

PLAN GENERAL

INTRODUCTION	4
PREMIERE PARTIE : REVUE DE LA BIBLIOGRAPHIE	
Chapitre I : Etude du fluor et de ses dérivés	
I – Historique	9
II - Propriétés physico-chimiques du fluor	9
II .1- Le fluor	9
II .2- Les dérivés du fluor	10
III - Sources d'apport de fluor chez l'homme	10
IV - Le fluor dans les eaux souterraines du Sénégal	10
Chapitre II : Les technologies de défluoruration des eaux potables	
I - Procédés d'abattement des fluorures	13
I .1- Les méthodes physiques de filtration sur membrane	13
I .2- Les méthodes impliquant l'usage d'un champ électrique	13
I .3- Les procédés de coagulation, floculation, et précipitation chimique	13
I .4- Les procédés d'adsorption	13
II - Adsorption sur des cendres d'os	13
Chapitre III : Réalisation du four et du filtre	
I - Projet du four	16
II - Réalisation du four	20
III - Réalisation du filtre	27
III .1- Préparation du seau	27
III .2- Préparation de la cendre	29
III .3- Disposition de la cendre dans le filtre	29
DEUXIEME PARTIE : TRAVAUX PERSONNELS	
Chapitre IV : Procédures expérimentales	
I – Présentation de la zone d'étude de DIOURBEL	34
I.1- Localisation de la zone	34
I.2- Limites de la zone	34
I.3- Le climat	34

I.4- Caractéristiques démographiques, socioculturelles et économiques	34
I.5- Les ressources hydrogéologiques	34
I.6- Les points d'eau	36
II - Procédure de calcination	37
III - Procédure de filtration	38
Chapitre V: Analyse des résultats	
I - Résultats globaux de la calcination	41
II - Résultats globaux de la filtration	43
II .1- Analyse des points d'eau de DIOURBEL (PATAR)	43
II .2- Analyse de l'eau filtrée	48
III .2.a- Paramètres organoleptiques	49
III .2.b-Paramètres physico-chimiques	49
III .2.c- Substances indésirables	50
III .2.d- Substances toxiques	50
III .2.e- Paramètres microbiologiques	50
Chapitre VI : Discussion et commentaires	54
Chapitre VII : Conclusions et recommandations	57
BIBLIOGRAPHIE	60

INTRODUCTION

L'eau constitue un nutriment essentiel pour l'homme car indispensable au bon fonctionnement de l'organisme humain. Cependant, aucune des eaux à la disposition de l'homme n'est absolument pure en l'état. Ces eaux renferment toutes, à des concentrations plus ou moins élevées, de multiples substances dissoutes ou en suspension qui peuvent être bénéfiques ou nuisibles au consommateur : calcium, potassium, magnésium, sodium, manganèse, strontium, baryum, sulfates, chlorures, etc. Les différentes concentrations de ces différents éléments, ou de ceux parmi eux, les plus importants pour la santé de l'homme, constituent les critères de potabilité d'abord, ensuite de qualité des eaux de boisson ou alors des critères de dégradation qui imposent un traitement de l'eau.

Or, l'effet d'une substance dépend de sa dose. PARACELSE (1) disait au XVI^{ème} siècle déjà : “**toutes les substances sont des poisons, sans exception. C'est la dose qui fait le poison ou le remède.**”

La plupart des eaux potables, sinon toutes, renferment des quantités de fluorures, pouvant être toxiques ou bénéfiques pour l'homme.

Ainsi, l'eau de DIOURBEL et particulièrement celle de PATAR ayant une dose excessive (de 2 à 8 mg/L F⁻) en fluorure et qui est à l'origine de certaines maladies à savoir la fluorose dentaire et osseuse confirme cette assertion. Il convient donc de défluorurer cette eau.

Il existe plusieurs méthodes de défluoruration qui utilisent des procédés physiques, chimiques ou physico-chimiques. Il est important pour le choix de la méthode à utiliser de tenir compte des réalités du milieu (site où est réalisée la défluoruration) comme le contexte social et économique ainsi que le contexte technique ou technologique.

Ainsi, dans les pays en développement comme le Sénégal, des facteurs importants à prendre en compte sont : la faisabilité en termes de technologie, de coût et d'échelle d'application (échelle domestique ou site de traitement centralisé). Pour des solutions efficaces et durables, ces éléments deviennent essentiels.

L'étude et la mise au point d'une technologie appropriée pour la défluoruration des eaux de DIOURBEL par filtration sur des cendres d'os ont fait l'objet de notre travail dans cette zone qui est caractérisée par :

- 1)-une teneur en fluorure de l'eau variant de 2 à 8 mg/L
- 2)-un contexte social et économique de pays pauvre en développement nécessitant des méthodes à bas coûts

Nos objectifs sont :

- 1)-de montrer la nécessité de défluorurer les eaux de DIOURBEL
- 2)-de mettre au point une technologie de traitement à l'échelle de sites domestiques et qui peut être directement gérée par les populations locales.

Notre travail se déroulera selon le schéma suivant :

PREMIERE PARTIE : REVUE DE LA BIBLIOGRAPHIE

Chapitre I : ETUDE DU FLUOR ET DE SES DERIVES

I- Historique

II- Propriétés physico-chimiques du fluor

III- Sources d'apport en fluor chez l'homme

IV- Le fluor dans les eaux souterraines du SENEGAL

Chapitre II : LES TECHNOLOGIES DE DEFLUORURATION DES EAUX POTABLES

I- Procédés d'abattement des fluorures

II- Adsorption sur des cendres d'os

Chapitre III : REALISATION DU FOUR ET DU FILTRE

I- Projet du four

II- Réalisation du four

III- Réalisation du filtre

DEUXIEME PARTIE : TRAVAUX PERSONNELS

Chapitre IV : PROCEDURES EXPERIMENTALES

I- Présentation de la zone d'étude

II- Procédure de calcination

III- Procédure de filtration

Chapitre V: ANALYSES DES RESULTATS

I- Résultats globaux de la calcination

II- Résultats globaux de la filtration

III- Analyse de l'eau

Chapitre VI : DISCUSSION - COMMENTAIRES

Chapitre VII: CONCLUSIONS - RECOMMANDATIONS

BIBLIOGRAPHIE

PREMIERE PARTIE: REVUE DE LA BILIOGRAPHIE

CHAPITRE I : ETUDE DU FLUOR ET DE SES DERIVES

I. HISTORIQUE DU FLUOR

L'attaque de la cryolite par l'acide sulfurique dégage un produit gazeux dont SCHWANKARDT (2) (Nuremberg) se servit pour la gravure sur verre en 1760.

SCHEELE (3), (Suède) le premier étudie ce produit gazeux : en 1771 il en prépare une solution aqueuse sans toutefois pouvoir l'isoler, l'acide fluorhydrique obtenu n'est pas pur : il contient de l'acide silicique.

Il faut attendre 1783 pour que WENZEL (4) obtienne de l'acide fluorhydrique fumant et exempt de silice grâce à la préparation dans un appareil approprié.

GAY-LUSSAC et THENARD (5) obtiennent à leur tour un acide en 1810 en chauffant la fluorine dans un récipient en plomb : mais il n'est pas réellement anhydre.

Le produit chimique résultant de l'union de l'hydrogène avec un élément proche du chlore fut appelé « fluor » en 1813 par DAVY. (6)

FREMY (7) pour la première fois en 1850, prépare un acide fluorhydrique véritablement privé d'eau.

MOISSON (8) (France) Prix Nobel de chimie en 1906, isole enfin cet élément chimique, qui tend à se recombinaison avec la plupart des matériaux usuels au moyen de la méthode électrolytique.

II. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU FLUOR

1. Le fluor

Le fluor et les fluorures sont déjà universellement présents dans les milieux ambiants. Ils prennent de plus en plus d'importance dans l'environnement du fait de leur utilisation croissante dans l'industrie.

Le fluor, de symbole F^- et de poids atomique 19, est le premier élément d'une famille de corps chimique appelés halogènes, à côté du chlore, du brome et de l'iode. Cette position implique d'emblée une grande réactivité chimique et biologique. A la température ambiante, le fluor est un gaz de couleur vert-jaune pâle, extrêmement toxique et le plus fortement électronégatif. Il est donc tout à fait exceptionnel de le trouver à l'état élémentaire dans la nature.

Le fluor se combine directement, à température ordinaire ou à température plus élevée, à tous les éléments à l'exception de l'oxygène et de l'azote : il réagit donc énergétiquement sur la plupart des composés organiques.

Fluor et métaux : les ions fluorures ont une forte tendance à constituer des complexes avec les ions métalliques lourds en solution aqueuse (Aluminium, Fer, Manganèse, Zirconium, Thorium).

La toxicité potentielle des fluorures minéraux découle principalement de cette formation de complexes et de la formation de fluorures insolubles.

Certains fluorures à point de fusion élevée, par exemple d'aluminium, ne sont jamais entièrement décomposés, même par l'acide sulfurique bouillant.

Fluor et métalloïdes : le fluor et le fluorure d'hydrogène réagissent sur les métalloïdes en donnant naissance à des composés covalents très volatils dont le point de fusion est bas. (9)

2. Les dérivés du fluor

Élément assez répandu dans la nature sous forme de combinaisons diverses, le fluor est un élément constant des émanations du noyau terrestre, et qui, par la suite, s'est fixé sur un grand nombre de rochers et de minéraux.

On le rencontre surtout à l'état de fluorosilicate et fluorures divers, principalement sous forme de fluorine CaF_2 , de cryolite Na_3AlF_6 et fluoro-apatite $\text{CaF}_2, 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ qui représentent les principaux minéraux fluorés et sont des dérivés du fluor. (10) Ceux-ci sont très nombreux et se répartissent en dérivés inorganiques et organiques. (11)

III. LES SOURCES D'APPORT EN FLUOR CHEZ L'HOMME

Les roches, le sol, l'eau, les plantes et les animaux renferment tous des fluorures, à des concentrations fort variées. Ce fait ne tient qu'à la très forte réactivité du fluor qui se combine avec la presque totalité des éléments pour former des fluorures minéraux ou organiques.

Le fluor sous forme de fluorure, occupe la treizième place par ordre d'abondance parmi les principaux éléments de l'écorce terrestre. Il n'est donc pas surprenant de trouver d'importantes quantités de fluorures dans l'eau de mer, dans les sources d'eau potable, dans des gîtes minéraux (fluorine, cryolite et fluoro-apatite) et dans les poussières superficielles au voisinage de certains de ces gisements. (12)

IV. LE FLUOR DANS LES EAUX SOUTERRAINES DU SENEGAL

Une région géographique peut naturellement avoir du fluor dans ses eaux de boisson. De même, on peut aussi rajouter artificiellement du fluor dans les eaux de boisson d'une région qui en est dépourvue.

Dans les deux cas, il y a pour chaque eau de boisson un seuil en fluor à ne pas dépasser, au risque d'être toxique pour la consommation humaine

Les eaux souterraines comportant des teneurs en fluor supérieures aux normes admissibles alors qu'elles représentent les seuls moyens d'approvisionnement en eau potable.

Les eaux de surfaces, qui généralement n'excèdent pas 0,3 mg/l de fluorures, sont polluées par d'autres sources, lorsque celles-ci se trouvent proches de rochers volcaniques contenant une concentration en fluorures extrêmement élevée ($> 1,0 \text{ mg/l}$).

La pollution par les poussières fluorures près des zones de gisements.

Ajout par l'Homme (Pour les Etats Unis et le Canada)

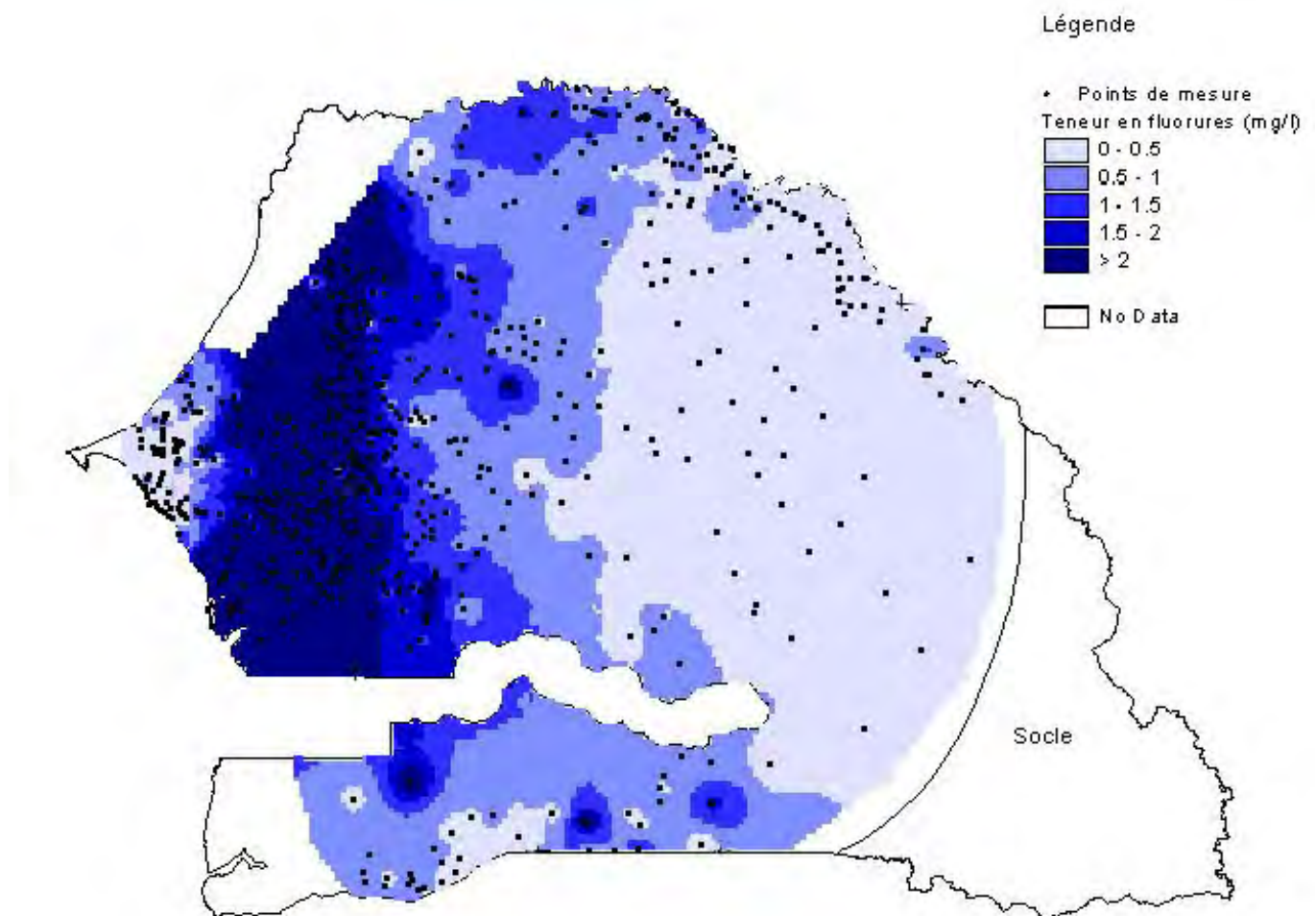
Origine du fluor

L'examen du cadre physique montre qu'il n'existe pas d'apport de phosphate dans le bassin par les activités humaines. L'utilisation d'engrais phosphatés est très limitée dans l'agriculture et il n'y a pas de rejets de produits phosphatés par des usines.

