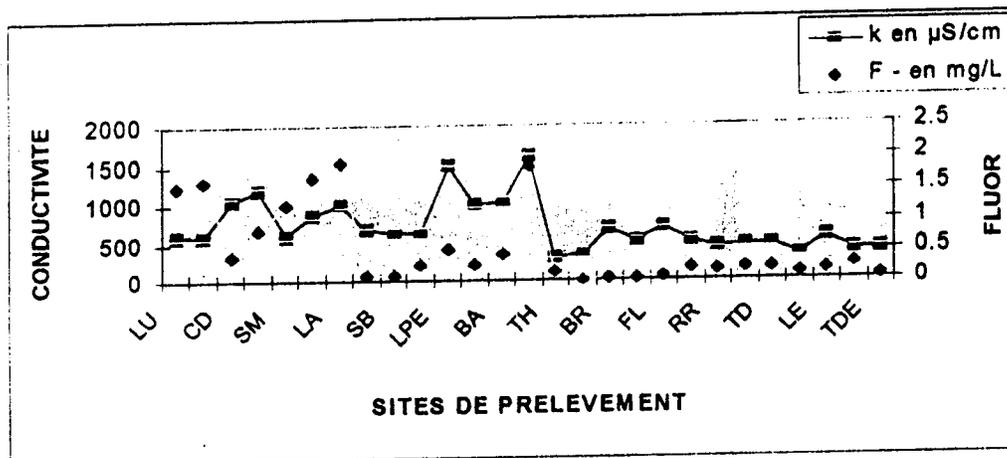


Fig 2 : Variation du fluor par rapport à la conductivité

La répartition du fluor à travers de la Région Centre-Sud, telle que présentée dans la figure 3, indique que les ressources en eau des Arrondissements de Croix-des Bouquets, de Port-au-Prince et de Léogâne ont une carence de fluor. Par contre, au niveau de l'Arrondissement de l'Arcahaie, la concentration du fluor est en grande partie supérieure à celle recommandée par l'OMS. Ces résultats permettent d'apprécier le poids des formations hydrogéologiques de notre champ de recherche dans la distribution du fluor.

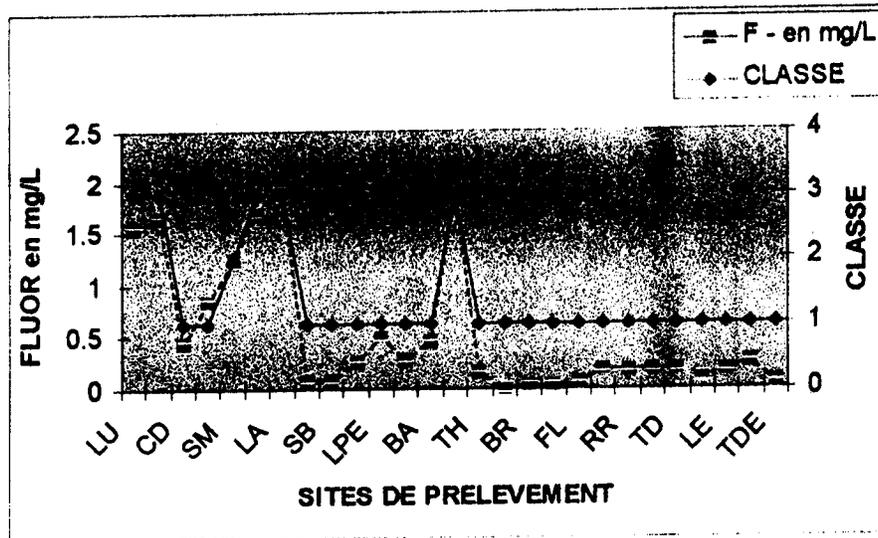


Fig. 3 : Classification du fluor

En effet, les sites sélectionnés sont dominés par deux grandes formations géologiques. Les Arrondissements de Croix-des Bouquets, de Port-au-Prince et de Léogâne sont dominés par des aquifères carbonatés, alors que l'Arrondissement de l'Arcahaie est dominé (d'un point de vue géologique) par une formation sédimentaire constituée d'argiles, de marnes et de mollasses argileuses.

