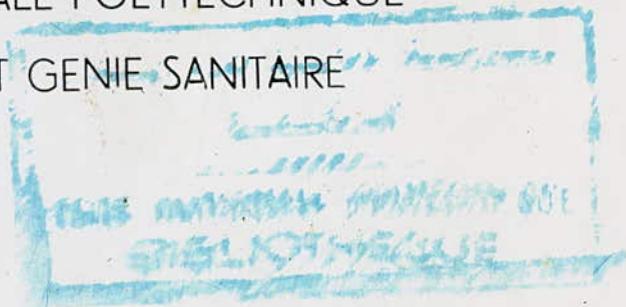


**U. T. H. B**

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

15x

DEPARTEMENT GENIE SANITAIRE



*Projet de Fin d'Etudes*

DEFLUORURATION D'UNE EAU DE  
CONSOMMATION PAR PRECIPITATION  
CHIMIQUE A LA CHAUX

Proposé par  
**Mme. G. DEZZAL**

Présenté par  
**S. MEZGHANI**

JUIN 1982

الجامعة الوطنية للعلوم الهندسية  
المكتبة

-----  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHÈQUE

## REMERCIEMENTS.

En présentant ce travail, il m'est agréable d'exprimer, en premier lieu, mes remerciements à Mme NEZZAL, qui a bien voulu en assurer la direction.

Mes remerciements vont encore à Mr GAID et Mr SCHULMAN pour les conseils et orientations qu'ils n'ont cessé de me prodiguer dans le cadre de mes recherches.

Ma reconnaissance s'adresse également aux enseignants qui ont pris en charge notre formation, ainsi qu'à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de cette étude.

- o - o - o - o -

## S O M M A I R E

### INTRODUCTION.

### PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### Chapitre I : LES DONNEES SANITAIRES.

1. Généralités
2. Définition de la fluorose
3. Statistiques

#### Chapitre II : LES DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

1. Ressources en eau du Sahara septentrional
  - a) Aperçu hydrogéologique sur le C.I.
  - b) Aperçu hydrogéologique sur le C.T.
2. Captage et utilisation des eaux
3. Qualité chimique des eaux
  - a-) Minéralisation totale
    - a-1. C.I.
    - a-2. C.T.
  - b) Caractéristiques physico-chimiques
    - b-1) Le pH
    - b-2) CO<sub>2</sub> libre
    - b-3) Les températures.
  - c) Evolution des caractéristiques chimiques
4. Relations générales entre la composition de l'eau et la nature des sols. Application au fluor.

Chapitre III : LES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES.

Chapitre IV : METHODES D'ELIMINATION DU FLUOR.

1. Emploi du phosphate tricalcique
2. Alumine activée
3. Filtration sur charbon actif
4. Utilisation du sulfate d'alumine
5. Adoucissement à la chaux.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.

DEUXIEME PARTIE : ESSAIS DE DEFLUORURATION DES EAUX.

Chapitre I : RAPPELS SUR LA PRECIPITATION CHIMIQUE.

Chapitre II : DESCRIPTION DE LA METHODE DE DEFLUORURATION

1. Technique de l'adoucissement à la chaux
2. Méthode analytique.

Chapitre III : RESULTATS EXPERIMENTAUX.

1. Etude de la précipitation à la chaux sur une solution synthétique.
2. Influence des ions magnésium sur la défluoruration à la chaux.
3. Influence des ions bicarbonates sur la défluoruration à la chaux.
4. Influence de la température.

5. Etude de la précipitation à la chaux sur une eau naturelle.
6. Influence de l'addition d'un adjuvant de coagulation.

Chapitre IV : CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME PARTIE. SUGGESTIONS.

CONCLUSION GENERALE.

BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENT ANNEXE A LA DEUXIEME PARTIE : Description de la file de traitement.

TABLE DES FIGURES ET PLANCHES.

-----

I N T R O D U C T I O N

L'étude porte sur la défluoruration d'une eau de consommation par adoucissement à la chaux.

Le traitement proposé vise à fournir une eau répondant aux normes de qualité, de telle manière qu'elle amenuise les problèmes de santé publique et d'exploitation qui se posent dans les régions concernées.

Il est apparu que la région du Sahara septentrional se prêtait parfaitement à ce genre d'étude, et plus particulièrement la partie orientale, à savoir les régions de l'Oued Rhir, la cuvette de Ouargla et la région du Souf.

Ceci s'est vu vérifié par :

- les données sanitaires qui montrent que les fluoroses siègent à l'état endémique dans ces régions.
- les données hydrogéologiques qui ont fait apparaître la complexité du captage et de l'utilisation des eaux souterraines ainsi que les structures géologiques assez particulières.
- les données physico-chimiques des eaux utilisées et qui présentent de fortes teneurs en fluor ajoutées à une dureté et une minéralisation excessives.

Ainsi donc est apparue la nécessité de traiter ces eaux. A cet effet, des essais de défluoruration ont été effectués.



Ceux-ci, réalisés sur solution synthétique ont eu pour but de déterminer les différents facteurs pouvant influencer sur la défluoruration à la chaux.

Ils auront permis également d'expliquer les résultats d'un traitement similaire sur une eau naturelle dont la composition chimique est connue.

En dernier lieu, la chaîne de traitement dont le dimensionnement n'a pas été abordé dans cette étude, a fait l'objet d'une description sommaire.

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette première partie se propose d'établir une confrontation des connaissances sur le problème d'une fluoruration excessive des eaux, qui s'appuiera autant que possible sur des références bibliographiques dont les renvois sont signalés par des chiffres entre parenthèses. ( ) .

Cette mise au point portera notamment sur les données sanitaires, hydrogéologiques et physico-chimiques, ainsi que sur les différentes méthodes de défluoruration, ce qui permettra, compte tenu des limites de chacune d'elles, de retenir celle la plus à même d'être utilisée dans nos travaux.

CHAPITRE I :            LES DONNEES SANITAIRES.  
=====

I. GENERALITES.

C'est à la suite d'études principalement américaines des causes d'une affection dentaire très répandue de certaines régions de l'Etat du Colorado qu'on s'est aperçu de la grande influence de la teneur des eaux en fluor sur la dentition.

Après une longue période de recherche, Churchill SMITH en 1931, puis DEAN en 1935, étaient amenés à constater que l'affection appelée " Email tacheté" ( mottled enamel ) se manifestait chez les populations s'alimentant avec des eaux à forte teneur en fluorures. (12)

Pratiquement, l'émail tacheté apparaît quand les eaux de consommation contiennent plus de 0,8 à 1 mg/l. La même maladie est observée en Afrique du Nord tant chez l'homme que chez les animaux sous le nom de DARMOUS. L'eau n'est pas seule en cause car les végétaux consommés dans ces mêmes régions sont très riches en fluorures.

Il est à noter également qu'au delà de 3 à 5 mg/l, les déformations dentaires peuvent s'accompagner d'une atteinte du squelette.

En Algérie, le problème de la fluorose endémique a été signalé pour la première fois en 1936 par VINCENT de l'Institut Pasteur. (10)

## 2. DEFINITION DE LA FLUOROSE.

La fluorose est une intoxication chronique caractérisée par une perte de poids, une asthénie, une anémie, une fragilité osseuse ajoutés aux tachetures observées sur les dents lorsque l'exposition s'est produite pendant la formation de l'émail. (II)

En effet, le fluor et les fluorures sont des poisons cellulaires qui bloquent la dégradation glycolytique du glucose et les fluorures forment un précipité insoluble avec le calcium, provoquant une hypocalcémie.

Il semble d'autre part qu'une teneur élevée en fluorures de l'eau soit aggravée par une prédominance du sodium sur le calcium, le Na F étant plus toxique que Ca F<sub>2</sub>.

Ce qui, si l'on se réfère aux données physico-chimiques est apparemment le cas des régions du Sahara septentrional. ( Cf. Tableaux 5 et 6).

## 3. STATISTIQUES.

Les statistiques concernant l'importance des fluoroses dans ces régions sont rares et incomplètes; mais d'après une enquête du Pr. SYAUD ( Alger, 1966 ) , il apparaît que :

- 75 % de la population d'El Oued et

- 98 % des villageois du Souf sont porteurs du DARMOUS.

Une enquête de l'I.N.S.P. donne également ces chiffres concernant les fluoroses (2) :

Meghaïr	: 45 %	Touggourt	: 18,0 %
Ouargla	: 44 %	Laghouat	: 3,2 %
Djemâa	: 36 %	El Goléa	: 2,5 %
El Oued	: 20 %	Ghardaïa	: 1,3 %

Remarque :

La consommation d'eau de boisson étant plus importante en été (de 6 à 8 l. / hab / jour ) l'ingestion des fluorures est plus élevée durant cette période.

CHAPITRE II : LES DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

L'aspect sanitaire abordé dans le chapitre précédent visait essentiellement à exposer le problème et les conséquences d'un excès de fluor dans l'eau.

Cependant, il n'explique pas l'origine de ce phénomène. Pour cela, il s'avère nécessaire de procéder à une étude sommaire des ressources en eau de la région concernée et d'accorder une attention particulière aux phénomènes hydrogéologiques ainsi qu'à la qualité chimique de ces eaux.

I. RESSOURCES EN EAU DU SAHARA SEPTENTRIONNAL.

Au Sahara, les plus importantes ressources aquifères sont contenues dans les formations continentales.

Ainsi, les aquifères du complexe terminal forment avec le continental intercalaire, l'un des plus vastes ensembles hydrauliques du monde et dont l'exploitation a commencé bien avant que n'en soit reconnue la structure géologique.

Le tableau suivant illustre l'importance de ces aquifères et la quantité d'eau mobilisable par an (I3) :

Nappes	Volume/an ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Exploitation
Continental intercalaire	300	peu exploité
Complexe terminal	240	exploité

a) Aperçu hydrogéologique sur le continental intercalaire ( C.I. )

La nappe du C.I. ou "nappe albiennne" est contenue dans un ensemble de grès argileux continentaux déposés sur un substratum primaire qui affleure largement sur les plateaux tassiliens. (I6).

Le C.I. comprend surtout du crétacé inférieur anté-cénomanienn ( Barremien, Aptien, Albien) et des sédiments du Trias et du Jurassique.

Cette formation contient le plus puissant aquifère du Sahara : 600 000 km<sup>2</sup>, 250 à 1000 m d'épaisseur. Elle s'étend au Nord d'une ligne Reggane-Djanet jusqu'à l'Atlas Saharien, et d'Ouest en Est de la vallée de la Saoura jusqu'en Lybie et en Tunisie.

La nappe albiennne est libre sur les affleurements du crétacé inférieur du Sahara du Sud et sous le Grand Erg Occidental.

Elle est captive dans tout le Sahara central et oriental par suite du recouvrement du C.I. par les couches imperméables argileuses du Cénomanienn. (I6).

La circulation de l'eau se fait de l'Atlas vers le Sud-Ouest (Reggane) et vers le Sud tunisien.

Le réservoir utile, qui correspond au réservoir profond d'eau douce a une épaisseur égale à la somme des grès, grès argileux et dolomies ou calcaires aptiens.

La nappe du C.I. constitue ainsi la ressource aquifère essentielle des régions de Timimoun, Adrar, In Salah (foggaras jaillissants) et Ghardaïa ( forages ascendants). (3)

Elle est également de plus en plus exploitée, depuis quelques années par de très grands forages jaillissants dans la région de Touggourt et Ouargla.

b) Aperçu hydrogéologique sur le complexe terminal . (C.T.).

La nappe du C.T. couvre la majeure partie du territoire saharien septentrional .

Dans le bassin occidental cependant, cette nappe est en liaison étroite avec la nappe sous-jacente du C.I. et elle ne présente un intérêt comme formation aquifère que dans le bassin oriental du Sahara septentrional.

On désigne sous le nom de C.T. les formations les plus récentes déposées au Bas-Sahara : Sénonien, Eocène, Miopliocène, ajoutés au quaternaire. (I).

Localement, le Turonien est englobé à l'ensemble terminal (dans le M'Zab ).

Des régions bordières où elles se sont infiltrées, les eaux circulent en direction du Nord sous le Grand Erg Oriental, de l'Est sous le piémont du M'Zab, pour trouver un exutoire soit dans les grands Chotts qui bordent l'Atlas, soit dans les centres de culture irriguée (Ouargla, Oued Rhir,...).

On peut distinguer 3 types aquifères :

- nappe phréatique
- nappe des sables qui est très utilisée pour les besoins de l'alimentation en eau potable
- nappe des calcaires dont l'utilisation tend à augmenter ces dernières années.

2. CAPTAGE ET UTILISATION DES EAUX.

Dans le Sahara septentrional algérien, les forages peuvent être classés en trois catégories distinctes :

- les "peu profonds" (0 à 300 m ) captent la nappe du C.T. au Sud de l'Oued Rhir, à Ouargla et la nappe du C.I. sur sa bordure dans la région d'El Goléa et d'In Salah.

TABLEAU N° I :

- BESOINS EN EAU DE LA REGION DU SAHARA SEPTENTRIONAL. (1970)

	Débits totaux prélevés pour tous usages ( l/s ).			Débits prélevés pour l'Agriculture (L/s)
	C T	C I	Total	
El Oued	260	-	260	214
Touggourt	7486	752	8238	8117
Ouargla	755	681	1436	1031
Ghardaïa	-	637	637	606
El Goléa	-	400	400	313
In Salah	-	1123	1123	1095
Gourara	-	887	887	-
Touat	-	2085	2085	-

( Source : Projet E.R.E.S.S. -UNESCO - 1972 )

- les "moyennement profonds" ( 300 à 600 m) captent la nappe du C.T. au Nord de l'Oued Rhir et la nappe du C.I. dans le M'Zab.

- les "profonds" (600 à 1500 m) captent la nappe du C.I. dans le Bas-Sahara.

En tête des forages profonds, l'eau arrive avec des pressions élevées (24 à 27 kg / cm<sup>2</sup> ) et une température de 50 à 60 °C, des débits de 100 à 400 l/s.

Pour les forages peu profonds, la température ne dépasse pas 25 à 27 °C et les pressions sont de 1 à 2 kg/ cm<sup>2</sup>, débits de 10 à 60 l/s.

Le tableau N° I donne un aperçu des besoins en eau pour ces mêmes régions. Il illustre d'une part la répartition des prélèvements entre le C.T. et le C.I. et fait apparaître d'autre part la part relativement faible des débits destinés à l'alimentation en eau potable.

Ceci peut en effet être important dans la mesure où un traitement des eaux de consommation apparaît économiquement possible.

### 3. QUALITE CHIMIQUE DES EAUX.

Les caractéristiques chimiques de l'eau ont un impact déterminant non seulement au niveau de la santé publique et de la potabilité de l'eau mais encore au niveau de certains secteurs, et en particulier l'agriculture qui est de loin celui qui consomme le plus d'eau au Sahara (Tableau n° I ).

La nature chimique des eaux varie suivant les nappes et les régions. Mais en général, elles sont toutes de type sulfato-chlorurées (tableaux 3 et 4 ).

De plus, un problème important est celui de la minéralisation excessive des eaux et plus particulièrement celles des nappes

superficielles (phréatique, Miopliocène, Sénonien) qui sont largement utilisées.

Ceci d'autant plus qu'il semble possible d'établir une analogie entre ce phénomène et celui de la teneur excessive en fluor de ces mêmes eaux.

a) Minéralisation totale.

a,1. Continental intercalaire.

L'aquifère utile étant continu sur l'ensemble du territoire considéré, il est possible de trouver des eaux avec moins de 6 g/l de sels dissous.

Les zones d'alimentation (Grand Erg Occidental, Dahar et Tinrher) sont marquées par une faible minéralisation qui va en s'accroissant dans la direction de l'écoulement des eaux.

a,2. Complexe terminal.