L'étude géologique indique des sources potentielles de fluor: il s'agit notamment des niveaux phosphatés de la base de l'Eocène inférieur et des minéralisations diffuses de phosphate dans ce même étage. Dans la nappe Quaternaire, on trouve du phosphate remanié susceptible d'apporter du fluor.

Ce sont les eaux des puits captant l'Eocène qui sont les plus fortement fluorurées. Dans la nappe du Continental Terminal et du Quaternaire, les eaux sont généralement moins minéralisées en fluor. Des phénomènes particuliers tels que le recreusement des puits, les échanges entre aquifères superposés ou l'intensité de l'exploitation explique parfois les valeurs élevées en fluor. (13)

Les teneurs en Fluorures dans le bassin sédimentaire du Sénégal



CHAPITRE II : LES TECHNOLOGIES DE DEFLUORURATION DES EAUX POTABLES

Ce chapitre passe en revue les différentes méthodes de défluoruration des eaux en insistant particulièrement sur les procédés d'adsorption sur des cendres d'os.

I. PROCEDES D'ABATTEMENT DES FLUORURES

Les technologies de défluoruration des eaux peuvent être classées en fonction de la nature du processus mis en branle pour l'abattement, on a ainsi :

1) Les méthodes physiques de filtration sur membrane

- osmose inverse
- nanofiltration

2) Les méthodes impliquant l'usage d'un champ électrique

- électrodialyse

3) Les Procédés de coagulation, floculation et précipitation chimique

- adoucissement avec la chaux
- précipitation par des sels d'aluminium

4) Les Procédés d'adsorption

- adsorption sur Alumine active
- adsorption sur des argiles et sols
- adsorption sur des matériaux latéritiques
- adsorption sur des cendres de combustion
- adsorption sur des cendres d'os

II. ADSORPTION SUR DES CENDRES D'OS

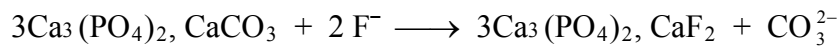
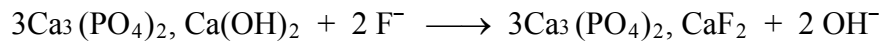
On sait que l'origine des fluoroses est à reliée à la grande affinité des dents et plus généralement des os pour les fluorures. Cela peut suggérer l'utilisation des os comme un moyen (un matériel) efficace pour la rétention des fluorures qui polluent les eaux. La présence de matière organique présente sur les os peut conférer un mauvais goût et une coloration défavorable, en plus de la charge bactérienne éventuelle qu'elle peut véhiculer ; tout cela fait que les os ne peuvent pas être utilisés tels quels.

Ils doivent donc être soumis à une calcination adéquate pour éliminer les matières grasses et donner de la cendre d'os qui est une matière dont la capacité d'adsorption des fluorures a été largement démontrée dans de nombreuses études et applications sur le terrain.

Cette capacité de rétention des fluorures est liée à la structure du matériau (réf. union européenne) : il s'agit en fait d'un milieu granulaire très poreux, ce qui est une qualité importante pour les processus d'adsorption (réf. Mémoire DEA de Dame BOP). De même, la composition chimique joue un rôle essentiel ; les os sont constitués principalement d'hydroxyapatite

[$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$], qui possède 2 groupes hydroxyle qui, au contact de l'eau fluorée seront substitués par des fluorures (F^-). Un phénomène analogue intervient quand il s'agit d'apatite

[$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaCO_3] mais, l'échange se fait entre les fluorures et le carbonate CO_3^{2-} ; on a les réactions suivantes :



En plus de cela, les applications de la cendre d'os au traitement des eaux, ont révélé la capacité, dans certaines limites, de la cendre d'os, d'éliminer un large spectre de polluants parmi lesquels, ceux qui confèrent à l'eau, un mauvais goût, une coloration et une mauvaise odeur. Toutes ces propriétés utiles que possède la cendre d'os, sont cependant strictement liées à l'exécution correcte de la phase de calcination des os. Une mauvaise calcination conduite en fait à un produit de faible capacité défluorurante et/ou à une détérioration de la qualité de l'eau traitée qui tend à avoir une coloration jaunâtre. (14)

En fait pour concevoir un système efficace, il faut tenir compte de l'ensemble des aspects technico-économiques, sociaux et culturels des populations locales intéressés par les problèmes des eaux hyperfluorées. Ainsi les pays en voix de développement comme le Sénégal, des facteurs importants à prendre en compte sont : la faisabilité en termes de technologie et de coût ; l'échelle d'application (échelle domestique ou site de traitement centralisé). Par conséquent, nous avons choisie une technologie appropriée, simple et à bas coût, basée sur la filtration des eaux fluorées sur des cendres d'os calcinés.

CHAPITRE III : REALISATION DU FOUR ET DU FILTRE

I. PROJET DU FOUR

On a reporté sur les figures 1.1 et 1.2 le projet de four. Pour chaque partie du four, on a listé les différents composants avec leurs dimensions relatives et les quantités.

Fondation en ciment et béton: dimensions 130x130x20 cm.

-Armature en fer de diamètre Φ 10: il s'agit d'une "cage" constituée de 6 fers en acier de diamètre 10 mm et de longueur 300 cm, pliés de sorte à former un rectangle de dimensions 125x17 cm, auquel sont fixés orthogonalement 12 fers (6 au-dessus et 6 en dessous) en acier de diamètre 10 mm et de longueur 127 cm. L'armature est ensuite noyée dans la fondation en ciment.

-Baril d'huile: 1 baril de diamètre 60 cm et de hauteur 86 cm constitue la chambre de combustion où seront chargés les os (60-80 kg environ). La base supérieure sera taillée de sorte à pouvoir réaliser un couvercle ouvrable. Le baril est noyé dans la fondation en ciment et présente, en correspondance de la base inférieure et du couvercle supérieur, deux trous de 12 cm de diamètre pour l'entrée de l'air et la sortie des fumées.

-Tubes d'entrée de l'air primaire: 2 tubes en ferrozinc de diamètre 3/4 de pouce et de longueur 70 cm. Les tubes sont positionnés dans la fondation de ciment et dotés d'un système pour réguler l'air qui entre (par une valve ou un cylindre de diamètre inférieur qui vient s'insérer dans le tube pour réduire l'ouverture, ou bien un bouchon troué).

-Tube d'entrée de l'air secondaire: 2 tubes en ferrozinc de diamètre 3/4 de pouce et de longueurs respectives 75 cm (pour le premier trait inséré dans la fondation en ciment) et 60 cm (pour le second trait qui sort du tuyau de cheminée), sont assemblés en forme de L au moyen de fils de raccordement. Le tube est doté d'un système pour régler l'entrée de l'air (par une valve ou un cylindre de diamètre inférieur inséré dans le tube pour réduire l'ouverture, ou alors un bouchon perforé).

-Entonnoir perforé: 1 entonnoir en acier inox si possible de diamètre 25 cm. Une fois perforé avec des trous de 1 cm de diamètre, il servira à la diffusion de l'air primaire de manière uniforme à travers le charbon.

-La Cheminée: 1 tuyau de cheminée pour les fumées de diamètre 12 cm et de hauteur 100 cm environ. La cheminée sera recourbée au sommet pour éviter une éventuelle entrée d'eau en cas de pluie.

-Tôle ondulée: Il faut avoir 5 feuilles de tôle ondulée en ferrozinc, de côtés 1x1 m et d'épaisseur 1 mm. Les 4 feuilles sont pliées et assemblées former un cylindre de 100 cm de diamètre et 1 m de hauteur, et qui sera positionné de manière concentrique au baril d'huile. L'espace de 20 cm entre la tôle et le baril sera rempli avec un matériau isolant en l'occurrence du sable. La feuille de tôle

restante taillée, pliée et fermée de sorte à former un cylindre de 24 cm de diamètre et 40 cm de hauteur, qui sera positionné de manière concentrique à la cheminée.

-Isolation thermique par le Sable: Il faut 0,6m³ environ de sable, pour l'isolation thermique du four. Le sable sera versé dans l'espace entre le baril et la tôle concentriques et, une fois que le four est fermé, on mettra du sable au-dessus du couvercle du baril.

-Les Tubes pour introduire les sondes de température: Il faut 3 tubes en ferrozinc de diamètre 3/8 de pouce. Les 2 tubes ont une longueur de 25cm et permettent de contrôler la température des os; un tube est positionné à une hauteur de 18 cm du fond du baril, l'autre à 68 cm. Le troisième tube d'une longueur de 50 cm, qui permet de contrôler la température des fumées à la sortie de la cheminée est positionné à 68 cm du fond du baril.

-La Grille en fer de diamètre Φ 8: Il faut 16 fers en acier de diamètre 8 mm et de longueur 1 m pliés comme indiqué sur le dessin, auxquels on fixe, dans la partie basse, 16 autres fers de diamètre 8 mm et de longueur 30 cm. La grille joue le rôle de conduit de fumée et de système de séparation entre le charbon et les os.

