

M0019/92B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE AUX UNIVERSITES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

These

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

présentée par

Hakim Lounici

Ingénieur en Génie de l'environnement
pour l'obtention du grade de Magister
en Génie de l'Environnement

THEME

**CONDITIONNEMENT ET VALORISATION DES BOUES URBAINES
de la station d'épuration des eaux usées de Baraki**

présentée devant le jury

| | | |
|-----------------|---|-----------------------|
| Pr. R. KERBACHI | Professeur à l'E.N. Polytechnique | Président |
| Pr R. AMAMRIA | Professeur à l'E.N. Polytechnique | Examinateur |
| Pr K. MOUSSAOUI | Professeur à l'E.N. Polytechnique | Examinatrice |
| Dr KHETAB | Maître de Conf. à l'Université de Médéa | Examinateur |
| Mr A NAKIB | Chargé de cours à l'E.N. Polytechnique | Co-Directeur de thèse |
| Pr F. BRIERE | Professeur à l'E. Polytechnique De Montréal | Directeur de thèse |

Alger 1992

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE AUX UNIVERSITES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

These

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

présentée par

Hakim Lounici

Ingenieur en Génie de l'environnement
pour l'obtention du grade de Magister
en Génie de l'Environnement

THEME

**CONDITIONNEMENT ET VALORISATION DES BOUES URBAINES
de la station d'épuration des eaux usées de Baraki**

présentée devant le jury

| | | |
|-----------------|---|-----------------------|
| Pr. R. KERBACHI | Professeur à l'E.N. Polytechnique | Président |
| Pr R. AMAMRIA | Professeur à l'E.N. Polytechnique | Examinateur |
| Pr K. MOUSSAOUI | Professeur à l'E.N. Polytechnique | Examinatrice |
| Dr KHETAB | Maître de Conf. à l'Université de Médéa | Examinateur |
| Mr A NAKIB | Chargé de cours à l'E.N. Polytechnique | Co-Directeur de thèse |
| Pr F. BRIERE | Professeur à l'E. Polytechnique De Montréal | Directeur de thèse |

Alger 1992

Remerciements

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à tous ceux qui par leur aide, par leur compétence leur intérêt ont contribué à la réalisation de ce travail.

Que soient particulièrement remerciés

J. Buière, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Montréal, Directeur de thèse et M. Nakib Chargé de cours à l'Ecole Polytechnique d'Alger, Co-Directeur de thèse pour leurs conseils et l'aide précieuse prodigués tout au long de l'étude

R. Kherbachî Professeur à l'Ecole Polytechnique d'Alger de m'avoir proposé le sujet et pour le soutien moral.

M^{lle} Salem Chargée de Cours à l'USTHB et à N. Ziani, J. Anki; J. Joumi; S. Dahmouni; K. Bouzidi; H. Yazid que j'ai eu le plaisir de travailler avec.

Au responsables et au personnel de la station d'épuration des eaux usées de BARAKI (SIDI RCINE) pour leur aide précieuse et plus particulièrement à Mme Ouhab, Mr Reggab et aux techniciens de Laboratoire Krimo et Saleha, en témoignage de ma profonde sympathie.

Au Président et aux membres du Jury qui ont bien voulu m'honorer de leur présence et d'avoir accepté de juger ce travail.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance et gratitude à toutes les personnes qui ont participé ou aidé, aussi bien, de près que de loin à ce travail.

