

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

GC. 0277

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE

TRAITEMENT DES EAUX
HYPERFLUOREES DU SENEGAL

DATE : JUIN 1986

AUTEUR : MOHAMADOU L TALL
DIRECTEUR : JAN DROZDZ
CO-DIRECTEUR :

A mon père qui, par ses conseils a
contribué discrètement à mon succès
scolaire.

A tous mes parents

REMERCIEMENTS

Je ne peux m'abstenir de saisir cette occasion première pour remercier particulièrement :

- Mr Jan Drozd professeur à l'École polytechnique de Thiès qui a su initier et diriger ce projet de fin d'études.
- Mr Gervais Leclerc responsable du laboratoire du génie sanitaire dont la disponibilité et les conseils m'ont été d'une grande utilité.

Mes remerciements s'adressent également à :

- M^{lle} Bâ de la SONEES
- Mr Babacar Dieng Directeur technique à la SONEES.

SOMMAIRE

La défluoration a pour objectif d'éliminer l'excès de fluor dans les eaux destinées à la consommation. En effet, une teneur en fluor excédant 1 ppm est un facteur limitant de la potabilité des eaux.

Les techniques de défluoration sont assez nombreuses mais mal connues. Ainsi, notre démarche dans la présente étude fut de passer en revue quelques méthodes de défluoration, de rechercher la plus efficace avant de concevoir une unité de défluoration peu onéreuse et d'entretien facile.

Les procédés suivants ont été testés au laboratoire :

- décantation avec alun de potasse
- décantation avec sulfate d'aluminium
- filtration sur alumine activée
- filtration sur poudre d'os.

Table des matières

Pages

INTRODUCTION	1
<u>Chapitre I: Généralités</u>	3
I-1 Le Fluor: Considérations de chimie-biologique	3
I-1.1 Le Fluor: élément chimique	3
I-1.2 Le Fluor: action sur le système osseux	3
I-2 Fluorures et eaux souterraines au Sénégal	5
I-2.1 Répartition géographique	5
I-2.2 Interprétation hydro-geochimique	6
<u>Chapitre II: Méthodes de défluoration</u>	8
II-1 Flocculation - Décantation - Filtration	8
II-2 Adsorption - Filtration	12
II-3 Autres méthodes	14
<u>Chapitre III: Etudes réalisées</u>	15
III-1 Mesures de fluor	15
III-1.1 Appareils	15
III-1.2 Calibration de l'appareil	16
III-1.3 Préparation des échantillons	16
III-2 Analyse chimique de l'eau traitée	17
III-3 Etudes de la Flocculation - Décantation	19
III-3.1 Flocculation - Décantation avec alun de Potasse	19
III-3.1.1 Etude de l'influence de la quantité d'alun	19
III-3.1.2 Etude de la combinaison avec le carbonate de calcium	21

III-3-2	Floculation et décantation avec sulfate d'aluminium	25
III-3-2.1	Essai d'orientation	26
III-3-2.2	Etude de l'influence de la quantité de sulfate	27
III-3-2.3	Etude de la combinaison avec la chaux	28
III-3-2.4	Etude des combinaisons avec le carbonate de calcium et la silice activée	30
III-4	Etudes de l'Adsorption - Filtration	38
III-4.1	Essais préliminaires	38
III-4.2	Expérimentation avec l'alumine activée	41
III-4.2.1	Essai d'orientation	41
III-4.2.2	Filtration à travers l'alumine activée	42
III-4.3	Filtration avec la poudre d'os	46
III-4.3.1	Essais d'orientation	46
III-4.3.2	Expérimentation avec la granulométrie 0,42-0,59	49
	<u>Chapitre IV : Discussion et recommandations</u>	60
IV-1	Discussion	60
IV-2	Recommandations de l'étude	62
	CONCLUSION	65
	Annexe 1: Carte de la répartition du fluor dans le maestrichien	66
	Annexe 2: Jonometre spécifique pour la mesure de fluor	68
	Annexe 3: Analyses chimiques journalières de l'eau produite à l'usine de N'GNITH	70
	Annexe 4: Procédure de floculation de légéremont	72
	Bibliographie	77

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Caractéristiques chimiques de l'eau de Mont Rolland
- Tableau 2 : Influence de la quantité d'alun de potasse
- Tableau 3 : Combinaison du carbonate de calcium avec l'alun de potasse
- Tableau 4 : Essai d'Orientation avec le sulfate d'aluminium.
- Tableau 5 : Influence de la quantité de sulfate.
- Tableau 6 : Influence de la combinaison avec la chaux
- Tableau 7 : Etude de la variation de la chaux le sulfate constant
- Tableau 8 : Etude de la variation du sulfate, la chaux constante.
- Tableau 9 : Etude de la variation du carbonate, le sulfate constant
- Tableau 10 : Etude de la variation de la silice, le sulfate constant.
- Tableau 11 : Influence de la combinaison sulfate + chaux + silice.
- Tableau 12 : Influence de quelques matériaux filtrants sur la défluoration.
- Tableau 13 : Essai d'orientation, influence du pH.
- Tableau 14 : Filtration à travers un lit de 50g d'alumine activée
- Tableau 15 : Résultats du deuxième essai d'orientation avec la poudre d'os
- Tableau 16 : Résultats du 3^e essai d'orientation avec la poudre d'os.
- Tableau 17 : Expérimentation de la granulométrie 0,42-0,59 mm

Liste des figures

- Figure 1 : Fluor résiduel en fonction de la teneur d'Alun de potasse
- Figure 2 : Fluor résiduel en fonction de la teneur d'Alun de potasse (en présence de carbonate de calcium)
- Figure 3 : Influence de la quantité de sulfate : fluor résiduel en fonction teneur sulfate
- Figure 4 : Etude de l'influence du sulfate + chaux constante :
- Figure 5 : Filtration sur alumine activée :
- Figure 6 : Filtration sur poudre d'os, granulométrie : 0,3 - 0,42 mm.
- Figure 7 : Filtration sur poudre d'os, granulométrie 0,42 - 0,59 mm, vitesse 8 m/h.
- Figure 8 : Filtration sur poudre d'os, granulométrie 0,42 - 0,59 mm, vitesse 1,6 m/h : Niveau de fuite en fonction du volume d'eau traité.
- Figure 9 : Filtration sur poudre d'os granulométrie 0,42 - 0,59 mm, vitesse 1,6 m/h : Fixation en fonction du volume d'eau traité
- Figure 10 : Filtre constitué au laboratoire.
- Figure 11 : Unité pilote de defluoration proposée.

INTRODUCTION

Au Sénégal, les nappes superficielles et profondes contiennent des réserves d'eau considérables. Le pays situé dans la zone sahélienne, dispose d'une faible pluviosité et de cours d'eau influencés pendant une grande période de l'année par la langue salée. En conséquence, il ne fait aucun doute que ces nappes jouent le plus grand rôle dans l'alimentation en eau du pays. Cependant la plupart d'entre elles présentent dans leurs eaux des concentrations élevées en fluorures qui limitent la potabilité de celles-ci. C'est ainsi qu'entre autres villes, celle de Kaolack est actuellement alimentée en eau à partir de forages dont les eaux présentent des teneurs en fluor dépassant largement la norme de potabilité (1 ppmF) fixée par l'O.M.S.. Cette forte minéralisation en fluorures des eaux de boisson s'accompagne d'une intoxication chronique par le fluor ou fluoroses.

C'est cette action pathogène du fluor qui a incité à rechercher des solutions. Ainsi, la direction de la SONEES ne s'est pas fait attendre, elle a envisagé de réaliser une défluoration partielle des eaux de certains forages. C'est dans ce contexte que ce projet de fin d'étude a été initié par Mr Drozd professeur à l'École Polytechnique de Thies, en collaboration avec la direction de la SONEES.

Les recherches dans ce projet s'orientent vers la mise au

point d'une méthode de défluoration peu onéreuse et d'entretien facile. Ainsi une série d'essais a été effectuée au laboratoire:

- décantation avec alun de potasse
- décantation avec sulfate d'aluminium
- filtration sur alumine activée
- filtration sur poudre d'os.

CHAPITRE I

GENERALITES

chapitre I : Généralités

I.1 Le Fluor : Considérations de chimie - biologique

I.1.1 Le Fluor : élément chimique

Le fluor occupe la 17^e place⁽¹⁾ dans l'ordre d'abondance des éléments constituant l'écorce terrestre et, se trouve seulement à l'état de trace dans notre environnement. Mais, il n'en demeure pas moins l'élément le plus électro-négatif et l'oxydant le plus puissant en chimie. Pour cela, il ne se rencontre pas à l'état libre dans la nature et, est retrouvé dans l'écorce terrestre principalement sous forme de fluorine (CaF_2), de fluorapatite ($\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$), et de cryolite (Na_3AlF_6). La fluorine est la plus répandue tandis que la fluorapatite est le constituant essentiel des phosphates de roche. On peut donc parler de fluore, car c'est généralement sous cette forme que l'on retrouve l'élément fluor.

I.1.2 Le Fluor : actions sur le système osseux et dentaire

On considère généralement qu'une faible teneur en fluor de l'eau d'alimentation (0,4 à 1 mg/l) est favorable à la formation de l'émail dentaire et protège les dents contre la carie. Cet effet bénéfique du fluor a permis d'envisager la fluoruration des eaux d'alimentation dans certains pays comme les U.S.A. Mais, ce traitement ne tend pas à être

généralisé car il n'est pas sans risque et soulève par ailleurs l'opposition de certains auteurs. Toutefois, on s'accorde sur l'amélioration de la résistance de l'émail dentaire contre la carie, consécutive à l'absorption de petites quantités de fluor.

En revanche, il est indéniable que cet oligo-élément est plus que la minéralisation, un facteur limitant de la potabilité de l'eau. En effet à doses supérieures à 2 mg/l de fluor, on trouve des altérations de l'émail dentaire, qui iront croissant avec le taux de fluor ingéré et qui peuvent s'accompagner d'autres affections⁽²⁾. Ces troubles sont englobés sous la dénomination générique de fluoroses. La fluorose dentaire se manifeste chez les enfants consommant quotidiennement une eau contenant plus de 2 mg/l de fluor, pendant les six premières années de leur vie.⁽²⁾ L'émail peut être tacheté en brun ou en blanc, avec des stries, des bandes ou encore présenter l'aspect caractéristique de dents « crayeuses ». Ces altérations dentaires sont connues sous le nom de « Mottle Enamel » chez les Anglo-saxons, de « Daimous » en Afrique du Nord et de « Kadam » au Sénégal. La fluorose dentaire est fonction à la fois du taux de fluorures contenus dans l'eau de boisson et du temps d'exposition au risque fluoristique. C'est pourquoi les lésions dentaires de la fluorose seront toujours symétriques, mais n'atteindront pas toujours tous les groupes dentaires.

Au niveau du système osseux, la fluorose se manifeste après dix ans au moins d'exposition au risque, par une opacification du squelette. Quant aux propriétés cancérogènes du fluor, il n'y a pas de preuve scientifique le confirmant. Néanmoins au Sénégal, la fluorose dentaire se retrouve fréquemment surtout parmi la population de la région de Kaolack.

I.2 Fluorures et eaux souterraines au Sénégal.

I.2.1 Répartition géographique des eaux fluorurées au Sénégal

C'est en 1957 qu'un foyer de fluoroses a été découvert presque dans tout l'Ouest du Sénégal. Les analyses systématiques effectuées depuis, sur les forages mis en service, ont permis de mettre en évidence des concentrations particulièrement élevées, atteignant parfois 13 mg/l dans la région de MBour. La densité des mesures effectuées permet d'affirmer que toute la zone comprise entre $15^{\circ}30'$ et 17° de longitude, s'étendant entre les fleuves Sénégal et Sine-Saloum est susceptible de donner des eaux dont la teneur en fluorures est supérieure à la norme de potabilité de 1 mg/l établie par l'organisation mondiale de la santé.⁽²⁾

D'une manière plus détaillée, on a pu constater que les teneurs les plus faibles entre 1 et 2 mg/l se trouvent le long de la route entre Thies et Bambey. Cependant autour des

CHAPITRE II

METHODES DE DEFLUORATION

villes de Sioumbel et Kaolack les teneurs sont comprises entre 4 et 6 mg/l de fluor. Ailleurs dans les régions de MBou et de Fatick, les concentrations les plus fortes sont centrées sur Ndiaganias (12 mg/l), Thiadiaye (11 mg/l), Faylar (9 mg/l), Ngoye Poffine (8 mg/l), Ballobongou, Guellor Sérère, Fatick, Nagarlam (4 à 6 mg/l)

A la lumière de toutes les analyses faites depuis les années 60, on peut dire que les formations aquifères concernées par le problème du fluor appartiennent au Maestrichien, au Paléocène à l'Éocène inférieur et Moyen.

I.2.2 Interprétation hydro-geochimique

Le Sénégal est occupé dans sa plus grande partie (83%) par un vaste bassin sédimentaire dont l'hydrogéologie est caractérisée par la présence de nappes profondes et de nappes superficielles. Ces dernières, exploitées par des puits se rencontrent dans les formations du Quaternaire du Continental Terminal et parfois de l'Éocène. Les nappes profondes par contre, se rencontrent dans le Maestrichien et peuvent fournir des débits atteignant 200 m³/h. Avec leurs réserves considérables en eau, ces nappes jouent un rôle important dans l'alimentation en eau du pays. Cependant, seules les nappes Continental Terminal et du Quaternaire sont épargnées par le problème du fluor.

Les eaux de l'Éocène présentent par contre, des teneurs

irrégulières en fluorures mais pouvant atteindre 8 mg/l. Ces concentrations excessives semblent être liées à la présence des faciès argilo sableux ou marneux, phosphatés de l'Éocène. En effet au Sénégal les principaux niveaux phosphatés se rencontrent dans l'Éocène inférieur et l'Éocène moyen. Les eaux du Paléocène également, contiennent de fortes quantités de fluorures, surtout dans les nappes captives sous l'Éocène inférieur. Cependant quelques indices phosphatés seulement ont été signalés dans le Paléocène, ce qui laisse supposer que ces concentrations excessives de fluorures sont liées au toit de cet aquifère. En effet, on a pu constater une concordance très nette entre la disparition de ces fortes teneurs et la zone où la base de l'Éocène inférieur est érodée. On admet pour ce fait que la nappe calcaire du paléocène, lorsqu'elle est captive, produit par ces mouvements naturels, une action de lessivage sur les roches phosphatées de l'Éocène. Les eaux du Maestrichien enfin, présentent des teneurs assez régulières en générale entre 1 et 3 mg/l. Des nodules et des grains de phosphate de chaux ont été reconnus dans les faciès-gréseux du Maestrichien et peuvent être en relation avec les minéralisations fluorées des eaux.

En dernière analyse, ces différentes observations nous permettent d'établir sans ambiguïté un lien entre la sédimentation phosphatée et les teneurs élevées en fluorures des eaux souterraines pour l'ensemble du Sénégal.

Chapitre II : Méthodes de défluoration

On a pu remarquer dans le chapitre précédent que certaines eaux naturelles avaient une potabilité limitée par des teneurs élevées en fluor, dépassant parfois 10 mg/l. Afin de ramener ces doses aux environs du taux admissible (1 mg/l), plusieurs techniques sont employées. Force est de reconnaître cependant que ces techniques de défluoration sont dans plusieurs cas, basées sur des procédés empiriques et des expériences. Néanmoins, selon le procédé d'élimination du fluor utilisé, on peut regrouper ces différentes techniques dans deux grandes méthodes : la première utilise la floculation, la décantation et la filtration, tandis que la seconde procède par adsorption et filtration.