Mis à part les zones d'alimentation, la minéralisation est généralement forte (plus de 5 g/l à Ouargla, 7 à 9 g/l à Djamâa, Oued Rhir).

b) Caractéristiques physico-chimiques pouvant créer des problèmes d'exploitation.

b,1. Le pH :

L'aération de l'eau et la détente à la sortie du forage perturbent les équilibres et modifient le pH.

En moyenne, le pH des eaux du Sahara varie entre 7 et 8 et si l'on tient compte de tous les phénomènes intervenus, le pH de l'eau au niveau des crépines des forages serait d'environ 5,5. (6).

De plus, d'après le tableau N°2, le pH est toujours inférieur à 8,3 et de ce fait T A (titre alcalimétrique simple) est nul.

TABLEAU N° 2 :

## COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DE QUELQUES FORAGES.

Dénomination du forage	Date de la mesure	Température °g	pH	CO <sub>3</sub> H mg / l	CO <sub>2</sub> libre mg / l	Indice de stabilité calcique	Conductivité électrique m m h o/cm	Alcalimétrie CO <sub>2</sub> / l mg / l	Fer dissous mg / l		
										CONTINENTAL	INTERCALAIRE :
B. Isguene (Ghardaïa)	1953	33	7,30	142	-	+ 0,25	2160	-	-		
A. Lehureau (Ghardaïa)	1960	44	7,20	152	20	-	-	-	0,3		
A. Lebeau (Ghardaïa)	1953	33	7,30	148	-	0	2180	-	-		
	1960	33	7,50	150	9	-	-	-	0,1		
Melika 3	1971	34	7,50	159	-	+0,10	2340	12	-		
Guerrara 2	1971	41,5	7,80	178	-	+ 0,40	2480	25	-		
Guerrara 1	1966	39,5	7,4	-	50	-	2360	-	1 - 2		
Ouargla 1	1969	49	7,25	188	12	-	3010	-	0,9		
	1971	50	7,10	175	-	- 0,40	3950	27	-		
Ouargla 2	1971	51	7,30	175	98	- 0,35	-	17	-		
Ouargla 3	1969	49	7,30	188	11	-	2630	-	1,9		
	1971	53	7,35	154	-	- 0,15	-	18	-		
H. Messacud	1971	59	7,20	165	-	0	-	22	-		
Sidi Mahdi	1961	49	7,60	150	-	+ 0,15	-	-	-		
	1966	56	7,90	244	-	-	-	5	1,8		
	1971	59	7,20	163	98	- 0,25	3190	18	-		
Tamerna	1966	54,5	7,20	214	54	-	-	-	1,0		
	1971	55	7,00	185	100	- 0,30	2325	27	-		

Sidi Slimane	1969	57	7,20	190	15	-	2800	-	4
	1971	57	7,60	177	110	+ 0,30	2490	4	-
Tamelhat	1961	55	5,90	199	-	-	-	-	2,2
	1966	43	6,60	141	160	-	-	-	3 - 4
El Hadjira	1961	49	7,30	177	13	+ 0,15	-	-	0,05
M' Rara	1961	52	7,60	173	-	+ 0,35	-	-	0,3

COMPLEXE      TERMINAL :

A. Louise ( Ouargla)	1971	27	8,00	146	-	+ 0,80	2470	-	-
A.S. Djedida ( Ouargla)	1971	24	7,15	130	26	+ 0,20	3570	7	-
A.T. Djedida (Oued Rhir)	1969	24	7,20	132	9	-	3710	-	0
A. Merouane	1969	26	7,05	130	14	-	6400	-	0
A. Mabrouka	1971	27	7,25	130	44	+ 0,05	5155	11	-
M' Rhaïer	1957	26		246	11	-	-	-	-

Source : Projet E.R.E.S.S. (UNESCO) 1972.

b,2. L'acide carbonique libre :

Le fait que  $\text{pH} = 7$  à  $8$  et qu'il y ait une certaine teneur en bicarbonates implique que les eaux contiennent du  $\text{CO}_2$  libre.

Ce n'est qu'après détente à l'air libre qu'il y a dégagement du  $\text{CO}_2$  libre provoquant un déséquilibre carbonique et aboutissant ainsi à la précipitation de carbonate de calcium du fait que le calcium se trouve en forte teneur dans ces eaux.

D'après le tableau N°2, on constate bien que les indices de stabilité calcique ( test au marbre) sont dans la plupart des cas positifs au niveau du C.I. et du C.T. .

b,3. Les températures.

Toujours d'après le tableau N° 2, on constate que les températures des eaux du C.T. n'atteignent pas  $T=30$  °C.

Par contre, les eaux du C.I. ont des températures variant entre  $33^\circ\text{C}$  et  $59^\circ\text{C}$ . De ce fait, elles nécessitent un refroidissement.

Remarque : Le fer dissous existe plus spécialement dans les eaux profondes où il atteint parfois des teneurs élevées, notamment dans la région de l'Oued Rhir et Ouargla.  
( Cf tableau n° 2 ).

c) Evolution des caractéristiques chimiques des eaux.

Au niveau du complexe terminal, les nappes phréatiques très chargées en sels constituent un danger de contamination, à long terme, des nappes plus profondes. Et ceci plus spécialement dans la zone orientale du Sahara septentrional.

Quant au continental intercalaire, une évolution de la qualité chimique pourra également être observée, du fait de la présence de couches intercalaires pouvant fonctionner comme des membranes osmotiques à l'égard de certains ions, celles-ci pouvant également subir un lessivage provoqué par l'exploitation d'un forage incomplet.

#### 4. RELATIONS GÉNÉRALES ENTRE LA COMPOSITION DE L'EAU ET LA NATURE DES SOLS. APPLICATION AU FLUOR.

La présence des fluorures dans les eaux naturelles est due à l'abondance du fluor comme constituant de l'écorce terrestre.

Les principaux minéraux fluorés sont la fluorine  $\text{Ca F}_2$  (dans les roches sédimentaires), la cryolithe ( $\text{Al}_2\text{F}_6, 6 \text{ Na F}$ ) (dans les granites), la fluoroapatite  $\text{CaF}_2, 3 \text{ Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$ . Certaines roches en Afrique du Nord peuvent renfermer les phosphates naturels par exemple, plus de 3% de fluor.

Mais les teneurs faibles en phosphore de la région étudiée ne permettent pas d'attribuer la présence de fluor en excès à celles des phosphates.

$\text{PO}_4^{3-} < 0,3 \text{ mg / l}$  dans la région de Touggourt (D.E.M.R.H.1981)

$\text{PO}_4^{3-} < 1 \text{ mg / l}$  dans la région du Souf. (10)

Cependant, la teneur moyenne des roches en général en fluor est de 0,01 à 0,02 %. (15)

Mais d'après MORETTE (12), il n'y aurait pas de relation étroite entre la teneur en fluorures des eaux souterraines et la nature des terrains traversés.

Toutefois, des teneurs élevées sont souvent en corrélation assez nette avec le fait qu'il s'agit d'eaux issues de terrains éruptifs.

Parmi les roches sédimentaires, ce sont les eaux issues de terrains calcaires qui ont le moins de fluor, mais des teneurs élevées peuvent être rencontrées dans le cas de roches détritiques (sable, grès, argiles) ou dépôts fossiles animaux.

Or, on a pu constater que dans le Sahara Oriental, les terrains principalement rencontrés étaient de ce type dans la nappe des sables surtout, et cela pourrait impliquer une dissolution du fluor contenu dans ces roches détritiques.

Par contre, les teneurs plus faibles dans les calcairesne pourrait que confirmerla qualité des eaux de la nappe des calcaires.

En fait, l'enrichissement peut provenir d'une concentration, par dissolution ou pour toute autre cause, mais il est surtout réglé par la solubilité des deux principaux fluorures  $\text{CaF}_2$  et  $\text{Na F}$ .

La solubilité de  $\text{Na F}$  40 mg / l est bien plus grande que celle de  $\text{Ca F}_2$  18 mg / l à 18 °C et la présence d'ions Na augmente considérablement la solubilité de  $\text{Ca F}_2$ .

D'après SCHOELLER (15), les eaux ayant plus de  $[\text{Na}] = \sqrt{[\text{Ca}]/30}$  peuvent renfermer plus de 1 mg/ l de fluor. Ce qui, si l'on se réfère aux analyses en notre possession, serait le cas de beaucoup d'eaux du Sahara septentrional.

Ainsi donc, une augmentation de la teneur en sodium impliquerait automatiquement l'augmentation de la teneur en fluor.

Ce qui explique les taux plus importants en fluor des nappes superficielles où a lieu une évaporation intense, provoquant la concentration en sels de sodium.

Par contre, les échanges de bases intensifs en profondeur auront pour conséquence des teneurs plus faibles en fluor puisqu'ils correspondront à une baisse de la teneur en sodium.

Ceci serait applicable au cas des nappes albiennes qui semblent nettement moins chargées que celles du Miopliocène ou les nappes phréatiques. (Cf tableaux 5 et 6 ).

Cependant, il est à noter que le temps de contact prolongé des eaux des nappes profondes favorise malgré tout la dissolution du fluor. Tout ceci, en supposant que le fluor des eaux souterraines provienne de la dissolution des roches encaissantes.

On pourrait également émettre l'hypothèse de la présence de substances échangeuses d'anions dans les intercalations argileuses enrichissant ainsi les eaux en fluor.

Mais il serait logique de tenir compte également de la contribution des pluies (8) à la teneur en fluor qui enrichiraient les nappes peu profondes par des séquences évaporation-infiltration.

Quant à l'évolution du fluor dans les eaux du Sahara oriental, on pourrait par analogie avec la minéralisation totale ( à laquelle contribue d'ailleurs le fluor) émettre les mêmes hypothèses.

A cet effet, le calcul du coefficient de corrélation entre la minéralisation totale et le fluor donne  $r = 0,89$  ( d'après le tableau N° 4 ).

Ainsi, des concentrations élevées en fluor dans les nappes phréatiques pourraient provoquer une contamination des nappes plus profondes, notamment la nappe des sables du Miopliocène.

De même que des variations de niveaux piézométriques dues à l'exploitation pourraient favoriser la dissolution du fluor ou provoquer un lessivage de terrains ou un échange d'ions.

Il semble alors que les mêmes évaluations des risques d'aggravation de la qualité peuvent être appliquées. La région du Sahara oriental apparaît une fois de plus comme étant la zone pouvant présenter les plus grands problèmes quant aux concentrations du fluor.

CHAPITRE III :

LES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES.

Compte tenu de l'étude hydrogéologique et des données sanitaires, il s'avère intéressant d'étudier plus particulièrement la partie orientale du Sahara Septentrional, à savoir les régions de l'Oued Rhir, de Ouargla et du Souf.

De plus, elle correspond à la zone où l'aggravation de la qualité chimique des eaux semble la plus probable.

Ainsi les tableaux 3 et 4 montrent, par comparaison aux normes de l'O.M.S. ( tableau 7 ) que ces eaux revêtent une concentration en fluorures dépassant largement les normes qui, pour ces régions se situeraient entre 0,8 et 1,0 mg/l (limite supérieure).

Cette caractéristique s'ajouterait à :

- une dureté excessive
- une minéralisation trop élevée
- une forte teneur en chlorures, sulfates, sodium, calcium et magnésium.

Les tableaux 5 et 6 font apparaître d'une part la surcharge moins importante en fluor des eaux des nappes profondes, (sauf pour Biskra où la différence n'est pas évidente), et d'autre part, ils montrent l'augmentation du taux en fluor qui se fait approximativement selon le sens de l'écoulement.

TABLEAU N° 3 :

## DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA REGION DE OUARGLA ET DU SOUF.

Nom du forage	Profondeur de la nappe	Terrain au niveau de la nappe	Ca <sup>2+</sup> mē/l	Mg <sup>2+</sup> mē/l	K <sup>+</sup> mē/l	Na <sup>+</sup> mē/l	Cl <sup>-</sup> mē/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mē/l	CO <sub>2</sub> conten. mē/l	pH	R.S mg/l	TH EF	TAC EF	Source des données
Aïn Zgag (Chott) Ouargla	42 m Miopliocène	Sable	13,4	7,6	0,82	26,1	26,2	18,5	2,14	8,0	3130	105	10,5	Direction de l'hydraulique Ouargla 1974
Ain Beni Thour Beni Thour (Ouargla)	34-67 m Miopliocène	Sable, gra- vier, argile Sable	13,2	8,6	-	24,3	24,1	18,1	1,88	7,2	2996	-	-	D.H. Ouargla 1973
Aïn Rouissat Ouargla	31-58 m Miopliocène	Sable, grès quartz, si- lex.	12,6	8,6	-	22,6	23,1	18,8	1,78	7,2	2978	106	8,2	D.H. Ouargla 1973
Aïn Belguet- taïf. Mekhedma. Ouargla	35-61 m Miopliocène	Sable, grès sable.	13	10,1	-	25,6	24,3	17,7	1,9	7,1	2928	115	10	D.H. Ouargla 1973
Ain Diaber II Mekhadma (Ouargla)	42-65 m Miopliocène	Sable, gra- vier, marne, sable	15,1	10,9	-	28	28,7	17,3	2	7,2	3638	129	9,7	D.H. Ouargla 1973
Tiksebt (El Oued)	244,5-285,5 Eocène Miocène	Sable, cal- caires fis- surés.	13,3	9,5	-	23	24,5	19,3	2,72	7,8	2811	113	13,6	DEMHR 1967
El Oued	325 m Le pontien	-	14,6	8,6	0,86	21,3	22,9	20,6	2,5	7,0	-	116	12,5	Projet fin d'études INA 1977
Bayada (Souf)	15 m nappe phréati- que.	-	37,6	5,6	1,8	9,35	10	42,8	1,09	7,2	-	216	5,45	INA. 1977.

TABLEAU N° 4 : ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE LA REGION DE TOUGGOURT.

Point d'eau	Na <sup>+</sup> m <sup>3</sup> /l	K <sup>+</sup> m <sup>3</sup> /l	Ca <sup>2+</sup> m <sup>3</sup> /l	Mg <sup>2+</sup> m <sup>3</sup> /l	Cl <sup>-</sup> m <sup>3</sup> /l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> m <sup>3</sup> /l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> m <sup>3</sup> /l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> m <sup>3</sup> /l	F <sup>-</sup> m <sup>3</sup> /l	" minérale - Sulfate ou m <sup>3</sup> /l	pH	T.H. °C
Tamellaht A.E.P.	18,17	0,92	16,5	18,33	18,61	31,77	2,2	0,22	5,28	3286	7,3	174
El Goug A.E.P.	17,30	1,23	14,8	17,83	28,16	20,62	2,3	0,21	3,08	3224	7,7	163
Forage albien	13,82	1,08	9,8	10,0	18,73	13,81	2,6	0,06	2,96	3162	7,0	99
Blidet Amor, AEP	15,78	0,02	16	19,0	25,01	24,27	2,0	0,21	2,76	3106	7,2	175
Sidi Mahdi (Albien)	16,60	1,08	8,7	10,33	20,84	13,70	2,2	0,11	1,76	2294	7,3	95
Sidi Mahdi II (Albien)	19,17	1,05	8,9	10,91	24,30	13,54	2,4	0,09	1,32	2170	7,3	99
Aïn Sahara (Albien)	11,3	0,97	8,7	10,50	14,36	14,85	2,5	0,08	1,04	1798	7,2	96
Moggar A.E.P.	9,35	0,97	8,2	10,83	13,38	13,18	2,83	0,08	0,95	1798	7,0	95

Source : Laboratoire de chimie des eaux (D.E.M.R.H.) Janvier 1982.

TABLEAU N° 5 : TENEUR EN FLUOR DES EAUX DU SAHARA SEPTENTRIONAL.