Hakim Lounel

Dédicaces

A mes chers parents

A tous ceux qui me sont chers

*A Ceux qui ont enrichi mon expérience
m'aidant sans le savoir*

Hakim

Citations

Nous voulons savoir la petite part d'ignorance que nous réussissons à classer
A. Bierce

*Il faut travailler, si non par goût, au moins par désespoir,
puisque tout va bien vérifié, travailler est moins ennuyeux que s'amuser*
Ch. Baudelaire

*La loi de Murphy: Si quelque chose peut aller mal, ça ira mal..
Philosophie de Murphy Souriez .. demain ce sera pire ..*

*Mieux vaut être une personne anonyme et accomplir quelque chose que
d'être quelqu'un de connu qui ne fait rien*
A. Pundit

*La première et la pire de toutes les impostures consiste à se duper soi même.
Après cela tous les mensonges sont faciles*
J. Bailly

Tout devra être rendu aussi simple que possible, mais pas plus
A. Einstein

Lorsque tous pensent de la même façon, personne ne pense vraiment
W. Lippman

Si vous ne savez pas où aller, vous arrivez ailleurs
L. Peter

*Nous vivons dans un monde où les gens ne savent ce qu'ils veulent,
mais sont prêts à tout pour l'obtenir*
D. Marquis.

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE UN : PRÉSENTATION DE LA STATION D'ÉPURATION DES EAUX DE BARAKI | 4 |
| 1. APERÇU SUR LA FILIÈRE DE TRAITEMENT | 4 |
| 1.1 DONNÉES DE BASE SUR LA STATION | 4 |
| 1.2. TRAITEMENT DES EAUX | 5 |
| 1.2.1 Dégrillage | 5 |
| 1.2.2 Dessablage/Déshuilage | 5 |
| 1.2.3 Décantation primaire | 5 |
| 1.2.4 Bassin d'aération | 5 |
| 1.2.5 Clarificateur | 6 |
| 1.2.6 Désinfection | 6 |
| 1.3 TRAITEMENT DES BOUES | 7 |
| 1.3.1. Rappel des données de base | 7 |
| 1.3.2. épaissement | 7 |
| 1.3.3. Digestion | 8 |
| 1.3.4. Déshydratation | 8 |
| 1.3.5. Séchage | 8 |
| CHAPITRE DEUX : GÉNÉRALITÉS SUR LES DIFFÉRENTS TYPES DE BOUE | 9 |
| 2.1. ORIGINE DES BOUES | 9 |
| 2.1.1. Les boues fraîches | 9 |
| 2.1.1.1. Les boues primaires | 9 |
| 2.1.1.2. Les boues secondaires | 9 |
| 2.1.1.3. Les boues digérées ou stabilisées | 9 |
| 2.2. CONSTITUANTS DES BOUES | 10 |
| 2.2.1. Les matières sèches | 10 |
| 2.2.2. L'eau | 10 |
| 2.3 FACTEURS CARACTÉRISANT LE COMPORTEMENT D'UNE BOUE EN COURS DE DÉSHYDRATATION | 10 |
| 2.3.1. Concentration en Matières Sèches | 11 |
| 2.3.2. Teneur en eau de la boue | 11 |
| 2.3.3. Teneur en Matière Volatile | 11 |
| 2.3.4. Résistance Spécifique à la Filtration R.S.F. | 11 |
| 2.3.5. Compressibilité du gâteau de filtration n | 11 |
| 2.3.6. Siccité limite | 12 |