A la lumière de cette considération, on peut avancer que la concentration élevée de fluor retrouvée dans les ressources en eau de l'Arrondissement de l'Arcahaie (Région Hydrographique Centre-Sud de la République d'Haïti) est due à la relation eau-roche existant dans les formations sédimentaires de cette zone.

Du point de vue de la santé publique, on peut avancer que la population (en particulier les enfants) vivant dans la région des aquifères carbonatés sont exposés à des risques de carie dentaire, alors que celle vivant dans les zones dominées par les formations sédimentaires sont très exposées à la fluorose dentaire. Sachant que la

variation de température modifie le besoin en eau de l'organisme et donc la quantité d'eau ingérée, cette dernière analyse se révèle plus pertinente quand on compare les concentrations de fluor par rapport à la température ambiante au niveau national qui varie entre 20 et 35 °C (Comité National Interministériel - Agenda 21, 1996). La figure 4 présente la variation du fluor par rapport à la température de prélèvement des échantillons.

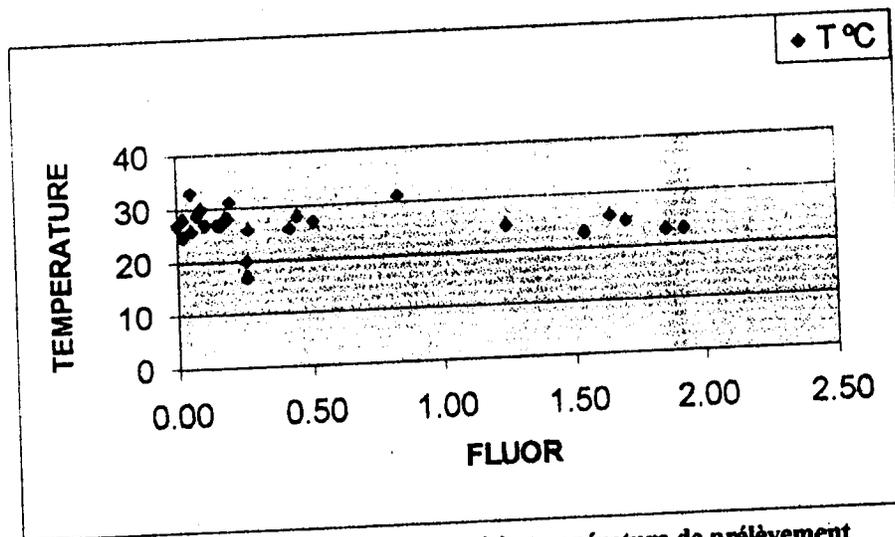


Fig. 4 : Variation du fluor par rapport à la température de prélèvement

En effet, les normes américaines (Desjardins, 1988) offrent un intervalle de variation de la moyenne annuelle des températures maximales quotidiennes pour la concentration du fluor dans l'eau potable. Cet intervalle permet de comprendre que même avec une concentration comme celle enregistrée pour Source Matelas (1.24 mg/L de fluor), la température peut provoquer des cas de fluorose.

Tableau 5.2.- CONCENTRATION D'IONS F⁻ DANS L'EAU POTABLE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE (NORMES AMERICAINES)

INTERVALLE DE TEMPERATURE (°C)	MINIMALE	OPTIMALE	MAXIMALE	LIMITE*
10.0 - 12.1	0.9	1.2	1.7	2.4
12.2 - 14.6	0.8	1.1	1.5	2.2
14.7 - 17.7	0.8	1.0	1.3	2.0
17.8 - 21.4	0.7	0.9	1.2	1.8
21.5 - 26.2	0.7	0.8	1.0	1.6
26.3 - 32.5	0.6	0.7	0.8	1.4

* Au-dessus de la valeur limite, l'ion fluorure est considéré comme un contaminant.