1) NAPPES SUPERFICIELLES:

<u>Régions :</u>	<u>Fluor mg / l :</u>
Béchar	0,20 à 0,70
Adrar- Timimoun	0,85 à 2,50
Ghardaïa-El Goléa	0,20 à 1,30
Ouargla	1,00 à 2,20
Touggourt	2,55 à 5,90
El Oued	1,90 à 4,55
Biskra	1,75 à 2,10

2) NAPPES ALBIENNES :

<u>Régions:</u>	<u>Fluor mg / l :</u>
Ghardaïa	1,10 à 0,25
Ouargla	0,50 à 0,60
El Oued	1,00 à 2,15
Biskra	1,95 à 2,20

Source : Dr AROUA. Séminaire sur la technologie appropriée à la déminéralisation de l'eau potable. (Novembre 1981).

TABLEAU N° 6 :

TENEUR EN FLUOR DES EAUX DE LA ZONE ORIENTALE DU SAHARA SEPTENTRIONAL.

LOCALITES	NATURE DU POINT D'EAU	TEMPERATURE	pH	F <sup>-</sup> mg/l	Source des données.
<u>Souf :</u>					
Debila	Nappe phréatique	19°C	7,2	3,09	I.N.A.
Behima	Nappe phréatique	18°C	7,4	2,91	Projet de fin d'études
Guémar	Nappe Le pontien	20°C	6,8	1,91	(1977)
El Oued	Nappe Le pontien	29°C	7,0	2,17	
<u>Touggourt :</u>					
Blidet Amor	Miopliocène	22°C	7,2	2,76	E.E.M.R.H. (1982)
El Goug	Miopliocène	23°C	7,7	3,08	
Sidi Mahdi	Albien	48°C	7,3	1,76	
Aïn Sahara	Albien	51°C	7,2	1,04	
<u>Quargla :</u>					
Beni Sissène	Miopliocène	22°C	7,3	1,58	D.E.M.R.H. (1982)
Mekhadma	"	22°C	7,0	1,82	
Beni Brahim	"	23°C	7,2	2,10	
Quargla (Centre ville)	"	22°C	7,5	1,48	

TABLEAU N° 7 :

- NORMES POUR LA QUALITE DE L'EAU . (O.M.S.)

Teneurs limites en fluorures.

Moyennes annuelles des températures diurnes maximales (°C)	Concentrations limites recommandées pour les fluorures en mg/l.	
	Limite inférieure	Limite supérieure
10,0 - 12,0	0,9	1,7
12,1 - 14,6	0,8	1,5
14,7 - 17,6	0,7	1,3
17,7 - 21,4	0,7	1,2
21,5 - 26,2	0,7	1,0
26,3 - 32,6	0,6	0,8

Source : M. Giroult. Séminaire sur les technologie appropriée à la déminéralisation (Novembre 1981).

CHAPITRE IV : METHODES D'ELIMINATION DU FLUOR.  
=====

Les procédés globaux qui éliminent les sels sans distinction, partiellement (osmose inverse et électrodialyse) ou totalement (distillation) sont en général trop onéreux.

Il sera plutôt fait appel à des procédés sélectifs tels que l'échange d'ions et la précipitation chimique.

I. EMPLOI DU PHOSPHATE TRICALCIQUE.

Le rôle d'échangeur d'ions est joué par l'hydroxyapatite de forme  $\text{Ca}(\text{OH})_2, 3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  où l'ion hydroxyde est remplacé par du fluor pour donner la fluoroapatite.

Le passage sur lit synthétique s'avère peu intéressant car la présence de chlorures réduit la capacité de filtration et il se produit également des pertes dans la régénération.

On peut utiliser des produits naturels (poudre d'os débarrassée de sa matière organique) ou carbonatoapatite

$\text{CaCO}_3, 3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  qui sont régénérés par une séquence soude-acide. (I2)

L'abattement est de 94 à 95 % mais ce traitement s'avère en général trop coûteux (I0).

2. L'ALUMINE ACTIVEE :

C'est le matériau le plus fréquent à l'échelle industrielle.

Sa capacité de rétention varie selon la teneur initiale en fluor, le pH de l'eau ( inférieur à 7), la teneur en bicarbonates (concurrence pour les sites d'adsorption) et selon la granulométrie (14).

En général, la rétention est de 0,3 à 4,5 g de  $F^-$  par litre de produit. (6)

La régénération se fait par la soude et l'acide sulfurique et les pertes sont estimées à 4 % sur 100 cycles.

C'est une méthode valable dans la mesure où elle est très spécifique bien que comparée à l'échange d'ions, l'abatement semble plus faible.

Cependant, on peut réduire les concentrations de 8 mg /l à 1 mg /l. (10).

### 3. FILTRATION SUR CHARBON ACTIF .

Ce procédé n'est applicable qu'en milieu très acide (6)  $pH \leq 3$  et il faut ensuite pratiquer une recarbonatation.

Dans la plupart des cas, il est inapplicable.

### 4. UTILISATION DU SULFATE D'ALUMINE.

L'élimination du fluor est liée à la précipitation d'hydroxyde d'alumine. Le sulfate d'alumine doit être utilisé à fortes doses 150 à 1000 g / m<sup>3</sup>, et le procédé n'est avantageux que lorsqu'il existe déjà un traitement flocculant. (6).

De plus, la méthode est surtout valable pour les eaux de faible dureté.

## 5. ADOUCCISSEMENT A LA CHAUX .

C'est la technique standard pour réduire les fortes concentrations en fluorures.

C'est le seul moyen économique lorsqu'il s'agit d'eaux contenant du magnésium.

Lorsque les eaux à adoucir sont exemptes de magnésium, il faut opérer avec la chaux dolomitique qui fournira le magnésium nécessaire à la précipitation des fluorures. (5).

On estime qu'il faut 40 à 50 mg/ l de magnésium pour éliminer 1 mg/l de fluor sous forme de fluorure de calcium.(8).

Ce serait donc le meilleur choix à faire parmi les méthodes exposées et ceci compte tenu des caractéristiques de l'eau de la région étudiée ( richesse en magnésium, dureté élevée) et de l'aspect économique du procédé .

De plus, ceci s'est vu vérifié par des essais réalisés à Ouargla (16), pour corriger le caractère incrustant de l'eau et qui ont montré que la minéralisation totale baissait de 100 à 200 mg /l , améliorant la potabilité et le goût de l'eau.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.

Il ressort de l'étude du Sahara septentrional concernant les ressources en eau et la qualité chimique de celle-ci que :

- les ressources, sur le plan quantitatif sont largement suffisantes pour pourvoir l'alimentation en eau potable.
- Cependant, des problèmes d'exploitation se posent du fait de la nécessité de refroidir les eaux profondes et de corriger le caractère incrustant ajouté aux problèmes dus à la non-disponibilité de l'énergie électrique et du coût des opérations concernant la réalisation de forages profonds.
- Il apparaît également que les eaux du C.I. correspondent plus aux normes de potabilité que celles du C.T., plus spécialement en ce qui concerne la minéralisation et le fluor.
- De même, elles présentent moins de risques de contamination par les eaux salées.
- De plus, c'est la partie orientale du Sahara septentrional qui semble présenter le plus de difficultés.

De ce fait, le traitement des eaux, tout au moins celles de consommation, de cette région s'avère donc impératif.

Le chapitre concernant les techniques de défluoruration nous a permis de porter notre choix sur la méthode de précipitation chimique à la chaux qui paraît la plus appropriée à la qualité chimique des eaux de cette région.

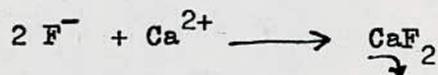
DEUXIEME PARTIE :

ESSAIS DE DEFLUORURATION DES EAUX.

Les méthodes d'épuration chimique sont des applications de la loi de BERTHOLLET basées sur le principe suivant :

" Ajouter à l'eau un réactif soluble qui, par permutation ou combinaison avec les ions indésirables contenus dans l'eau brute, aboutit à la précipitation, jusqu'à sa limite de solubilité, du produit de cette combinaison". (6).

La défluoruration par les sels de calcium en est un exemple connu :



CHAPITRE I : RAPPELS SUR LA PRECIPITATION CHIMIQUE.

La précipitation est rarement un phénomène instantané et l'équilibre n'est atteint que lentement.

Elle se résume à la formation de germes cristallins qui grossissent par adsorption de nouveaux ions. (4)

Mais cette croissance des cristaux sera favorisée par :

- une concentration élevée des ions dans la solution
- une agitation qui permet aux germes de balayer un grand volume de la solution
- une élévation de la température qui accroît les vitesses de réactions.

De plus, la formation des précipités est accompagnée du phénomène de coprécipitation. Ainsi, par adsorption, les cristaux imparfaits (composés polaires) dont la surface est grande, vont entraîner d'autres composés.

Le traitement de précipitation le plus courant est celui de l'adoucissement à la chaux qui conduit à une élimination partielle des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ .

Dans notre cas, il permettra surtout l'élimination des fluorures par formation de fluorure de calcium et par adsorption sur la magnésie.

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA METHODE DE DEFLUORURATION.

Nous nous proposons d'examiner les possibilités de défluoruration d' une eau naturelle du Sud Algérien.

Dans un premier temps, nous réaliserons quelques essais de défluoruration à la chaux d' une eau synthétique sur laquelle l'interférence de quelques ions tels que  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$  est examinée.

Ceci nous permettra de déterminer la dose optimale de chaux à apporter suivant la composition initiale de l'eau à traiter.

Dans un deuxième temps, il s'agira de transposer ces résultats à l'étude d'une eau naturelle compte tenu des interférences possibles.

L'influence de la température sur le rendement d'épuration sera également abordée.

I. TECHNIQUE DE L'ADOUCCISSEMENT A LA CHAUX.

Elle consiste à introduire des quantités croissantes de chaux dans la solution à traiter, puis à évaluer le rendement de l'opération.

On réalise une étude en batch (en discontinu) pour laquelle on peut utiliser aussi bien la chaux vive que la chaux éteinte.

Dans notre cas, le produit utilisé est la chaux vive  $CaO$  à 95 % de pureté.

Le réactif, ajouté à l'eau ne peut agir de manière uniforme que s'il y a mélange rapide pendant un court laps de temps ( 2 à 5 Minutes).

Ceci correspond d'ailleurs à la phase initiale de la coagulation avec formation de particules microscopiques. (5).

Ensuite, l'agitation est moins rapide et la flocculation se produit pendant 10 à 30 minutes.

La précipitation apparaît dans la phase suivante par la sédimentation du floc décantable.

En laboratoire, des essais précédents (10) ont montré qu'un temps de décantation de 30 minutes était suffisant.

On opte pour :

- une agitation rapide de 5 minutes suivie
- d'une agitation moyenne de 15 minutes, puis
- d'une décantation de 30 minutes.

## 2. METHODE ANALYTIQUE.

C'est une méthode potentiométrique pour laquelle l'électrode au fluorure est utilisée pour la détermination de la concentration et activité de l'ion fluorure.

L'élément sensible de l'électrode est une membrane au fluorure de lanthane à un seul cristal qui agit en qualité de conducteur d'ions dans lequel les ions fluorures peuvent se déplacer.

Dans les solutions neutres, la gamme de concentrations s'étend de  $10^{-6}$  M / l  $F^-$  à 1 M / l  $F^-$ , alors que les temps de réponse varient de quelques secondes pour une solution à 0,1 M / l à quelques minutes pour l'extrémité inférieure de la gamme de concentration.

L'appareillage de mesure se compose de :

- une électrode indicatrice E A 306 F
- une électrode de référence E A 404, électrode au calomel
- pH-mètre potentiomètre combiné.

a) Interférences de la mesure.

La présence de certains ions dans l'échantillon à analyser peut donner lieu aux effets suivants :

- sensibilité interférente lorsque l'ion interférent forme avec les composants de la membrane des complexes solubles ou des précipités difficilement solubles. On fait intervenir la constante de sélectivité  $k_{ij} = \frac{a_i}{a_j}$  qui, pour l'électrode au fluorure est :

$K_{F^- / OH^-} = 10^{-1}$  car les ions hydroxydes sont les seuls à produire une sensibilité interférente.

- réduire l'activité de l'ion à mesurer par formation de complexes, ceci étant valable pour les cations.

Ainsi, pour éviter la formation de complexes de l'ion  $H^+$  on ajuste le pH à une valeur égale ou supérieure à 5 pour laquelle  $H F$  et  $H F_2^-$  sont instables.

D'autres cations tels que  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  peuvent également former des complexes.

Pour éviter ces interférences, on mélange les solutions échantillons ou les solutions étalons avec une solution de plus grande force ionique de façon à fixer la force ionique.

La solution "T I S A B" (Total ionic strength adjustment buffer) est particulièrement recommandée dans le cas du dosage du fluor dans l'eau.

Sa composition est la suivante :

Dans 500 ml d'eau distillée, on ajoute

- . 58 g NaCl
- . 57 ml d'acide acétique glacial
- . 5 g C.D.T.A. (acide trans-diamino-1,2-cyclohexane -N,N, N',N' - tétracétique) ou à défaut (Io) 0,3 g de citrate de sodium.

On règle le pH entre 5 et 5,5 avec NaOH 5 N et on complète à un litre avec de l'eau distillée.

B) Etablissement de la courbe d'étalonnage.

On prépare une solution de fluorure de sodium à 1 g / l de fluor, soit 2,2105 g de Na F dans un litre d'eau distillée. On prépare ensuite une série de solutions étalons avec des concentrations en fluor égales à 1, 2, 3, 4,5, 8, 10 mg / l.

Pour la mesure, on dilue la solution dans un rapport 1/1 avec la solution " T I S A B " ( 25 ml de solution étalon pour 25 ml de solution T I S A B ).

On mesure le potentiel en commençant par la plus faible concentration et en agitant à vitesse constante. On peut alors tracer une courbe d'étalonnage en utilisant une échelle semi-logarithmique, c'est à dire  $E = f ( \log C )$ .