Fig.1.1 Projet du four

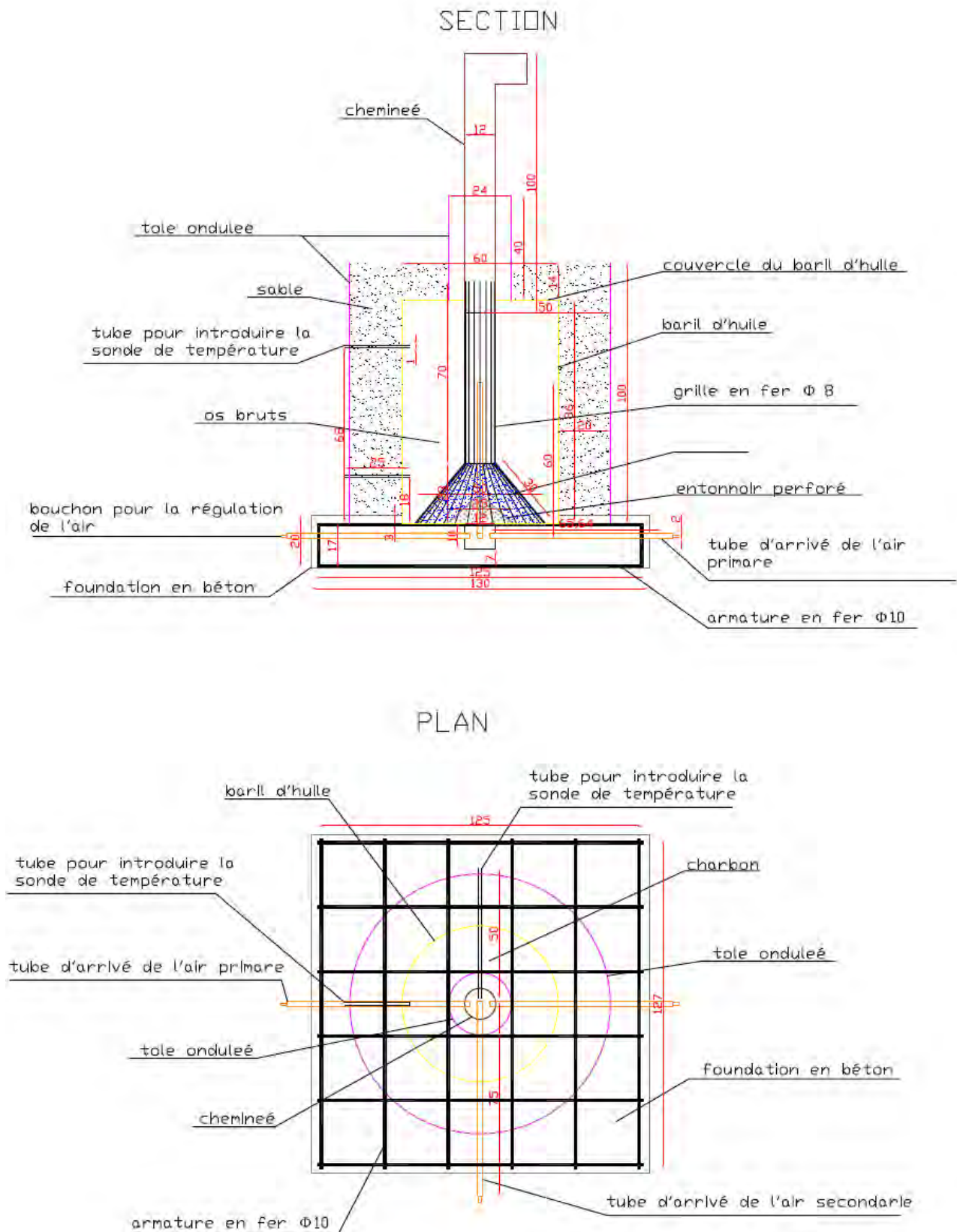
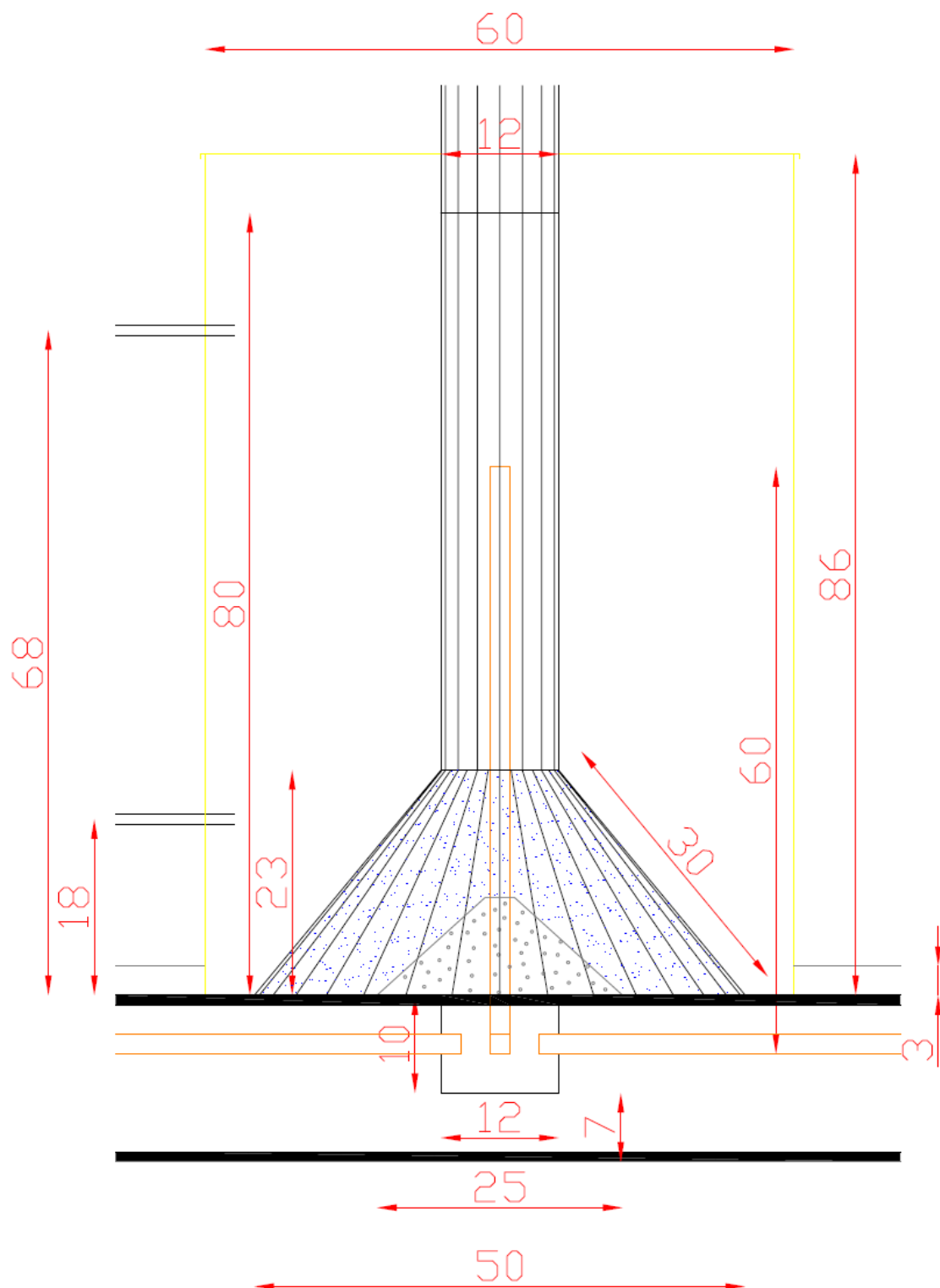


Fig. 1.2 – dimensions à l'intérieur du four



II. REALISATION DU FOUR

La réalisation du four est articulée selon les phases suivantes :

- la réalisation du caisson pour le coulage du béton ;
- la préparation et le réglage de l'armature pour la fondation en béton armé;
- la préparation et le fixage du baril;
- la réalisation de la couche d'isolation;
- le positionnement des tubes pour l'introduction de la sonde de température;
- le coulage du béton à l'intérieur du caisson;
- la réalisation de la grille de séparation charbon/os et son positionnement dans le baril d'huile.

Pour chaque phase, il est décrit dans la suite les opérations effectuées.

Réalisation du caisson pour le coulage du béton

Sur une table de bois de côtés 150x150 cm, on fixe par des vis des planches de 20 cm de hauteur et de longueur 130-135 cm, de sorte à former un caisson de dimensions internes 130x130x20 cm.

Par la suite on réalise une petite caisse de dimensions internes 12x12x10 cm; cette petite caisse sera perforée au centre sur 3 de ces faces latérales par des trous de diamètre 3/4 pouce et sera positionnée exactement au centre du grand caisson, mais il sera soulevé d'environ 5 cm par rapport au fond du grand caisson (Fig. 2.1).

On perce 3 trous, toujours de diamètre de l'ordre de 3/4 pouces, au centre des 3 faces latérales du grand caisson positionnés frontalement aux trous de la petite caisse.

On peut ainsi insérer les 3 tubes pour l'entrée de l'air.

A l'intérieur de la boîte centrale, la confluence des tubes se présente comme dans la Fig. 2.2.



Fig. 2.1 – positionnement de la petite caisse au centre du caisson, à une hauteur de 5 cm par rapport au fond

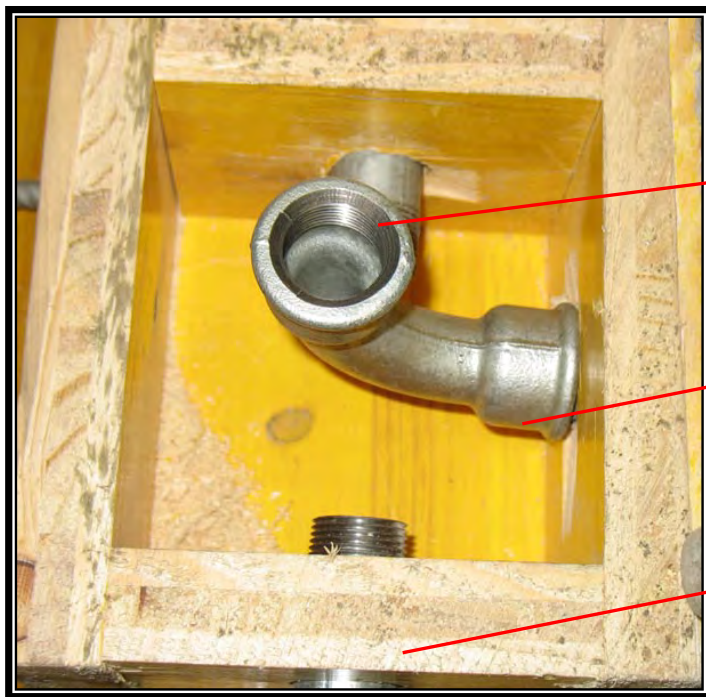


Fig. 2.2 - confluence des tubes de l'air primaire et secondaire a l'intérieur de la boîte.

Tube de l'air primaire

Raccordement coudé pour le tube de l'air secondaire

Tube de l'air primaire

Préparation et organisation de l'armature pour la fondation en béton armé

On prend 6 barres d'acier d'environ 300 cm de longueur et on les plie de sorte à former un rectangle de côtés 125x17 cm.

On coupe 12 autres barres de longueur environ 127cm.

Les 6 barres pliées seront positionnées à une distance réciproque constante alors que, orthogonalement à ces barres, on fixe les autres 12 barres (6 au-dessus et 6 en dessous) de manière à former une cage. Tout cela fixé par du fil de fer.

On réalise également 4 "manches" (utiles pour soulever le four) en pliant 4 barres d'acier. Les "manches" sont disposés aux extrémités du caisson, et sont liés aux autres barres d'acier par du fil de fer.

Sur la Fig. 2.3 on voit l'armature complète.



Fig. 2.3 –l'armature complète

Successivement, on fixe à l'armature les tubes d'arrivée de l'air, en vérifiant qu'ils sont horizontaux mais surtout fermes et stables. On utilise du fil de fer pour les relier aux barres d'acier, alors qu'on utilise des vis pour les fixer sur les faces du caisson (Fig. 2.4).



Fig. 2.4 - vis utilisée pour fixer les tubes de l'air aux parois du caisson

De même la caisse centrale (où confluent les tubes d'air) est fixée à l'armature de sorte qu'elle demeure surélevée d'environ 5 cm du fond du caisson. Comme précédemment, on utilise des vis et du fil de fer.

Préparation et fixation du baril

On prend un baril d'huile et on le retourne; sur le fond on délimite le centre et on perce un trou carré avec les mêmes dimensions (côté de 12 cm) de la boîte centrale insérée dans le caisson.

On retourne de nouveau le baril et on l'appuie au centre du caisson; le trou carré réalisé précédemment doit être en correspondance avec la boîte insérée dans le caisson, et où confluent les tubes de l'air (Fig. 2.5).

Avec du fil de fer on fixe le baril aux barres d'acier de l'armature (Fig. 2.6) précisément sur le bord et non sur les parois, de sorte à ne pas créer d'ouverture vers l'intérieur du baril.



Fig. 2.5 – l'intérieur du baril vu du dessus



Fig. 2.6 – fixation du baril à l'armature par du fil de fer

Réalisation de la couche d'isolation

A partir des 4 feuilles tôle ondulée de dimension 1x1 m on réalise un cylindre de 100 cm de diamètre et de 1 m de hauteur. Pour cela, on assemble les feuilles par des rivets, en les superposant partiellement, de manière à former une feuille unique qui est pliée et refermée.

On place les feuilles de tôles fermées formant un cylindre, sur le soubassement de manière concentrique au baril d'huile et à une distance réciproque de 20 cm. Avec des fils de fer on fixe les feuilles aux barres de l'armature, une fois réalisée des trous dans la partie inférieure des feuilles (Fig. 2.7).

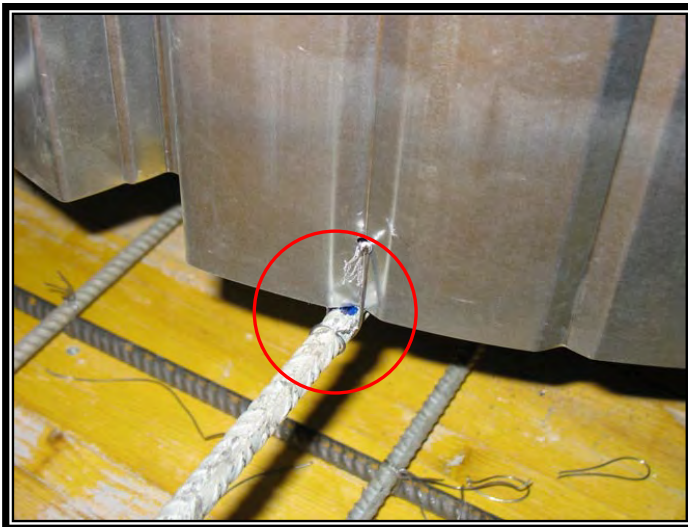


Fig. 2.7 – fixation des feuilles de tôle à l'armature par du fil de fer

Positionnement des tubes pour l'introduction de la sonde de température

On perce 3 trous de diamètre 3/8 de pouce, sur le baril et sur la couche d'isolation, dont 2 à une hauteur de 68 cm du fond du baril et 1 à une hauteur de 18 cm. En correspondance de ces trous on positionne les tubes pour l'introduction de la sonde de température (Fig. 2.8).

Fig. 2.8 – tube pour l'introduction de la sonde de température



● Tube pour mesurer la température des os positionné à 68cm du fond du baril

● Tube pour mesurer la température des fumées à la sortie, positionné à 68cm du Fond du baril

● Tube pour mesurer la température des os positionné à 18cm du fond du baril

Coulage du béton à l'intérieur du caisson

On prépare le mélange (béton, ciment, liant et eau) nécessaire pour 180 L de coulage. Sa place le mélange encore liquide dans le caisson, en faisant attention à ce que le béton ne remplisse pas l'espace entre la tôle et le baril (Fig. 2.9). Le baril et la tôle doivent en fait être noyés dans le béton lui même.



Fig. 2.9 – vue du béton présent entre la tôle et le baril d'huile

Réalisation de la grille de séparation charbon/os et son positionnement dans le baril d'huile

On coupe 16 fers en acier de longueur 1 m et de diamètre 8mm; ils sont ensuite pliés légèrement à une distance de 70 cm d'une extrémité en utilisant un système capable de les soutenir.

Pour rendre la structure rigide, on soude deux anneaux circulaires (diamètres internes 12 cm) avec les fers, un en correspondance avec le pliage, l'autre à une hauteur de 80 cm du fond (Fig. 2.10).



Fig. 2.10 – particularités de la soudure

Enfin, dans la partie basse de la grille ainsi obtenue, on insère, entre un fer et l'autre, 16 autres fers ; On réalise successivement, une série de trous de 1 cm sur un entonnoir en acier inox de 25 cm de diamètre dont on coupe le tube terminal si nécessaire. Ainsi on positionne l'entonnoir sur le fond du baril comme sur la Fig. 2.11 et, pour terminer, la grille de séparation charbon/os comme sur la Fig. 2.12.