| | |
|---|---------------|
| CHAPITRE TROIS : APERÇU SUR LE CONDITIONNEMENT ET LA DÉSHYDRATATION DES BOUES..... | 13 |
| 3.1. LE CONDITIONNEMENT DES BOUES..... | 13 |
| 3.1.1. Les mécanismes de conditionnement | 13 |
| 3.1.2. Procédés de conditionnement..... | 14 |
| 3.1.2.1. Le conditionnement chimique..... | 14 |
| 3.1.2.2. Le Conditionnement thermique..... | 15 |
| 3.1.3. Facteurs affectant le conditionnement des boues.. | 15 |
| 3.1.3.1. Propriétés des boues..... | 15 |
| 3.1.3.2. Manipulation des boues..... | 16 |
| 3.2. PROCÉDÉS DE DÉSHYDRATATION..... | 16 |
| 3.2.1. Déshydratation naturelle..... | 16 |
| 3.2.1.1. Lits de séchage..... | 16 |
| 3.2.2. La déshydratation mécanique..... | 17 |
| 3.2.2.1. Lafiltration..... | 17 |
| 3.2.2.1.1. Filtre sous vide..... | 17 |
| 3.2.2.1.2. Filtre à bande..... | 17 |
| 3.2.2.1.3. Filtre presse..... | 17 |
| 3.2.2.2. Décantation centrifuge..... | 18 |
| 3.2.3. Séchage et Incinération des boues..... | 19 |
| CHAPITRE QUATRE : PRÉSENTATION DES AGENTS DE COAGULATION ET FLOCCULATION..... | 19 |
| 4.1. PHÉNOMÈNE DE FLOCCULATION..... | 20 |
| 4.2. AGENTS DE DÉSTABILISATION..... | 21 |
| 4.2.1. Les sels minéraux..... | 21 |
| 4.2.2. Polymères et Polyélectrolytes organiques..... | 22 |
| 4.2.2.1. Nature chimique..... | 22 |
| 4.2.2.2. Polyélectrolytes d'origine naturelle..... | 23 |
| 4.2.2.3. Polyélectrolytes de synthèse..... | 23 |
| 4.3. MODES D'ACTION DES POLYMÈRES..... | 23 |
| 4.4. THÉORIE CINÉTIQUE DE LA DOUBLE COUCHE IONIQUE . NOTION DE POTENTIEL ZETA..... | 23 |
| CHAPITRE CING : MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE..... | 27 |
| 5.1. CARACTERISTIQUES DE LA BOUE À CONDITIONNER..... | 28 |
| 5.2. RÉSISTANCE SPÉCIFIQUE À LA FILTRATION..... | 28 |
| 5.3. APPAREILLAGE DE MESURE DE LA R.S.F. | 30 |
| 5.3.1. Appareil de mesure | 30 |
| 5.3.2. Matériels utilisées | 30 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 5.4. | PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL..... | 30 |
| 5.4.1. | Matériel utilisé..... | 30 |
| 5.4.2. | Prise d'essai..... | 31 |
| 5.4.3. | Préparation de la boue..... | 31 |
| 5.4.4. | Essai de JAR TEST..... | 31 |
| 5.4.5. | Essai avec la cellule de filtration..... | 33 |
| 5.5 | EXPLOITATION DES RÉSULTATS ET CALCUL DE LA R.S.F. | 33 |
| | | |
| CHAPITRE SIX : CONDITIONNEMENT EN CHLORURE ET CHAUX..... | | 35 |
| 6.1 | PRÉSENTATION DES RÉACTIFS..... | 36 |
| 6.1.1. | Chaux commerciale..... | 36 |
| 6.1.2. | Chlorure ferrique..... | 36 |
| 6.2. | ÉTABLISSEMENT DES DOSES DES RÉACTIFS..... | 36 |
| 6.3. | RÉSULTATS ET DISCUSSIONS..... | 36 |
| | | |
| CHAPITRE SEPT: CONDITIONNEMENT AVEC LA BENTONITE..... | | 45 |
| 7.1 | APERÇU SUR LA BENTONITE..... | 45 |
| 7.1.1. | Origine..... | 45 |
| 7.1.2. | Structure et composition..... | 45 |
| 7.1.3. | Utilisation des bentonites..... | 45 |
| 7.2 | RÉSULTATS ET ÉSSAIS..... | 47 |
| | | |
| CHAPITRE HUIT: CONDITIONNEMENT AVEC LES CHLOROSULFATES DE FER | | 50 |
| 8.1. | PRÉSENTATION DES RÉACTIFS..... | 51 |
| 8.2 | ÉTABLISSEMENT DES DOSES EN RÉACTIFS..... | 51 |
| 8.3 | PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL..... | 52 |
| 8.4 | RÉSULTATS ET DISCUSSIONS..... | 52 |
| 8.5 | DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE COMPRÉSSIBILITÉ..... | 56 |
| | | |
| CHAPITRE NEUF: CONDITIONNEMENT AUX POLYÉLECTROLYTES..... | | 58 |
| 9.1 | DISSOLUTION DES POLYÉLECTROLYTES..... | 58 |
| 9.2 | PRÉPARATION DE LA BOUE CONDITIONNÉE..... | 59 |
| 9.3 | RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX | 60 |