Les valeurs obtenues pour la courbe d'étalonnage (fig I ) sont :

$F^-$ mg / l	1	2	3	4	5	8	10
E mv	82	66	56	50	44	32	28

La droite obtenue a alors pour équation :

$$E_i = - 54,1 \log C_i + 82,57$$

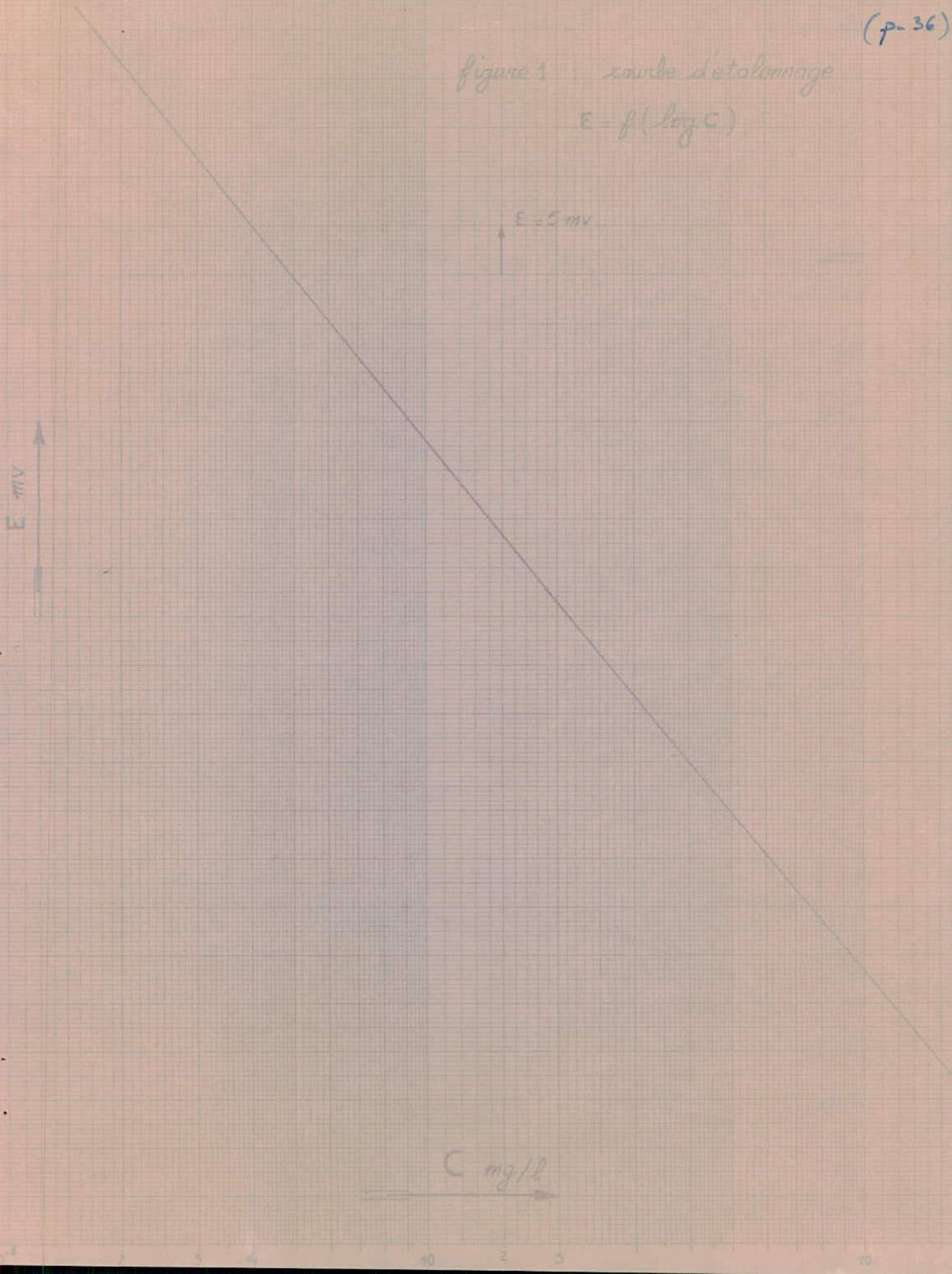
L'analyse des échantillons est conduite de la même manière. A l'aide de la valeur mesurée, on relève la concentration sur la courbe d'étalonnage.

c) Précision de la méthode.

On considère 5 échantillons identiques de concentration en fluor égale à 3 mg / l .

figure 1 courbe d'etalonnage

$$E = f(\log C)$$



La mesure donne :

N° de l'échantillon	I	2	3	4	5
Potentiel E . mv	56	56,5	57	57	56

Un calcul statistique donne pour :

$$\text{moyenne } \bar{x} = 56,5 \text{ mv}$$

$$\text{Ecart-type } \sigma = 0,5 \text{ mv}$$

$$\text{avec } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad n = 5$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

L'écart type est en fait dû à l'erreur d'analyse car si l'on considère que la lecture se fait à 0,5 mv près, on a :

$$\Delta E = S \times \log \frac{100}{A} = 0,5 \text{ mv}$$

$$\text{où } S = \frac{2,303 RT}{n F} = \text{pente de l'électrode}$$

$$S = 0,1984 (273,7 + t) \quad t = \text{température}$$

$$S = 58 \text{ mv à } 20 \text{ °C}$$

A = pourcentage de la valeur lue par rapport à la valeur vraie.

$$A = 100 \cdot 10^{-0,5/58} = 98 \%$$

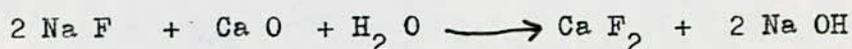
d'où l'erreur de 2 % .

CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX.

I. ETUDE DE LA PRECIPITATION A LA CHAUX SUR UNE SOLUTION SYNTHETIQUE.

a) Calcul théorique de la dose de chaux nécessaire à la précipitation.

On s'intéresse à la réaction :



La stoechiométrie de cette réaction nous permet d'obtenir la dose théorique de chaux permettant l'élimination du fluor sous forme de  $\text{Ca F}_2$ .  
Elle est de  $1,55 \text{ g CaO} / \text{g F}^-$ .

b) Détermination de la dose optimale de chaux.

Les différents résultats sont résumés sur les tableaux 8, 9, et 10.

Il est à noter que le pH initial des solutions est légèrement acide, cela pouvant être dû à une dissolution du  $\text{CO}_2$  atmosphérique.

Ce qui par ailleurs pourrait mener à sa précipitation sous forme de carbonates.

D'autre part, les floccs obtenus lors de l'essai étaient très peu visibles et le précipité obtenu peu important.

De plus, une décantation de 2h de chaque échantillon n'a pas modifié le pH de la décantation à 30 minutes.

TABLEAU N° 8 /

Concentrations initiales en fluor = 2 mg / l

pH<sub>0</sub> = 6,4

Dose de Ca O mg / l	2	3	4	5	6	8	10	20
Fluor résiduel <sup>o</sup> en %	1,75	1,60	1,38	1,48	1,60	1,75	1,80	1,80
Rendement <sup>o</sup> en %	12,5	20	31	26	20	12,5	10	10
Rendement après décantation de 2 H. en %	15,5	25	36	31	24,5	16,5	15	15
Fluor résiduel <sup>oo</sup> mg / l	1,54	1,32	1,0	1,15	1,20	1,35	1,45	1,40
Rendement <sup>oo</sup> en %	23	34	50	42,5	40	32,5	27,5	30
pH I	6,5	6,7	8,9	9,1	9,6	10,1	10,3	10,5
pH 2	7,6	7,3	7,6	8,6	9,1	9,6	9,8	10,0

pH<sub>0</sub> : pH initial

pH I : pH après 5 minutes d'agitation

pH 2 : pH après décantation 30 minutes

" ° " : après décantation de 30 minutes

" ° ° " : après décantation 30 minutes + filtration sur poreux.

Tableau N° 9 :

Concentration initiale en fluor = 4 mg / l

pH<sub>0</sub> = 6,4

Dose de CaO mg / l	5	6	6,2	7	8	10	12
Fluor résiduel ° mg / l	5,8	3,3	2,8	2,2	2,6	3,0	3,0
Rendement en %	5	17,5	30	45	35	25	25
pH I	8,3	8,5	8,9	9,2	9,5	9,9	10,1
pH 2	7,5	7,6	7,7	7,7	8,6	8,9	9,3

pH<sub>0</sub> = pH initial

pH I = pH après agitation 5 minutes

pH 2 = pH après décantation 30 minutes.

"0" = après décantation 30 minutes.

TABLEAU N° 10 :

Concentration initiale en fluor = 8 mg / l

pH<sub>0</sub> = 6,4

Dose de Ca O mg / l	10	11	11,5	12	12,5	13	14	20
Fluor résiduel <sup>o</sup> mg / l	7,3	6,5	5,8	4,1	4,9	5,1	5,4	5,4
Rendement %	8,7	18,8	27,5	48,8	38,8	36,2	32,5	32,5
pH I	9,6	10	10,1	10,2	10,3	10,1	10,2	10,5
pH 2	9,8	9,2	9,2	9,2	10	10	10,1	10,2

° = après décantation 30 minutes

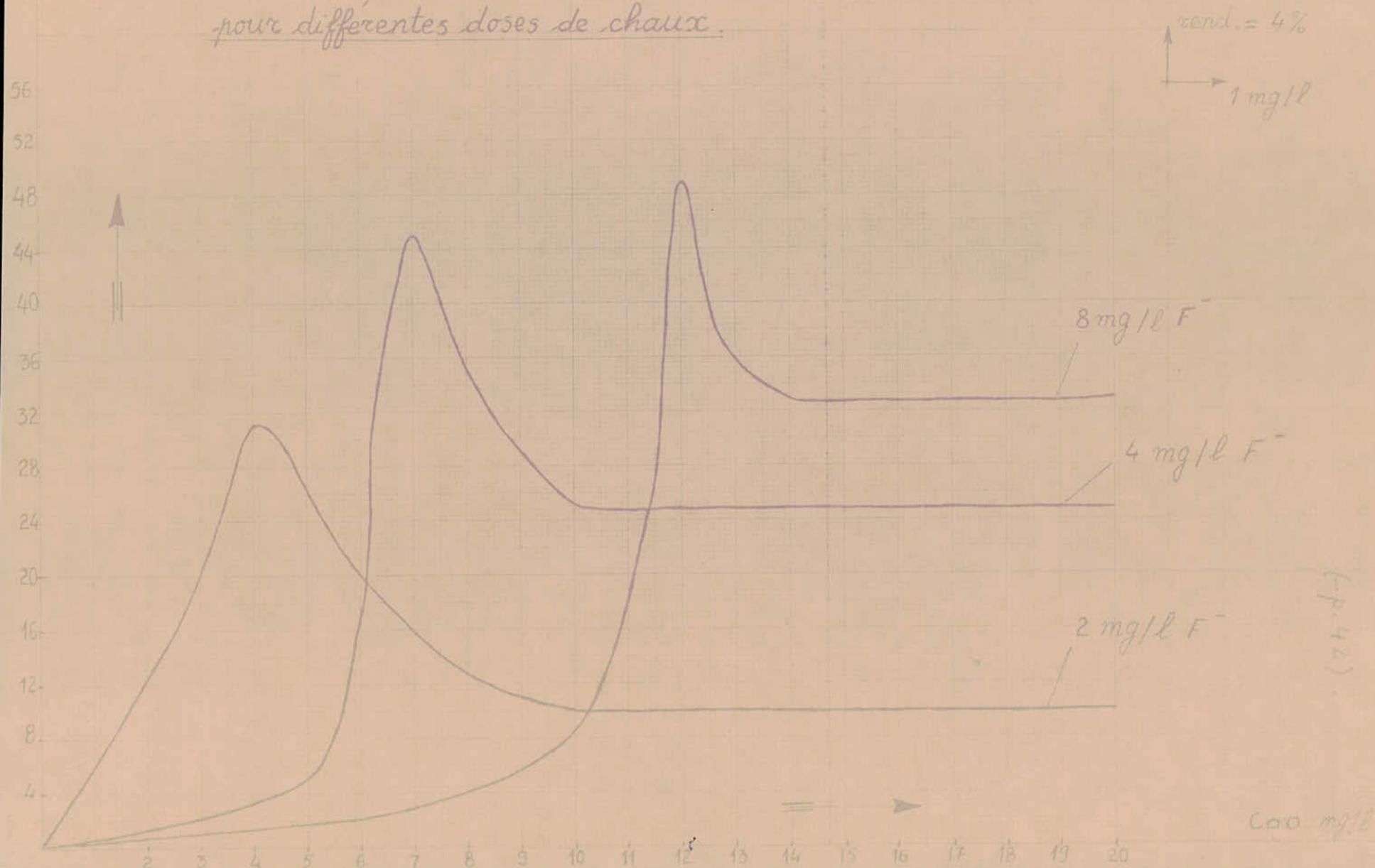
pH<sub>0</sub> = pH initial

pH I = pH après agitation 5 minutes

pH 2 = pH après décantation 30 minutes.

figure 2

Rendements de défluoruration obtenus  
pour différentes doses de chaux.



Interprétation des résultats :

la figure 2 illustrant la variation de l'efficacité du traitement en fonction de la dose de chaux nous permet de constater que les doses optimales sont :

- 4 mg /l de Ca O pour teneur initiale en  $F^- = 2$  mg/l
- 7 mg /l de Ca O pour teneur initiale en  $F^- = 4$  mg/l
- 12mg /l de Ca O pour teneur initiale en  $F^- = 8$  mg/l

Elles correspondent approximativement aux doses théoriques et aux points à partir desquels le pH augmente brusquement du fait d'un excès de chaux, une fois la dose optimale dépassée.

Les pH des doses aptimales ne peuvent conduire à une précipitation du calcium ou du magnésium dans le cas de leur éventuelle présence dans la solution.

$$\begin{aligned} \text{pH de précipitation du calcium} &\gg 9,2 \\ \text{pH de précipitation du magnésium} &\gg 10,5. \end{aligned} \quad (8)$$

Cependant, dans le cas de la concentration en fluor = 8 mg /l , le pH atteint 9,2 pour la dose optimale et on pourrait craindre une précipitation du  $CO_2$  dissous sous forme de carbonates selon la réaction :



Quant aux rendements, on note qu'ils augmentent avec une concentration initiale en fluor croissante.

Ceci est évidemment expliqué par le fait que la fréquence avec laquelle les ions arrivent sur les cristaux déjà formés est d'autant plus importante que la concentration dans la solution est élevée.

Mais en général, ces rendements apparaissent comme moyens et peuvent nous inciter à conclure que la défluoruration à la chaux n'est pas satisfaisante à de telles concentrations initiales en fluor.

Il reste à remarquer que les rendements sont malgré tout améliorés de 10 à 20 % par une filtration sur poreux et qu'une décantation de 2 heures serait préférable dans la pratique bien que l'amélioration du rendement paraisse minime.

2. INFLUENCE DES IONS MAGNESIUM SUR LE TRAITEMENT.

La précipitation de la magnésie conduit à un abatement de la teneur en fluor de 40 à 50 fois plus faible que la magnésie précipitée exprimée en mg /l d'ion  $Mg^{2+}$ .

Nous allons alors, pour une concentration initiale en fluor de 4 mg /l, étudier l'influence de l'ion  $Mg^{2+}$  introduit dans la solution synthétique sous forme de  $MgCl_2, 6H_2O$ .

Les résultats sont présentés dans les tableaux II, I2 et I3.

Tableau N° II : Concentration initiale en fluor = 4 mg /l  
 Concentration initiale en  $Mg^{2+}$  = 50 mg /l  
 $pH_0 = 7,2$

Dose de CaO mg /l	7	10	20	40	80	100	120	130	140	150
Fluor résiduel.mg/l	3,4	3,2	2,80	2,55	2,10	2,35	2,55	2,70	3,58	3,8
Rendement %	15	20	30	36,2	47,5	41,2	36,2	32,5	10,5	5
pH I	9,5	9,9	10,1	10,3	10,6	10,8	10,9	10,9	10,9	11
pH 2	9,8	10	10,2	10,4	10,4	10,6	10,7	10,8	10,6	10,8

° : après décantation de 30 minutes.  
 pH<sub>0</sub> : pH initial  
 pH I : pH après agitation 5 minutes  
 pH 2 : pH après décantation 30 minutes.

TABLEAU N° 12 :

Concentration initiale en fluor = 4 mg /l

Concentration initiale en  $Mg^{2+}$  = 100 mg /l

$pH_0$  = 7,2 .

Dose de CaO mg /l	7	20	50	100	120	140	150	160	170	180	200	240
Fluor résiduel <sup>°</sup> mg /l	3,12	2,68	2,36	1,94	1,80	1,68	1,60	1,72	2,30	2,8	2,8	2,8
Rendement en %	22	33	41	51,5	55	58	60	57	42	30	30	30
Fluor résiduel <sup>°°</sup> mg / l	-	-	1,56	1,22	1,0	0,88	0,80	0,95	1,50	-	-	-
Rendement en %	-	-	61	69,5	75	78	80	76,2	62,5	-	-	-
pH 1	8,7	9,2	10,4	10,5	10,5	10,6	10,6	10,6	10,7	10,9	11,1	11,3
pH 2	8,7	9,2	10,3	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,5	10,7	10,7	11,0

° : après décantation 30 minutes

°° : après décantation 30 minutes + filtration sur poreux.