II.1 Flocculation - Décantation - Filtration

La floculation d'une eau a pour but d'agglomérer les particules colloïdales présentes dans celle-ci. Cette opération est généralement précédée d'une réaction de coagulation. Celle-ci consiste à ajouter dans l'eau des réactifs chimiques appelés coagulants qui, en destabilisant les particules colloïdales, créent un précipité. Flocculer revient alors à agiter la masse d'eau contenant ce précipité pour permettre aux particules d'entrer en

collision et de former des flocons assez grosses pour être décantés. Cependant, afin d'obtenir une bonne floculation il est nécessaire de créer pendant quelques minutes, un mélange énergétique rapide au moment de l'introduction des réactifs. Ce potentiel électrocinétique permet aux particules colloïdales d'entrer en collision, d'adhérer et de former des flocons. Pendant ce temps, les particules très fines ayant une inertie insuffisante ne parviennent pas assez près des flocons. Pour cela, on abaisse le potentiel électrocinétique afin de faciliter les collisions. C'est pourquoi, le mélange rapide initial est toujours suivi d'une agitation lente.

La décantation quant à elle, est une opération purement physique par laquelle une suspension est séparée en deux parties:

- une liqueur clarifiée ou eau décantée
- une liqueur ayant une forte concentration de matières solides ou boues.

Elle peut être influencée par deux principaux facteurs:

- la concentration qui augmente l'interaction des particules et modifie leur vitesse de chute.

Ainsi selon la concentration des particules ou leur capacité de s'agglomérer, il existe plusieurs modes de décantation.

La défluoration utilise généralement le mode de sédimentation dans une suspension à faible concentration

mais ayant une certaine capacité de floculation. Dans ce cas la vitesse de chute est seulement influencée par la variation de la grosseur et de la forme des particules pendant la floculation.

Enfin la filtration qui est l'ultime opération permet de se débarrasser des dernières particules restées en suspension après la décantation. En effet certaines particules ayant échappé aux forces d'attraction des flocons, ont une inertie insuffisante et une vitesse de sédimentation très faible pour se déposer. Cette opération plutôt physique, consiste à faire passer l'eau à travers un lit filtrant constitué généralement de substance granuleuse qui n'a aucun apport de réactif sur le filtrat.

Il faut reconnaître en dernière analyse que ce procédé physico-chimique de défluoration est influencé par deux facteurs essentiels :

- Les caractéristiques de l'eau à traiter.
- La nature du coagulant ou réactif.

Le premier facteur est difficilement contrôlable car il comprend plusieurs paramètres, entre autres le pH, l'alcalinité, la turbidité et la température. Pour le second par contre, il existe un large éventail de réactifs dont on peut citer entre autres, les plus courants :

- Le sulfate d'aluminium : ajouté dans l'eau, il réagit

avec l'alcalinité pour donner du $Al(OH)_3$ insoluble qui fixe les ions F^- par adsorption. Mais la dose généralement utilisée est très élevée 150 à 1000 g/m³ selon les cas. Ce faisant, lorsque la concentration en fluor de l'eau est supérieure à 8 mg/l, l'utilisation exclusive du sulfate ne peut pas être efficace.

— La chaux : elle est utilisée pour l'adoucissement de l'eau, mais peut être employée pour la défluoration lorsque cette eau présente une teneur suffisante en magnésium. Dans le cas contraire on peut enrichir l'eau en magnésium en y ajoutant du sulfate de magnésium.

— S'alun de potasse : ou sulfate d'aluminium de potassium existe sous forme de cristaux blancs. Il est utilisé comme le sulfate d'aluminium.

— Le chlorure basique d'aluminium : préparé en neutralisant du chlorure d'aluminium par de la soude, il peut être efficacement utilisé pour un traitement de coagulation - floculation.

Il faut remarquer enfin, que ces différents coagulants peuvent être utilisés soit en combinaison entre eux, soit avec des flocculants comme la silice activée, le charbon actif ou le carbonate de calcium afin d'améliorer le traitement.

II-2 Adsorption - Filtration

L'adsorption est la fixation d'un ion, ou d'une molécule de grosseur variable dit absorbé, à la surface d'une molécule ou d'un complexe moléculaire appelé adsorbant. Il s'agit donc d'un phénomène de surface qui, dans le cas de la défluoration, se réalise durant la filtration. La technique consiste donc à faire passer de l'eau à travers un lit filtrant caractérisé par son apport de réactif. Ainsi, selon la nature du réactif utilisé, on distingue entre autres les méthodes suivantes :

— Filtration sur charbon actif.

Ce traitement peut donner de bons résultats et la régénération se fait par la soude et le gaz carbonique. Il présente toutefois des restrictions, car il ne s'applique pas en milieu basique et requiert donc une très grande acidité. C'est ce qui fait d'ailleurs qu'il est très peu utilisé.

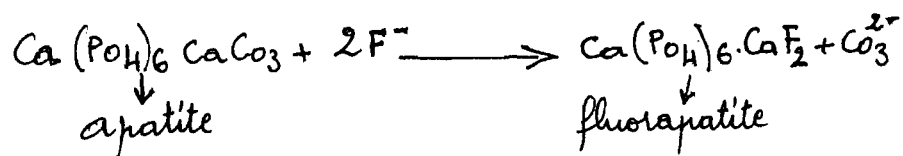
— Filtration sur alumine activée

L'alumine activée est obtenue par calcination à une température inférieure à 500°C de l'alumine hydratée $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, elle-même obtenue par attaque alcaline de la bauxite. Utilisée comme lit filtrant elle réagit avec le fluor dans l'eau par adsorption. A une vitesse de filtration voisinant $2,5 \text{ m/h}$, on peut parfois réduire la teneur en fluor d'une eau de 8 mg/l à $1,5 \text{ mg/l}$.

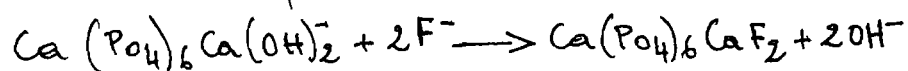
Il est possible pour la régénération d'utiliser du sulfate d'aluminium ou de la soude. Ce dernier procédé est celui mis en œuvre dans certaines stations de défluorisation aux U.S.A.

— Filtration sur produits à base de phosphate tricalcique.

L'affinité du fluor pour le phosphate tricalcique n'est plus à démontrer. Depuis longtemps, on trouve toujours des teneurs importantes en fluor dans les phosphates naturels, tels que les apatites, les phosphorites, de même que dans les os. On pense que dans l'apatite, de formule $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$, l'ion carbonate est remplacé par du fluor pour donner de la fluorapatite insoluble. Pour la défluorisation, on utilise dans la pratique soit des produits tirés des os de bétail, soit de l'apatite synthétique. L'emploi de la poudre d'os est plus répandu et fait partie des toutes premières méthodes de défluorisation. Le fluor est fixé à la surface des os par échange d'ions suivant l'équation chimique suivante:



La régénération peut se faire indéfiniment avec de la soude qui retransforme la fluorapatite en hydroxyapatite de formule $\text{Ca}(\text{PO}_4)_6 \text{Ca}(\text{OH})_2$. Dans ce cas l'échange d'ions se fait suivant cette équation:



II - 3 Autres méthodes.

On peut signaler pour mémoire, quelques méthodes de défluoration qui ne procèdent pas forcément par décantation ou par filtration, mais n'ont tout de même pas une application importante. Il s'agit de: l'osmose inverse qui est utilisée pour l'élimination à la fois du fluor et d'une minéralisation excessive, la coagulation électrique qui peut être très efficace.

Dans tous les cas, il est indéniable que seuls des essais préliminaires et une étude économique adéquate, permettent de déterminer le traitement le mieux adapté.

CHAPITRE III

ETUDES REALISEES

Chapitre III : Etudes réalisées

III-1 Mesures de fluor

Il existe plusieurs méthodes de détermination du fluor, les méthodes colorimétriques du type indirect donnent entre autres de bons résultats. Il est par ailleurs possible de pratiquer un dosage direct sur l'eau, mais des substances gênantes comme les chlorures, le fer, les phosphates, les sulfates etc... sont susceptibles de conduire à des interférences. Par contre, la méthode avec électrode ionique spécifique est d'une grande facilité d'emploi et permet des mesures directes sans interférences. Dans la présente étude, c'est cette dernière qui est utilisée.

III-1.1 Appareils

- Un ionomètre spécifique ORION modèle 407A qui est utilisé pour plusieurs déterminations ioniques spécifiques que pour une mesure de pH. Il dispose d'une échelle spéciale qui permet la lecture directe des mesures ioniques en ppm.
- Une électrode à cristal modèle 94-09 sensible au fluor, permet un dosage simple, rapide et précis des fluorures dans l'eau. L'ion hydroxyle est le seul qui interfère de façon notable, cependant l'électrode est dix fois plus sensible à l'ion fluorure qu'à l'ion hydroxyle.

III-1.2 Calibration de l'appareil

Toutes les solutions d'étalonnage utilisées ont été commercialisées par ORION. Il s'agit de solutions standard à 1 ppm, à 2 ppm et à 10 ppm de fluor. La solution à 100 ppm peut être diluée avec de l'eau distillée ou déminéralisée pour obtenir des solutions de plus faibles concentrations.

Pour calibrer l'ionométrie on procède alors comme suit :

- Après la mise en marche de l'appareil, on calibre avec la solution standard à 1 ppm, à l'aide du bouton calibre.

- Ensuite on calibre avec une solution de 10 ppm diluée à 50% avec une solution TISAB. Pour cette opération on utilise le bouton slope.

- Enfin on vérifie avec la solution standard de 2 ppm. Ces opérations doivent être effectuées autant que possible lorsqu'on analyse plusieurs échantillons.

III-1.3 Préparation des échantillons

Tous les échantillons doivent être dilués avec une solution TISAB afin de relâcher les ions complexes qui se forment entre fluorure d'une part et fer ou aluminium d'autre part. La solution TISAB (total ionic strength adjustor) est mise au point par ORION. On peut utiliser les solutions TISAB II ou TISAB III. Avant toute mesure, on mélange 50 ml de TISAB II pour chaque 50 ml d'échantillon, ou 5 ml de TISAB III pour chaque 50 ml

d'échantillon.

Lorsque la concentration en fluor de l'échantillon est très élevée, on procède à des dilutions jusqu'à ce qu'on parvienne à lire sur l'échelle de l'ionométrie.

Après chaque mesure, il est important de nettoyer l'électrode avec de l'eau distillée pour ne pas entamer la précision des mesures suivantes.

III - 2 Analyse chimique de l'eau traitée

L'eau brute traitée, provient d'un puits de Mont Rolland. Dans cette région, des mesures effectuées depuis vingt ans, révélaient des teneurs excessives en fluor des eaux souterraines. Après donc une série de mesures de fluor effectuées sur 8 échantillons provenant de puits ou forages de Mont Rolland, on a retenu l'eau du puits des sceurs pour la suite des essais. Ce choix s'explique par une double raison: d'abord la teneur élevée en fluor de l'eau de ce puits (6 mg/l), ensuite la situation géographique de Mont Rolland qui nous est plus favorable en regard à la quantité importante d'eau à transporter.

L'analyse chimique n'a pas cependant été exhaustive pour deux raisons principales: la première est l'absence d'un matériel approprié; la seconde et non la moindre est que, en regard à la démarche purement expérimentale suivie dans la présente étude, cette analyse n'est pas

indispensable. Néanmoins, on a réussi à déterminer certaines caractéristiques consignées dans le tableau n°1

Caractéristiques	Résultats
ph	8,1
Degré de couleur	5 unités
turbidité	4,5 ppm SiO_2
Alcalinité due à OH^-	0
Alcalinité due à CO_3^{2-}	0
Alcalinité due à HCO_3^-	257 mg/l CaCO_3
Alcalinité totale	257 mg/l CaCO_3
Dureté calcique	1550 mg/l CaCO_3
Dureté totale	2100 mg/l CaCO_3

Tableau N°1 : Caractéristiques chimiques de l'eau de Mont Rolland.

III - 3 Etudes de la Flocculation-Décantation

Deux réactifs chimiques ont été utilisés pour ce procédé de défluoration. Il s'agit de l'alun de potasse et du sulfate d'aluminium. Le choix de ces deux produits se justifie d'une part, par leur capacité d'élimination du fluor qui a plus d'une fois été déterminée, d'autre part par leur disponibilité sur le marché local.

S'agissant de la qualité des réactifs, on peut noter que tous ceux qui sont utilisés dans la présente étude sont commercialisés et aucun d'entre eux n'a été préparé au laboratoire.

III - 3.1 Flocculation - Décantation avec alun de potasse

L'alun de potasse de formule $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ est un réactif dont la capacité de défluoration n'est pas chimiquement bien connue. Pour cela, on a d'abord étudié l'influence de la quantité de réactif et ensuite l'effet de la combinaison avec le carbonate de calcium.

III - 3.1.1 Etude de l'influence de la quantité d'alun de potasse.

Mode opératoire

Dans cet essai on a procédé comme suit :

- Après le prélèvement de l'échantillon on ajoute le réactif solide
- Agitation pendant 10 minutes.
- Repos pendant 20 mn.
- Filtration sur papier Whatman n° 40
- Mesure du fluor.

Discussion des résultats

Durant l'agitation, les flocons se sont formés rapidement après 3 minutes, mais à la fin ils étaient toujours finement divisés. Les résultats sont consignés dans le tableau N°2, et comme on peut le constater, la teneur en fluor est ramenée de 6,2 à 0,1 ppm avec une dose de 5 g/l d'alun de potasse.

Ainsi pour ramener la teneur en fluor de l'eau brute à la limite admissible (1 ppm) il faudrait 3,2 g/l d'alun de potasse. fig. 1

Etant donnée l'allure de la courbe (fig. 1), on peut dire que 762 mg/l d'alun de potasse sont nécessaires pour éliminer 1 ppm de fluor.

Dose d'alun de Potasse (g / l)	pH final	F ⁻ résiduel (ppm)
1	1,9	6,2
2,5	1,4	4,1
5	0,1	4
Eau brute	6,2	8

Tableau N°2 : Influence de la quantité d'alun de potasse

III-3.1.2 Etude de la combinaison avec le carbonate de calcium

La dose d'alun de potasse trouvée précédemment est très élevée, pour la rendre optimale, une amélioration de la floculation est requise. Ainsi, on utilise le carbonate de calcium qui est un produit susceptible d'améliorer la coagulation par augmentation du poids des floes, ou en produisant des noyaux autour desquels les floes peuvent se former.

Mode opératoire

En utilisant un flocculateur de laboratoire permettant d'agiter simultanément 6 béchers, on s'est alors conformé à la procédure de floculation de Dégremont⁽⁷⁾ qui se résume comme suit :

- Ajout successif de l'alun de potasse et du carbonate de calcium solides.
- Agiter rapidement pendant 3 minutes
- Agiter ensuite lentement pendant 15 minutes
- Laisser décanter
- Récupérer le surnageant
- Déterminer le fluor.

On peut remarquer l'absence de la filtration qui, pour des raisons pratiques est remplacée par une plus longue décantation.

Discussion des résultats

Les observations faites pendant la floculation ont permis de constater que les flocs étaient restés finement divisés malgré l'amélioration de leur taille. Les résultats obtenus sont notés dans le tableau n° 3.

Il apparaît qu'en faisant varier la dose d'alun de potasse et en maintenant constante celle de carbonate de calcium, la teneur initiale en fluor est ramenée jusqu'à 1,6 ppm. Cette performance a utilisé 1 g/l d'alun de potasse et 0,3 g/l de carbonate de calcium. Autrement dit, à partir de la courbe (fig. 2) on trouve que 0,6 g/l d'alun de potasse est nécessaire pour atteindre 1 ppm de fluor résiduel. Cela correspond à une capacité de défluoration de 1,8 mg/l d'alun par 1 ppm F. Mais ces résultats ne sont que théoriques et doivent être considérés comme tels. Néanmoins la variation de la courbe (fig. 2) permet de dire qu'en combinaison avec une dose constante de carbonate de calcium, la rétention du fluor n'est pas une fonction croissante de la quantité d'alun de potasse.