**CHAPITRE DIX : ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION
TECHNICO-ÉCONOMIQUES.....65**

10.1 HYPOTHÈSES DE CALCUL.....65

10.2 CALCUL DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES NÉCESSAIRE A L'ÉVALUATION
ÉCONOMIQUE.....66

10.2.1. Premier cas : $FeCl_3 + CaO$ 66

10.2.1.1. Spécifités des produits chimiques.....66

10.2.1.2. Calcul du poids de la boue aux différents
étapes de traitements.....66

10.2.1.3. Calcul du volume entrant dans le filtre presse ...66

10.2.2. Deuxième cas : $FeSO_4Cl + CaO$ 67

10.2.2.1. Spécifités des produits chimiques.....67

10.2.2.2. Calcul du poids de la boue aux différents
étapes de traitements.....67

10.2.2.3. Calcul du volume entrant dans le filtre
presse67

10.2.3. Troisième cas : Polvélectrolytes BASF CL 80267

10.2.3.1. Spécifités des produits chimiques.....67

10.2.3.2. Calcul du poids de la boue aux différents
étapes de traitements68

10.2.3.3. Calcul du volume entrant dans le filtre
presse.....68

10.3 PRIX DES RÉACTIFS.....68

10.4 FRAIS DE TRANSPORT68

10.5 ÉTAT COMPARATIF71

**CHAPITRE ONZE : VALORISATION DES BOUES RÉSIDUAIRES
DE LA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DE BARAKI.....74**

11.1 LA PROBLÉMATIQUE.....74

11.2 COMPOSITION DES BOUES ET TENEUR EN MÉTAUX LOURDS75

11.3 POSSIBILITÉS DE VALORISATION DES BOUES78

11.4 RISQUES SANITAIRES A L'UTILISATION DES BOUES EN AGRICULTURE.78

**CHAPITRE DOUZE : LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE
LA BOUE RÉSIDUAIRE DE LA STATION DE BARAKI81**

12.1 ÉCHANTILLONNAGE.....81

12.2 ANALYSES.....81

12.3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS83

12.3.1 Matières sèches (MS) et humidité (HU)83

12.3.2 Potentiel hydrogène.....84

12.3.3 Matières organiques.....86

12.3.4 Azote total et Azote ammoniacal88

| | | |
|---|---|-----|
| 12.3.5 | Rapport C/N..... | 89 |
| 12.3.6 | Phosphore..... | 93 |
| 12.3.7 | Alcalins et Alacalins terreux | 94 |
| 12.3.7.1 | Potassium..... | 95 |
| 12.3.7.2 | Sodium..... | 97 |
| 12.3.7.3 | Calcium..... | 97 |
| 12.3.7.4 | Magnésium..... | 99 |
| 12.3.8 | Métaux lourds | 100 |
| 12.3.8.1 | Fer..... | 101 |
| 12.3.8.2 | Cuivre..... | 103 |
| 12.3.8.3 | Zinc..... | 103 |
| 12.3.8.4 | Manganese..... | 103 |
| 12.3.8.5 | Plomb..... | 104 |
| 12.3.8.6 | Nickel..... | 104 |
| 12.3.8.7 | Chrome..... | 108 |
| 12.3.8.8 | Cadmium..... | 108 |
| 12.4 | CONCLUSION..... | 109 |
| CHAPITRE TREIZE : ÉTUDE DE LA CROISSANCE DES | | |
| BÉGONIAS EN PRÉSENCE DE BOUE RÉSIDUAIRE DE LA STATION DE | | |
| BARAKI..... | | |
| 13.1 | EXPÉRIENCE..... | 113 |
| 13.2 | MATÉRIEL ET MÉTHODES | 113 |
| 13.2.1 | Boue..... | 113 |
| 13.2.2 | Sol..... | 113 |
| 13.2.3 | Méthode..... | 113 |
| 13.3 | RÉSULTATS ET DISCUSSIONS | 115 |
| 13.3.1 | La croissance des plantes de bégonias | 115 |
| 13.3.2 | Concentration des éléments traces dans les plants..... | 118 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE..... | | |
| 123 | | |
| BIBLIOGRAPHIE | | |
| 127 | | |
| ANNEXES DIVERSES | | |