$pH_0$  : pH initial

pH 1 : pH après agitation 5 minutes

pH 2 : pH après décantation 30 minutes.

TABLEAU N° 13 :

Concentration initiale en fluor = 4 mg /l

Concentration initiale en  $Mg^{2+}$  = 150 mg /l

$pH_0 = 7,2$

Dose de Ca O mg /l	7	20	40	80	100	120	150	200	220	240	260	350
Fluor résiduel <sup>o</sup> mg /l	3,10	2,42	2,30	1,93	1,85	1,70	1,62	1,46	1,40	1,45	1,60	3,0
Rendement en %	22,5	37	42,5	51,8	<u>53,8</u>	<u>57,5</u>	59,5	63,5	65	63,8	60	25
pH 1	9,8	10,3	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,6	10,6	10,7	10,8	11,3
pH 2	9,5	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,6	11,1

<sup>o</sup> : après décantation de 30 minutes

$pH_0$  : pH initial

pH 1 : pH après agitation 5 minutes

pH 2 : pH après décantation 30 minutes.

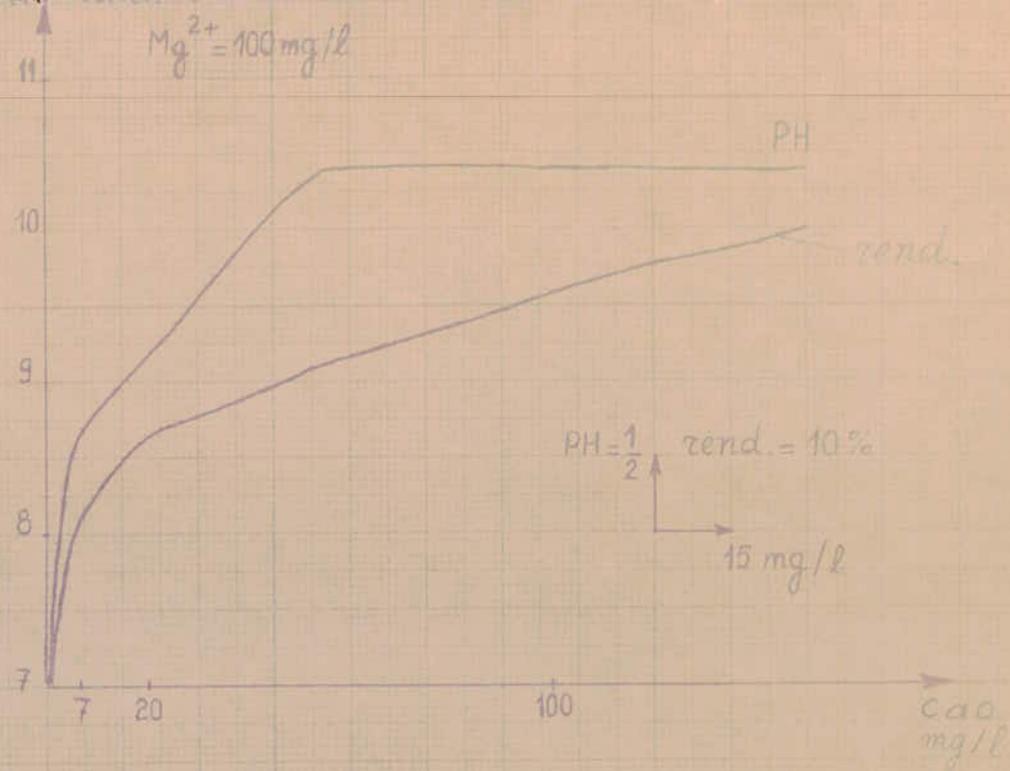
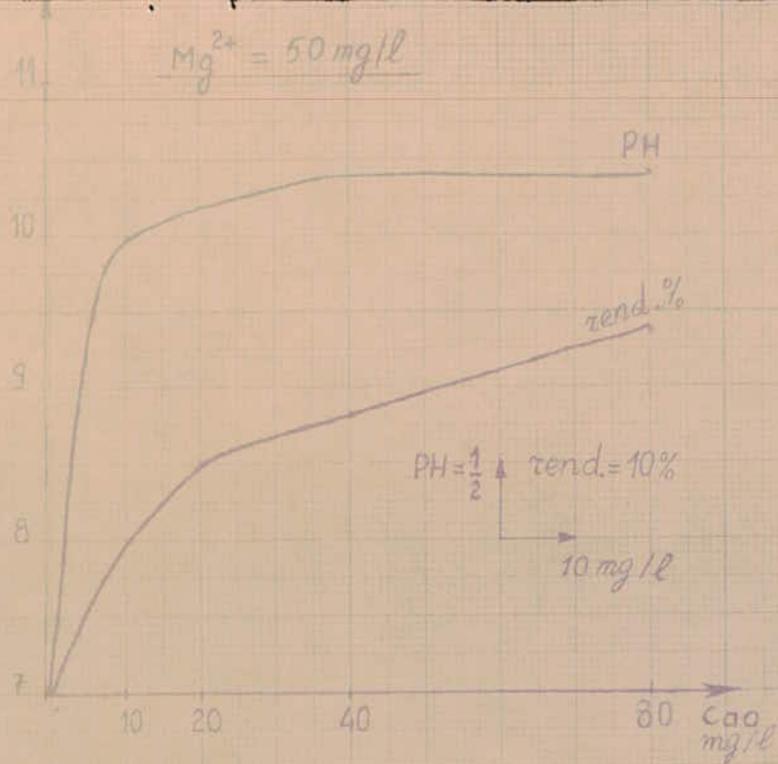


figure 3

Influence de la concentration de  $Mg^{2+}$  sur le rendement de défluoruration.

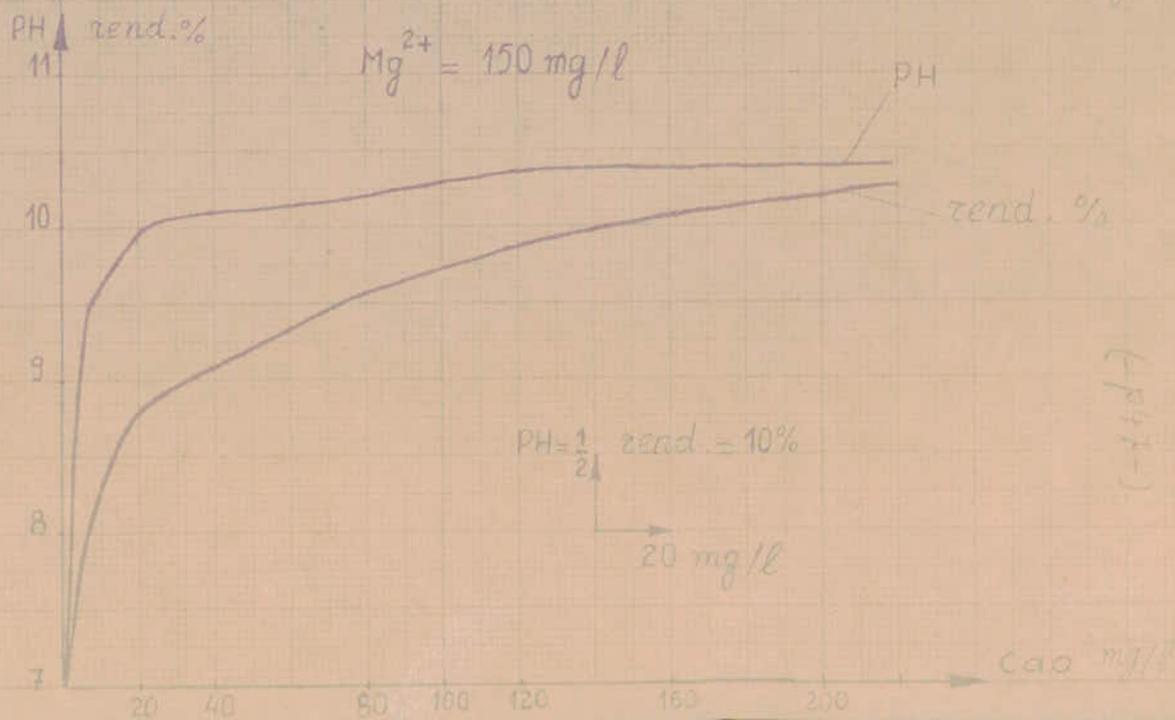
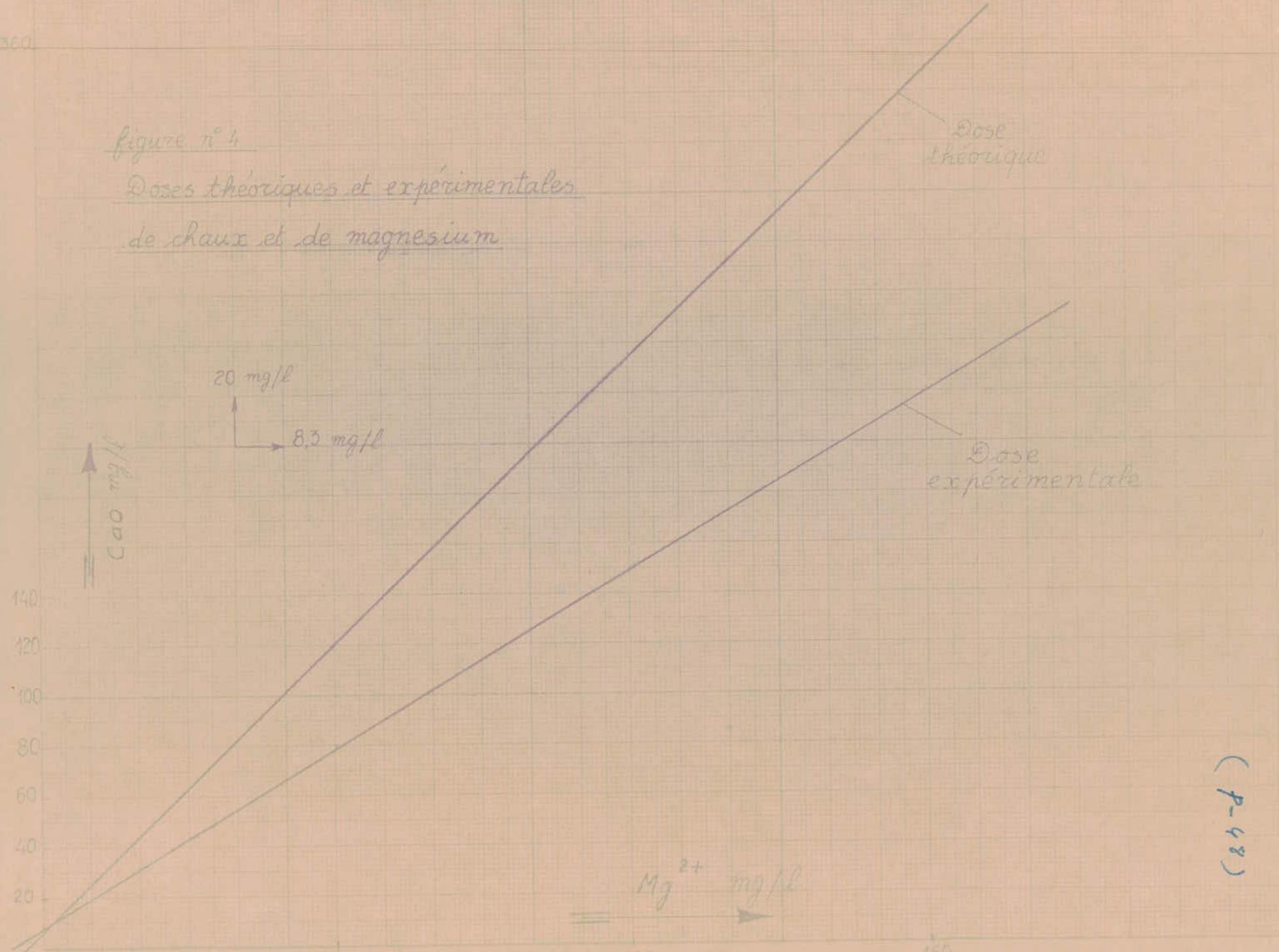


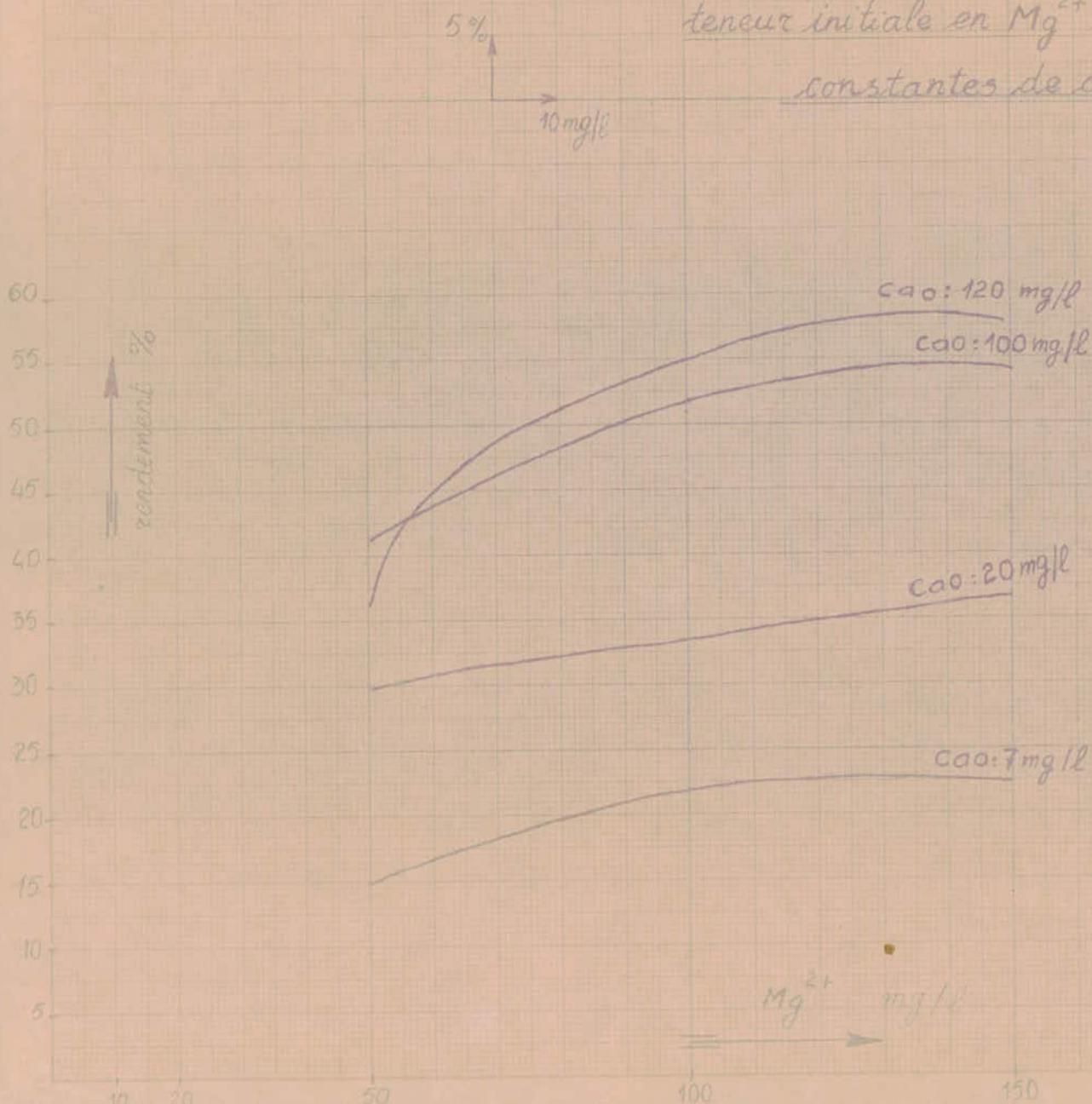
figure n° 4  
Doses théoriques et expérimentales  
de chaux et de magnésium



(P-48)

figure n° 5

Evolution du rendement en fonction de la teneur initiale en  $Mg^{2+}$  et pour des doses constantes de chaux.