V.- DISCUSSION

Dans le cas où le phénomène observé au niveau de la plaine de l'Arcahaie aurait une explication géologique, il faudrait alors procéder à des prélèvements d'échantillons dans les autres parties du pays dominées par cette même formation géologique, en particulier dans le Plateau Central, afin de vérifier cette thèse selon laquelle la haute teneur en fluor des éléments des classes 2 et 3 est due à la présence de sels de fluor dans les formations sédimentaires. Il serait tout aussi indiqué de pousser les recherches en vue d'identifier ces sels et de voir si ces derniers ne sont présents que dans ces formations sédimentaires.

Dans le cas où l'on tenterait d'expliquer nos observations pour les classes 2 et 3 à partir de l'intrusion d'eau de mer, car tous ces points d'eau se situent à des distances plus ou moins proches du rivage, il faudrait une approche hydrogéologique donnant des indications sur les lignes de courant et le comportement de ces nappes par rapport à l'interface eau douce/eau salée, en dépit du fait que les conductivités observées ne sont pas en accord avec cette tentative d'explication.

Ne disposant d'aucune donnée de référence sur la concentration en fluorures de l'aquifère de la Plaine du Cul-de-Sac, cette étude ne saurait confirmer les observations faites par Barot en dépit du fait que la présence d'une certaine contamination saline découlant de la surexploitation des aquifères côtiers de cette plaine a été décelée. Il s'avère donc nécessaire d'établir un réseau de suivi qui permettra d'enregistrer toute variation de cette concentration.

CONCLUSION

ue
tte
) à
ire
ior
les
es
les

les
de
le
ons

VI.- CONCLUSION

la
la
ire
en
le
ait
ent

il
on

Les ressources en eau de la Région Hydrographique Centre-Sud de la République d'Haïti ont une concentration de fluor comprise entre 0.00 et 1.92 mg/L. Cette concentration est répartie de 0.00 à 0.99 mg/L dans les aquifères carbonatés et de 1.00 à 1.92mg/L dans les formations sédimentaires. Comparée à la variation de la température ambiante de la Région Centre-Sud d'Haïti (17 - 35 °C), les concentrations de fluor observées peuvent provoquer des problèmes de santé telles que la carie chez les personnes (particulièrement les enfants) vivant dans les zones dominées par les aquifères carbonatés et la fluorose chez les personnes vivant dans les régions dominées par les formations sédimentaires.

Pour prévenir les différents problèmes sanitaires que peuvent produire les différentes concentrations de fluor au niveau de la Région Hydrographique Centre-Sud de la République d'Haïti, il s'avère nécessaire d'adopter une démarche basée sur le traitement adéquat des modes d'approvisionnement en eau potable (AEP) des populations concernées.

Pour la Région Métropolitaine de Port-au-Prince, dont l'AEP est assuré par la Centrale Autonome Métropolitaine d'Eau Potable (CAMEP), il serait intéressant que la CAMEP introduise dans son système de production d'eau potable un processus unitaire pour la fluoruration de l'eau délivrée à la population. Ce processus consistera en l'addition de produits chimiques tels que l'hexafluorosilicate de sodium (Na_2SiF_6), le fluorure de sodium (NaF) ou l'acide hexafluorosilicique (H_2SiF_6) dans l'eau. Il pourrait être conçu à partir des techniques de transfert d'ions. Toutefois, il serait également intéressant de tenir compte de l'action de ces produits sur le pH.

En ce qui concerne les autres localités de la classe 1 dont l'AEP est individuel, il serait souhaitable que le LAQUE procède à l'élaboration d'une technique de fluoruration domestique de l'eau destinée à la consommation humaine.

Pour les éléments de la classe 2, il faudrait établir un système de suivi qui permettra de contrôler l'évolution de la concentration du fluor dans les ressources en eau de ces localités et de développer les techniques correctives nécessaires.