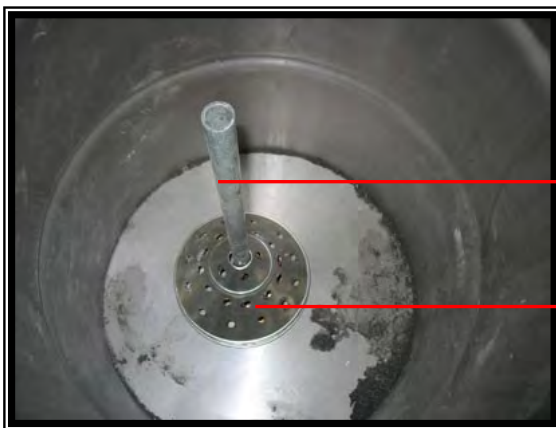


Fig. 2.11 – positionnement de l'entonnoir perforé à l'intérieur du baril d'huile

Tube de l'air secondaire

Entonnoir en acier perforé



Fig. 2.12 - positionnement de la grille de séparation charbon/os à l'intérieur du baril d'huile

On réalise un trou de 12 cm de diamètre au centre du couvercle du baril, qui pourra ainsi être fermé (Fig. 2.13) et on insère la conduite de cheminée sur la grille de séparation charbon/os, en exploitant la partie qui sort au dessus du couvercle (Fig. 2.14).

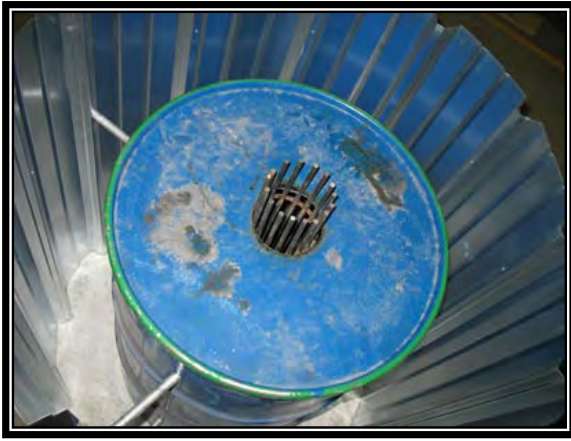


Fig. 2.13 – fermeture du baril d'huile par un couvercle troué

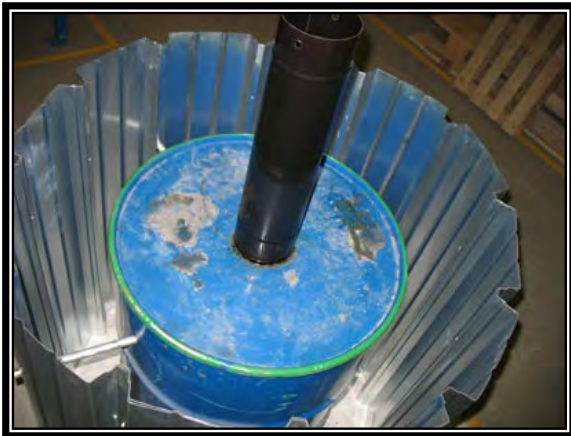


Fig. 2.14 – positionnement de la conduite de la cheminée

Le four est ainsi prêt à l'emploi ; on peut recourber la conduite de cheminée à son extrémité supérieure pour éviter toute entrée d'eau en cas de pluie. Sur la Fig. 2.15 on montre quelques phases de fonctionnement du four. On peut voir: le sable utilisé pour l'isolation du système, positionné dans l'intervalle entre la tôle et le baril d'huile, comme au dessus du couvercle du baril, une fois que le baril est fermé; une tôle ondulée, pliée pour former un cylindre de 24 cm de diamètre et 40 cm de hauteur est positionnée de manière concentrique à la conduite de cheminée. Cela peut servir à éviter le contact avec la conduite chaude durant la combustion.



Fig. 2.15 – vue du four complètement fermé durant un test de calcination

Tôle ondulée concentrique à la conduite de la cheminée

Sable d'isolation placé au dessus du couvercle du baril d'huile

III. REALISATION DU FILTRE

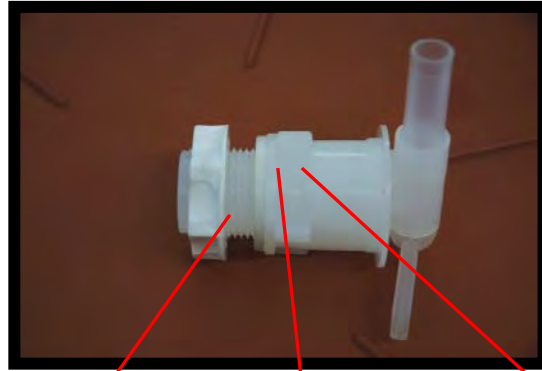
1. Préparation du seau

Prendre un seau de 30 litres et, à la base, créer un trou circulaire (fig. 3.1.1) du même diamètre que le robinet (fig. 3.1.2 et 3.1.3).

Fig 3.1.1



Fig 3.1.2

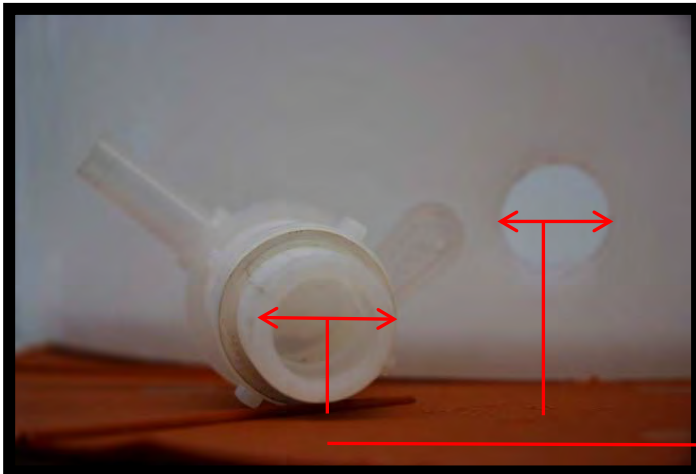


Dé fileté

Filetage

Garniture

Dimension : diamètre inférieur 28cm,
Diamètre supérieur 33cm, hauteur 40cm



Figl. 3.1.3

La dimension du trou doit être égale à celle
du filetage externe du robinet

Visser le robinet dans le trou et serrer le dé de l'intérieur (fig. 3.1.4), pendant que la garniture (rondelle) reste à l'extérieur du seau.



Fig. 3.1.4

Maintenant prendre un connecteur comme celui de la fig. 3.1.5: il est fileté d'une part pour être vissé (fig. 3.1.6) au robinet (les diamètres sont égaux), de l'autre partie il est serré pour être relié à un tube de caoutchouc (de diamètre 15mm): fig. 3.1.7.



Fig. 3.1.5



Fig. 3.1.6



Fig. 3.1.7

Le tube est long d'environ 80cm

Effectuer des entailles au tube de caoutchouc (environ 3 ou 4 entailles et chercher un système pour boucher le bout du tube) et entortiller (enrouler) avec un tissu à mailles très fines (par exemple du nylon); relier ensuite le tube au connecteur (fig. 3.1.8 et 3.1.9) et le positionner au fond du seau comme sur la figure (3.1.9).



Fig. 3.1.8



Fig. 3.1.9

2. Préparation de la cendre

Utiliser les os carbonisés de couleur grise, gris/noir (fig. 2.1) il faut ensuite les écraser à l'intérieur d'un mortier (fig. 3.2.2); à l'aide d'un tamis (fig. 3.2.3) séparer les cendres en fonction de la granulométrie en grains de 0,2-2mm et des grains de granulométrie 2-4mm.



Fig 3.2.1



Fig 3.2.2



Fig 3.2.3

3. Disposition de la cendre dans le filtre

Disposer environ 1.5 kg de cendre de granulométrie 2-4mm de manière à recouvrir entièrement le tube et le robinet (fig. 3.3.1): on crée ainsi une couche qui facilite le drainage de l'eau dans le tube;

verser ensuite la cendre de granulométrie inférieure (0.2-2mm: environ 5kg pour une hauteur de l'ordre de 15cm): fig. 3.3.2.



Figl. 3.3.1: cendre de granulométrie 2-4mm



Figl. 3.3.2: cendre de granulométrie 0,2-2mm

Maintenant on prend un disque en plastique de diamètre environ 30cm, on y fore de petits trous et on le pose sur la couche de cendre (fig. 3.3.3); ensuite on le recouvre avec une couche (4-5 cm) de gravier (fig. 3.3.4, 3.3.5) pour éviter qu'il flotte une fois qu'on verse l'eau. Pour ce disque on peut également utiliser un matériel plus lourd qui maintient le disque au fond de l'eau, cela évite l'usage du gravier. Maintenant on peut remplir le seau avec l'eau à défluorurer.



Figl. 3.3.3



Figl. 3.3.4



Fig. 3.3.5

DEUXIEME PARTIE : TRAVAUX PERSONNELS

CHAPITRE IV : PROCEDURES EXPERIMENTALES

I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Localisation de la zone (carte n°1 et carte n°2) (15)

La zone d'étude qui est le département de DIOURBEL et particulièrement la communauté rurale de PATAR est située au centre du SENEGAL. Elle comprend 52 villages et sa population s'élève à 13 190 habitants.

Il s'agit d'une communauté rurale très facile d'accès car, située sur l'axe routier DIOURBEL-MBACKE.

2. Limites de la zone

La région de DIOURBEL est délimitée par les régions de LOUGA, FATICK et THIES. Son organisation administrative est la suivante :

-03 départements : BAMBEY, DIOURBEL, MBACKE

-03 communes portant les mêmes noms

-08 arrondissements

-34 communautés rurales (notre étude s'intéresse particulièrement à la communauté rurale de Patar)

3. Le climat

La zone d'étude est située dans le domaine de transition soudano sahélien. Le climat de cette zone est caractérisé par l'existence de deux saisons : une saison humide courte, allant de juin à octobre ou hivernage et une longue saison sèche marquée par des vents chauds dits harmattans.

Dans le contexte actuel, on assiste à une hausse importante de la pluviométrie. Ceci constitue un grand avantage pour les disponibilités hydriques dans la zone mais cela permet aussi la dilution des nappes qui peut entraîner une baisse de la concentration en fluorure.

4. Caractéristiques démographiques, socioculturelles et économiques

La densité démographique dans la zone est de 258 habitants/km². Les ethnies représentées sont : Wolofs (65%), Sérères (25%), Pulaars (7%) et autres (3%).

Sur le plan de la religion, la zone est fortement marquée par la religion musulmane.

Cette population est caractérisée par ses importants mouvements migratoires. L'économie y est essentiellement basée sur l'agriculture et l'élevage avec des revenus faibles. On y trouve aussi plusieurs associations féminines et de jeunes.

5. Les ressources hydrogéologiques

Dans la zone de DIOURBEL, l'alimentation en eau à partir des eaux souterraines se fait essentiellement à partir de 3 couches aquifères : celles du Maestrichtien, de l'écène et du continental terminal. (16), (17)

-La couche aquifère du Maestrichtien

Elle s'étend sur plus de 130 000km². Elle est constituée de sables et de grès et essentiellement surmontée par des marnes calcaires tertiaires. Sa teneur en sel peut parfois augmenter du fait de la remontée d'eau salée de formations sous-jacentes. Cette couche est exploitée dans la zone par 2 forages : PATAR et THIOBE.

La plupart des points d'eau villageois dépendent des niveaux aquifères de l'éocène et surtout du continental.

-La couche aquifère de l'éocène

Elle s'étend sur une superficie d'environ 120 000km². Elle est composée de marne et de calcaire. Elle est exploitée dans les villages de la zone par des puits de 30 à 35 mètres de profondeur. Elle se situe entre 20 et 60 mètres de la surface. Là, les teneurs en fluorures peuvent varier de 0,14 à 2,5mg/litre. Sa qualité est variable, parfois salée. Elle est renouvelée par les eaux de pluie.

-La couche aquifère du continental terminal

En général, elle est la plus importante au SENEGAL. Elle est constituée de sable ou sables argileux facile à creuser. Ce niveau dépend étroitement de l'importance des précipitations.

6. Les points d'eau

-Les points d'eau traditionnels : les puits creusés à une profondeur d'environ 30 mètres et possédant ou non une margelle.

Les puits ne sont pas couverts et le prélèvement se fait par des seaux attachés à des cordes.