En dernière analyse, les résultats des deux essais permettent de dégager les conclusions suivantes :

- L'alun de potasse à lui seul peut éliminer le fluor mais à des doses élevées de réactif (3,2 g/l).
- En présence de carbonate de calcium, l'élimination

du fluor varie inversement avec la quantité d'alun
 — L'élimination du fluor, en présence de carbonate de calcium est sensiblement améliorée pour de faibles doses d'alun de potasse.

Alun de potasse (g/l)	Carbonate de calcium (mg/l)	pH	F ⁻ résiduel (ppm)
1	300	5,9	1,6
1,2	300	5,6	1,6
1,4	300	5,4	2,2
1,6	300	5,1	2,7
1,8	300	5	2,8
2	300	4,7	2,7
Eau brute	0	8	6,4

Tableau 3: Etude de la combinaison du carbonate de calcium avec l'alun de potasse

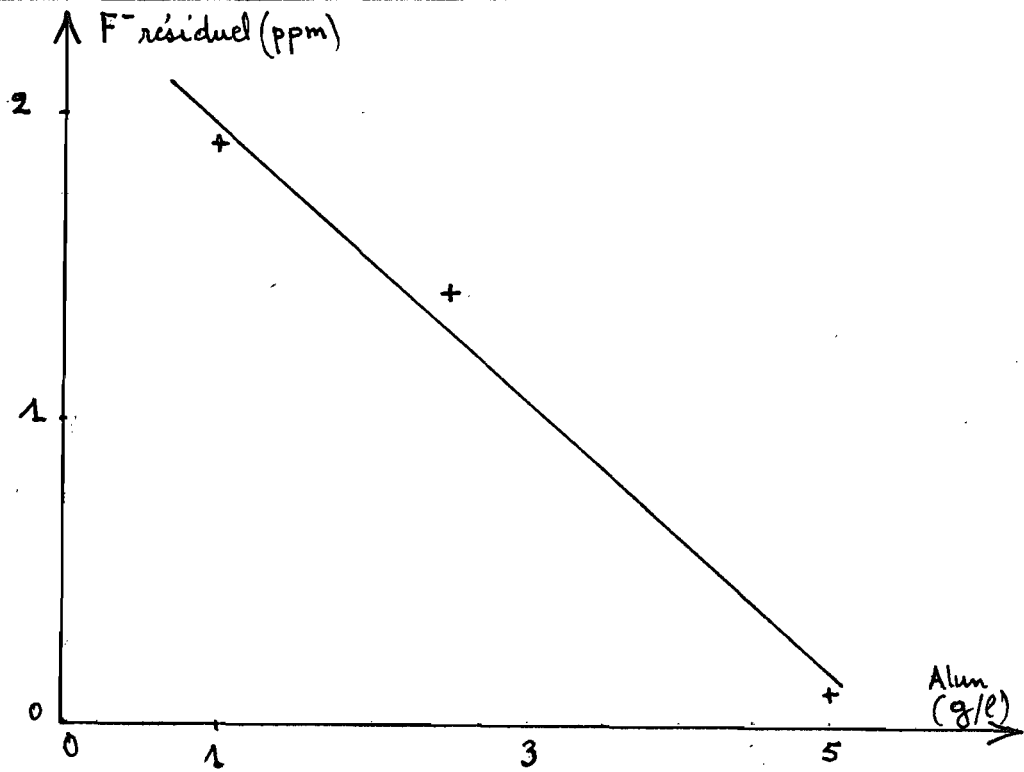


Fig. 1: teneur d'Alun de potasse en fonction du fluor résiduel

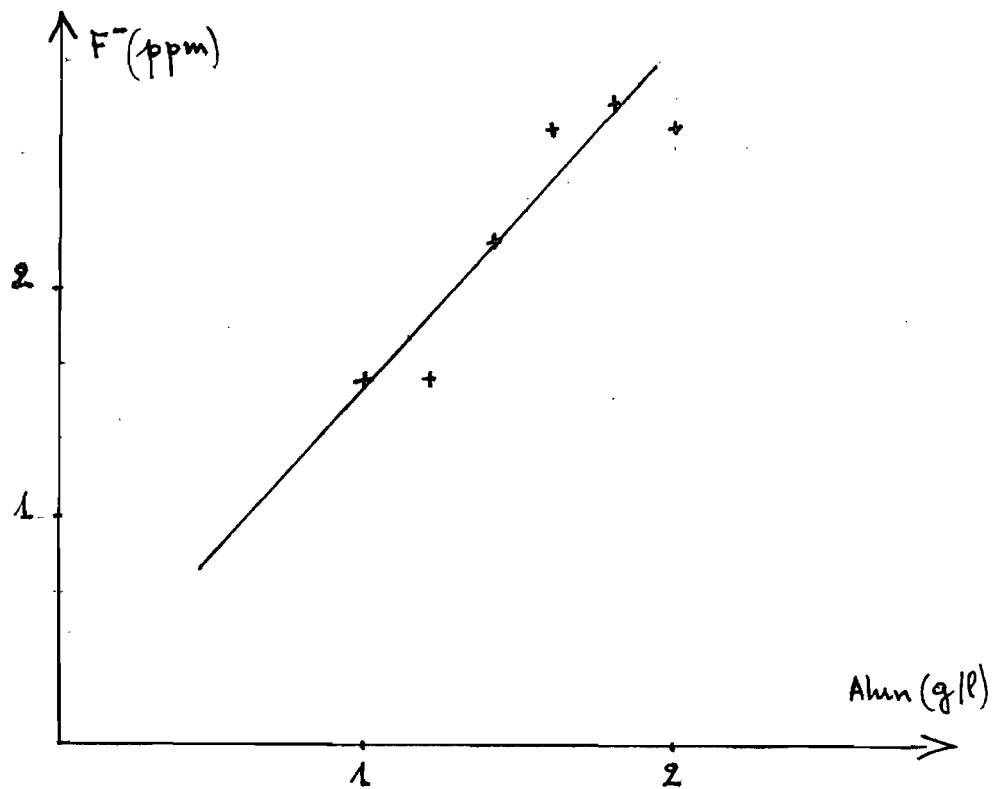
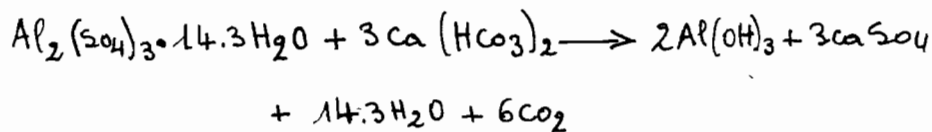


Fig. 2: teneur d'Alun de Potasse en présence de carbonate de calcium, en fonction du fluor résiduel.

III - 3.2 Floculation et décantation avec sulfate d'aluminium

Le sulfate d'aluminium est le principal agent coagulant, commercialisé généralement sous la formule $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, il est utilisé dans la présente étude sous la formule $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

On pense que le sulfate d'aluminium réagit avec l'alcalinité dans l'eau pour donner du $Al(OH)_3$ insoluble.⁽⁷⁾



Les ions fluor sont alors fixés par adsorption à la surface des particules de $Al(OH)_3$. Comme on peut donc le remarquer, théoriquement la capacité de fixation des ions fluor est entièrement fonction de l'évolution de la réaction du sulfate d'aluminium avec l'alcalinité.

De plus, la grosseur des particules de $Al(OH)_3$ doit avoir une grande influence d'autant plus qu'il s'agit d'une réaction d'adsorption, d'un phénomène de surface.

Cependant, ces considérations théoriques ne nous donnent qu'une idée de ce qui se passe réellement.

Ce faisant, on a procédé à des expériences; d'abord à des essais d'orientation suivis d'une étude de l'influence de la quantité de sulfate d'aluminium et des combinaisons de celui-ci avec la chaux, le carbonate de calcium et la silice.

III-3-2.1 Essai d'orientation

On prend de faibles doses de sulfate d'aluminium, comme celles utilisées dans les essais de floculation destinés à la clarification de l'eau. Il faut noter que du sulfate d'aluminium en solution a été utilisé et que cette démarche est conforme à la procédure de Dégremont.⁽⁷⁾

Discussion des résultats

En évaluant la qualité de la floculation, on trouve que la meilleure note est 4, ce qui correspond à de très petits flocons. De plus, en examinant les résultats consignés au tableau n°4, on se rend compte que la rétention du fluor est presque négligeable. En effet avec une dose de 25 mg/l de sulfate le fluor est éliminé seulement de 6,2 ppm à 5,8 ppm. En conséquence, il ne fait aucun doute que les différentes doses de sulfate utilisées ne peuvent pas fournir une bonne qualité de floculation, encore moins une élimination notable.

En revanche, il apparaît que la capacité de rétention du fluor est intrinsèquement liée à la qualité de la floculation. Par ailleurs, on sait théoriquement que le sulfate d'aluminium coagule bien à pH compris entre 5,8 et 7,4. En dehors de cette marge, il y a moins de formation de $Al(OH)_3$ insoluble, donc moins de fixation du fluor. Etant donné que les pH obtenus sont tous en dehors de cette marge et supérieurs à 7,4, on peut encore accroître la

dose de sulfate.

III - 3 - 2 - 2 Etude de l'influence de la quantité de sulfate d'aluminium.

En procédant de la même façon qu'à l'essai d'orientation, on a augmenté les doses de sulfate d'aluminium pour ajuster les ptt entre 5,8 et 7,4.

Discussion des résultats

Des étant consignés au tableau n° 5, leur bref examen permet de voir que tous les ptt se situent dans la marge. Cela se traduit d'une part par une amélioration de la floculation et d'autre part par une défluoration non moins négligeable. En fait, le meilleur résultat est obtenu avec 500 mg/l, la plus forte dose de sulfate qui a ramené la teneur en fluor de 6,4 ppm à 2,1 ppm.

A partir de la courbe de la capacité d'élimination (fig 3), il est difficile de trouver la dose de sulfate susceptible de ramener la teneur en fluor à la limite admissible, mais l'allure de cette courbe nous fait penser qu'elle sera assez élevée.

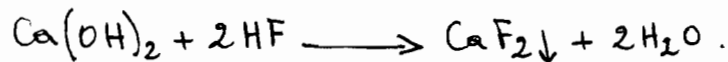
En examinant les ptt, il apparaît que ceux-ci varient inversement avec l'augmentation de la dose de sulfate.

Ce faisant, en augmentant résolument la dose de sulfate, les ptt pourraient se retrouver en dehors de la marge.

Mais, en remarquant que le plus faible ptt obtenu est égal à 6,3, on peut encore accroître le sulfate, en combinaison avec un autre coagulant.

III - 3-2.3 Etude de l'influence de la combinaison du sulfate avec la chaux

La chaux utilisée comme coagulant peut éliminer le fluor, théoriquement elle précipite le fluor dans l'eau à partir de l'équation suivante :



De plus, la chaux peut permettre d'ajuster le pH lorsque celui-ci est inférieur à 5,8. On peut donc s'attendre à ce que la combinaison du sulfate avec la chaux ait un double effet : d'une part celui de l'élimination du fluor et d'autre part celui d'ajustement du pH. Apparemment on peut donc ~~augmenter~~ la dose de sulfate sans risque de sortir de la marge des pH.

Discussion des résultats

— 1^o Essai : Dans cet essai on a suivi la même procédure de floculation que précédemment. La chaux et le sulfate, tous deux en solution, sont introduits en même temps. Mais dans cette combinaison, chaque dose de chaux représente 1/20 de celle de sulfate.

Les résultats de cette première combinaison sont donnés dans le tableau n°6. Ils ne reflètent pas cependant ce qu'on attendait. En jusqu'à la dose de 700mg/l de sulfate, l'élimination du fluor s'est améliorée d'une façon négligeable, au delà entre 700mg/l et 1000mg/l, il y a par contre une nette régression. Celle-ci peut s'expliquer

pour la saturation des ppt au delà de la marge. En fait pour les doses de sulfate supérieures à 800 mg/l, les ppt correspondant sont inférieurs à 5,8, ce qui peut réduire considérablement l'efficacité de la flocculation. Néanmoins il apparaît que la chaux peut contribuer plus ou moins efficacement à l'élimination du fluor.

Enfin il est permis de penser que la combinaison avec une proportion plus importante de chaux assurerait de meilleurs résultats.

2° Essai :

Dans cet essai on a procédé en deux étapes :

— étude de l'influence de la variation de la dose de chaux, celle de sulfate étant constante.

— étude de l'influence de la variation de la dose de sulfate, celle de chaux étant maintenant constante.

Il conviendrait de signaler que tout cet essai on a utilisé des reactifs solides ou bien de solutions qui atteignaient rapidement la saturation avec les fortes concentrations requises. Hormis cela, on a suivi comme dans les essais précédents la procédure de légèrement (7)

Pour ce qui est de la première étape, les résultats sont donnés en tableau n°7. Ses doses de sulfate et minimum sont fixées à 1911 et celles de chaux varient entre 50 mg/l et 500 mg/l. Il ressort en examinant les résultats que l'augmentation de la dose de chaux contribue à la fois la qualité de flocculation

et la rétention du fluor. Avec les doses de 500mg/l, 400mg/l et 300 mg/l de chaux, les pH correspondant se situent dans la marge, ce qui se traduit par les meilleurs résultats et la bonne qualité de floculation, obtenus. Mais on peut retenir la dose de 500mg/l de chaux comme celle optimale, d'autant plus que les pH correspondant aux autres doses se situent juste à la limite de la marge.

Pour la 2^e étape, les résultats sont consignés au tableau n° 8. La dose optimale de chaux (500mg/l) déterminée dans l'étape précédente, est combinée à plusieurs doses de sulfate variant entre 0,6 et 1,2 g/l.

La qualité de la floculation est pratiquement identique pour toutes les doses de sulfate et les flocons restent toujours finement divisés bien que les pH se situent dans la marge. De même en examinant la courbe de la fig-4, on se rend compte que le fluor résiduel varie faiblement pour toutes les doses de sulfate. De plus, aucune d'elles ne permet d'atteindre la limite admissible. Cependant la dose de 0,9 g/l de sulfate donne le minimum de fluor résiduel. Ainsi ce point est une sorte d'extrémum et peut être retenu comme la dose optimale de sulfate. Toutefois pour la suite on essayera d'améliorer la floculation par l'ajout de flocculants.

III - 3 - 2 - 4 Etude de l'influence des combinaisons avec le carbonate de calcium et la silice

Le carbonate de calcium et la silice sont

des flocculants minéraux très employés surtout avec le sulfate d'aluminium. La silice activée a d'ailleurs été le premier flocculant utilisé.

On a procédé comme précédemment en utilisant des réactifs solides et en combinant séparément les deux flocculants avec le sulfate d'aluminium.

Discussion des résultats

D'abord avec le carbonate de calcium, on a maintenu la dose de sulfate à 0,9 g/l et fait varier les doses de carbonate de 50 à 500 mg/l. Ses résultats de ce premier essai sont consignés au tableau n° 9.

Du point de vue tant de l'élimination du fluor que de la qualité de la flocculation, on constate que ces résultats sont presque identiques à ceux obtenus avec la chaux. Il résulte de ce constat que l'influence du carbonate de calcium est identique à celle de la chaux.

Ensuite, la silice dans le second essai est combinée pour des doses variant entre 10 mg/l et 50 mg/l, avec une dose fixe de 0,9 g/l de sulfate. Ses résultats sont donnés au tableau n° 10. On remarque que si la qualité de la flocculation est acceptable, par contre la capacité d'élimination du fluor est en nette régression.