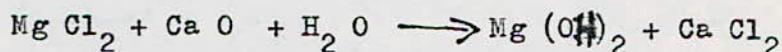
Interprétation des résultats :

La figure 3 représentant le rendement obtenu en fonction de la dose de chaux, montre que pour une concentration initiale en fluor = 4 mg /l, les doses optimales de chaux sont :

- Ca O = 80 mg /l pour teneur initiale en  $Mg^{2+}$  = 50 mg /l
- Ca O = 150 mg/l pour teneur initiale en  $Mg^{2+}$  = 100mg/ l
- Ca O = 220 mg/l pour teneur initiale en  $Mg^{2+}$  = 150 mg/l

On constate par ailleurs que les pH correspondant à ces doses de chaux se situent dans la zone de précipitation optimale du magnésium.

Cependant, les doses optimales de chaux pour l'élimination du fluor diffèrent des doses de chaux nécessaires à une précipitation totale du magnésium et qui sont donnés par la réaction suivante:



$$\text{Dose théorique} = 2,33 \text{ g Ca O / g } Mg^{2+} .$$

Ceci apparaît nettement sur la figure 4 à partir de laquelle on peut déduire qu'un rendement optimal d'élimination du fluor ne nécessite qu'une précipitation partielle du magnésium présent dans la solution.

En effet, la variation des rendements avec une dose croissante de chaux nous permet de supposer qu'au départ, il y a une formation continue de  $Mg (OH)_2$  qui adsorbe le fluor.

D'où l'augmentation progressive du rendement jusqu'à la dose optimale de chaux.

A partir de cette dernière valeur, on note une diminution du rendement, ceci pouvant s'expliquer par une diminution de la surface d'adsorption, due peut-être à une compétition des ions  $F^-$  et des ions  $OH^-$  ou par une saturation des sites d'adsorption.

Les rendements sont malgré tout sensiblement améliorés par la présence de magnésium dans la solution ( figure 5 ) du moins pour les concentrations en magnésium supérieures à 50 mg /l.

On remarque en effet que pour cette valeur, les rendements restent moyens, la quantité de  $Mg(OH)_2$  précipitée n'étant pas suffisante pour assurer une adsorption efficace.

### 3. INFLUENCE DES IONS BICARBONATES SUR LE TRAITEMENT.

Ces ions correspondent partiellement ou totalement au titre alcalimétrique complet, ( T.A.C.).

La connaissance de ce dernier est d'ailleurs nécessaire pour l'étude d'un traitement d'adoucissement par précipitation chimique.

Nous allons de ce fait étudier les interférences qui pourraient survenir lors de l'élimination du fluor, en introduisant dans la solution synthétique des ions bicarbonates sous forme d'hydrogénocarbonate de sodium anhydre. Les résultats sont présentés sur les tableaux I4, I5 et I6 .

TABLEAU N° 14 :

Concentration initiale en fluor = 4 mg /l

Concentration initiale en  $Mg^{2+}$  = 100 mg /l

Concentration initiale en  $HCO_3^-$  = 50 mg /l

$pH_0 = 7,7$

Dose de Ca O mg / l	7	20	50	80	100	120	150	180	200	220	240	280
Fluor résiduel <sup>o</sup> mg /l	2,76	2,56	2,20	1,88	1,72	1,56	1,32	1,21	1,36	1,85	2,84	3,37
Rendement en %	31	36	45	53	57	61	67	69,8	66	53,8	29	15,8
pH 1	8,9	9,9	10,2	10,3	10,4	10,5	10,5	10,5	10,6	10,7	10,7	10,8
pH 2	8,8	9,7	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,6

<sup>o</sup> = après décantation 30 minutes

$pH_0$  = pH initial

pH 1 = pH après agitation 5 minutes

pH 2 = pH après décantation 30 minutes

TABLEAU N° 15 :

Concentration initiale en fluor = 4 mg /l

Concentration initiale en  $Mg^{2+}$  = 100 mg /l

Concentration initiale en  $HCO_3^-$  = 100 mg /l

$pH_0$  = 7,6

Dose de Ca O mg / l	7	40	80	120	150	180	200	220	240
Fluor résiduel <sup>o</sup> mg / l	2,84	2,50	2,10	1,8	1,56	1,40	1,32	1,88	2,11
Rendement en %	29	37,5	47,5	55	61	65	67	53	47,2
pH 1	8,8	9,3	9,7	10,2	10,5	10,6	10,6	10,7	10,8
pH 2	8,7	9,2	9,7	10,1	10,5	10,5	10,5	10,6	10,6

<sup>o</sup> : après décantation 30 minutes

$pH_0$  : pH initial

pH 1 : pH après agitation 5 minutes.

pH 2 : pH après décantation 30 minutes.

TABLEAU N° 16 :

Concentration initiale en fluor = 4 mg /l

Concentration initiale en  $Mg^{2+}$  = 100 mg /l

Concentration initiale en  $HCO_3^-$  = 50 mg /l

$pH_0$  = 7,7

Dose de Ca O mg /l	7	50	80	100	120	150	180	200	220	240
Fluor résiduel° mg /l	2,95	2,68	2,68	2,04	1,92	1,80	1,72	1,64	1,74	2,15
Rendement en %	23	33	43	49	52	55	57	59	56	46,2
pH 1	9,1	9,8	10,3	10,4	10,5	10,6	10,6	10,7	10,7	10,8
pH 2	9,0	9,7	10,2	10,3	10,4	10,5	10,5	10,5	10,6	10,6

° = après décantation 30 minutes

$pH_0$  = pH initial

pH 1 = pH après agitation 5 minutes

pH 2 = pH après décantation 30 minutes

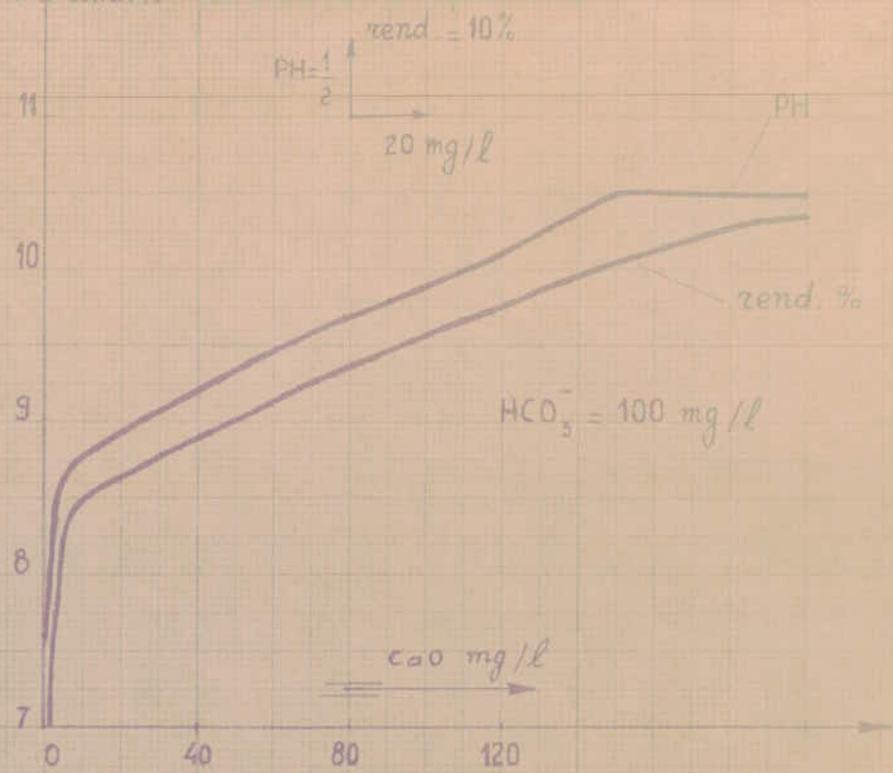
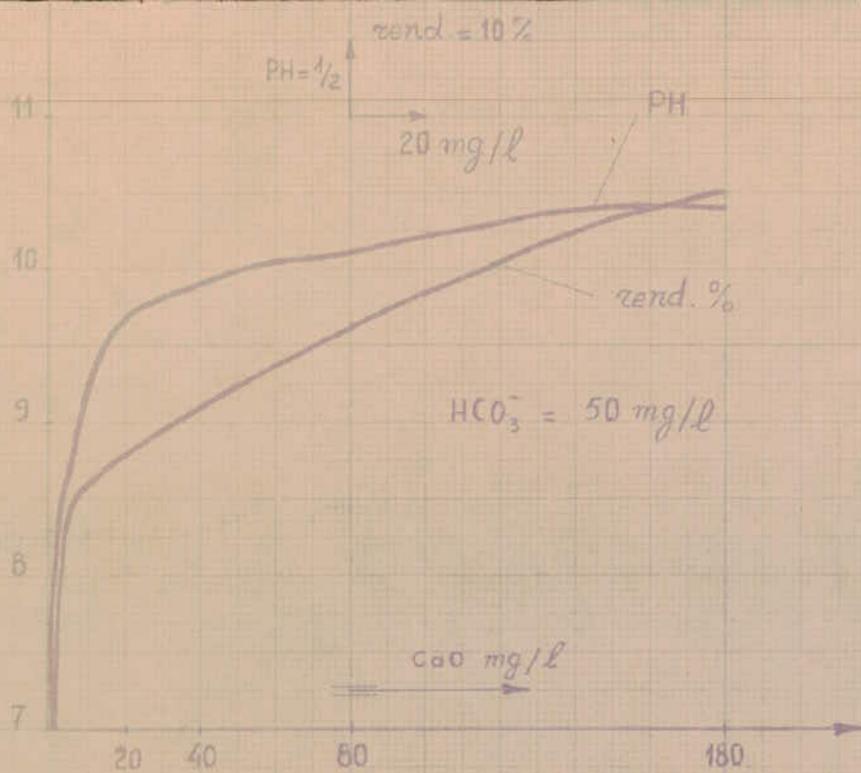
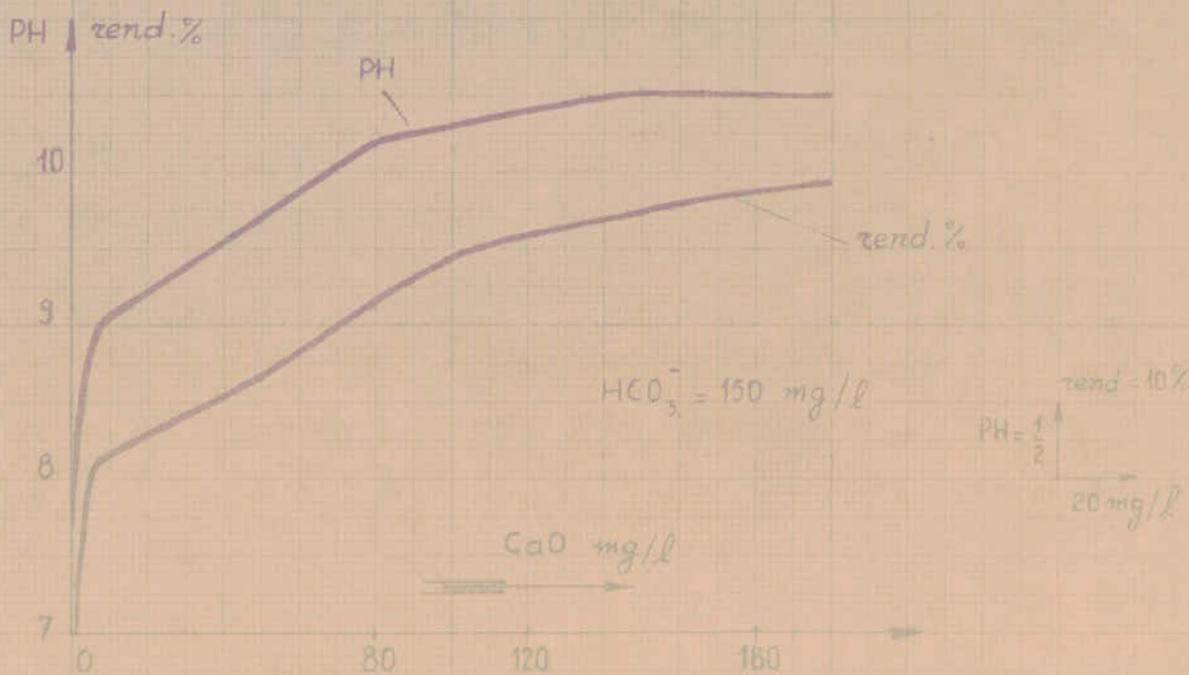


figure 6

Influence des bicarbonates sur la défluoruration à la chaux.



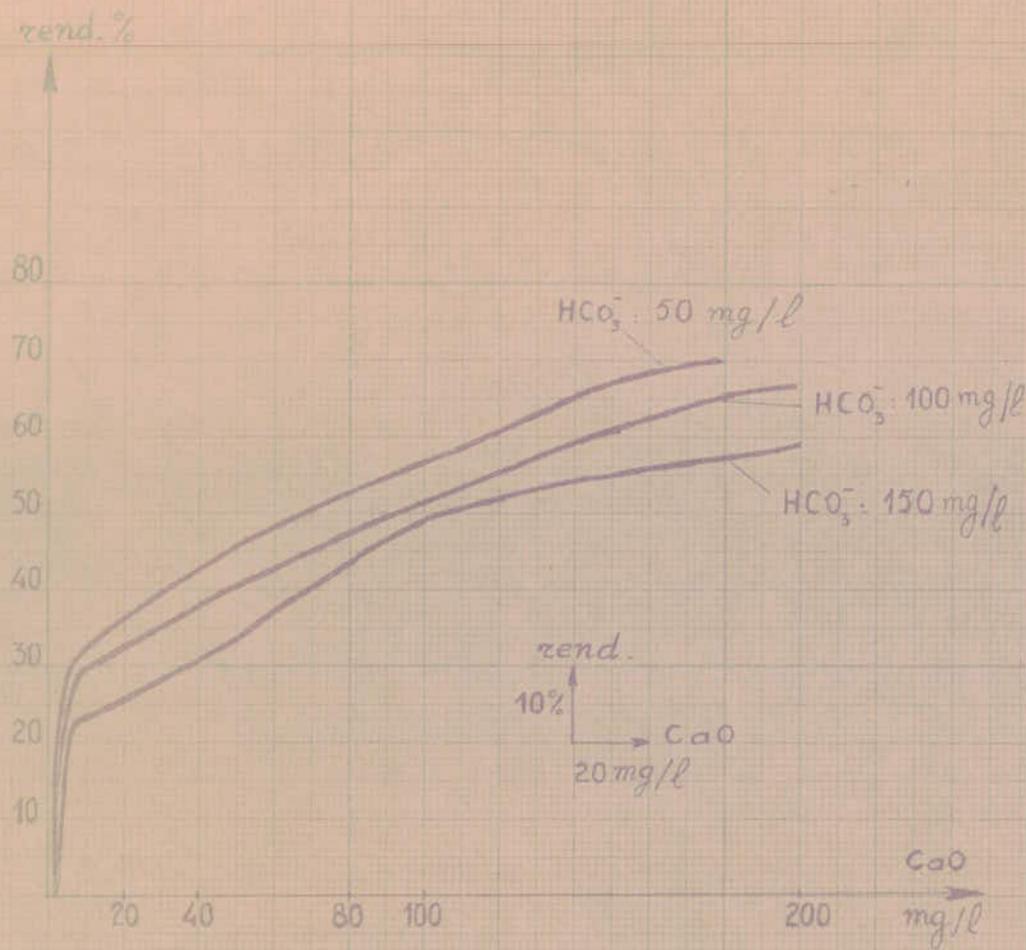


figure 7 : Evolution des rendements en fonction de la dose de chaux pour des teneurs différentes en  $\text{HCO}_3^-$ .