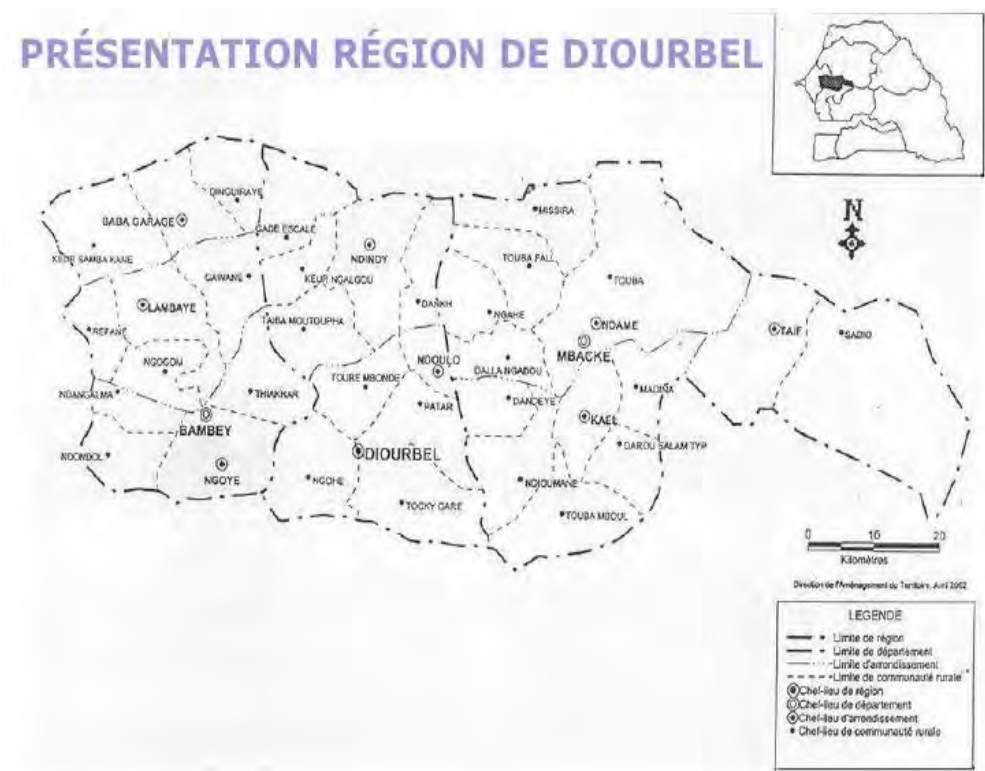
-Les points d'eau récents : ce sont les forages et leurs prolongements les robinets.

Les forages sont caractérisés par leur très grande profondeur environ 266 mètres, ce qui nécessite l'utilisation d'une pompe électrique.

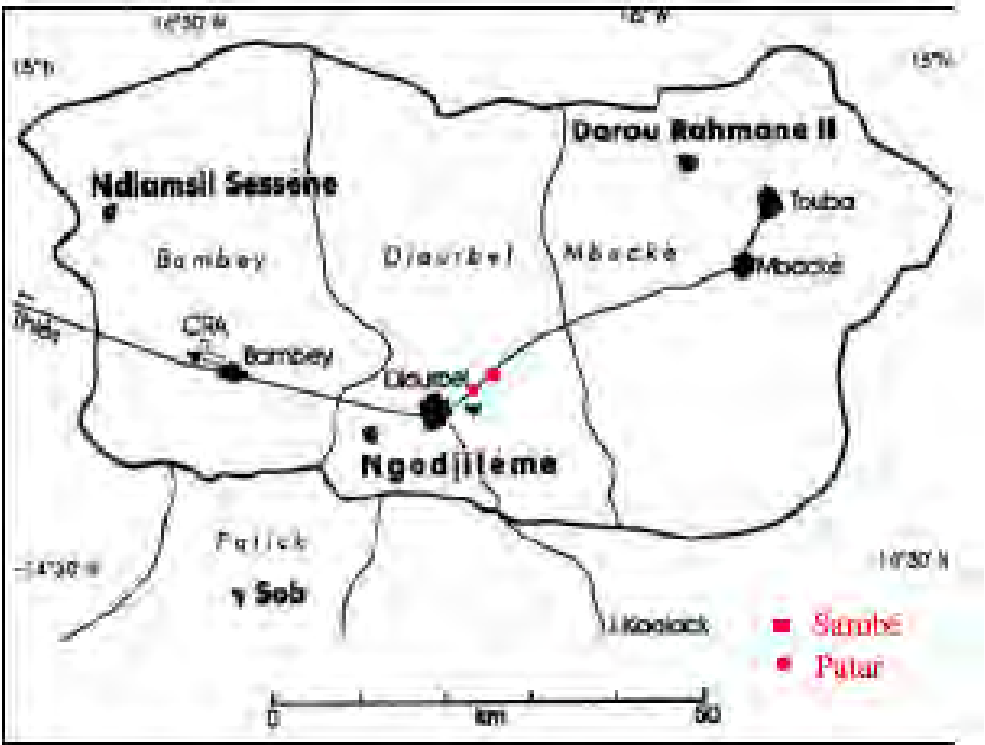
-Traitement de l'eau de la zone

Le traitement classique éventuellement utilisé jusque là l'est à l'échelle domestique, il s'agit principalement de la décantation, la filtration sur un tissu propre et la javellisation.

Carte 1 : Présentation



Carte 2 : Localisation de la communauté rurale de PATAR



II. PROCEDURE DE CALCINATION

Après avoir montré la réalisation du four dans le chapitre III paragraphe II, maintenant la calcination peut s'effectuer comme suit :

*Allumage du four pour démarrer la calcination par la production de chaleur avec :

- 6 Kgs de charbon :
- 2 Kgs de bois sec :
- 0.5 L d'essence :
- 0.5 L de gasoil :

Comme le montrent les figures 1 et 2, la grille de séparation charbon/os est d'abord enlevée et une fois le charbon et le bois sec en combustion, cette grille est réinstallée dans le baril.



Fig.1



Fig.2

*Remplissage des os :

Ensuite, le 3/4 du volume de baril est remplis d'os. (Figure 3)



Fig.3

Le four est fermé lorsque la température dépasse 400 °C. On utilise les tubes d'aération pour réguler la température en les fermant si elle est supérieure à 600 °C.

Les cendres d'os sont récupérées 24 heures après, elles sont ensuite pilées et tamisées afin d'avoir à peu près 1/4 de la quantité totale en cendre d'os de granulométrie (2-4) mm et les 3/4 en cendre de granulométrie (0,2-2) mm. L'écrasement des os est effectué avec un broyeur-tamiseur équipé de deux tamis dont l'un est constitué de trou de diamètre inférieur à 0,2mm et l'autre de diamètre supérieur à 2mm.

Après avoir tamiser la cendre d'os selon les deux catégories de granulométrie, le filtre peut être monté afin de traiter l'eau fluorée.

Test en batch pour choisir la bonne granulométrie

Granulométrie [mm]	Dosage [mg/L]	Temps de contact [min]	F- initial [mgF ⁻ /L]	F- final [mgF ⁻ /L]	Rendement D'adsorption
0,18-0,6	400	5	5	0,02	99%
0,6-1,18	400	5	5	1,4	72%
0,6-2,36	400	5	5	2	60%
0,6-2,36	400	10	5	1	80%
0,18-2,36	400	5	5	0,5	90%

Conclusion : La cendre d'os de granulométrie inférieure à 0,2mm a le plus grand taux de rétention de fluorure soit 99%.

III. PROCEDURE DE FILTRATION

Nous avons montré dans le chapitre III paragraphe III, comment réaliser le filtre c'est-à-dire la préparation du seau, de la cendre et de sa disposition selon la granulométrie dans le seau.

La composition du filtre est la suivante :

- Cendre de granulométrie >2mm : 2kg
- Cendre de granulométrie <0,2mm : 6kg

Pour l'usage du filtre, il faut d'abord laver la cendre d'os jusqu'à la disparition de la couleur jaunâtre afin d'éliminer les matières organiques restante après la calcination. Le remplissage du filtre se fait après avoir déposé un disque perforé sur la cendre d'os qui évite que la cendre se soulève et qui permet une bonne répartition de l'eau sur toute la surface du filtre. Ensuite, attendre 2 à 5 minutes de contact avant d'ouvrir le robinet ; et ne jamais laisser le filtre à sec.

L'exploitation des questionnaires sur la consommation d'eau potable pour l'eau de boisson et pour la cuisine, nous a montré que la plupart des domiciles consomment environ 50L d'eau potable par jour en trois périodes :

-matin : 15L

-midi : 20L

-soir : 15L

Mais, certains domiciles consomment 100L d'eau potable par jour tandis que d'autres en consomment 150L.

Ainsi, nous avons jugé nécessaire de filtrer 50L par jour selon ces trois périodes précitées, ensuite 100 ou 150L.

L'eau du robinet à traiter est directement versée dans le filtre sur le disque foré de petits trous.

Les analyses du fluor et certains paramètres physico-chimiques sont faites avec les dix derniers litres du filtrat.

Le débit de filtration est maximisé soit environ 50L en 30minutes (1,66L/min ou 27,77mL/s).

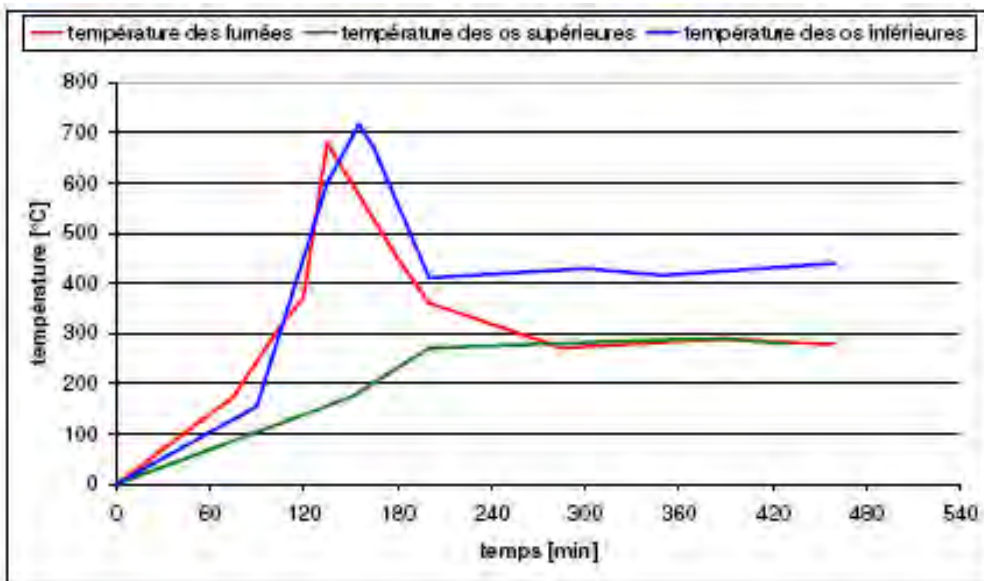
CHAPITRE V : ANALYSE DES RESULTATS

I. RESULTATS DE LA CALCINATION

Dès lors que la température à l'intérieur du four est supérieure à 400 °C avant sa fermeture, les tubes d'aération doivent être fermés si la température dépasse 550 °C et ouverts si elle est inférieure à 400°C et cela durant une heure.

Chaque calcination réussit permet d'avoir de 5 à 8 kg de cendre d'os de couleur noire- grise soit environ 75% de granulométrie 0,2-2mm et 25% de granulométrie 2-4mm. Donc, en principe, une calcination doit suffire pour la préparation d'un filtre.

Graphique de température



Conclusion :

- La couleur de la cendre d'os dépend de la température et de la durée de la calcination
- Il faut une température comprise entre 400 et 600°C pour obtenir une cendre de bonne qualité (couleur grise)

Cependant, les premières opérations de calcination sont assez complexes et échouent souvent si la température à l'intérieur du four est inférieure à 400 °C juste avant la fermeture du four. Car lorsque le four est fermé avec une température inférieure à 400°C, la combustion des combustibles (charbon et bois sec) n'est pas suffisante même avec les tubes d'air pour remonter la température à une valeur supérieure ou égale à 400 °C.



Cendre noire : $T < 400^{\circ}\text{C}$

- Meilleure rétention des fluorures
- Mais Coloration jaune de l'eau traitée



Cendre grise : $400^{\circ}\text{C} < T < 600^{\circ}\text{C}$

- Bonne rétention des fluorures
- Pas de coloration de l'eau traitée



Cendre blanche : $T > 600^{\circ}\text{C}$

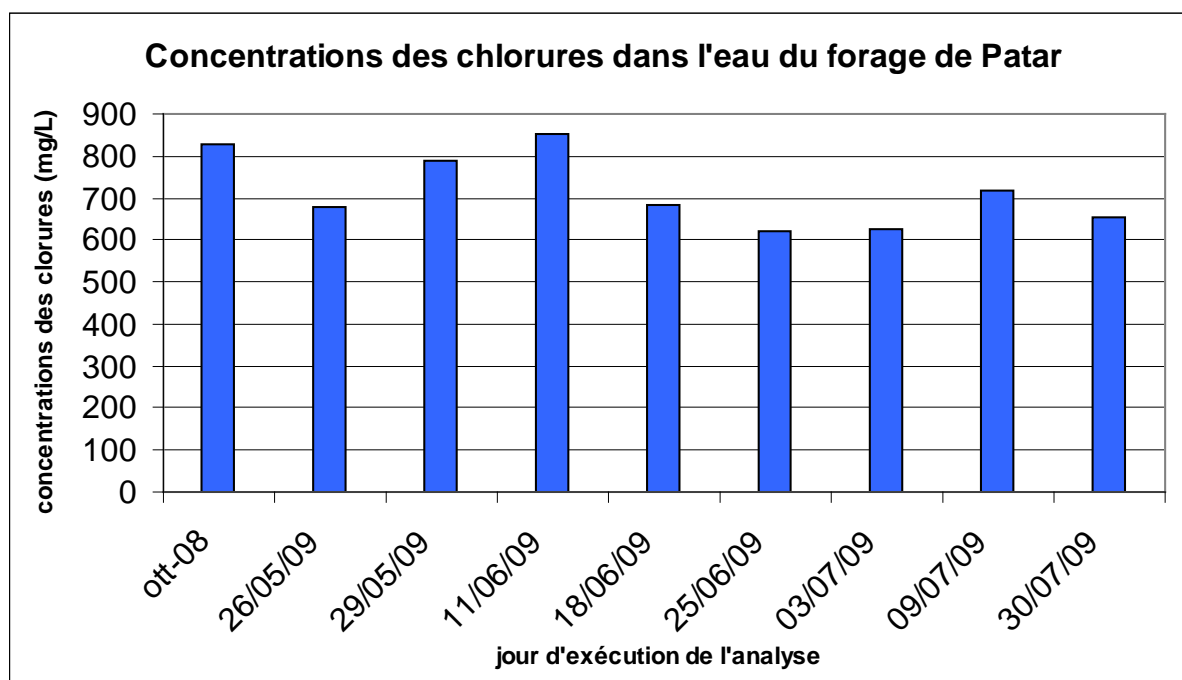
- Faible rétention des fluorures
- Pas de coloration de l'eau traitée

II. RESULTATS DE LA FILTRATION

1. Analyse des points d'eau de PATAR

Les points d'eau étudiés : il en existe deux types

-Le forage: la zone de PATAR est alimentée par un seul forage caractérisé par une profondeur de 266 mètres et prolongé par des robinets publics ou domestiques. L'eau du forage a une très forte salinité et une concentration en fluorure excessive comprise entre 2 et 8mg/l selon les périodes de l'année.