Enfin, comme dernier recours on a combiné à la fois la chaux et la silice avec le sulfate d'aluminium. Ses résultats consignés au tableau n° 11 ne permettent toujours

pas d'atteindre la limite de potabilité.

En dernière analyse, on peut dire que malgré toutes les combinaisons qui ont été faites, l'utilisation seule du sulfate d'aluminium seul bien qu'elle ne donne pas les meilleurs résultats, paraît plus judicieuse. En effet bien que les doses de chaux utilisées soient élevées, elles n'améliorent pas pour autant les résultats. Enfin, il apparaît que si la dose admissible doit être atteinte, ce serait avec ~~au~~ moins 1 g/l de sulfate d'aluminium.

Sulfate d'Aluminium mg/l	Qualité de la floculation	pH	F ⁻ résiduel ppm
5	0	7,7	6,1
10	0	7,6	6,1
15	2	7,5	6
20	4	7,5	6
25	4	7,4	5,8
30	4	7,4	5,8
Eau brute		7,7	6,2

Tableau N°4 : Essai d'orientation avec le sulfate d'aluminium.

Sulfate d'Aluminium mg/l	Qualité de la floculation	pH	F ⁻ résiduel ppm
50	2	7,4	6,2
100	2	7,5	5,9
250	4	6,9	3,9
350	6	6,7	2,9
450	6	6,4	2,4
500	6	6,3	2,1
Eau brute	—	7,9	6,5

Tableau n°5 : Influence de la quantité de sulfate

Sulfate d'aluminium mg/l	Chaux mg/l	pH	F ⁻ résiduel ppm
500	25	6,4	2,2
600	30	6,1	2
700	35	5,9	2,1
800	40	5,8	2,7
900	45	5,1	3,4
1000	50	4,8	3,6
Eau brute	—	8	6,4

Tableau n°6 : Influence de la combinaison avec la chaux

Sulfate d'Aluminium g/l	Chaux mg/l	Qualité de la floculation	pH	F ⁻ résiduel ppm
1	50	2	4,8	3
1	100	4	5,2	2,8
1	200	4	5,4	2
1	300	4	5,8	1,3
1	400	6	5,8	1,2
1	500	6	5,9	1,1
Eau brute	-	-	7,9	6,4

Tableau n°7: Etude de la variation de la chaux, le sulfate constant

Sulfate d'Aluminium g/l.	Chaux mg/l	Qualité de la floculation	pH	F ⁻ résiduel ppm
0,6	500	4	6,5	1,6
0,7	500	4	6,4	1,5
0,8	500	4	6,3	1,4
0,9	500	4	6,3	1,3
1	500	6	6	1,4
1,2	500	4	5,8	2,1
Eau brute	-	-	7,8	6,4

Tableau n°8: Etude de la variation du sulfate, la chaux constante

Sulfate d'aluminium g/l	carbonate de calcium mg/l	Qualité de la floculation	pH	F ⁻ résiduel ppm
0,9	50	4	5	2,9
0,9	100	4	5	2,5
0,9	200	4	5,4	2,1
0,9	300	4	5,6	1,7
0,9	400	6	5,6	1,5
0,9	500	6	5,8	1,4
Eau brute	-	-	7,8	6,4

Tableau n°9 : Etude de la variation du carbonate, le sulfate constant.

Sulfate d'aluminium g/l	silice activée mg/l	Qualité de la floculation	pH	F ⁻ résiduel ppm
0,9	10	6	4,9	2,9
0,9	20	6	4,9	2,9
0,9	30	6	4,9	3,2
0,9	40	6	4,9	3,3
0,9	50	6	4,8	3,3
Eau brute	-	-	8,1	6,3

Tableau n°10 : Etude de la variation de la silice, le sulfate constant.

Sulfate d'Aluminium g/l	Chaux mg/l	silice activée mg/l	pH	F ⁻ résiduel ppm
0,9	500	10	6	4,15
0,9	500	10	5,8	1,15
Eau brute	—	—	7,8	6,4

Tableau n° 11: Influence de la combinaison sulfate + chaux + silice

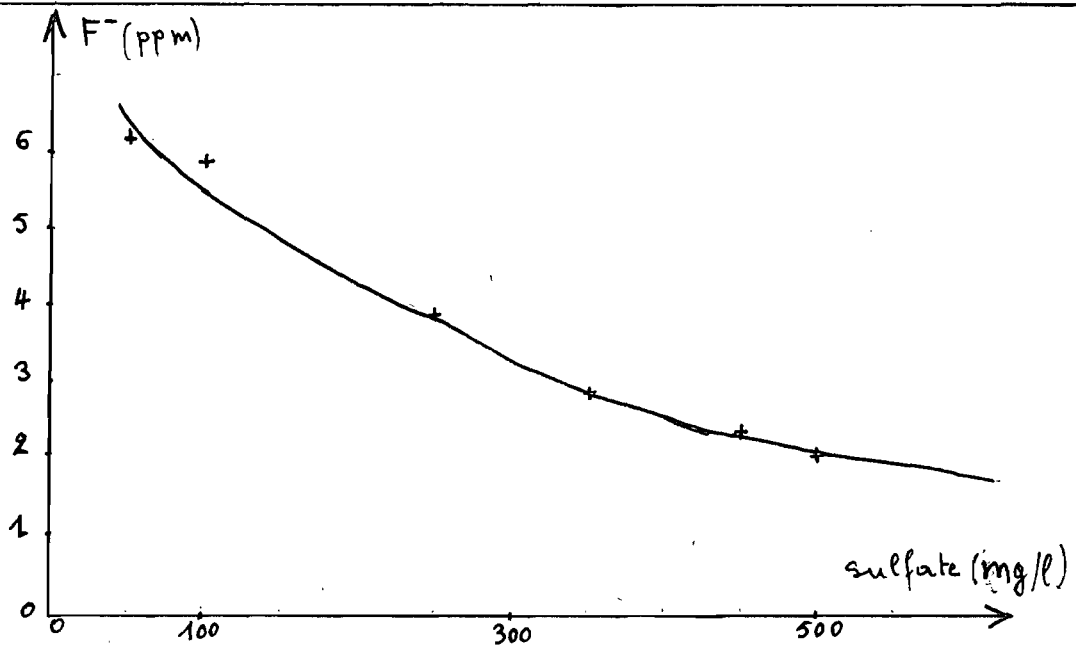


Fig.3 - Teneur en sulfate en fonction du fluor résiduel.
Etude de l'influence de la quantité de sulfate

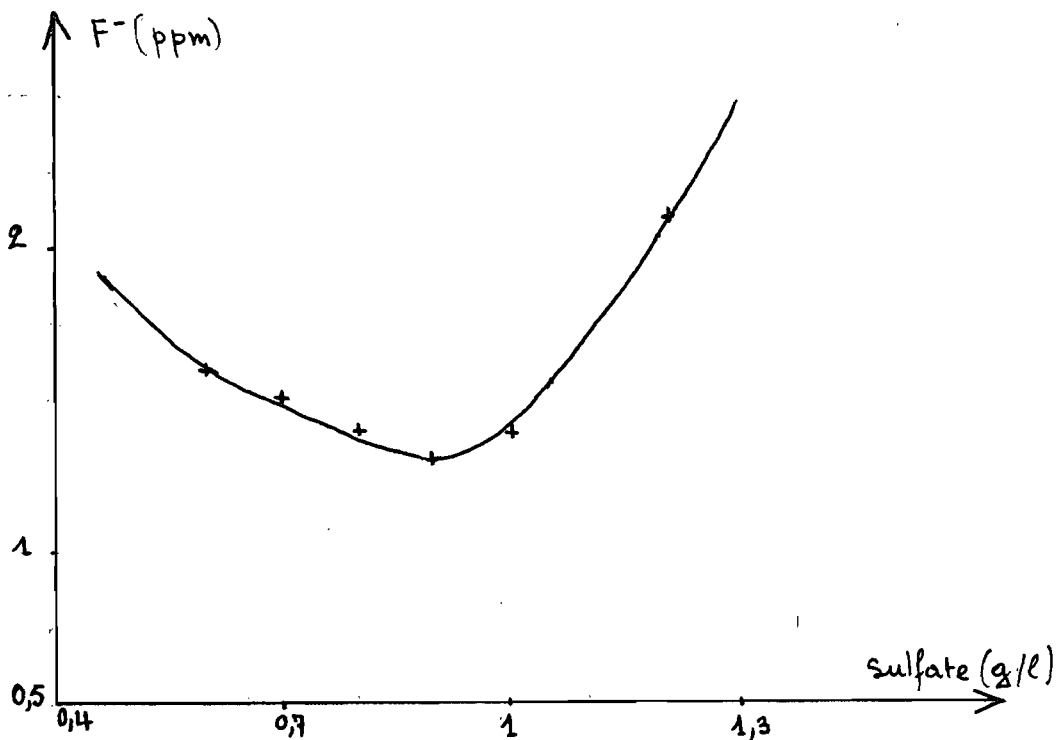


Fig.4 - Dose de sulfate en fonction du fluor résiduel
Etude de l'influence du sulfate + la chaux constante.

III - 4 Etudes de l'Adsorption - Filtration.

C'est la méthode d'Adsorption - Filtration qui utilisent la quasi totalité des installations industrielles de défluoration. Elle consiste à mettre en œuvre une percolation sur un lit d'un produit permettant la rétention du fluor. Les matériaux filtrants les plus fréquents sont constitués de produits soit à base de phosphate tricalcique soit d'alumine activée. Ils ont en générale une grande capacité de défluoration et peuvent, dans plusieurs cas, être régénérés.

Dans la présente étude, on a dans un premier temps entrepris des essais préliminaires sur quelques matériaux filtrants, avant de poursuivre l'expérimentation avec l'alumine activée et la poudre d'os.

III - 4 - 1 Essais préliminaires

On a effectué des essais sur tous les matériaux qui étaient susceptibles d'être utilisés comme couche de protection ou régulatrice de vitesse. L'objet de ces essais est d'une part de vérifier l'efficacité de ces matériaux, d'autre part de s'assurer qu'ils n'influencent pas la défluoration avec l'alumine activée ou la poudre d'os.

Les résultats de ces essais sont consignés au tableau n° 12.

Les différents matériaux utilisés sont les suivants :

— Latérite de Thies :

Comme on peut le constater à partir des résultats, ce matériau élimine effectivement le fluor, mais il s'épuise rapidement.

Si l'on ne tient compte que de ces résultats, on peut dire que la latérite de Thies a une capacité de défluoration négligeable. En effet il faut 125 g de latérite pour faire passer la teneur en fluor d'un litre d'eau brute de 6,4 à 0,8, ce qui représente un taux de défluoration de 22,3 g/l.

On pense que cette capacité d'élimination du fluor est liée à la présence de l'alumine hydratée.

— Latérite activée de Thies:

Elle est obtenue par calcination de la latérite de Thies à 450°C. Ses résultats montrent qu'elle est plus efficace que la latérite non activée.

— Charbon de bois:

Il est obtenu par calcination du bois. Il peut réduire le fluor mais sa capacité de fixation est très faible. La teneur en fluor est ramenée de 6,4 à 4, de plus il reste à déterminer sa capacité utile d'élimination.

— Le sable brun de Thies:

Il a une capacité initiale de fixation très élevée car le fluor est ramené de 6,4 à 0,27 ppm. Cependant, il s'épuise très rapidement car à 6 litres d'eau traités la capacité de fixation devient nulle.

Pratiquement tous ces matériaux se sont avérés inefficaces, soit en raison de leur niveau fuite élevé, soit parce qu'ils perdent progressivement leur pouvoir d'élimination du fluor. Avec cette remarque, il est plus indiqué de continuer l'expérimentation avec l'alumine activée et la poudre d'os dont l'efficacité est reconnue dans plusieurs installations industrielles.

Volume d'eau traitée	Nature du matériau filtrant		Vitesse m/s	F ⁻ résiduel (ppm)
200 ml	25g	Latérite de Thies	0,071	0,8
200 ml			0,071	1,4
200 ml	25g	Latérite de Thies activée	0,18	0,4
200 ml	10g	Charbon de bois	0,052	4
1 ^{er}	-	Sable brun Thies.	-	0,27
2 ^e			-	1,2
3 ^e			-	3
4 ^e			-	4,6
5 ^e			-	5,6
6 ^e			-	6,4
Eau brute				6,4

Tableau N°12 : Essais préliminaires: influence de quelques matériaux filtrants sur la défluoration.

III - 4.2 Expérimentation avec l'alumine activée

Si l'alumine activée est obtenue par calcination à une température inférieure à 500°C de l'alumine hydratée, elle-même obtenue par attaque alcaline de la roquette. Elle est utilisée comme matériau filtrant et élimine le fluor par adsorption. Dans cette étude, on a utilisé de l'alumine activée commerciale de granulométrie 0,3 - 0,6 mm et de poids spécifique 8744, 51 g/l. Dans un premier temps on a procédé à un essai d'orientation pour avoir une idée de la capacité de defluorisation de l'alumine. Ensuite on a effectué un essai jusqu'à épuisement complet du matériau.

III - 4.2.1 Essai d'orientation.

Méthode opératoire

On a procédé pratiquement comme il s'agit d'une fluorulation:

- Prélèvement d'un échantillon de 100 ml.
- Ajout d'alumine activée.
- Légère agitation
- Laisser reposer pendant quelques minutes.
- Détermination du fluor.

Discussion des résultats

Les résultats de cet essai sont consignés au tableau N° 13.

En les examinant, les conclusions suivantes peuvent être dégagées:

- Sa capacité de fixation dépend nettement de la dose d'alumine activée.
- Il apparaît qu'il faut au moins 20 g/l d'alumine pour

ramener la teneur initiale en fluor au niveau admissible.

- Il existe un pH auquel l'élimination du fluor est optimale. En effet à pH égal à 5,5, il y a un accroissement de la capacité de fixation qui peut être multipliée par près de 2.

III - 4 - 2.2 Filtration à travers l'alumine activée.

Conditions d'expérience.

On a constitué un lit filtrant avec 50 g d'alumine activée dans un tube en verre de 9,2 cm de diamètre. La couche d'alumine est emprisonnée entre 2 couches de sable. La couche inférieure est régulatrice de vitesse tandis que celle supérieure est protectrice. Finalement avec une vitesse de 1,62 m/h on a fait percoler l'eau brute par volume d'un litre à travers le filtre ainsi constitué.

Discussion des résultats

Les résultats de cet essai sont notés au tableau n° 14. En examinant ces résultats et les courbes de fixation et de fuite (fig.5), on peut faire les remarques suivantes:

- On atteint un niveau de fuite de 1 ppm après une filtration de 5 litres d'eau, ce qui représente une capacité utile égale à:

$$\frac{5 \times (6,3 - 1)}{(50/844,44)} = 0,447 \text{ g F}^- / \text{l d'alumine.}$$
$$= 0,53 \text{ g F}^- / \text{kg d'alumine activée}$$

Autrement dit, il faut 10 g d'alumine pour ramener la teneur initiale d'un litre d'eau brute à 1 ppm.

- Le niveau de fuite est inférieur à 0,5 ppm pour 60% du

volume d'eau traitée.

— On atteint une fixation de 3 ppm après 11,7 litres de filtrat (fig. 5). Ainsi pour une eau comme celle de Kaolack (3 à 4 ppm) il faudrait seulement 4,5 g d'alumine activée pour ramener la teneur en fluor d'un litre à 1 ppm.

Remarque: Cette extrapolation peut être faite pour d'autres eaux contenant moins de 6 ppm F⁻. Elle se justifie par la variation quasi linéaire de la courbe de fixation.

Enfin, on retient qu'il est parfaitement possible d'éliminer le fluor d'une eau par percolation sur un lit d'alumine activée. Cependant, il convient d'éclaircir les possibilités, d'une part de régénération avec la soude ou le sulfate d'aluminium, et d'autre part d'ajustement du pH et de la vitesse de percolation qui, sans nul doute influencent la capacité utile de l'alumine activée.