En ce qui concerne les éléments de la classe 3, il revient alors au LAQUE de développer une méthode de défluoruration domestique étant donné que ces localités ne disposent que de systèmes d'AEP individuels (forages, sources aménagées ou non aménagées, rivières). Cette méthode pourrait se baser sur l'utilisation de plantes comme coagulant naturel, telle que pratiquer en Inde et en Honduras, tout en faisant intervenir un processus d'aération et/ou un processus d'interéchange ionique.

En raison de l'importance sanitaire des ions fluorures dans l'eau de boisson et l'impact de ces derniers sur la santé humaine, il est recommandé de procéder à la détermination de la dose optimale de fluor que doit contenir l'eau de boisson consommée par la population de la Région Centre-Sud. La détermination de cette concentration optimale qui pourra être effectuée sur la base de l'hypothèse de Dean, nécessite la prise en compte de deux facteurs importants: en premier lieu la température, car la variation de cette dernière modifie le besoin en eau de l'organisme et par conséquent la quantité d'eau ingérée; et également l'acidité gastrique qui lorsqu'elle est élevée diminue l'élimination du fluor par les urines, ce qui augmente la quantité de fluor fixé dans l'organisme (Yam et al., 1995). Cependant, il faudra également évaluer, lors de la détermination de cette concentration cario-protectrice, l'apport des autres voies de pénétration du fluor dans l'organisme en vue de délimiter le seuil de défluoruration et de fluoruration de l'eau consommée par la population de la Région Centre-Sud d'Haïti.

VII.- BIBLIOGRAPHIE

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS, WATER ENVIRONMENT FEDERATION, *Standards Methods For The Examination of Water and WasteWater*, 19th Edition, USA, 1995.

BHATTACHARYA, P. et J. GUNNAR, *High fluoride Contents in Groundwater in India*, IRDCurrents, No. 12, Swedish University of Agricultural Sciences, August 1996, pp. 40-41.

BANTON, O. et L. M. BANGOY, *Hydrogéologie, Multiscience Environnementale des Eaux Souterraines*, Presses de l'Université du Québec, AUPELF, Québec, 1997.

BAROT, J. M., "Occurrence of salinity in Gujurat"; Reaching the Unreached: Challenges for the 21st Century, 22nd WEDC Conference, New Delhi, 1996, pp. 215-217.

BUTTERLIN, J., *Géologie Générale et Régionale de la République D'Haïti*, Travaux et Mémoires de l'Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Paris, 1960.

COLAS, R., R. CABAUD et P. VIVIER, *Dictionnaire Technique de l'Eau et des Questions Connexes*, GUY LE PRAT, Paris, 1968.

COMITE NATIONAL INTERMINISTERIEL - AGENDA 21, *Analyse du Secteur Eau Potable et Assainissement*, Vol. I et II, Haïti, 1996.

DESJARDINS, R., *Le Traitement des Eaux*, 2ème Edition, Ecole Polytechnique de Montréal, Canada, 1988.

-
- EMMANUEL, E. et A. AZAEL, *Les Eaux Usées et le Développement Economique en Haïti: Crises et Réponses*, Actes de la Conférence Internationale de l'UNESCO, 3-6 Juin 1998: L'eau Une Crise Imminente, UNESCO PHI, Ed. Zebidi, Technical Documents in Hydrology No. 18, Paris, 1998, pp. 279-285.
- FALKENMARK, M. et C. WIDSTRAND, *Population and Water Ressources: A Delicate Balance*, Population Bulletin, Population Reference Bureau, 1992, p. 47.
- FOLETTI, C. et al., *Exceso de Fluoro en Agua para Consumo Humano; En la búsqueda de alternativas para su tratamiento*, Memorias del XX Congreso Centroamericano y III Congreso Nacional de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, El Salvador, Noviembre 1997.
- GADELLE, F., *Le Monde Manquera-t-il Bientôt d'Eau?*, Sécheresse no. 1, vol. 6, France, Mars 1995.
- GONFIANTINI, R. et M. SIMONOT, *Etude Isotopique des Eaux Souterraines de la Plaine du Cul-de-Sac*, République d'Haïti, Projet des Nations-Unies, HAI/79/001, Haïti, 1987.
- HACH COMPANY, *Water Analysis HandBook*, 3rd Edition, USA, 1997.
- KRISHNAMOHAN, K. and MUTHUKRISHNAN, "*Fluoride Pollution of Ground Water*", Pre-prints of the 22nd WEDC Conference, Reaching The Unreached: Challenges for the 21st Century, Water Engineering and Development Centre and Institute of Public Health Engineers, India, 1996, pp. 282 - 283.