LISTE DES FIGURES

FIGURE No: LÉGENDE

- Figure 1.1 Schéma de principe de la station d'épuration d'El Harrach (BARAKI)
- Figure 5.1 Cellule de mesure de la R.S.F.
- Figure 6.1 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique avec 16 % MS en CaO
- Figure 6.2 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique avec 18 % MS en CaO
- Figure 6.3 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique avec 20 % MS en CaO
- Figure 6.4 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique avec 22 % MS en CaO
- Figure 6.5 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique avec 24 % MS en CaO
- Figure 6.6 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique ; comparaison de la floculabilité entre différents taux en CaO.
- Figure 7.1 évolution de la R.S.F. en fonction de la dose en Bentonite et en CaO ; Efficacité de la Bentonite tant que conditionneur
- Figure 8.1 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chloro-sulfate ferrique avec 16 % MS en CaO
- Figure 8.2 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chloro-sulfate ferrique avec 18 % MS en CaO
- Figure 8.3 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose avec en chloro-sulfate ferrique avec 20 % MS en CaO
- Figure 8.4 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chloro-sulfate ferrique avec 22 % MS en CaO
- Figure 8.5 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chloro-sulfate ferrique avec 24 % MS en CaO
- Figure 9.1 Variation de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en Polymère Sc 581
- Figure 9.2 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en Polymère Floerger 85 % cationique

- Figure 9.3 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en Polymère Floerger 95 % cationique
- Figure 9.2 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en polyélectrolytes ; Comparaison entre les différents polymères
- Figure 9.3 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en polyélectrolytes CF 802 & CF 902.
- Figure 10.1 Comparaison des quantités de boue produites chaque semaine selon le type de conditionnement opté
- Figure 10.2 Comparaison des pressées de boue requises pour chaque type de conditionnement opté
- Figure 10.3 Comparaison de nombre de rotations de canions pour chaque option optée.
- Figure 10.4 Comparaison de prix de revient annuel des options choisies
- Figure 10.5 Comparaison entre les prix de revient de chaque mode de conditionnement testé.
-
- Figure 12.1 Teneur en Matières sèches de la boue de la station d'épuration des eaux usées de BARAKI
- Figure 12.2 Teneur en matières organiques
- Figure 12.3 Composition de la boue de BARAKI en Azote total et en Azote de kjheldahl .
- Figure 12.4 Rapport C/N s de la boue résiduaire de la Station de BARAKI .
- Figure 12.6 Teneur en Calcium des boues résiduaires de BARAKI
- Figure 12.7 Teneur en Magnesium des boues résiduaires de BARAKI
- Figure 12.8 Teneur en Potassium des boues résiduaires de BARAKI
- Figure 12.9 Teneur en Sodium des boues résiduaires de BARAKI
- Figure 12.10 Teneur en Fer des boues résiduaires de BARAKI
- Figure 12.12 Teneur de la boue en Cuivre et en Zinc
- Figure 12.13 Teneur de la boue en Manganèse et Plomb
- Figure 13.1 évolution des maxima et minima de la température durant l'expérimentation .
- Figure 13.2 évolution de la hauteur des bégonias en présence des boues résiduaires de BARAKI.
- Figure 13.5 Teneur en Zinc des plants de bégonias à différents taux de boue comparée à celle du plant témoin et à celle du plant témoin .
- Figure 13.6 Teneur en Manganèse des plants de bégonias à différents taux de boue comparée à celle du plant témoin et à celle du plant témoin .
- Figure 13.7 Teneur en Cuivre des plants de bégonias à différents taux de boue comparée à celle du plant témoin et à celle du plant témoin .
- Figure 13.6 Teneur en Plomb des plants de bégonias à différents taux de boue comparée à celle du plant témoin et à celle du plant témoin .
- Figure 13.7 Teneur en Nickel, en Chrome et en Cadmium des plants de bégonias à différents taux de boue comparée à celle du plant témoin et à celle du plant témoin .