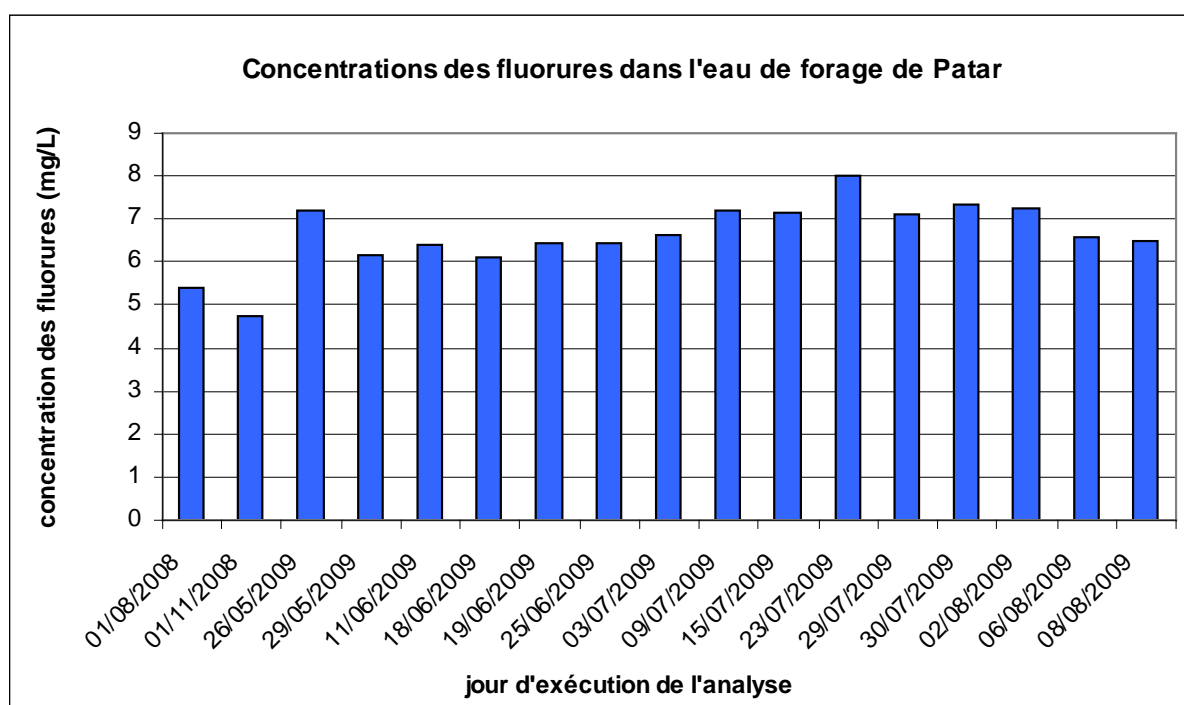
Le graphique ci-dessus montre que la concentration des chlorures dans le forage de PATAR est comprise entre 600 et 900mg/L Cl^- donc très au dessus de la valeur maximale admise par l'OMS qui est de 200mg/L Cl^- .

Analyse de l'eau de forage ou de robinet en fonction des dates

Dates	Août 2008	Oct 2008	Nov 2008	Mai 2009	Juin 2009	Juillet 2009	Août 2009
Fluorures (mg/L)	5,400	2,486	4,45	7,190	6,676	7,983	7,243

Ce tableau montre qu'à la fin de la saison des pluies, la concentration en fluorure de l'eau du forage a diminué jusqu'à 2,486-4,45 mg/L (octobre – novembre 2008). Cette diminution est due à la dilution des nappes par l'eau de pluie qui ne contient pas de fluor.

Mais juste avant la saison des pluies, la concentration en fluorure remonte à des valeurs maximales 6-8mg/L (juillet, août 2009).



-Les puits: creusés à une profondeur d'environ 33 mètres et possédant une margelle.

L'eau des puits de la communauté rurale de PATAR est caractérisée par une dureté élevée et une concentration en fluorure comprise entre 0,14 et 2,417mg/l. Mais, ici, la salinité est moyenne (environ 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

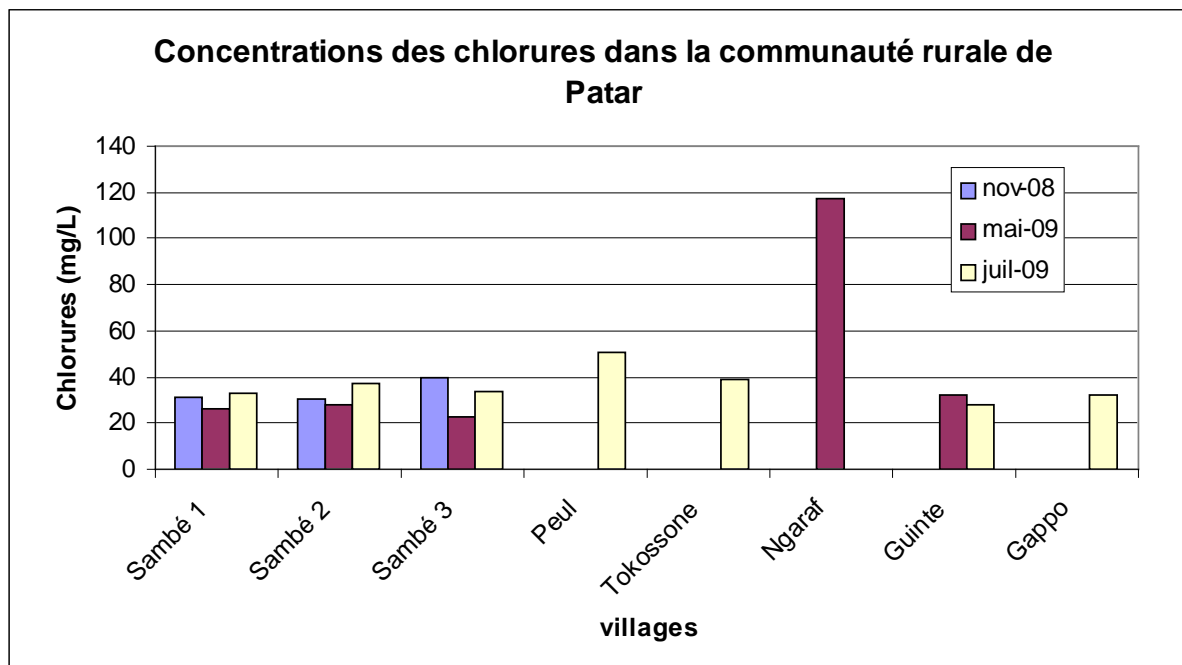
Trois puits ont été choisis dans le village de SAMBE désignés par :

*SAMBE 1 : puit d'une maison

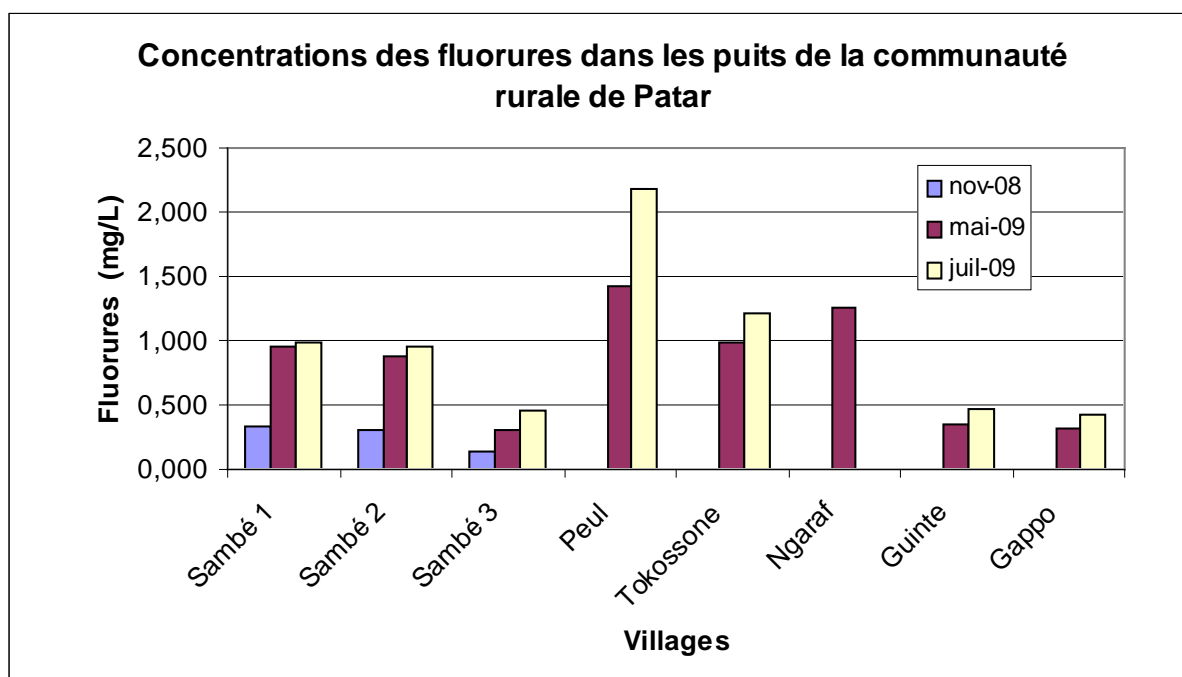
*SAMBE 2 : puit de l'école

*SAMBE 3 : puit privé dont l'eau est commercialisée par un système de pompage et de robinet (coût: 10 FCFA pour 20 litres)

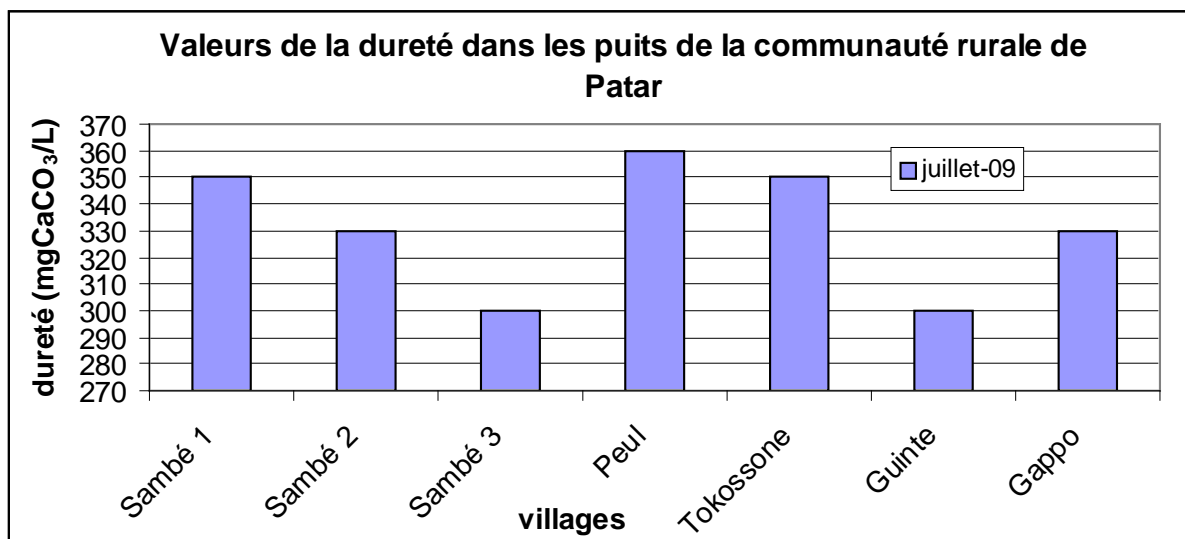
Et cinq autres puits choisis dans cinq villages différents environnants à savoir GAPPO, GUINTE, TOKOSSONE, NGARAF et PEUL.



A l'exception du puit de NGARAF, la concentration des chlorures des autres puits est comprise dans l'intervalle 20-40mg/L Cl^- (donc inférieur à 200mg/L, valeur guide de l'OMS). Donc l'eau des puits n'est pas saline car même le puits de Ngaraf ne dépasse pas la valeur guide de l'OMS.



A l'exception du puit de PEUL, la concentration des fluorures des autres puits est inférieure à 1,5mg/L F^- .



Ce graphique montre que la dureté de tous ces puits est supérieure à 100mg/L (20°F), ainsi l'eau des puits est dure. En effet, une eau est dure si sa dureté est supérieure à 20°F.

Analyse de l'eau des puits de SAMBE en fonction des dates

Puits Sambé	Sambé 1	Sambé 2	Sambé 3	Dates
Concentration en fluorure (mg/L)	0,33	0,33	0,14	20/11/2008
	0,949	0,882	0,39	05/05/2009
	1,095	0,999	0,470	16/06/2009
	0,989	0,954	0,461	02/07/2009

Analyse de l'eau des puits des villages limitrophes

Puits villages	Gappo	Guinté	Ngaraf	Tokossone2	Peul 1	Dates
Concentration en fluorure (mg/L)	0,132	0,157	0,430	0,355	0,630	20/12/2008
	0,319	0,341	1,262	0,990	1,417	26/05/2009
	0,423	0,476	—	1,215	2,417	02/07/2009

Nous constatons la même variation de la concentration en fluorure due à la dilution par l'eau de pluie pour les puits.