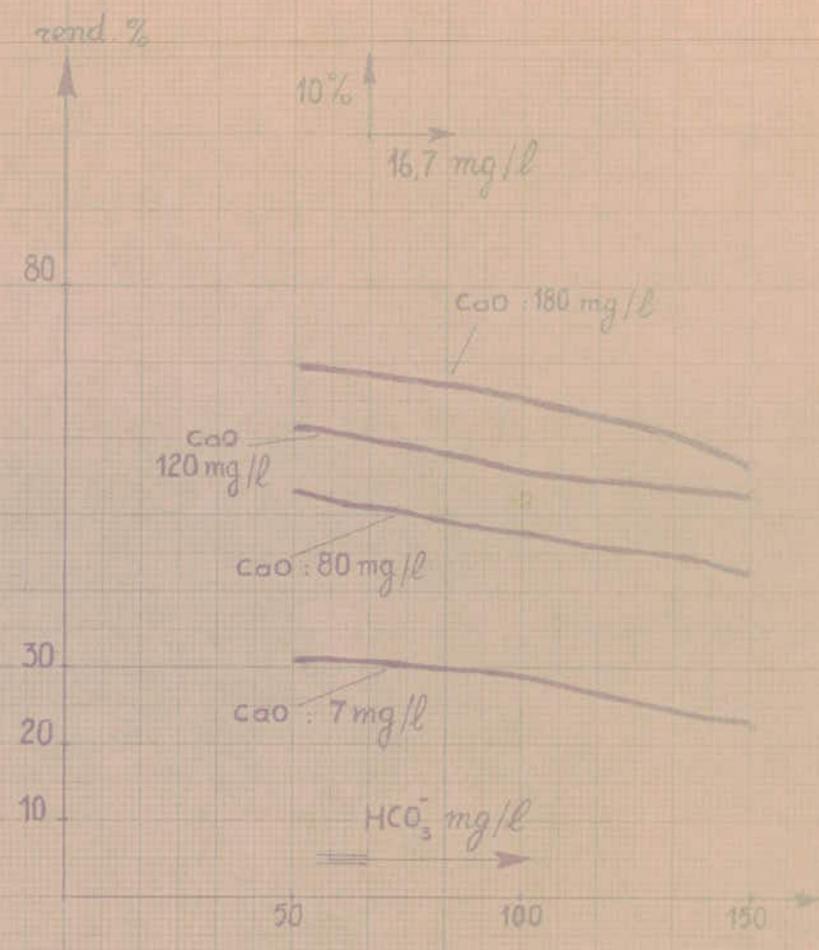


figure 8 : Evolution des rendements en fonction de la teneur initiale en  $\text{HCO}_3^-$  et pour des doses différentes en chaux.

Interprétation des résultats:

L'examen de la figure 6 représentant le rendement en fonction de la dose de chaux montre que pour une concentration initiale en fluor = 4 mg / l et une concentration initiale en magnésium = 100 mg / l, les doses optimales de chaux sont :

- Ca O = 180 mg / l pour teneur initiale  $\text{HCO}_3^-$  = 50 mg / l
- Ca O = 200 mg / l pour teneur initiale  $\text{HCO}_3^-$  = 100 mg / l
- Ca O = 200 mg / l pour teneur initiale  $\text{HCO}_3^-$  = 150 mg / l

Ces doses apparaissent comme différentes des doses théoriques calculées à partir de la réaction :



En tenant compte de la précipitation du magnésium, la dose théorique totale serait de :

$$0,92 \text{ mg Ca O / mg H CO}_3^- + 150 \text{ mg / l}$$

Cependant, il semble qu'une teneur croissante de bicarbonates entraîne une baisse du rendement. Ceci apparaît sur les figures 7 et 8 et peut s'expliquer par une concurrence entre les  $\text{HCO}_3^-$  et les  $\text{F}^-$  pour les sites de la magnésie précipitée. Mais elle peut également s'expliquer par la présence des ions sodium qui augmentent la solubilité de  $\text{CaF}_2$ .

Toutefois, pour une teneur peu importante de bicarbonates, le rendement semble légèrement amélioré, fait qui apparaît pour une concentration en bicarbonates égale à 50 mg / l.

Mais cette légère hausse du rendement ne pourrait être due qu'à un entraînement des ions fluorures par les cristaux de carbonates de calcium précipités.

4. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE.

Les eaux des forages profonds du Sahara septentrional étant caractérisées par des températures élevées, il est indispensable de tenir compte de ce facteur lors de l'essai de précipitation.

Pour cela, nous portons la solution synthétique à une température égale à 60 °C puis nous procédons aux différentes étapes de défluoruration.

Cette étude de la température nous conduit à entreprendre des essais à 5°C dans le but d'une meilleure observation de l'évolution du rendement.

Le tableau N° 17 ci-après nous présente les résultats obtenus :

Concentration initiale en fluor. mg /l	2	4	8
Dose de Ca O mg /l	4	7	12
Rendement en % T = 60 °C	42	57,5	63,8
Rendement en % T = 20 °C	31	45	48,8
Rendement en % T = 5 °C	11	13,2	15,3

Concentration initiale en  $Mg^{2+} = 0$

Concentration initiale en  $HCO_3^- = 0$

$pH_0 = 6,7$

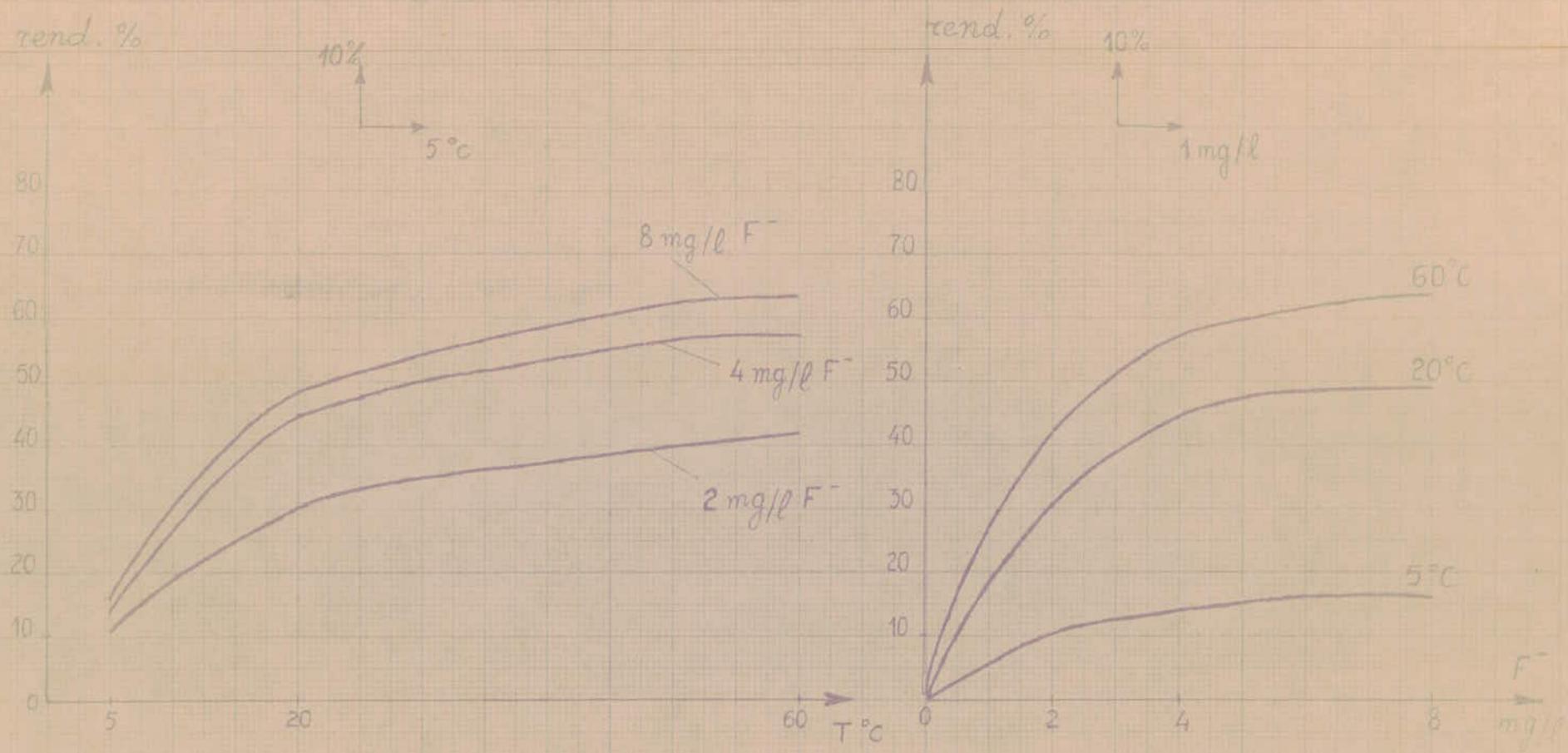


figure n°9 : Influence de la température sur la défluoruration à la chaux.

(p-59)

Interprétation des résultats.

La figure 9 illustre l'influence de la température sur la défluoruration et permet de constater une amélioration du rendement lorsque la température augmente.

En fait, bien que l'augmentation de la température entre 20 °C et 60 °C ait accéléré les réactions, elle n'est cependant pas suffisante pour améliorer la défluoruration de façon notable.

5. ETUDE DE LA PRECIPITATION CHIMIQUE A LA CHAUX SUR UNE EAU NATURELLE.

On se propose, au cours de cette étape, d'effectuer un essai de défluoruration sur une eau de consommation de la région du Sahara Septentrional.

Compte tenu des caractéristiques chimiques de cette eau, il s'agit également de comparer les résultats obtenus à ceux enregistrés lors des essais sur solution synthétique .

a) Analyse des échantillons d'eau.

Les échantillons ont été prélevés d'une part, dans la ville d'El Oued (réseau d'alimentation en eau potable) et d'autre part, au niveau des forages albiens de la région de Tougourt.

La détermination des principales caractéristiques physico-chimiques a donné les résultats présentés sur le tableau N° 18.

Les concentrations en fluor de ces eaux dépassent celles admises par les normes de l'O.M.S. , et la dureté totale apparaît comme élevée, le magnésium en représentant une part élevée.

b) Essai de défluoruration.

b. I. ) Calcul de la dose théorique de chaux.

La quantité de chaux vive nécessaire à l'adoucissement est donnée par la formule :

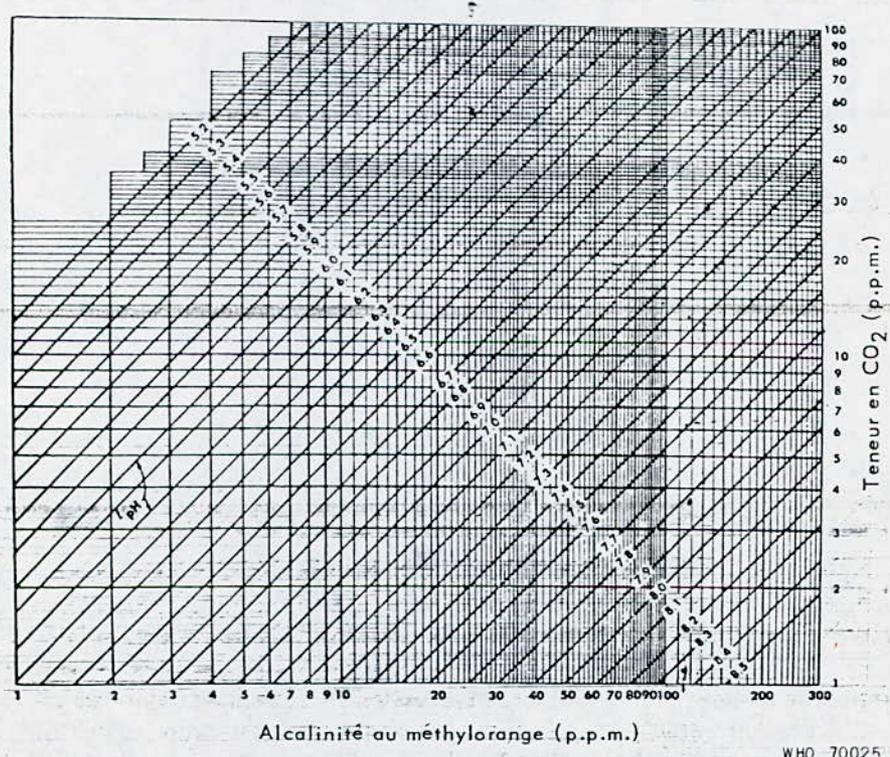
TABLEAU N° 18 :

RESULTATS D'ANALYSE D'UNE EAU NATURELLE D'EL OUED ET DE LA  
region de TOUGGOURT.

Lieu du prélèvement	Date du prélèvement	pH	TAC °F	TH °F	Ca <sup>2+</sup> mg /l	Mg <sup>2+</sup> mg /l	F <sup>-</sup> mg /l
EL OUED Ville (Eau de robinet)	15 Mai 1982	7,6	11,4	121	276	124,8	1,94
FORAGE ALBIEN Sidi Mahdi ( Touggourt)	02 Mai 1982	7,6	13,8	100	178	133	1,32
FORAGE ALBIEN Aïn Sahara ( Touggourt)	02 Mai 1982	7,3	14,2	98,4	184	126	1,10

Figure 10 :

Rapport entre l'alcalinité au méthylorange, la teneur en CO<sub>2</sub> et le pH. (5)



WHO 70025

D'après l'US Air Force Manual 85-13 (1959), p. 207.

$$\text{Ca O mg / l} = 28 ( \text{T A C} + 2 \text{T Mg} + \text{C} )$$

où T A C : titre alcalimétrique complet en mē / l

T Mg : teneur totale en magnésium en mē / l

C : teneur en CO<sub>2</sub> libre en mē / l , et déterminée au moyen de la figure IO .

L'échantillon d'El Oued révélant une forte teneur en fluorures, l'essai de défluoruration sera effectué sur cette eau et la dose théorique de chaux calculée sur la base de ces caractéristiques.

T A C : 2,28 mē / l

T Mg : 10,4 mē / l

C : 0,28 mē / l

$$\text{Ca O mg / l} = 654 \text{ mg / l.}$$

b. 2.) Détermination de la dose optimale de chaux.

L'essai est conduit de la même manière que pour l'eau synthétique. Les résultats sont présentés sur la tableau N°19.