LANOIX, J. N. et M. L. ROY, *Manuel du Technicien Sanitaire*, OMS, Genève, 1976, pp. 21-22.

NELSON, J., *Cours de Nutrition et Métabolisme*, Université Quisqueya (UniQ), Port-au-Prince, Haïti, 1999.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS), *Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson: Critères d'Hygiène et Documentation à l'Appui*, Vol. 2, Genève, 1986, p. 102-106.

PANKRATZ, T. M., *Concise Dictionary of Environmental Engineering*, CRC, Lewis Publishers, 1996.

PNUD, *Disponibilité en Eau et Adéquation aux Besoins: Développement et Gestion des Ressources en Eau*, Vol. IV, Projet HAI/86/003, New-York, 1991.

RAJIV GANDHI NATIONAL DRINKING WATER MISSION, *Prévention and Control of Fluorosis, Health aspects*, Volume I et II, New Delhi, Inde, 1993.

RAMADE, F., *Dictionnaire Encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de l'Environnement*, Ediscience International, Paris, 1993, p. 267.

SAWYER, C. N. and P. McCARTY, *Chemistry for Sanitary Engineers*, McGraw-Hill Series in Sanitary Science and water Engineering, 2nd Edition, USA, 1967.

SAWYER, C. N., P. N. McCARTY and G. F. PARKIN, *McGraw-Hill Series in Sanitary Science and water Engineering*, 3rd Edition, USA, 1997.

SUSHEELA, A. K., *Prevention and Control of Fluorosis*, Water Mission, Sub-Mission on Control of Fluorosis, National Technology Mission on Drinking Water, New Delhi, 1991.

TRILLER, M., *Le Fluor, Agent Préventif de la Maladie Carieuse: mécanisme, sources, risques*, Pédiatrie au Quotidien, Arch Pédiatr, Paris, France, 1998, pp. 1149-52.

WATER ENVIRONMENT & TECHNOLOGY, "*Dental Problems in New York Town Linked to Drinking Water*", Water Line, Bubbling Away Odors, Water Environmen Federation, Vol. 11, No. 2, February 1999, p. 14.

WATER RESOURCE CHARACTERIZATION DSS - NCSU WQL - pH, <http://h2osparc.wq.ncsu.edu/info/ph.html>, Juin, 1999.

YAM, A. A. et al., *Détermination de la Dose Optimale de Fluor dans l'Eau de Boisson au Sénégal*, Techniques Sciences Méthodes (TSM), Génie Urbain Génie Rural, No. 6, 1995, pp. 488 - 490.