Dose d'Alumine activée g/l	pH normal	F ⁻ résiduel ppm	pH ajusté	F ⁻ résiduel ppm
10	8	2,5	5,5	0,7
15	7,8	1,4		
20	7,5	0,7	5,5	0,34
30	7,4	0,54		
Eau brute	8	6,4		

Tableau n° 13: Essai d'orientation, influence du pH.

Volume total du filtrat (l)	pH	Vitesse de percolation (m/h)	F ⁻ résiduel (ppm)
1	8,1	1,62	0,34
2	8,3	1,62	0,29
3	8,4	1,62	0,42
4	8,4	1,62	0,74
5	8,4	1,62	1
6	8,4	1,62	1,35
7	8,4	1,62	1,5
8	8,4	1,62	1,9
9	8,4	1,62	2,4
10	8,4	1,62	2,5
Eau brute	8	—	6,3

Tableau n° 14: Filtration à travers un lit de 50 g d'alumine activée.

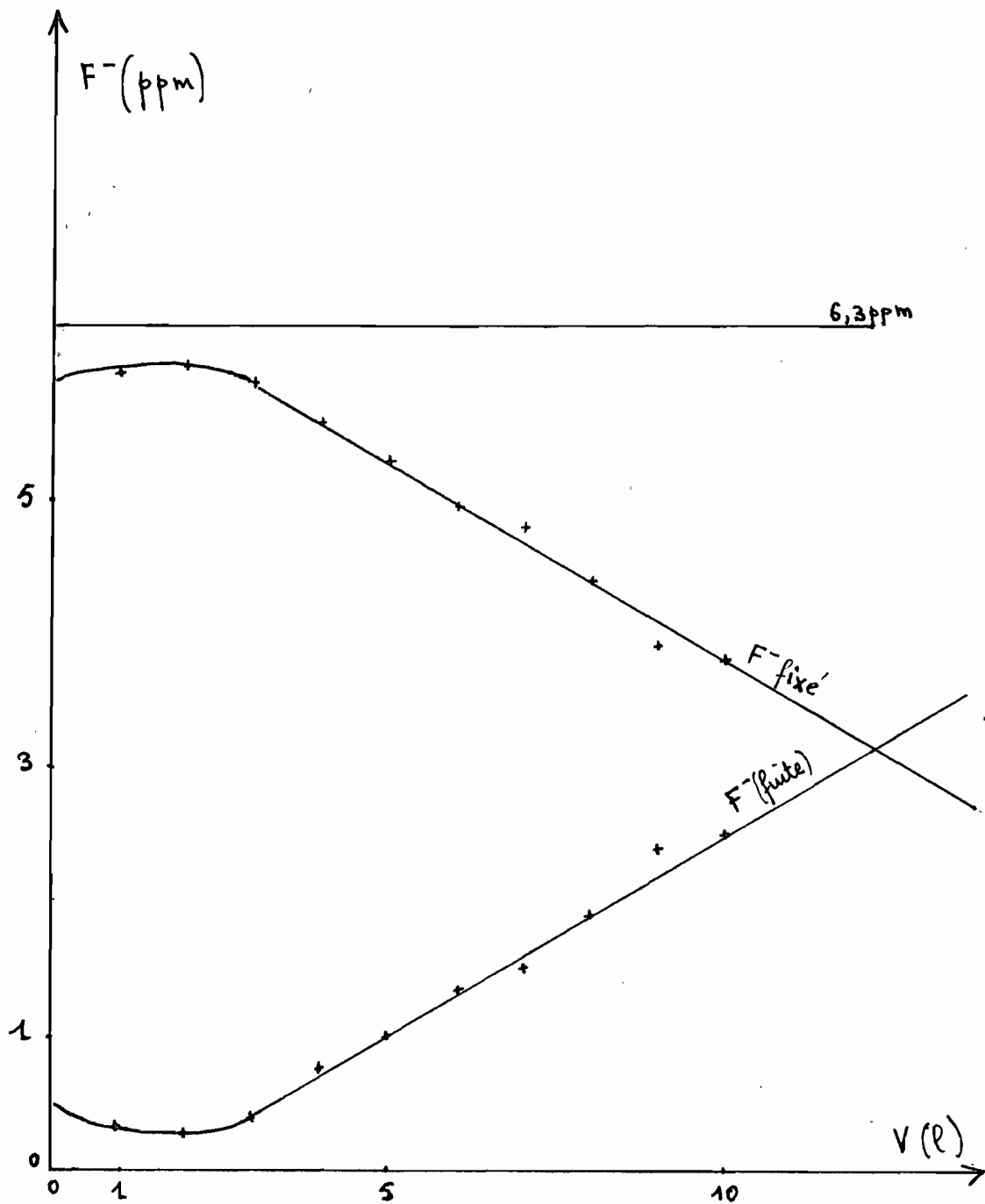
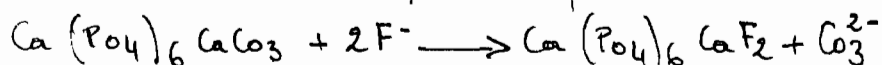


Fig-5 :- Fluor fixé en fonction du volume d'eau traitée
 - Niveau de fuite en fonction du volume d'eau traitée
 Filtration sur alumine activée.

III - 4 - 3 Adsorption - Filtration avec la poudre d'os.

La poudre d'os est obtenue par broyage des os de bétail. C'est un produit à base de phosphate tricalcique dont l'affinité avec le fluor a été remarquée depuis longtemps. Elle élimine le fluor par adsorption, cet échange d'ions se résume par l'équation suivante :



Dans la présente étude on a dans un premier temps effectué des essais d'orientation sur différentes granulométries. Ensuite une granulométrie convenable a été choisie pour la suite de l'expérimentation.

III - 4 - 3 - 1 Essais d'orientation.

A. Premier Essai

Dans un premier temps, on a utilisé la plus petite granulométrie disponible, inférieure à 0,3 mm.

Le résultat obtenu du point de vue de la fixation initiale est très satisfaisant ; la teneur en fluor de l'eau brute est ramené de 6,2 à 0,16 ppm. Cependant les observations suivantes ont été faites :

- Sa vitesse de percolation était très faible, $8 \cdot 10^{-2} \text{ m/h}$
- Le filtrat avait une couleur jaune paille et dégageait une odeur.
- Après ajout d'eau de javex, la partie supérieure du lit filtrant s'était colmatée.

Ainsi, il est permis de constater que cette granulométrie fine, malgré sa grande capacité de fixation du fluor, présente

beaucoup d'inconvénients.

Par la suite, on a expérimenté une granulométrie assez grossière. C'est ainsi qu'on a constitué un lit filtrant avec 50% de particules inférieures à 4,75 mm et 50% supérieures. En filtrant directement, l'eau brute à 6,2 ppm F⁻, on obtient un filtrat à 4,1 ppm F⁻. Par contre en filtrant après un temps de contact de 30 mn, on passe de 6,2 ppm F⁻ à 1,2 ppm F⁻.

Des remarques suivantes ont été faites après ces deux expériences:

- Présence de couleur et d'odeur au niveau du filtrat.
- Vitesse de percolation très grande 6,1 m/h.
- Influence du temps de contact sur la capacité de fixation.

A la suite de ce premier essai, force est de reconnaître que les granulométries fines et grossières sont inefficaces, soit par suite de leur faible capacité de fixation, soit en raison de leur forte perte de charge. Néanmoins on peut noter que la vitesse de percolation et le temps de contact, ont une influence non négligeable sur la capacité de fixation.

B. Deuxième Essai

Conditions d'expérience

Les résultats décevants obtenus précédemment, nous imposent l'utilisation d'une granulométrie intermédiaire. Dans cet essai la granulométrie 0,3 - 0,42 mm est expérimentée.

Le lit filtrant constitué dans un tube en verre de 8,5 cm de diamètre, comprend deux couches de sable de 5 cm d'épaisseur entre lesquelles se situe celle de 300g de poudre d'os.

La filtration s'est faite directement à une vitesse moyenne de 1, 1 m/h.

Discussion des résultats

Il apparaît en examinant les résultats consignés au tableau n° 15, les remarques suivantes:

- La capacité de fixation est très importante, l'eau brute est ramenée de 6,3 ppm F⁻ à 0,12 ppm F⁻.
- En extrapolant à partir de la courbe de fuite (fig. 6), on trouve qu'un volume de 11,2 l de filtrat correspondant au niveau de fuite admissible (1 ppm). Cela représente une capacité utile de 0,198 g F⁻/kg, exprimée par litre de poids d'os, elle devient égale à 0,197 g F⁻/l.
- On a un niveau de fuite inférieur à 0,5 ppm pour plus de 60% du volume utile.

Malgré ces résultats quasi satisfaisants, il convient de signaler que le filtrat avait encore gardé sa couleur et son odeur. De plus, après six jours de non utilisation le filtre s'était presque complètement colmaté.

En conséquence, la granulométrie 0,3 - 0,42 mm bien qu'efficace en regard à sa capacité utile, présente des inconvénients qui limitent son utilisation.

C - Troisième Essai

Conditions d'expérience

La granulométrie 0,3 - 0,42 est remplacé par du 0,42 - 0,59 mm afin d'éviter le colmatage. Un filtre est alors constitué dans un

tube en verre de 9,2 cm de diamètre. Le lit filtrant est composé d'une couche de 280 g de poudre d'os emprisonnées entre deux couches de sable.

La filtration s'est faite directement à une vitesse moyenne de 8 m/h.

Discussion des résultats

En examinant les résultats du tableau n° 16 et les courbes de fixation et de fuite (fig-7), on peut tirer les conclusions suivantes:

- On a une capacité utile très faible, environ 0,04 gF/kg de poudre d'os.
- Les niveaux de fuite sont élevés, avec 3 l de filtrat on atteint 2 ppmF.
- La pente de pouvoir d'élimination du fluor est très lente, malgré les niveaux de fuite élevés (fig-7)

Ces résultats bien qu'apparemment décevants, sont améliorables. En fait, les niveaux de fuite élevés sont consécutifs à la grande valeur de la vitesse de filtration. En effet les vitesses généralement recommandées se situent entre 1 et 4 m/h.

En conséquence, en maintenant la même granulométrie pour la suite de l'expérimentation et en réduisant la vitesse de percolation on peut s'attendre à de meilleurs résultats. Cependant le problème de l'odeur et de la couleur reste intact et il convient d'y apporter pour la suite de l'expérimentation d'y apporter une solution.

III - 4-3-2 Expérimentation avec la granulométrie 0,42 - 0,59 mm

On a d'abord essayé d'apporter une solution au problème de l'odeur et de la couleur avant de passer à l'essai proprement dit.

Correction de la couleur et de l'odeur.

La couleur et l'odeur sont dans notre cas liées à la présence de protéines et de matières organiques dans les os.

Pour ce qui est de la couleur, la coagulation est généralement utilisée pour son élimination.

Pour l'élimination de l'odeur, il existe plusieurs méthodes.

Actuellement la chloration au break point est la plus utilisée. De même l'adsorption sur charbon actif permet de modifier cette caractéristique.

Dans l'étude présente, pour se débarrasser de ces deux caractéristiques, on préconise la préchloration, l'adsorption sur charbon de bois et enfin un rinçage de la poudre d'os avec une solution de NaOH à 1%.

Conditions d'expérience

Pour la préparation du filtre (fig 10) on a procédé comme suit:

- Lavage de la poudre d'os avec 500ml de NaOH à 1%
- Rinçage avec de l'eau de robinet jusqu'à ce qu'on retrouve le pH initial (8,1).
- Disposer la première couche de sable dont l'épaisseur est fonction de l'ajustement de la vitesse de percolation.
- Placer la seconde couche composée de sable et d'1 g de charbon en poudre.
- Placer enfin 280g de poudre d'os.

Ensuite on passe à la filtration par volume d'1 litre. Au préalable une préchloration de l'eau brute est effectuée. Ainsi avant la filtration le chlore résiduel est de 2ppm et le chlore total de 3,8 ppm.

La vitesse de filtration moyenne est de 1,6 m/h.

Discussion des résultats

Les résultats sont représentés au tableau n° 17. Les figures 8 et 9 donnent respectivement les courbes de fuite et de fixation. L'analyse de tous ces résultats permet de dégager les conclusions suivantes:

- Absence de couleur et d'odeur notables
- En extrapolant sur la courbe de fuite on s'aperçoit que le niveau de fuite de 1 ppm F⁻ est atteint à 16 l.
- En extrapolant également sur la courbe de fixation on trouve que la fixation de 3 ppm F⁻ correspond à 36 l.
- La capacité utile pour le traitement de l'eau brute contenant 6,2 ppm est égale :

$$\frac{1,6 \times (6,2 - 1)}{0,28} = 0,297 \text{ g F}^- / \text{kg de poudre d'os.}$$

Elle est 7 fois plus importante que celle obtenue avec la même granulométrie mais à une vitesse de percolation presque 5 fois plus grande.

- Les niveaux de fuite sont faibles, leur variation est lente au début mais à la fin elle devient plus rapide.
 - La fixation varie également lentement. Ainsi pour une eau brute de 4 ppm comme celle de Kaolack, on peut s'attendre à une capacité utile de 0,386 g F⁻/kg de poudre d'os.
- En dernière analyse il apparaît que la capacité utile de cette granulométrie dépend de la teneur initiale en fluor

de l'eau brute -

Par ailleurs, il convient d'étudier les possibilités de régénération avec la sonde. Toutefois cette granulométrie se révèle satisfaisante et de surcroît améliorable.

Matériau utilisé: 300g de poudre d'os 0,3 - 0,42 mm		
Volume total filtré (l)	vitesse de percolation (m/h)	F ⁻ résiduel (ppm)
1	1,1	0,13
2	1,1	0,12
3	1,1	0,14
4	1,1	0,2
5	1,1	0,28
Eau brute		6,3

Tableau n° 15: Résultats du deuxième essai
d'orientation

Matériau utilisé: 280g de poudre d'os: 0,42-0,59 mm		
Volume total du filtrat (l)	Vitesse de percolation (m/h)	F ⁻ résiduel (ppm)
1	8	0,8
2	8	1,4
3	8	1,9
4	8	2,1
5	8	2,3
6	8	2,3
7	8	2,3
8	8	2,5
9	8	2,7
10	8	2,9
Eau brute		6,3

Tableau n° 16: Résultats du troisième essai
d'orientation.