Paramètres physico-chimiques des eaux de PATAR

Paramètres	Forage PATAR	Puit SAMBÉ 3	Puit PEUL	Puit TOKOSSONE	Puit GAPPO
Fluorures (mg/L)	7,18	0,46	2,18	1,215	0,423
Chlorures (mg/L)	719	34	51	39	32
Conductivité (µS)	2,64	627	945	0,775	0,695
TDS (mg/L)	1,319	312	473	0,388	0,348
NaCl (mg/L)	1,335	303	459	0,376	0,336
Phosphates (mg/L)	0,01	0,02	0,26	0,09	0,13
Sulfates (mg/L)	71	< 25	79	39	< 25
Manganèse (mg/L)	0,01	0,01	0,02	0,08	0,04
Fer (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cuivre (mg/L)	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Zinc (mg/L)	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Aluminium (mg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Plomb (mg/L)	< 0,01	0,13	-	-	-
Cadmium (mg/L)	< 0,025	< 0,025	-	-	-
Chrome (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Température (°C)	31,2	32,6	32,7	32,5	32,2
pH	8,4	7,55	7,55	7,28	7,40
Dureté (mg/L)	30	300	360	350	330
Oxygène dissous (mg/L)	5,75	5,31	5,68	5,78	5,85
Turbidité (NTU)	0,18	0,19	0,36	0,52	0,43

Valeur maximale admissible de la concentration en fluorure recommandée par l'OMS est de:

-1,5mg/L F⁻ pour les climats tempérés

-0,7mg/L F⁻ pour les climats tropicaux

-0,8mg/L F⁻ pour le SENEGAL

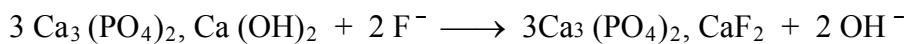
Or le fluor fait parti des substances indésirables dans l'eau potable au-delà des valeurs guide de l'OMS.

Conséquence : L'eau du forage de PATAR nécessite un traitement d'abattement du fluor.

Méthode chimique de défluoruration : méthode d'adsorption

Matériel utilisé : cendre d'os composé de 67% de matière minérale dont la matrice est remplie par l'hydroxy-apatite de formule [3Ca₃(PO₄)₂, Ca (OH)₂]

Réaction d'adsorption par échange d'ions entre l'eau brute et la cendre :



2. Analyse de l'eau filtrée

-Concentration initiale de l'eau de robinet : 2-8mg/L F⁻

-Période de filtration : mai, juin, juillet, août correspondant à des concentrations maximales en fluorure (6-8mg/L)

-Volume d'eau filtrée par jour : 50L/jour (2450L), 100L/jour (1300L), 150L/jour (1500L)

-Débit du filtre : 27,77mL/s soit 50L en 30 minutes

-Volume d'eau totale filtrée : 5250L

-Concentration en fluorure de l'eau filtrée : 0,026-1,257mg/L F⁻

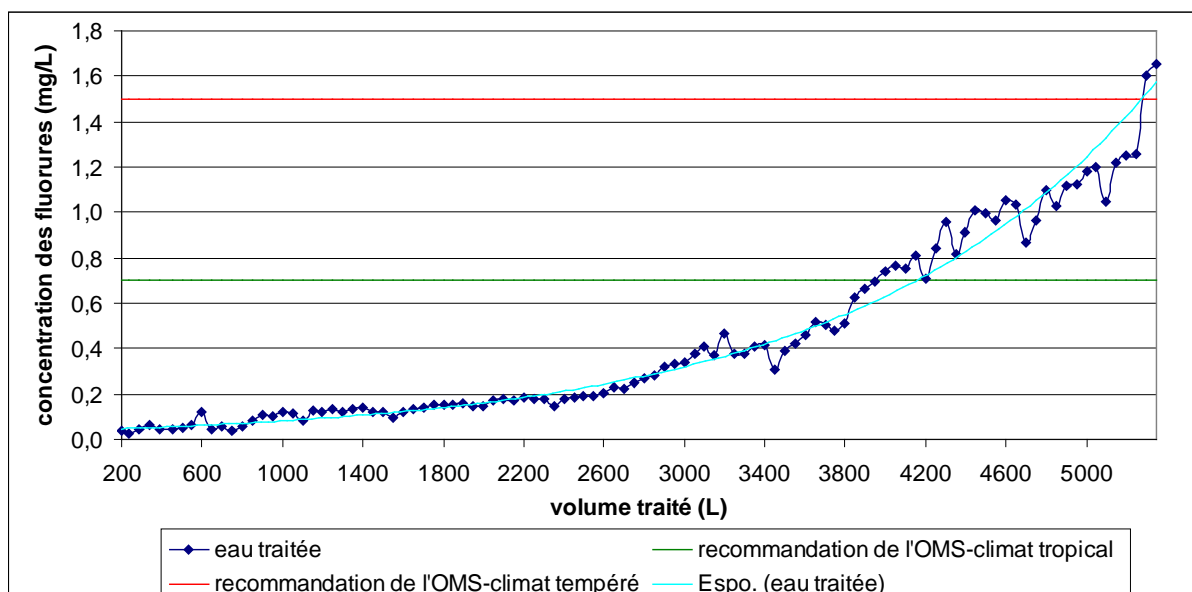
-Rétention en fluorure

Volume d'eau	Taux de fluor initial	Taux de fluor final	Rétention de fluor
50L	7,190mg/L	0.026mg/L	99.62%
5250L	6,579mg/L	1,257mg/L	80,57%

L'évolution de la concentration en fluorure en fonction du volume.

Volume	250	1000	2000	3000	4000	4500	5000	5250	5300
F ⁻ (mg/L)	0,026	0,121	0,149	0,338	0,743	0,998	1,183	1,257	1,600

Courbe de variation de la concentration des fluorures en fonction du volume traité



Cette courbe montre que :

-De 200L à 2600L : l'augmentation de la concentration des fluorures est faible soit de 0,026mg/L F^- à 0,2mg/L F^- . Ici, le volume d'eau filtré par jour est 50L/jour.

-De 2600L à 5300L : l'augmentation de la concentration des fluorures est plus rapide (de 0,228mg/L F^- à 1,6mg/L F^-) et est représentée en forme de dents de scie. Le volume d'eau filtrée par jour était soit 100L/jour soit 150L/jour.

Conclusion : Plus le volume d'eau filtrée par jour est élevé, plus l'augmentation de la concentration des fluorures est rapide.

Pour les paramètres de l'eau traitée, nous mettons en évidence les paramètres défavorables qui nécessitent des améliorations du procédé.

a) Paramètres organoleptiques: c'est l'odeur, la couleur, la saveur et la turbidité. Parmi ces paramètres, seule la couleur des 1500L premiers litres de l'eau filtrée était jaunâtre. En effet, nous avons utilisé de la cendre noire dont la température du four pendant sa calcination était inférieure à 400°C. Donc la température de la calcination n'était pas assez élevée pour avoir de la cendre grise. Mais une combustion totale des os confère un produit de faible capacité défluorurante.

Le schéma ci-dessous montre la différence de la coloration entre l'eau de robinet (à gauche) et l'eau traitée (à droite).



b) Paramètres physico-chimiques: il s'agit de la température, le pH, la conductivité, le chlorure, sulfate, calcium, oxygène dissous, ions...etc.

La conductivité de l'eau du forage qui est de l'ordre de 2500 μ S n'a pas varié après filtration donnant ainsi à l'eau une très forte salinité.

Comme le chlorure et la salinité sont liés, la concentration du premier de l'ordre de 600mg/L est très élevée par rapport à 200mg/L représentant sa valeur maximale admissible.

Il faut noter que l'eau du forage est douce contrairement à l'eau des puits qui a une dureté élevée et/ou de forte concentration en calcium.

Mais la dureté qui est de l'ordre de 3°F dans l'eau du forage a diminuée jusqu'à 1,25°F. Cette diminution est due à une précipitation des ions calcium par les ions phosphates dissous dans l'eau pendant la filtration à travers la cendre d'os. Car la concentration en phosphate dans l'eau du forage qui était inférieur à 0,20mg/L a augmenté jusqu'à environ 5mg/L dans l'eau filtrée.

Réaction de précipitation : $3\text{Ca}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-} \longrightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

c) Substances indésirables: nitrate, fer, manganèse, cuivre, zinc, fluor, ...

Ici, le fluor qui fait l'objet de notre étude a sa concentration abaissée jusqu'à des valeurs compatibles avec les normes de l'OMS par la cendre d'os.

d) Substances toxiques: ce sont l'arsenic, le béryllium, le cyanure, le mercure, le plomb, le nickel, le cadmium, les pesticides, traces de produits de désinfection...

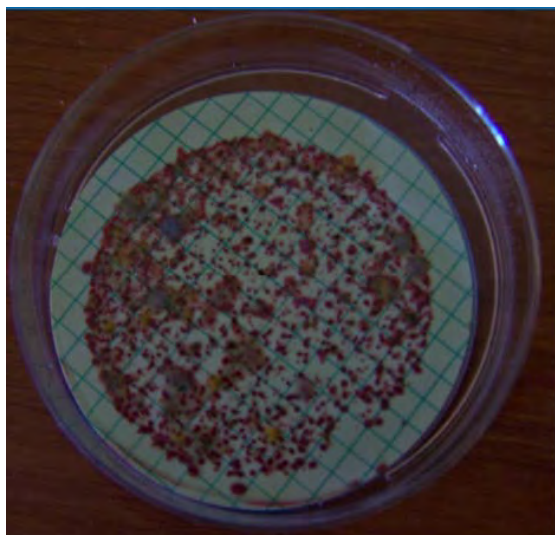
Seule la concentration du plomb dans l'eau traitée est légèrement supérieure à la valeur admise.

En effet, le plomb présent dans l'eau du robinet a jusqu'à un certain point à une origine naturelle, mais il provient principalement des canalisations, soudures, accessoires ou raccords de plomberie qui en contiennent. Les canalisations de PVC contiennent également des dérivés du plomb qui peuvent passer dans l'eau de boisson en quantités importantes. Mais ça dépend de plusieurs facteurs tels que: chlorure, oxygène dissous, pH, température. (cf.OMS, qualité pour l'eau de boisson, Volume2)

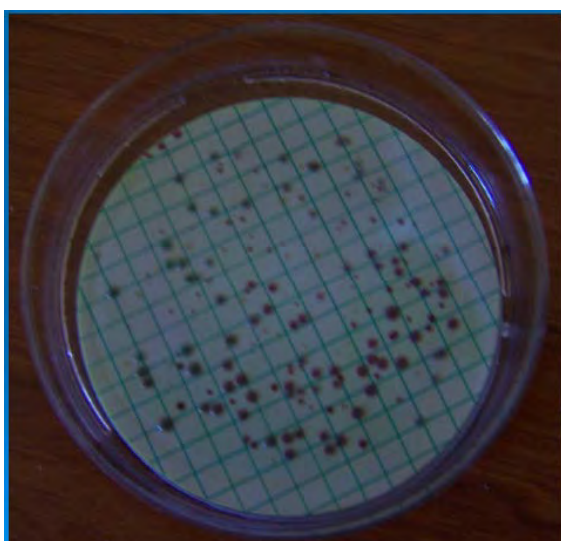
e) Paramètres microbiologiques: coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques, bactéries, salmonelles, insecticides...

L'eau traitée est microbiologiquement très contaminée. En effet, 100mL d'eau contient le plus souvent des dizaines de colonies d'Entérocoques, de coliformes totaux avec et ou sans Escherichia coli. Donc l'eau filtrée doit subir un traitement de désinfection.

Cependant, les postes de santé de la communauté rurale de PATAR recommandaient un bouchon de chlore (eau de javel BAOL) de concentration 4,25mg/L pour 10L d'eau avec 30minutes de contact. Mais, nos résultats montrent que cette quantité est insuffisante pour une décontamination totale.



Avant chloration



Après chloration de 10L d'eau par un bouchon d'eau de javel BAOL

Analyse microbiologique

Bactéries	Eau du forage	Eau de SAMBE 2	Eau traitée
Coliformes totaux	6666 UFR/100mL	Non dénombrable	Contaminée
E. Coli	3333 UFR/100mL	Non dénombrable	Contaminée
Streptocoques	44 UFR/100mL	4000 UFC/100mL	Contaminée

Comparaison des paramètres entre l'eau du robinet et l'eau traitée

	Eau de robinet	Eau traitée
Paramètres microbiologiques	Contaminée	Contaminée
Paramètres organoleptiques	Saveur (saline)	Couleur (jaune)-saveur (saline)
Paramètres physicochimiques	Conductivité élevée [PO ₄ ³⁻]<0,02mg/L	Conductivité élevée [PO ₄ ³⁻]~5mg/L
Substances indésirables et toxiques	plomb? [F ⁻]~8mg/L	plomb? [F ⁻]<1,5mg/L

Conclusion : L'eau traitée a une meilleure qualité car la substance indésirable F⁻ est corrigée.