VII.- ANNEXES

A.- CODIFICATION DES SITES DE PRELEVEMENT

SITES DE PRELEVEMENT	CODE	k en $\mu\text{S/cm}$	F ⁻ en mg/L	pH	STD en mg/L	T °C
Luly	LU	602	1.54	6.91	316	27
Williamson	WI	585	1.64	6.80	304	25
Correfour Damier	CD	1037	0.42	6.59	523	28
Rivière Bretelle	RB	1191	0.83	7.99	597	33
Source Matelas	SM	611	1.24	6.82	302	26
Titanyen	TI	852	1.70	6.78	430	29
Lafiteau	LA	1001	1.92	6.93	498	30
Noailles	NO	665	0.08	6.95	332	27
Savanne Blond	SB	624	0.09	6.90	314	27
Michaud	MI	622	0.26	6.84	312	27
Les puits d'eau	LPE	1484	0.51	6.75	741	28
D'Adesky	DA	1008	0.27	6.80	505	28
Baron	BA	1025	0.45	6.71	515	28
Morne Bateau	MB	1607	1.85	6.76	799	31
Thomassin 42	TH	292	0.15	7.16	157	20
Kenscoff	KE	353	0.00	7.19	180	17
Brache	BR	668	0.02	6.83	351	26
Darbonne	DA	520	0.02	6.91	265	26
Flon	FL	699	0.05	6.83	367	28
Masson	MA	515	0.20	6.83	257	27
Rivière Rouyonne	RR	451	0.18	7.71	226	31
Robinet UniQ (CAMEP)	RU	470	0.19	7.02	235	25
Tunnel Diquini (CAMEP)	TD	460	0.19	6.70	290	23
Corossol (CAMEP)	CO	360	0.11	6.80	189	26
Leclerc (CAMEP)	LE	560	0.17	6.75	280	25
Turgeau (CAMEP)	TU	400	0.26	7.25	199	23
Tête de l'eau (CAMEP)	TDE	401	0.05	6.95	202	23

B.- RELATION ENTRE LE FLUOR ET LA TEMPERATURE DE PRELEVEMENT A L'INTERIEUR DES CLASSES

CLASSE	F en mg/L	T °C
1	0.00	27
1	0.02	25
1	0.02	28
1	0.05	33
1	0.05	26
1	0.08	29
1	0.09	30
1	0.11	27
1	0.15	27
1	0.17	27
1	0.18	28
1	0.19	28
1	0.19	28
1	0.20	31
1	0.26	20
1	0.26	17
1	0.27	26
1	0.42	26
1	0.45	28
1	0.51	27
1	0.83	31
2	1.24	25
3	1.54	23
3	1.64	26
3	1.76	27
3	1.85	23
3	1.92	23

C.- RELATION ENTRE LE FLUOR ET LA CONDUCTIVITE A
L'INTERIEUR DES CLASSES

F ⁻ en mg/L	k en μ S/cm	CLASSE
0.00	353	1
0.02	668	1
0.02	520	1
0.05	699	1
0.05	401	1
0.08	665	1
0.09	624	1
0.11	360	1
0.15	292	1
0.17	560	1
0.18	451	1
0.19	470	1
0.19	460	1
0.20	515	1
0.26	622	1
0.26	400	1
0.27	1008	1
0.42	1037	1
0.45	1025	1
0.51	1484	1
0.83	1191	1
1.24	611	2
1.54	602	3
1.64	585	3
1.70	852	3
1.85	1607	3
1.92	1001	3

D.- FREQUENCE DES CLASSES DANS LA DISTRIBUTION

CLASSE	DÉNOMBREMENT	FREQUENCE RELATIVE	FREQUENCE ABSOLUE
CLASSE 1	21	77%	77%
CLASSE 2	1	4%	81%
CLASSE 3	5	19%	100%
TOTAL	27	100%	

**E.- RELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE ET LES SOLIDES TOTAUX
DISSOUS**

k en $\mu\text{S/cm}$	STD en mg/L	FACTEUR
292	157	0.54
353	180	0.51
360	189	0.53
400	199	0.50
401	202	0.50
451	226	0.50
460	290	0.63
470	235	0.50
515	257	0.50
520	265	0.51
560	280	0.50
585	304	0.52
602	316	0.52
611	302	0.49
622	312	0.50
624	314	0.50
665	332	0.50
668	351	0.53
699	367	0.53
852	430	0.50
1001	498	0.50
1008	505	0.50
1025	515	0.50
1037	523	0.50
1191	597	0.50
1484	741	0.50
1607	799	0.50