Volume total de filtrat (l)	pH	Degré de couleur (U.S.I)	Turbidité (ppm SiO ₂)	Niveau de fuite F ⁻ (ppm)
1	8	10	3	0,3
2	8	5	2,6	0,3
3	8	5	2,6	0,34
4	8	5	2,6	0,4
5	8	5	2,5	0,42
6	8	5	2,5	0,5
7	8	10	3,5	0,4
8	8,1	5	2,1	0,5
9	8,1	5	2,1	0,55
10	8,1	5	2,1	0,46
11	8,1	5	2,1	0,58
12	8,1	5	2,1	0,63
13	8,1	5	2,1	0,7
14	8,1	5	2,1	0,8
15	8,1	5	2,1	0,9
Eau brute	8,1	5	1,8	6,2

Tableau N° 17 : Expérimentation de la granulométrie 0,42-0,59mm
Vitesse moyenne de filtration = 1,6 m/h

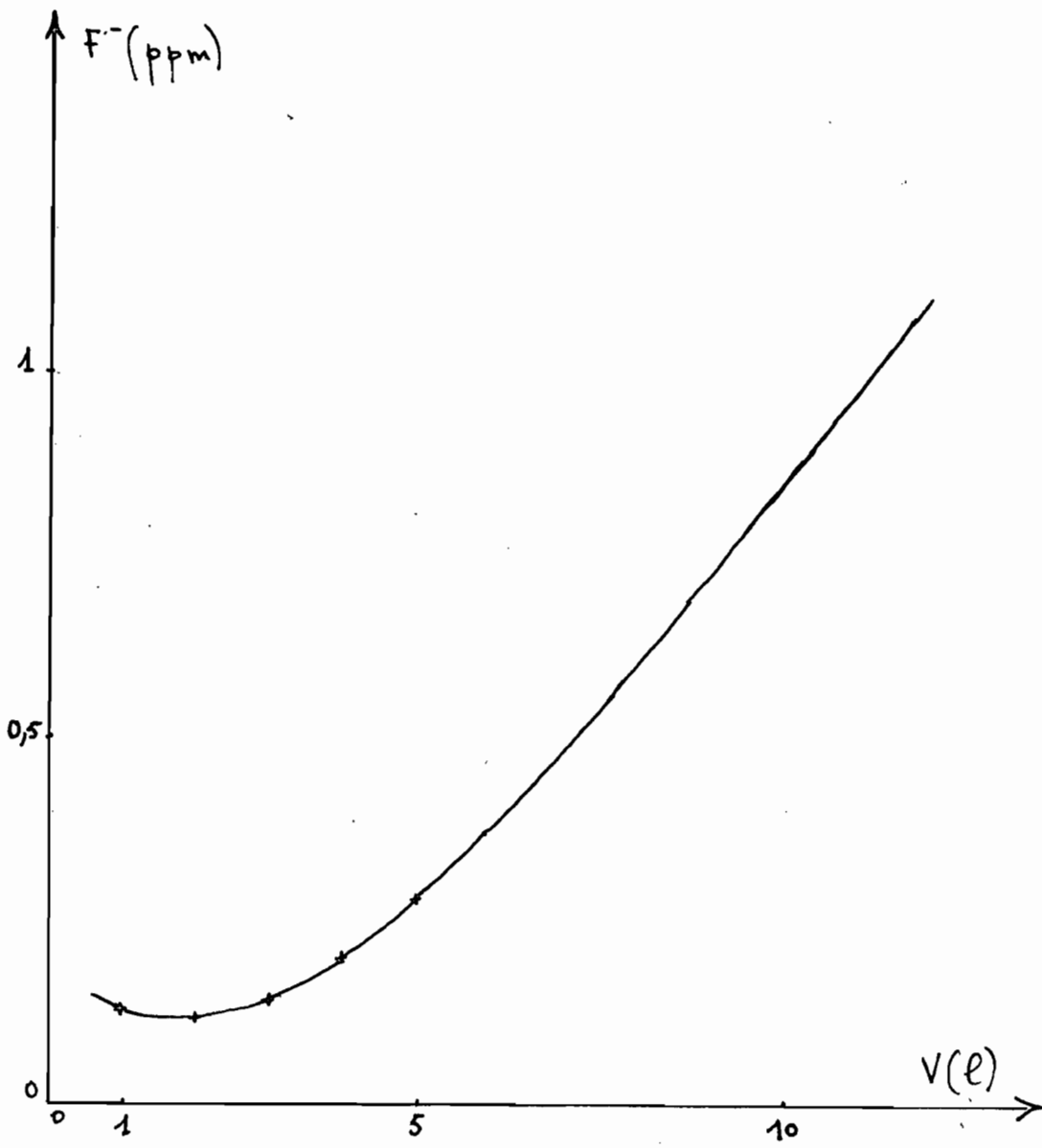


Fig-6: Niveau de fuite en fonction du volume d'eau traitée.
 Matériau filtrant: 300g de poudre d'os, granulométrie 0,3 - 0,42 mm.

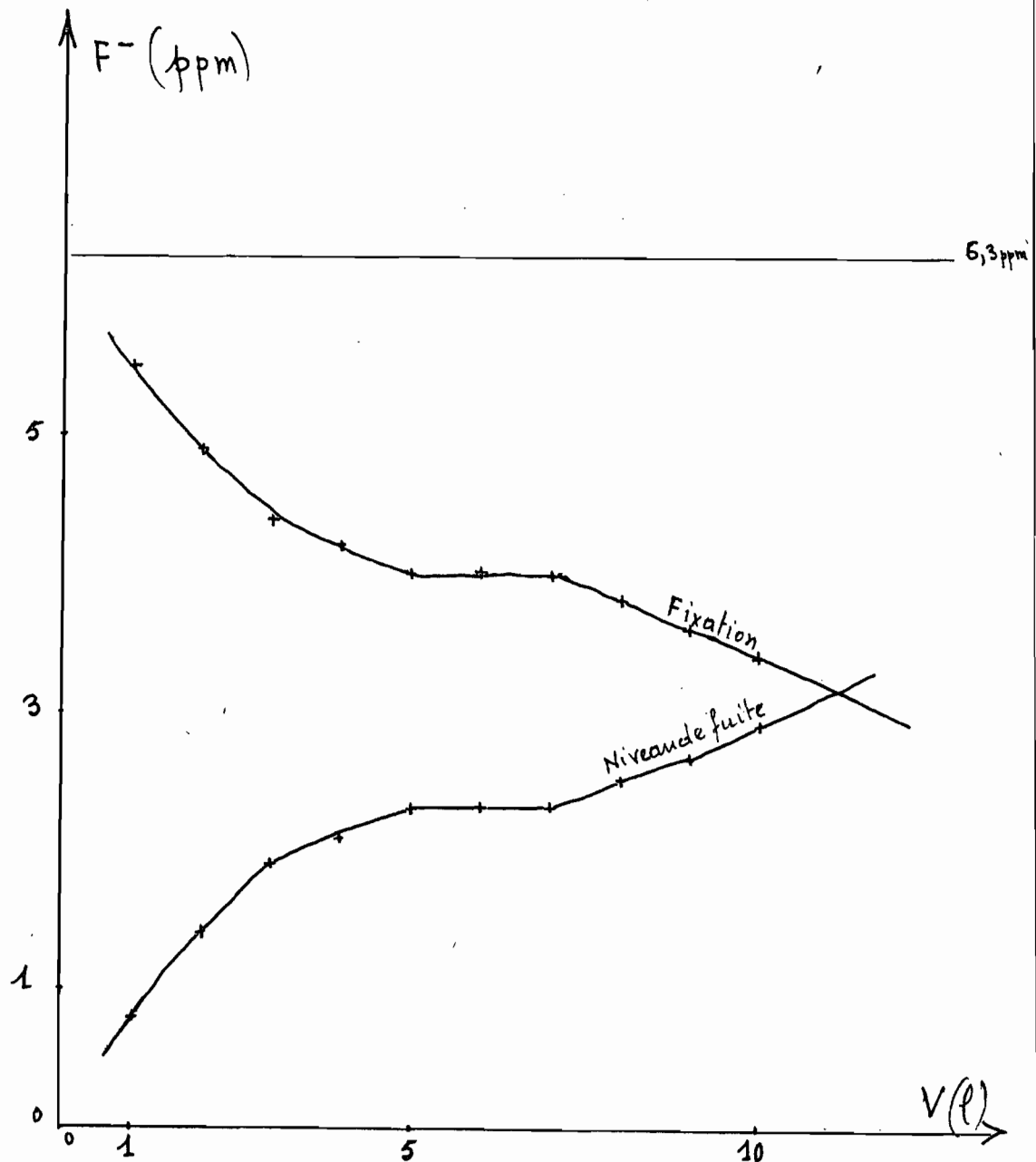


Fig. 7 : - Niveau de fuite en fonction du volume d'eau traitée
 - Fixation du fluor en fonction du volume d'eau traitée
 Filtration sur 280 g de poudre d'os 8ml/h, 0,42 - 0,59 mm

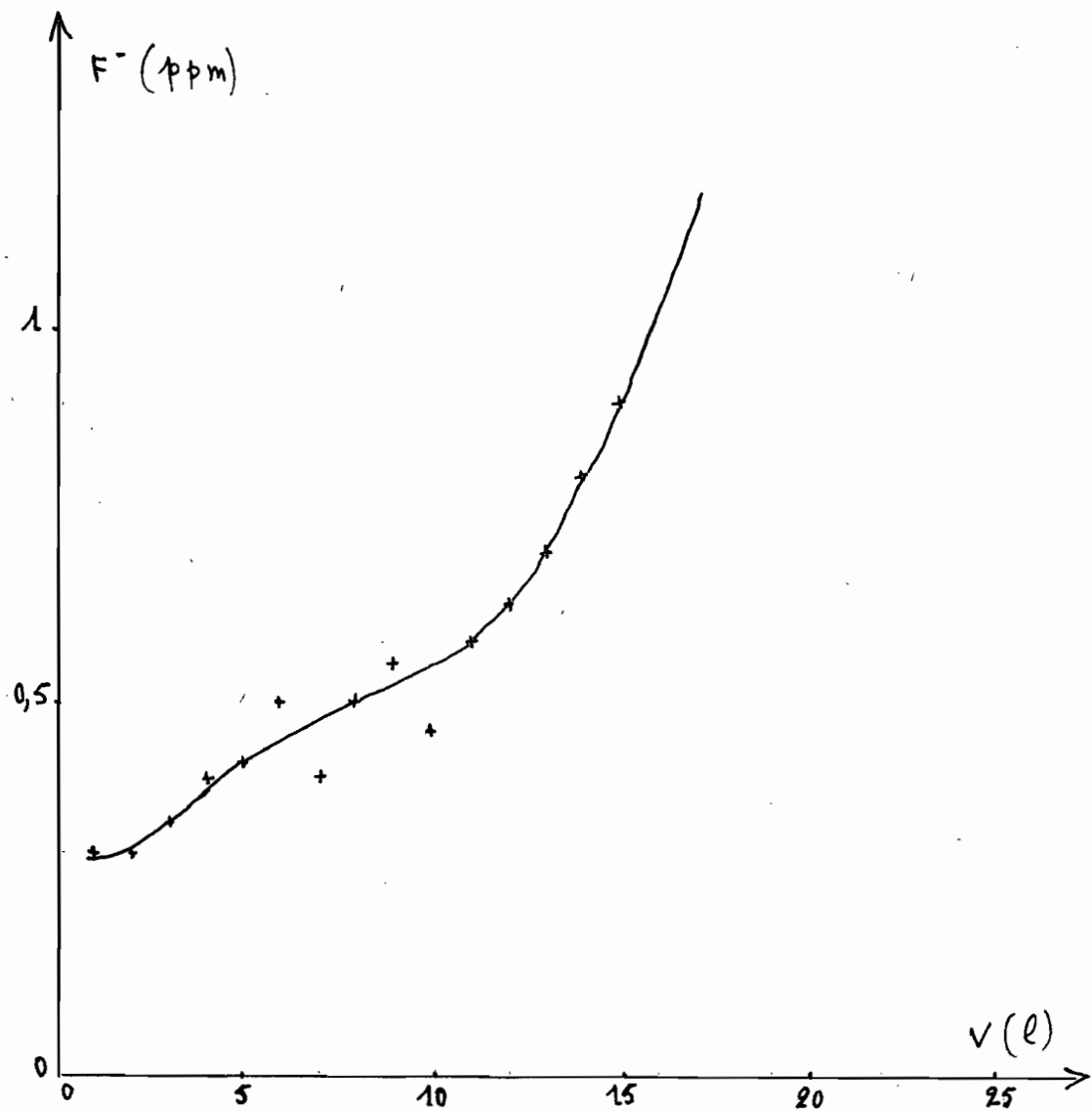


Fig. 8: Niveau de fuite en fonction du volume d'eau traitée.
 Matériau filtrant: 280 g de poudre d'os, 0,42 - 0,53 mm
 Vitesse: 1,6 m/h

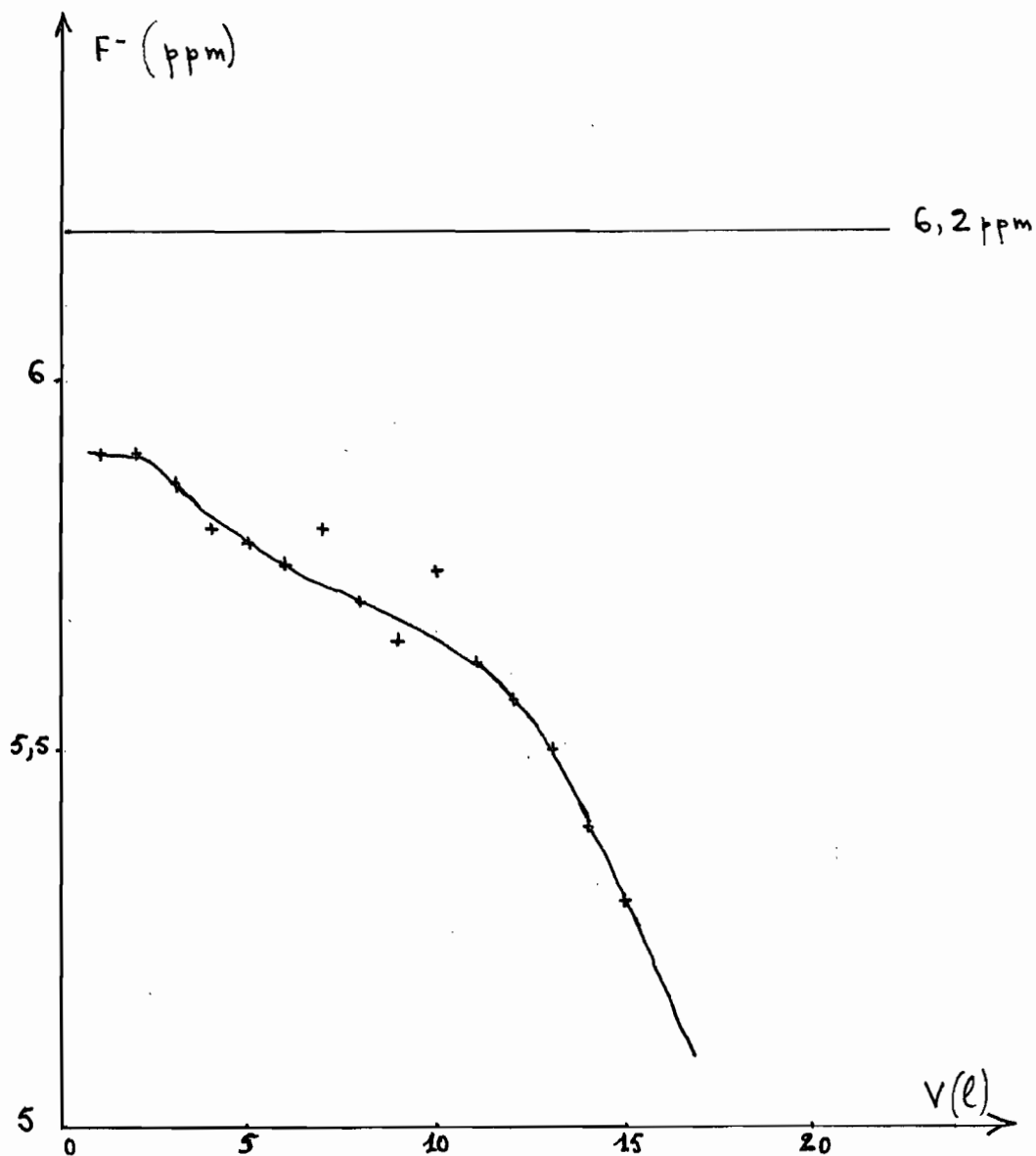


Fig. 9: Fixation en fonction du volume d'eau traitée
 Matériau: 280 g de poudre d'os: 0,42 - 0,59 mm
 Vitesse: 1,6 m/h.