Donc l'eau traitée doit subir à ce niveau une désinfection par le chlore (eau de javel) avant d'être utiliser. Pour cela, les résultats obtenus sont les suivants :

Avec un temps de contact de 30minutes et des concentrations de chlore actif de :

-4,2mg/L

-6,3mg/L

-8,4mg/L

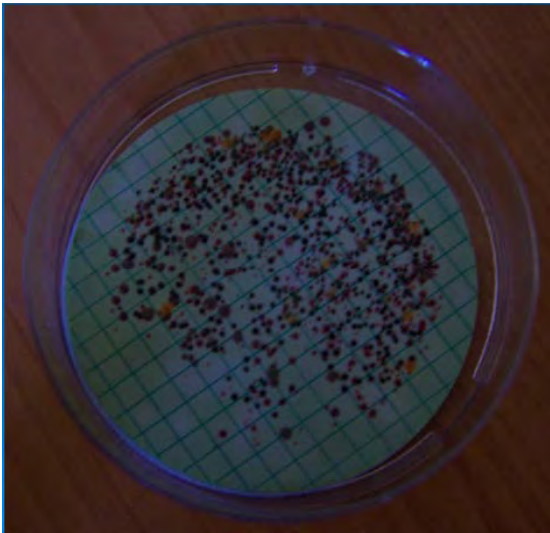
-10,5mg/L

-12,6mg/L

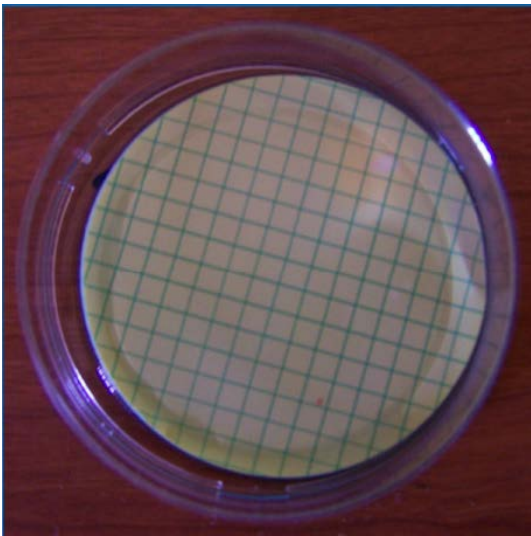
-14,7mg/L

-16,8mg/L

Le dosage optimal pour éliminer toute la contamination est de 6,3mg/L de chlore actif soit un bouchon et demi d'eau de javel pour 10L d'eau avec un temps de contact de 30minutes.



Avant chloration



Après chloration d'un bouchon et demi d'eau de javel et
un temps contact de 30minutes

CHAPITRE VI: DISCUSSION ET COMMENTAIRE

La discussion portera sur les éléments qui pourraient influencer nos résultats car la variation régulière du taux de fluor qu'on attendait n'est pas obtenue. Elle se déroulera comme suit :

1°/ La précision de la sonde de fluorure

Il faut noter que l'électrode spécifique de fluorure ne donne pas toujours des résultats très exacts. En effet, la mesure de la concentration en fluorure indique souvent des valeurs supérieures aux valeurs réelles. Ceci est vérifié par des solutions tests qui donnent des valeurs supérieures à celles attendues pour la sonde.

Exemple:

Valeurs des solutions testes	Valeurs de la sonde de fluorure
0,1 mg/L F ⁻	0,443 mg/L F ⁻
1 mg/L F ⁻	1,330 mg/L F ⁻
10 mg/L F ⁻	13,42 mg/L F ⁻

Donc,

- pour une concentration en fluorure de l'ordre de 0,1 mg/L, l'incertitude relative est de 443 %.
- pour une concentration en fluorure de l'ordre de 1 mg/L, l'incertitude relative est de 133 %.
- pour une concentration en fluorure de l'ordre de 10 mg/L, l'incertitude relative est de 134,2 %.

Par conséquent, plus la concentration est élevée et plus le résultat est précis.

Cependant, avec les solutions tests, nous n'avons pas toujours les mêmes valeurs de concentrations. En effet, d'autres solutions tests de concentrations 0,1 ; 1 ; 10 mg/L F⁻ ont respectivement donné 0,47 mg/L F⁻ ; 2,30 mg/L F⁻ ; 16,14 mg/L F⁻ par la sonde. Mais ces résultats peuvent être dus au fait qu'en ce moment la sonde a duré plusieurs mois sans être calibrer. C'est après cette remarque que l'appareil a aussitôt été recalibré et les mesures reprises ont donné des résultats plus fiables.

Exemple : pour des solutions tests de concentrations 0,5mg/L ; 1mg/L, l'appareil a respectivement indiqué les valeurs suivantes : 0,499mg/L ; 0,989mg/L.

2°/ Le débit du filtre

Le débit prévu dans la bibliographie correspondait à 3,56 mL/s soit 12,8 L/heure, ce qui fait 4 heures de temps pour filtrer 50 litres. Mais compte tenu de la durée aussi grande par rapport aux villageois qui sont très occupés, nous avons jugé nécessaire de filtrer avec le maximum de débit soit 27,77 mL/s ou 99,9L/heure en d'autres termes 50 litres en 30 minutes.

Cependant, ce débit ne reste pas constant. Au fur et à mesure de la filtration, On observe un phénomène de colmatage et le robinet, malgré le tampon d'ouate est envahi de cendre fine et le

débit diminue jusqu'à 50L/heure soit 13,8mL/s et vers 3000litres, on a un débit de 50litres en 1heure 30minutes soit 9,25 mL/s.

Le débit du filtre donne une idée du temps de contact de l'eau avec la cendre d'os ; ce temps de contact est important car plus il est long plus le taux de rétention est grand et donc la quantité de fluorure adsorbée par la cendre est importante.

3°/ Dilution

Ici, nous parlons de la dilution de l'eau du forage par l'eau de pluie qui ne contient presque pas de fluor. Ce phénomène provoque une diminution de la concentration en fluorure ce qui entraîne des variations irrégulières des valeurs obtenues.

Conséquence : Ces trois facteurs font partie de ceux qui influencent nos résultats et cela s'explique par la courbe irrégulière obtenue. Ces facteurs sont :

- *la précision de l'appareil de mesure de la sonde de fluor (à retenir : la nécessité de recalibrer la sonde avant chaque mesure)

- *la variation du débit du filtre au cours du temps

- *la variation de la concentration en fluorure de l'eau de robinet due à la dilution par l'eau de pluie

CHAPITRE VII : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Notre étude a porté sur l'eau du forage, l'eau des puits de la communauté rurale de PATAR et un filtre pilote.

Au terme de ce travail, nos conclusions sont les suivantes :

A° / L'eau du forage et des puits

L'eau du forage contient une concentration excessive en fluorure soit 10 fois plus grande que la valeur maximale admissible recommandée pour le SENEGAL (0,8mg/L F⁻). Cette eau est aussi caractérisée par une très forte salinité ce qui lui confère un goût saumâtre.

Pour l'eau des puits, leur concentration en fluorure est en dessous de 1,5mg/L mais elle demeure très dure.

Donc, seule l'eau du forage nécessite un traitement d'abattement du fluor qui est à l'origine des maladies comme la fluorose dentaire et osseuse très répandues dans cette localité.

B°/ Résultats du filtre pilote

Nous avons une bonne capacité de rétention en fluorure par les cendres d'os soit plus de 99% pour les premières litres et 80% pour les dernières litres soit en moyenne 90%.

	FILTRE	
Valeur guide OMS (mg/L)	1,5	0,7
Volume total d'eau traitée en dessous de la valeur guide OMS (L)	5300	4000
Volume d'eau traitée par jour par (L)	50	50
Durée du filtre (mois)	3,5	2,6
Capacité défluorurante (mgF ⁻ /g cendre)	4,2	3,4

Ce tableau montre que le filtre peut durer de 3 à 4 mois avant la saturation de la cendre pour être renouvelée ou régénérer et d'après Dahi et Coll. (1997) (18), il a une bonne capacité défluorurante car elle est supérieure à 4mgF⁻/g cendre. Il faut noter que l'eau traitée est destinée exclusivement à la boisson et/ou pour faire la cuisine.

C°/ Recommandations

Malgré le bon rendement qu'on a obtenu pour le traitement du fluor par filtration sur des cendres d'os, certains paramètres à savoir la couleur, la salinité et la bactériologie doivent être surveillés et éventuellement corrigés.

-La couleur : Une coloration jaunâtre peut apparaître pendant les premières litres d'eau filtrée.

Cependant, son apparition dépend de la qualité de la calcination. En effet, les os calcinés de couleur noire ont une plus grande capacité de rétention de fluorure mais confère à l'eau traitée une coloration jaunâtre et une mauvaise odeur. Ceci est dû à la présence de traces de matières organiques qui ne sont pas bien calcinées.

Donc, il faut utiliser de la cendre de couleur grise et avant de commencer à consommer l'eau traitée, il faut attendre la disparition totale de la coloration que l'on élimine par lavage de la cendre d'os.

-La salinité : La conductivité de l'ordre de $2600\mu\text{S}/\text{cm}$ caractérise une très forte salinité. Pour remédier à ce mauvais goût, la méthode appropriée est la dilution de l'eau traitée par de l'eau des pluies non fluorées ou l'eau des puits après vérification de leur salubrité bactériologique.

-La bactériologie : Les analyses microbiologiques montrent que l'eau peut être microbiologiquement contaminée à tous les niveaux (forage, puits, eau traitée...)

Il convient donc d'accorder une attention particulière au cadre en termes de sécurité de l'approvisionnement en eau et de mettre en oeuvre des plans complets de gestion de la salubrité de l'eau permettant de garantir en permanence la salubrité de l'eau de boisson et de protéger ainsi la santé des populations. La gestion de la salubrité microbienne de l'eau de boisson requiert une évaluation à l'échelle du réseau des risques susceptibles d'affecter celui-ci.

Si l'on ne parvient pas à garantir la salubrité de l'eau de boisson, la communauté court le risque de subir des flambées épidémiques de maladies hydriques, intestinales ou autres pathologies infectieuses. Les flambées de maladies véhiculées par l'eau sont à éviter, tout particulièrement en raison de leur capacité à toucher simultanément un grand nombre de personnes et éventuellement une forte proportion de la communauté.

En résumé, nous recommandons avant utilisation de l'eau traitée :

- *D'attendre la disparition totale de la couleur

- *De diluer l'eau traitée avec l'eau des pluies ou des puits pour diminuer la salinité

- *De désinfecter l'eau traitée avec un bouchon et demi de chlore (eau de javel) avec un temps de contact de 30minutes pour éliminer les microbes

D°/ Conclusion générale

Au terme de ce travail, la défluoruration des eaux de DIOURBEL sur des cendres d'os est pratique. Ainsi, 5300L d'eau du forage de PATAR a été traitée dont 50L par jour durant 3 mois et demi et que la concentration en fluorure de l'eau traitée est inférieure à $1,5\text{mg}/\text{L}$ valeur guide maximale de l'OMS.

BIBLIOGRAPHIE

(1)- SY FATIMATA Omar

Contribution à l'étude du thé vert de Chine utilisée en Afrique de l'Ouest: contrôle de quelques éléments toxicologiques et incidences sur la santé publique.

Thèse, Pharm., Dakar, 1991, N°3.

(2) ; (3) ; (4) ; (5) ; (6) ; (7) ; (8) tirés de la même source

- MAREME NDIAYE MADY DIA

Etude d'un foyer de fluorose dentaire et osseuse au Sénégal : village de Ngangarlame (région de Fatick)

Thèse, Med., Dakar, 1962, p :3

(9)- Série de monographie O. M. S.

Fluor et fluorures

Critères d'hygiène de l'environnement, N°36, Genève 1985.

(10)- FLUOR TOXIQUES MINERAUX.

E. M. C.: INT. 15002 C10 (1982)

(11)- Série de monographie O. M. S.

Fluor et santé.

Série de monographies (OMS), N°59, Genève 1972.

(12)- LAUWERYS R.

Les dérivés du fluor.

Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles.

Paris, Ed. Masson, 1982, pp : 293-298.

(13)- Pr. A. FAYE

Cours Hydrogéologie

Soutien à la formation et des eaux potables au Sénégal. (2008)

(14) ; (18) tirés de la même source

- Pr. O. Guèye

Cours chimie de l'eau

Formation de base sur les eaux potables.

Laboratoire de chimie minérale et analytique (LACHIMIA)

Projet fluorure-fondation TOVINI N° 23PA07a (2008)

(15)- ABOU NDOUR

Rapport de projet : « Soutien à la formation et la gestion des eaux potables dans la région de Diourbel au Sénégal » (2009)

(16)- TRAVY Y., MOREAU J. L.

Le risque fluorotique dentaire au Sénégal.

Afr. Méd., 1985, 24 (233) : 435-438

(17)- TRAVY Y.

Hydrogéochimie et hydrologie isotopique des aquifères fluorurés du bassin du Sénégal.

Origine et condition de transport du fluor dans les eaux souterraines.

Thèse, Sciences (Géologie), Paris-Sud, 1988, pp : 9-26.

En résumé, l'étude et la mise au point d'une technologie appropriée pour la défluoruration des eaux de DIOURBEL par filtration sur des cendres d'os ont porté d'abord sur la conception d'un four pour la calcination des os et d'un filtre à cendres d'os pour traiter l'eau du forage de la communauté rurale de PATAR, ensuite, l'analyse de l'eau de ce forage, de trois puits du village de SAMBE et cinq autres puits différents des villages environnant à savoir GAPO, GUINTE, TOKOSSONE, NGARAF, PEUL et enfin l'analyse de l'eau filtrée.

L'objectif principal de la recherche est la défluoruration de l'eau du forage de la communauté rurale de PATAR caractérisée par une très forte salinité et une concentration en fluorure excessive comprise entre 2 et 8mg/l selon les périodes de l'année.

Au terme de ce travail, sur une quantité de 5300l à raison de 50l par jour durant trois mois et demi l'eau traitée présente des concentrations en fluorure inférieures à 1,5mg/l qui est la valeur guide de l'OMS. Nous avons un abattement de l'ordre de 90% en moyenne.

Ce bon résultat prouve l'atteinte de l'objectif principal. Mais nous constatons que l'eau traitée conserve une très forte salinité. Pour améliorer les qualités organoleptiques de cette eau filtrée et favoriser une bonne appropriation de la technologie par les consommateurs, nous avons retenu la recommandation qui consiste à diluer l'eau traitée par l'eau de pluie ou l'eau non fluorée des puits après traitement.

Ensuite, par rapport à la qualité microbiologique, nous recommandons de désinfecter l'eau traitée avec un bouchon et demi de chlore (eau de javel) avec un temps de contact de 30minutes pour éliminer les microbes avant la consommation.