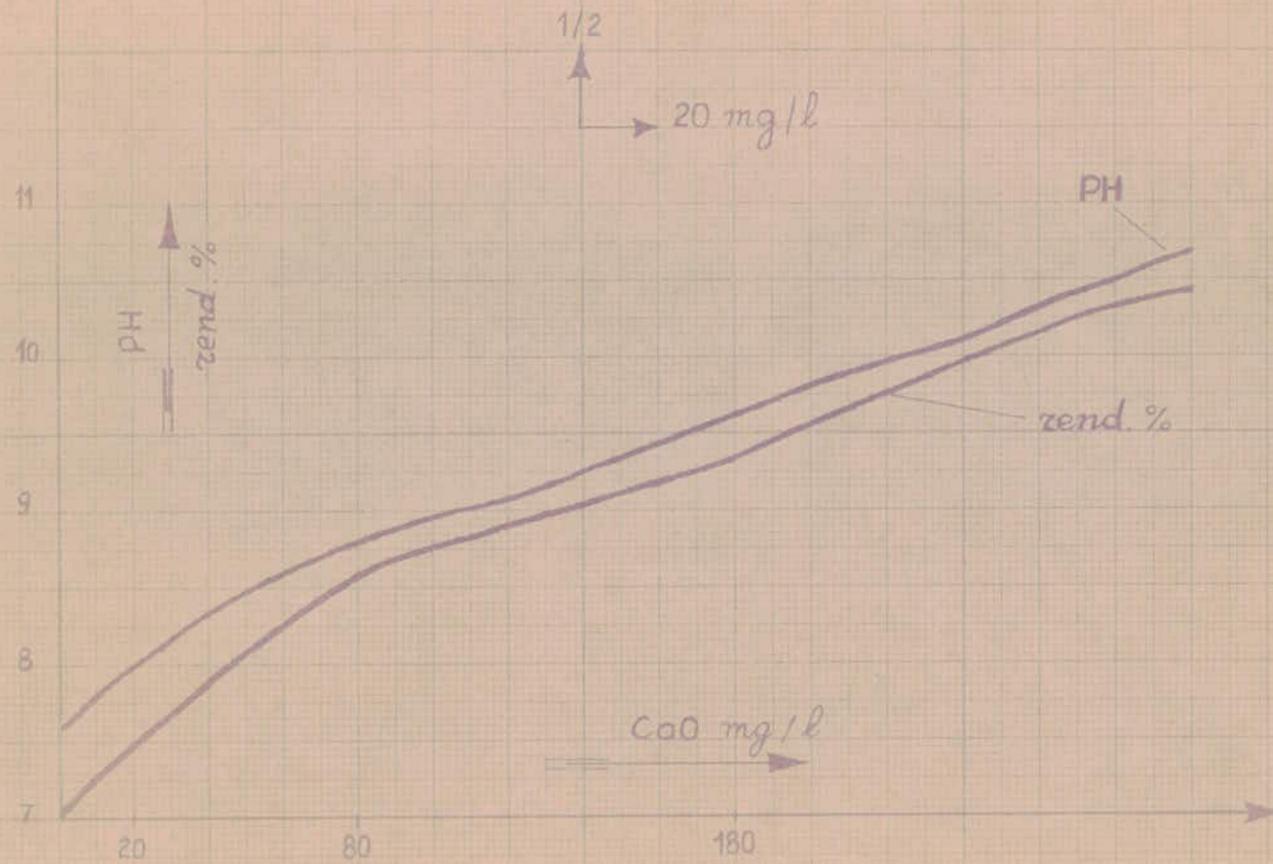
TABLEAU N° 19.

Concentration initiale en fluor = 1,94 mg /l  
 $\text{pH}_0 = 7,6$

Dose de Ca O mg /l	80	100	120	180	240	300	340	400
Fluor résiduel* mg /l	1,32	1,27	1,21	1,04	0,78	0,62	0,76	0,92
Rendement en %	31,9	34,5	37,6	46,4	59,8	68	60,8	52,5
pH 1	9,0	9,2	9,4	10,0	10,4	10,9	11,1	11,5
pH 2	8,7	8,9	9,1	9,7	10,1	10,7	10,8	11,1

\* : après décantation 30 minutes  
 $\text{pH}_0$  : pH initial  
 pH 1 : pH après agitation 5 minutes  
 pH 2 : pH après décantation 30 minutes

Figure 11: Evolution du rendement en fonction de la dose de chaux pour une eau naturelle.



### Interprétation des résultats.

Le tableau I9 et la figure II nous font constater que le rendement optimal d'élimination du fluor est obtenu pour une dose de chaux égale à 300 mg /l.

Elle est inférieure à la dose théorique calculée précédemment et de ce fait, nous pouvons en déduire que l'adoucissement n'est pas total.

Ce qui pourrait s'expliquer d'une part, par une précipitation partielle du magnésium et des bicarbonates, ceci compte tenu des conclusions relatives à l'étude sur eau synthétique, et d'autre part, cette différence pourrait être due à l'importance de la dureté permanente qui n'est que difficilement éliminable par la chaux.

En effet, la dureté permanente = TH - TAC = 109,6 °F. Nous avons néanmoins noté une diminution de la dureté totale qui était évaluée en fin de traitement à TH = 73°F.

Quant au rendement d'élimination du fluor, nous pouvons le considérer comme satisfaisant.

Ce résultat pouvant être attribué à la forte teneur en magnésium et peut-être à un entraînement des fluorures par la précipitation d'autres éléments minéraux tels que le fer ou les phosphates.

## 6. INFLUENCE DE L'ADDITION D'UN ADJUVANT DE COAGULATION.

La teneur résiduelle en fluor apparaît conforme aux normes de potabilité. Mais on pourrait penser à améliorer le rendement de l'opération en utilisant un adjuvant de coagulation tel que le sulfate d'alumine, le chlorure ferrique ou la silice activée qui faciliteraient l'adoucissement par la chaux.

On effectue alors un essai de défluoruration en utilisant comme adjuvant le sulfate d'alumine à une concentration de  $2 \text{ g} / \text{m}^3$ .

Le tableau N° 20 résume les résultats obtenus:

Tableau n° 20 :

Concentration initiale en fluor =  $1,94 \text{ mg} / \text{l}$

$\text{pH}_0 = 7,6$

Dose de CaO mg / l	Fluor résiduel mg / l	Rendement %	pH I	pH 2	T H° (±F)
300	0,44	77,3 %	10,8	10,6	65

$\text{pH}_0 = \text{pH initial}$

$\text{pH I} = \text{pH après agitation 5 minutes}$

$\text{pH 2} = \text{pH après décantation 30 minutes}$

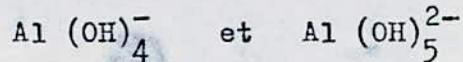
• = après décantation 30 minutes.

### Interprétation des résultats :

Cet essai nous a permis de déceler une nette amélioration du rendement d'élimination du fluor par l'emploi du sulfate d'alumine à une concentration de  $2 \text{ g} / \text{m}^3$ .

L'action de cet adjuvant consisterait à favoriser la coagulation des fins cristaux résultants des réactions d'adoucissement.

Il pourrait cependant paraître illogique d'utiliser du sulfate d'alumine à un pH aussi élevé, mais il s'agit d'obtenir de l'aluminate de magnésium (et non de l'hydroxyde d'aluminium) afin de mieux précipiter le magnésium, (5), ceci compte tenu du fait que pour un  $\text{pH} > 8$ , ce sont les formes



qui prédominent, selon l'hydrolyse des cations  $\text{Al}^{3+}$ .



On constate d'après ces réactions qu'il se produit une libération d'ions  $\text{H}^+$ , ce qui expliquerait la légère baisse du pH lors de l'essai.

Il reste à remarquer que lors de la recarbonatation il faudrait veiller à ne pas atteindre un  $\text{pH} < 8$  afin qu'une éventuelle solubilisation de l'alumine n'entraîne pas sa refloculation.

CHAPITRE IV :      CONCLUSIONS A LA DEUXIEME PARTIE. SUGGESTIONS.

En regard du temps qui a été imparti à notre travail, l'étude expérimentale s'est vue quelque peu réduite et seuls les principaux facteurs pouvant influencer la défluoruration ont été abordés.

Cependant, les essais sur solution synthétique nous ont permis de nous assurer de la validité du traitement par adoucissement à la chaux, notamment pour les fortes teneurs en fluorures.

Nous avons pu constater l'influence positive des ions magnésium, de même que celle de la température.

En fait, ce dernier facteur a surtout été pris en compte afin de reproduire les conditions dans lesquelles se ferait en pratique le traitement d'une eau du Sahara septentrional.

L'influence des ions bicarbonates, bien qu'apparaissant comme négative, devra cependant être approfondie lors d'une étude ultérieure.

Il serait également souhaitable d'aborder l'influence du sodium, présent en forte concentration dans les eaux de la région étudiée.

De la même manière, les éléments minéraux tels que le fer, les phosphates pourraient faire l'objet d'une étude particulière et ceci compte tenu de l'hypothèse formulée quant à leur influence lors de l'essai sur l'eau naturelle.

On pourrait également étudier l'influence de la nature des fluorures et comparer les résultats de défluoruration sur eaux synthétiques contenant d'une part, du fluorure de calcium, d'autre part du fluorure de potassium.

Quant à l'influence de l'adjuvant de coagulation, l'essai réalisé a permis de conclure que l'addition du sulfate d'alumine était bénéfique.

Cependant, l'emploi de ce réactif donnant lieu à des controverses, il serait préférable d'essayer l'emploi de silice activée à des taux de 3 à 8 g/ m<sup>3</sup> (8), bien que la mise en oeuvre de cet essai semble assez délicate.

L'amélioration de la défluoruration à la chaux peut également se produire par l'introduction dans l'eau brute de boues préformées, et il serait intéressant de procéder à un essai simulant la recirculation d'une partie des floccs obtenus.

A cet effet, il serait préférable de procéder à une étude en continu sur une eau naturelle, ce qui permettrait d'ailleurs une meilleure observation de l'efficacité du traitement.

En dernier lieu, il pourra être fait un essai de défluoruration par adsorption sur alumine activée dont la spécificité à l'élimination du fluor semble intéressante.

CONCLUSION G E N E R A L E

Le but de cette étude a été de proposer un traitement efficace et économique qui pourrait, par la conception d'une station de traitement, améliorer la qualité des eaux de consommation de la région du Sahara Septentrional.

Au cours de nos essais, nous avons pu constater la validité d'un traitement de défluoruration par précipitation chimique à la chaux.

Mais, si par ce traitement l'excès de fluor est évité et la dureté totale amoindrie, le problème de la dureté permanente n'en est pas pour autant résolu.

L'addition de carbonate de soude qui pourrait constituer un traitement complémentaire n'est cependant pas envisageable pour les eaux étudiées du fait de leur forte teneur en sodium.

Mais dans un premier temps, il s'agit de concevoir une station de traitement sur la seule base d'une défluoruration dont l'intérêt apparaît comme certain au niveau de la santé publique.

Les volumes mobilisés pour l'alimentation eau potable n'étant pas excessifs pour les régions considérées, un traitement de ces eaux apparaît économiquement possible.

-----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- I. A.R.M.I.N.E.S. (Rapport) : "Modèle de gestion et de mise en valeur des nappes aquifères du complexe terminal Oued Rhir - Souf - Ouargla . (1975).
2. AROUA A. (Dr): "Problèmes de santé liés à l'hyperminéralisation de certaines eaux en Algérie". Séminaire sur la technologie appropriée à la déminéralisation de l'eau potable. (Novembre 1981).
3. BURGEAP : (Rapport) "Etude du continental intercalaire saharien". (1963).
4. CHARLOT G. : " Les méthodes de la chimie analytique".Ed. Masson & Cie, 1961 .
5. COX C.R. : "Technique et contrôle du traitement des eaux" O.M.S., Série de monographies, N° 49, 1967.
6. DEGREMONT : "Mémento technique de l'eau" , Technique et Documentation, 1978.
7. DUPONT A. : "Hydraulique urbaine", Tome I, Eyrolles, 1979.
8. GOMELLA C. et GUERREE H. : " Le traitement des eaux publiques industrielles et privées" Eyrolles, 1978 .
9. GOSSELIN M. : " Relations entre la composition chimique de l'eau et la nature du sol"; 1951 .
10. GUESSEIR B. : " Défluoruration de l'eau des nappes dans la région d'El Oued", I.N.A., 1977.
11. HARRISSON T.R.: "Principes de médecine interne", Flammarion, 1972
12. MORETTE A. : " Précis d'hydrologie", Masson & Cie, 1958.
13. O.N.U. : "Les eaux souterraines de l'Afrique", 1971 .

- I4. ROVEL J. M. : " Principaux traitements spécifiques relatifs à certains composés minéraux indésirables", Séminaire sur la technologie appropriée à la déminéralisation de l'eau potable. ( Novembre 1981 )
- I5. SCHOELLER H. : " Géochimie des eaux souterraines" , Société des Editions, 1956.
- I6. U.N.E.S.C.O. : " Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional", 1972 .
-

ANNEXE A LA DEUXIEME PARTIE

DESCRIPTION DE LA FILE DE TRAITEMENT

Les installations de la défluoruration à la chaux peuvent être conçues de la même manière que celles de l'adoucissement. Pour une eau souterraine du Sahara septentrional, nous pouvons prévoir les postes de traitement suivants : (fig. 12)

- Dégazage : de l'eau par détente et récupération du gaz carbonique.
- Floculation comprenant deux zones distinctes, l'une servant à l'adjonction des réactifs et où a lieu une agitation rapide (mélange-éclair), l'autre correspondant à une agitation modérée. Les deux bassins pouvant être dimensionnés sur la base du critère de camp.
- Décanteur à circulation verticale et évacuation hydrostatique des boues. Une partie de celles-ci pourra être recyclée en amont du bassin à agitation rapide pour favoriser la coagulation.
- Recarbonatation qui consiste à ajouter du gaz carbonique à l'eau pour abaisser le pH jusqu'à une valeur de 8 à 8,5. (5)

Le  $CO_2$  récupéré en début de traitement pourra être utilisée à cet effet.

Si la quantité n'est pas suffisante, il faudra procéder à une combustion de gaz naturel ou de mazout.

L'injection se fait dans des chambres de contact munies de diffuseurs. (8)



- Filtration : on utilise des filtres rapides de type classique. La taille effective des grains de sable doit être de 0,5 mm environ. (5)

- Evacuation des boues :

Les grandes quantités de boues produites posent des problèmes d'évacuation.

Si les lieux s'y prêtent, on peut décharger la boue dans des étangs où elle sédimente.

La deuxième solution consiste à traiter les boues par un épaissement suivi d'une déshydratation puis d'une mise en décharge des gâteaux secs.

Une autre solution consisterait en une calcination des gâteaux qui permettrait la production de  $CO_2$  pouvant être utilisé pour la recarbonatation et la fabrication de chaux.

Mais cette dernière solution n'est envisageable que pour des stations ayant une capacité supérieure à  $100\ 000\ m^3 / j$ .

CE qui ne pourra pas être le cas des stations de la région d'étude puisque pour la ville de Touggourt, la capacité à l'horizon 2000 a été estimée à  $7360\ m^3 / j$ . et ceci pour une dotation de  $80\ l / hab / j$  et une population estimée à 92 000 hab.

TABLE DES CARTES ET FIGURES.

1°) Carte :

"Carte physique du Sahara Septentrional" P. 2

2°) Figures:

N° 1.	" Courbe d'étalonnage $E = f(\log C)$	p. 36
N° 2	" Rendements de défluoruration obtenus pour des doses différentes de chaux."	p. 42
N° 3	" Influence de la concentration de $Mg^{2+}$ sur le rendement de défluoruration."	p. 47
N° 4	" Doses théoriques et expérimentales de chaux et de magnésium."	p. 48
N° 5	" Evolution du rendement en fonction de la teneur initiale en $Mg^{2+}$ et pour des doses constantes de chaux."	p. 49
N° 6	" Influence de la concentration de $HCO_3^-$ sur le rendement de défluoruration."	P. 55
N° 7	" Evolution du rendement de défluoruration en fonction de la dose de chaux et pour des teneurs différentes de $HCO_3^-$ ."	p. 55
N° 8	" Evolution du rendement en fonction de la teneur initiale en $HCO_3^-$ et pour des doses constantes de chaux."	p. 56
N° 9	" Influence de la température sur la défluoruration à la chaux."	p. 59
N° 10	" Abaque pour la détermination du $CO_2$ libre."	p. 63
N° 11	" Evolution du rendement en fonction de la dose de chaux pour une eau naturelle."	p. 66
N° 12	" Schéma d'une station de défluoruration à la chaux."	p. 76

- - - - -