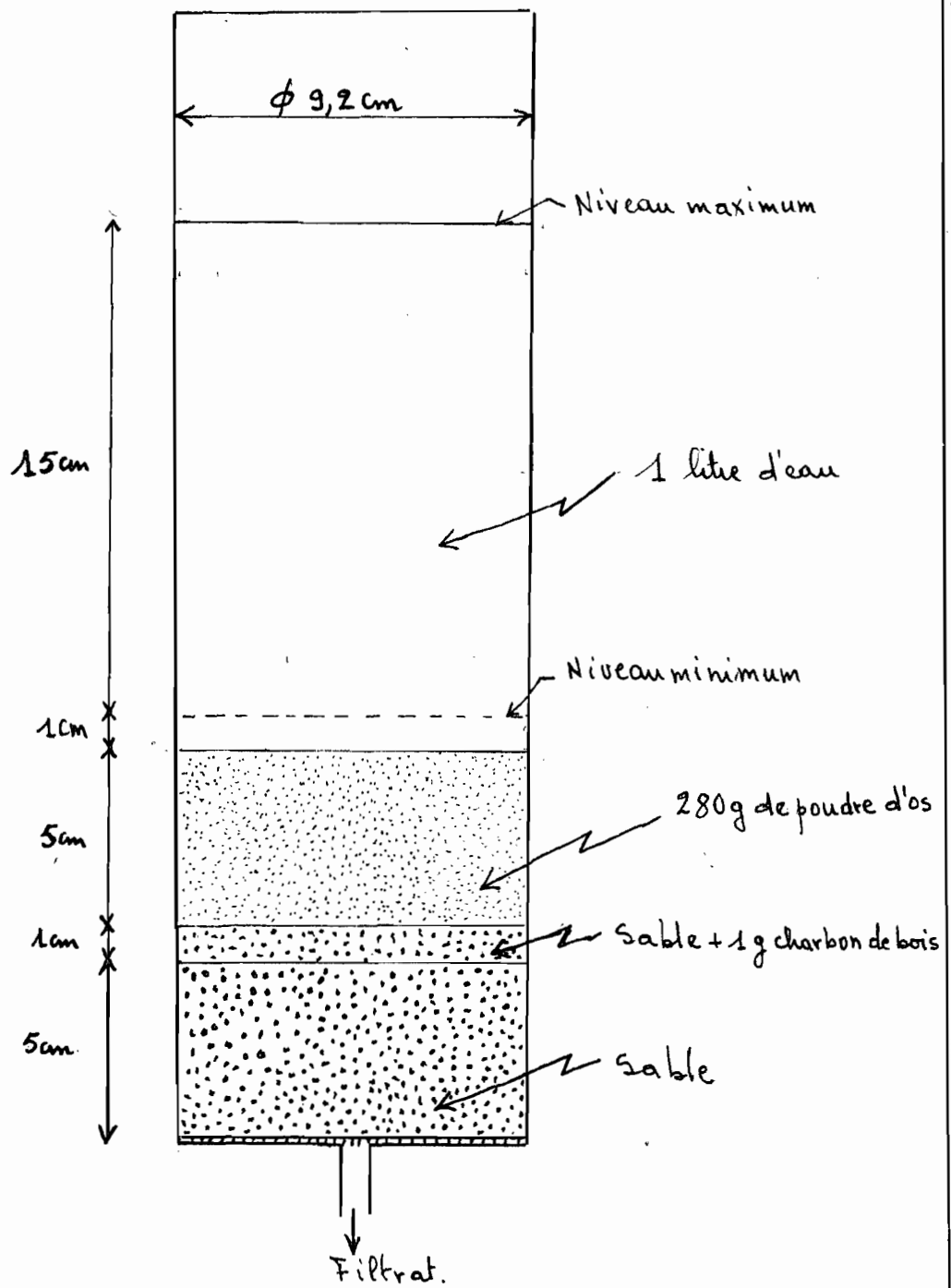


Fig- 10 : Filtre constitué au laboratoire

CHAPITRE IV

DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

Chapitre IV : Discussion et recommandations

IV-1 Discussion

La présente étude nous a permis de passer en revue, quatre techniques de défluoration.

Dans un premier temps deux techniques utilisant la floculation et la décantation ont été mises en œuvre. Il s'agit de l'alun de potasse et du sulfate d'aluminium.

Le premier permet de défluorer partiellement une eau brute contenant 6,2 ppm mais avec 3,2 g/l d'alun de potasse. La combinaison de ce réactif avec le carbonate de calcium n'est guère avantageuse car elle ne donne pas toujours de meilleurs résultats. En conséquence l'alun de potasse pourrait être utilisé seul mais la dose requise est très élevée, ce qui limite son emploi effectif pour la défluoration.

Le second réactif par contre s'est révélé meilleur que le précédent. En effet avec 0,9 g de sulfate d'aluminium combinée avec 500 mg/l de chaux, on arrive pratiquement à ramener la teneur en fluor de l'eau brute au niveau admissible. Cette combinaison est d'autant plus intéressante que les deux réactifs en question, sont largement utilisés dans le traitement des eaux potables au Sénégal (voir annexe 3). Cependant les doses préconisées dans la présente étude restent très élevées et constituent ainsi un facteur limitant pour l'utilisation du sulfate d'aluminium comme méthode de défluoration.

En dernière analyse, il apparaît, mise à part la quantité élevée de réactifs requise, que les méthodes qui procèdent par floculation, décantation sont peu applicables. En effet, la qualité de la floculation obtenue en générale ne permet pas une décantation efficace. Ces méthodes se prêtent mieux aux eaux turbides, alors qu'au Sénégal ce sont les eaux souterraines donc clarifiées qui sont concernées par le fluor.

Par la suite deux méthodes procédant par adsorption et filtration ont été expérimentées. Deux principaux matériaux ont été utilisés à cet effet : l'alumine activée et la poudre d'os. Avec l'alumine activée les résultats obtenus sont assez satisfaisants. Sa capacité utile de défluoration est fonction de la teneur initiale en fluor de l'eau brute, ainsi avec l'eau contenant $6,2 \text{ ppm F}^-$, elle est de $0,53 \text{ g F}^-/\text{kg d'alumine}$. Cependant il convient de signaler que le pH de l'eau brute influence notablement cette capacité utile. En effet un pH égal à 5,5 est recommandé afin d'obtenir une capacité utile optimale. En conséquence, il nous est permis de dire que les résultats obtenus avec ce matériau sont améliorables. De plus, la possibilité de le régénérer, théoriquement avec le sulfate d'aluminium ou la soude, nous oblige à considérer ce matériau avec un plus grand intérêt, dans la recherche d'une méthode judicieuse de défluoration.

Concernant la poudre d'os, on est parvenu avec une granulométrie convenable, non sans difficultés à des résultats

acceptables. Ici également, la capacité utile est fonction de la teneur initiale en fluor de l'eau brute. Elle est de 0,39 F/kg de poudre d'os avec une teneur en fluor de l'eau brute de 6 ppm. Elle est plus faible que celle de l'alumine mais peut néanmoins être améliorée si l'on réduit davantage la vitesse de filtration. Par ailleurs, il faut noter que la poudre d'os peut être théoriquement régénérée plusieurs fois avec la soude. La disponibilité de ce matériau, ajoutées à cela les caractéristiques citées précédemment, fait de la poudre d'os, par son utilisation la méthode de défluoration la plus judicieuse parmi celles passées en revue dans cette étude.

IV - 2. Recommandations de l'étude

A la suite de l'étude présente, strictement limitée au laboratoire, il nous est difficile de définir une méthode de défluoration valable d'une manière générale au Sénégal. En effet, d'une part les teneurs en fluor des eaux souterraines au Sénégal, sont variables et comme nous venons de le remarquer, l'efficacité des différentes méthodes est influencée par ces paramètres. D'autre part les conditions du laboratoire étant généralement très différentes des réalités du terrain, il convient pour éviter des conclusions hâtives, de réaliser d'abord des unités pilotes répondant aux spécificités de chaque cas.

Ainsi pour le cas spécifique aux centres urbains comme Kaolack, l'utilisation de l'alumine activée nous paraît plus

appropriées, pour plusieurs raisons. D'abord l'alumine activée a d'une part une grande capacité utile permettant le traitement de la consommation de toute une ville en eau, d'autre part celle-ci est améliorable et les opérations requises pour cela s'exécutent aisément dans n'importe quelle station de traitement des eaux contrôlée par une société comme la SONE. Ensuite, l'alumine activée s'obtient industriellement à partir de la bauxite, produite abondamment en Guinée, pays voisin, ce faisant le matériau pourrait être largement commercialisé au Sénégal. Enfin une raison non moins importante est la possibilité de régénération du matériau.

En milieu rural par contre on peut facilement s'orienter vers l'exploitation d'unités individuelles de défluoration. Pour cela la poudre d'os qui peut être disponible partout est le matériau le plus approprié.

A cet effet, en nous fondant sur les résultats obtenus, une unité pilote de défluoration a été proposée (fig 11)

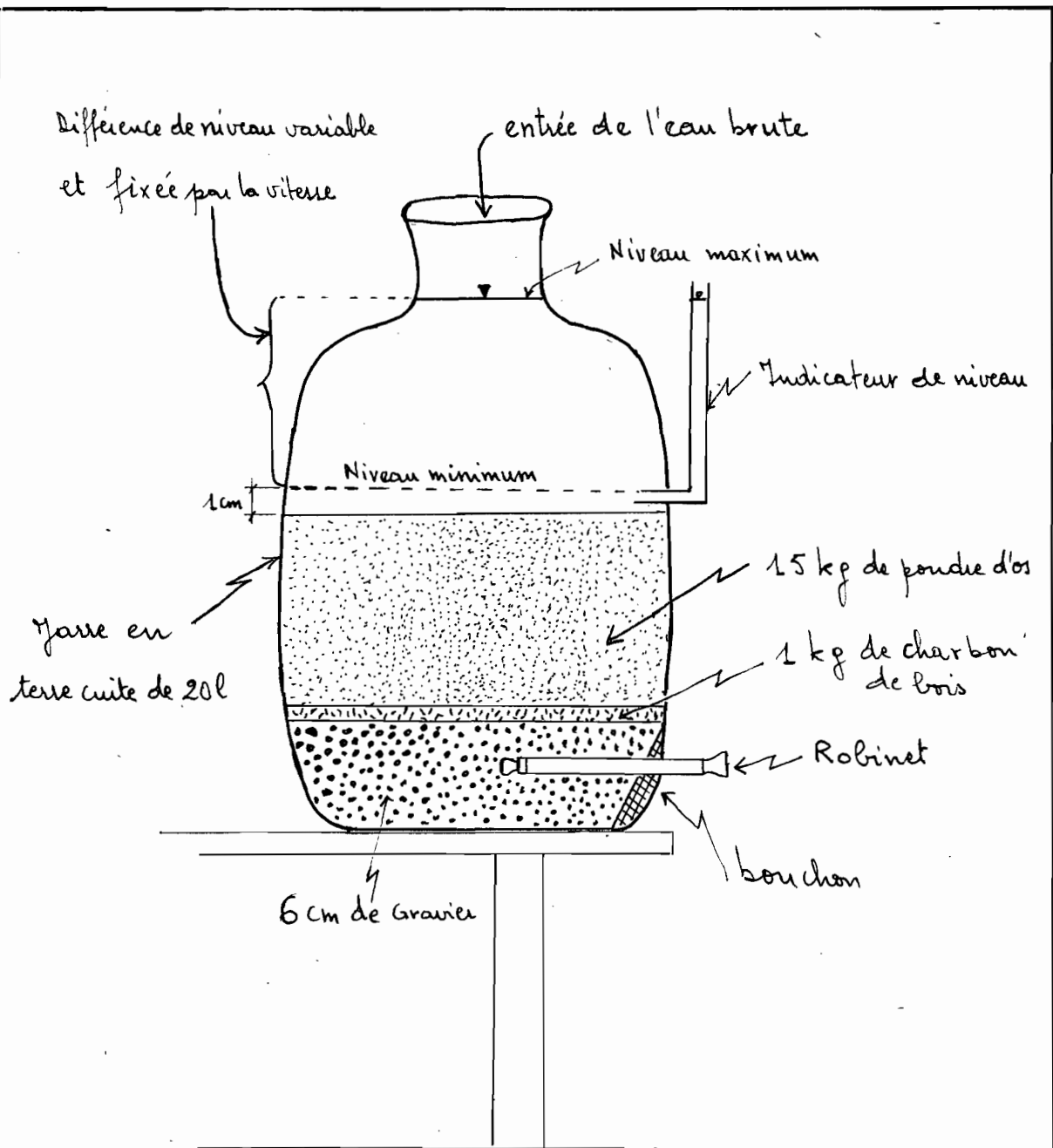
Une telle unité pourrait produire 30 litres d'eau à 1 ppm pendant un mois avec une eau brute de 6 ppm.

L'expérimentation d'une telle unité permettrait d'éclaircir un certain nombre de points obscurs.

En particulier il conviendrait d'étudier les possibilités de régénération.

Un autre point important est l'analyse bactériologique de l'eau.

Enfin il s'agira également d'étudier le comportement du matériau à long terme, surtout pour ce qui concerne la prolifération de bactéries.



Caractéristiques de la poudre d'os

- Os secs de bétail
- Rinsage avec une solution de NaOH à 1%
- Granulométrie : 0,42 - 0,59 mm.
- Vitesse de percolation 1,7 m/h

Figure 11

CONCLUSION

Ce projet s'est consacré à l'étude exclusive au laboratoire de quelques techniques de défluoration. Celles-ci procèdent soit par décantation soit par filtration.

Dans le premier cas deux réactifs ont été testés : l'alun de potasse et le sulfate d'aluminium. Les résultats de ces essais ne se sont pas révélés acceptables par suite des doses élevées de réactif, et de la qualité médiocre de la floculation et de la grande quantité des boues à éliminer. Cette méthode n'est pas retenue pour le Sénégal.

Quant aux secondes techniques, elles ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants. Ainsi avec l'alumine activée on a atteint une capacité utile de défluoration égale à $0,53 \text{ g F}^-/\text{kg}$ d'alumine activée, elle est réduite à $0,3 \text{ g F}^-/\text{kg}$ de poudre d'os avec ce dernier matériau. Il convient de signaler cependant qu'avec la poudre d'os, un problème d'odeur et de couleur s'était posé au niveau de l'eau traitée. Une solution a été trouvée en procédant à la fois à une préchloration de l'eau brute, à une adsorption sur charbon de bois et à un rinçage du matériau avec de la soude à 1%.

En dernière analyse, on a préconisé l'utilisation de l'alumine activée pour la défluoration des eaux dans les centres urbains. Cependant la poudre d'os est proposée comme matériau filtrant dans les unités individuelles de défluoration en milieu rural.





Enfin, l'unité pilote proposée peut fournir 30 l d'eau par jour pendant un mois. Son expérimentation devrait faire l'objet de la suite de cette étude.

ANNEXES 1

" Carte de la répartition du fluor dans la
Nappe Naestrichtienne "

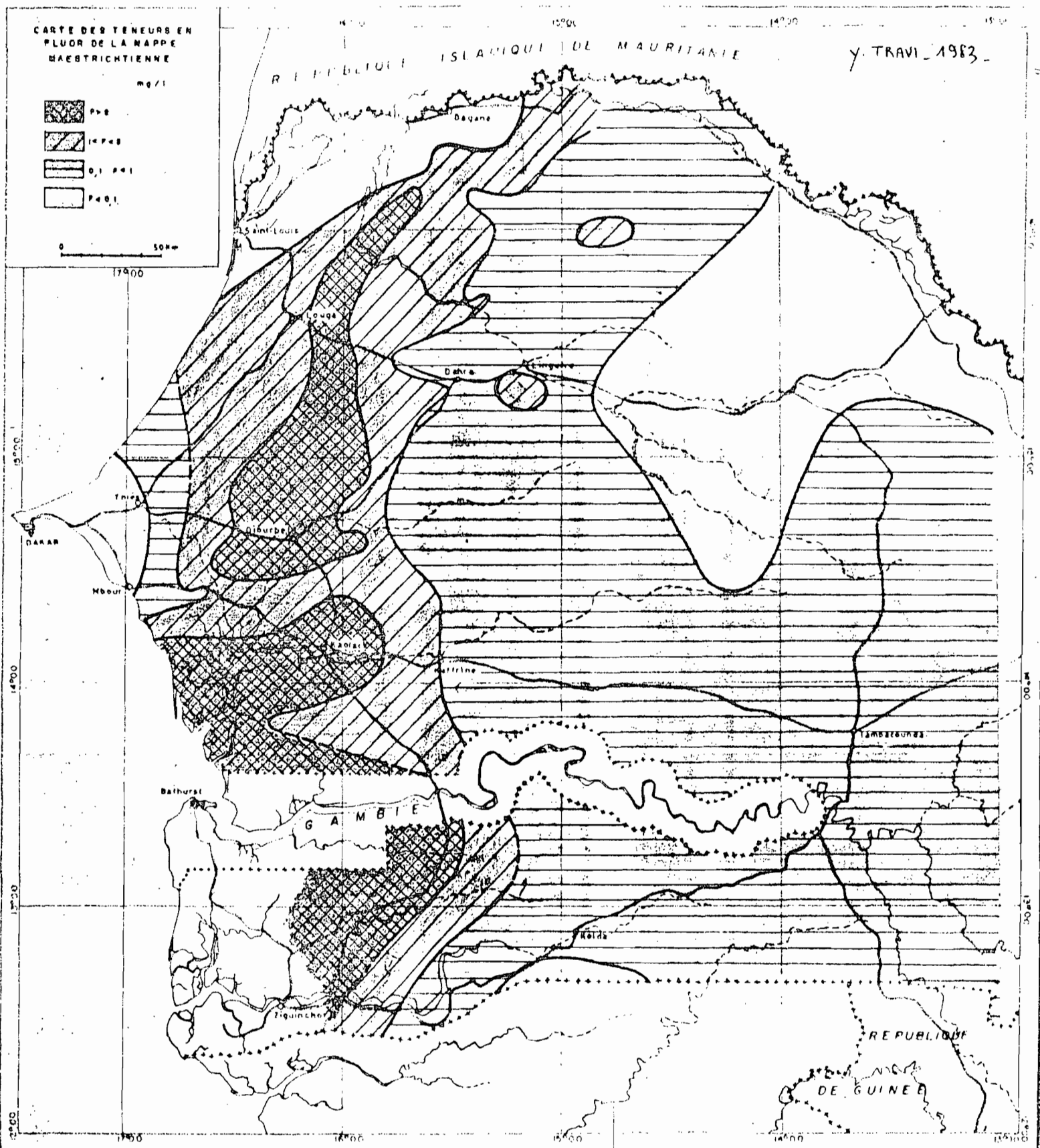
CARTE DES TENEURS EN
FLUOR DE LA MAPPE
MABSTRICHTEENNE

mg/l

-  P > 8
-  4 < P < 8
-  0,1 < P < 4
-  P < 0,1

0 50km

Y. TRAVI 1983

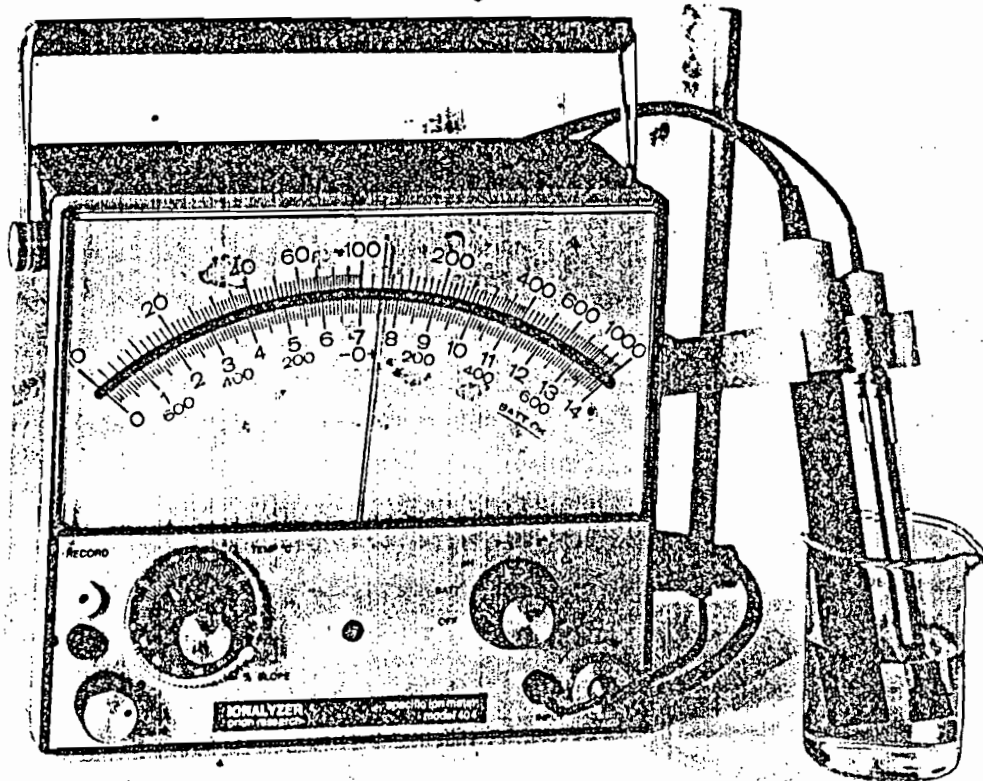


ANNEXE 2

"Tonomètre spécifique pour la mesure du flux"

INSTRUCTION MANUAL

models 401, 404, 407



ANNEXE 3

" Analyses chimiques journalières de l'eau produite
à l'Usine de N'GNITH "



S. O. W. E. E. S.

JOURNEE DU :.....19

USINE DE N'GNITH

K Mn O4.....*42g/m³*.....S.A.....*45g/m³*

CHAUX : (*20g/m³*)
{ CLO 2..... CL 2.....
{ *Hypochlorite de Ca 1,5g/m³*

ANALYSES	E. B.	E. T. F.	ANALYSES	E. B.	E. T. F.
T°.....		<i>19</i>	O ₂ dissous en mg/l		<i>2,6</i>
PH.....		<i>7,95</i>	Mn ⁺⁺ en mg/l; ; ;		
Couleur mg/lP+/CO.....		<i>5</i>	Al ⁺⁺⁺ en mg/l.....		
Turbidité en gtttes de mastic.....		<i>7</i>	Cl ₂ .EN mg/l.....		
TAC en degré français		<i>9,0</i>	Cl ₂) Iodométrie en MG/L		
TH.....		<i>10,8</i>	Cl ₂) ₂₂ en mg/l.....		
TH Ca ⁺⁺ en degré franç.		<i>7,0</i>	CL ₂ à l'orthololidine "		
TH Mg ⁺⁺ en degré français		<i>3,8</i>	Azote ammoniacal NH ₄ ⁺		
Cl ⁻⁻⁻ en degré français		<i>7,0</i>	Azote nitreux NO ₂ ⁻		
F ⁺⁺ en mg/l.....		<i>0,06</i>	Azote nitrique NO ₃ ⁻		
M. O. en m alcalin mg/l		<i>2,2</i>	Silice Si O ₂ ⁻		<i>9 mg/l</i>
M.O en m. acidemg/l....		<i>2,6</i>	Phosphates P ₂ O ₅ ;.....		

COMPTE RENDU DE LA JOURNEE:;

ANNEXE 4

" Procédure de floculation de Séguemont "

TECHNIQUE A SUIVRE POUR LES
ESSAIS DE FLOCCULATION EN LABORATOIRE

But des essais en laboratoire

Ces essais sont destinés à déterminer la nature et les doses de réactif à utiliser pour assurer la clarification d'une eau.

Matériel nécessaire

- 1 flocculateur de laboratoire permettant d'agiter simultanément 5 ou 6 béchers d'un litre à une vitesse réglable entre 0 et 150 tours/minutes.
- 6 à 12 béchers d'un litre.
- 1 siphon \varnothing 6 millimètres possédant une extrémité recourbée et muni à son autre extrémité d'un tube de caoutchouc de même diamètre et de 20 centimètres de long.
- 3 à 5 pipettes bâtons de 25 ml graduées en 1/10ème de ml.
- 2 pipettes de 1 ou 2 ml graduées en 1/10ème de ml.
- 1 comparateur avec plaque et solutions pour le dosage de l'armoniaque par méthode colorimétrique.
- 1 plaque et solutions pour dosage des nitrites par méthode colorimétrique.
- 1 plaque et solutions pour dosage du fer par méthode colorimétrique.
- 1 plaque pour la détermination de la couleur.
- 1 plaque et solutions pour dosage du chlore.
- 1 pH-mètre électrique avec solution tampon d'étalonnage ou à défaut on se servira du comparateur précédemment indiqué en utilisant :
 - . 1 plaque et colorant pour pH de 3,7 à 5,3
 - . 1 plaque et colorant pour pH de 5,2 à 6,8
 - . 1 plaque et colorant pour pH de 6,0 à 7,6
 - . 1 plaque et colorant pour pH de 7 à 8,6.

- 6 erlenmeyers de 250 ml.
- 2 burettes de 25 ml graduées en 1/10^{ème} de ml avec support.
- 2 éprouvettes graduées en ml de 50 ml.
- 4 éprouvettes graduées en ml de 100 ml.
- 1 éprouvette graduée de 1000 ml.
- 1 éprouvette graduée de 250 ml.
- 1 éprouvette de mesure du coefficient de cohésion de la boue avec son entonnoir.
- 1 turbidimètre.
- 1 thermomètre
- 1 chronomètre ou à défaut une montre.

Solutions nécessaires

- 250 à 1000 ml de liqueur alcalimétrique N/25 contenant 1,96 g d' H_2SO_4 par litre.
- 250 à 1000 ml de liqueur acidimétrique N/25 contenant 1,6 g d'NaOH par litre.
- 125 ml de solution alcoolique de phénolphthaléine à 10 g par litre avec compte-goutte.
- 125 ml de solution aqueuse d'hélianthine à 10 g/litre avec compte-goutte.
- les solutions de réactifs précisées dans la note "Préparation des solutions".

NOTA : Dans le rapport joint aux feuilles résumant les essais de floculation, il est indispensable d'indiquer l'origine et si possible la pureté des réactifs utilisés pour préparer les solutions, on précisera, de plus, la concentration de la solution ayant servi à réaliser l'étude : par exemple solution de sulfate d'aluminium à 100 g par litre ou solution de sulfate d'aluminium à 10 g par litre.

DOSE DE COAGULANT

Technique à suivre

1. Prélever l'eau brute à étudier dans un seau de 10 litres ou dans une cuve ayant une capacité de 20 à 30 litres que l'on rempli avec le seau.
2. Sur l'eau prélevée dans le seau et avant transvasement lorsqu'on dispose d'une cuve mesurer : température, pH, CO₂ libre, turbidité, couleur, ammoniaque, TAC. Si le pH est supérieur à 8, mettre 3 à 4 gouttes de phénolphthaléine dans 100 ml d'eau, s'il se développe une coloration rose mesurer le TA puis mettre 2 à 3 gouttes d'hélianthine et mesurer le TAC (voir méthode).
3. Bien agiter l'eau stockée dans le seau ou la cuve et introduire dans chacun des béchers 1 litre d'eau (si on ne possède pas une éprouvette de 1000 ml utiliser l'éprouvette de 250 ml, 4 éprouvettes de 250 ml correspondent à 1 litre).
4. Commencer toujours, sauf exigence contraire, une étude en utilisant en premier lieu le sulfate d'aluminium (solution à 10 g par litre). Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau, mettre en route le moteur et régler à la vitesse d'agitation maximale.
5. Avec une pipette bâton de 25 ml graduée en 1/10ème de ml, introduire dans l'eau de chacun des béchers les volumes suivants :
 - Bécher n° 1 : 0,5 ml, soit un taux de traitement (graphique n° 3) 5 mg par litre et mettre en route le chronomètre ou noter l'heure.
 - Bécher n° 2 : 1 ml, soit 10 mg par litre (graphique n° 3).
 - Bécher n° 3 : 1,5 ml, soit 15 mg par litre (graphique n° 3).
 - Bécher n° 4 : 2 ml, soit 20 mg par litre (graphique n° 3).
 - Bécher n° 5 : 2,5 ml, soit 25 mg par litre (graphique n° 3).
 - Bécher n° 6 : 3 ml, soit 30 mg par litre (graphique n° 3).

6. Noter le temps en minutes après lequel on voit apparaître de petits points puis après 3 minutes d'agitation rapide réduire la vitesse de façon à obtenir 40 tours minutes. Si la floculation n'est pas encore développée pendant les 3 minutes, il faut quand même noter le temps.

7. Après 15 minutes d'agitation lente on évaluera la qualité de la floculation en donnant une note à chaque béccher par exemple :

- pas de floc 0
- floc peu visible, eau opalescente 2
- petits points 4
- floc moyen avec eau interstitielle limpide ... 6
- bon floc, eau interstitielle limpide et brillante 8
- très bon floc, eau interstitielle limpide et brillante 10

Ces notes permettent une comparaison facile des différentes eaux.

8. Le temps zéro correspondant au béccher n° 1, on arrêtera l'agitation en se basant sur le tableau suivant :

Béccher n°	1	2	3	4	5	6
Arrêt de l'agitation après (en minutes et secondes)	20' 0"	20' 45"	21' 30"	22' 15"	23' 0"	23' 45"

Sortir les hélices après chacun des temps indiqués.

Bibliographie

1. Défluoration des eaux potables, J.C. DERNAUCOURT,
T.S.M.-L'EAU, Mars 1980, p.135-139
2. Fluorose dentaire et eaux souterraines: l'exemple du Sénégal,
Y. TRAVI et E. LE COUSTOUR, Eau du Québec, vol 15, No 1,
Février 1982, p.9-12
3. J. RODIER, Analyse de l'eau, Dunod, 1984
4. Rural water supply in China, CRDI, Ottawa, 1981, p. 33-34
5. DIRECTION GENERALE DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'EQUIPEMENT
RURAL, étude hydrogéologique des calcaires paléocènes de la région
de N'borou, Décembre 1980.
6. Note de YVES TRAVI, Georges Millot, C.R. Acad. Sc Paris,
t. 298, Série II, n°7, 1980, p. 313-316
7. DEGREMONT, Mémento technique de l'eau, Huitième édition, 1978
8. DEGREMONT, Mémento technique de l'eau, 1972
9. A.W.W.A, Water quality and treatment, p. 526-535, third
édition, Mc Graw-Hill.

Bibliographie (suite)

10. L.D. BENEFIELD, J.F. JUDKINS, JR, B.L. WEAND, Process chemistry for water and wastewater treatment, p. 405 - 421, prentice hall, 1982.
11. CHARLES R. COX, Techniques et contrôle du traitement des eaux, Organisation mondiale de la santé, 1967
- 12 - Défluoridation of water by Nalgonda technique, W.G. NAWLAKHE, D.N. KULKARNI, B.N. PATHAK and K.R. BULUSU, Indian J. Environ. HLTH. Vol 17, No 1, 26, 1975, p. 26 - 64
- 13 - Rapport concernant l'étude de la défluoruration de l'eau du forage de Fatick, LABORATOIRE DANALYSES ET D'ESSAIS POUR LE MILIEU INDUSTRIEL. ENSUT, Novembre 84 - Avril 85, p. 1 - 25