Introduction

Les premiers efforts de l'épuration des eaux résiduaires ont d'abord porté sur le rejet de l'eau traitée en vue de respecter les normes destinées à assurer la protection des milieux récepteurs.

La déshydratation des boues, dernier maillon de la chaîne, était considérée comme secondaire et se limitait aux seuls lits de séchage malgré les contraintes de place et de main-d'œuvre que cette technique, fort simple, entraîne.

A mesure qu'on construit et qu'on exploite des usines de traitement des eaux plus efficaces, qui produisent des boues plus difficiles et plus volumineuses à évacuer, cette phase de lutte contre la pollution devient un casse-tête de plus en plus délicat, voire épineux, et ce pour de multiples raisons, entre autres ; la rareté des terrains disponibles, fonctionnement très influencé par les conditions climatiques, consommation importante de main d'œuvre, les nécessités et exigences de l'environnement et sans oublier le durcissement croissant de l'attitude publique à l'égard de la pollution de l'eau et de l'air.

De plus, il y a l'importance économique de ce problème, s'illustrant par le fait que le traitement et l'évacuation des matières boueuses absorbent de 25 à 50% du coût total du traitement des eaux usées.

Ainsi, de plus en plus, une part prépondérante des problèmes d'épuration est constituée actuellement par l'élimination aussi rationnelle et économique que possible de ces matières gênantes qui peuvent être définies comme étant des suspensions aqueuses renfermant tout ou en partie des corps polluants ou à enlever des eaux à traiter, de leurs produits de transformations ou des réactifs.

Il n'est pas surprenant donc que ces dernières années se soient développées ou mises au point des techniques de traitement de boues plus efficaces.

Ces procédés se basent sur l'extraction d'eau interstitielle ou d'hydratation particulière de la suspension boueuse, la séparation des boues en une phase

liquide nécessite la destruction de l'état colloïdal par l'agglomération mutuelle des particules : c'est le processus de coagulation flocculation appelé conditionnement des boues qui fera l'objet du premier volet de notre travail.

On s'intéressa premièrement à l'étude du conditionnement en Chlorure ferrique et chaux, actuellement, suivi à la Station d'Épuration des Eaux Usées de BARAKI (SIDI RCINE) et à son optimisation.

Nous étudierons aussi d'autres agents de déstabilisation pouvant se substituer au traitement classique tels :

- La bentonite
- Les Chlorosulfates ferriques (CSF)
- Les polyélectrolytes

Aussi, nous efforcerons de déterminer la flocculation optimale de chacun d'eux d'une part, et d'autre part de permettre le choix du traitement qui, techniquement et économiquement, présentera les meilleurs atouts dont l'efficacité au moindre coût.

Quant au second volet de ce travail, il portera sur une étude de l'éventualité de valorisation des boues présentement conditionnées par le traitement classique en agriculture comme amendement au sol.

Depuis quelques années, l'évolution de facteurs économiques tels que le prix des matières premières, associée au souci de préserver l'environnement, ont fait prendre conscience de la nécessité d'une meilleure gestion de nos ressources valorisables.

C'est dans ce contexte que s'est développée l'utilisation, à des fins agricoles des boues de stations d'épuration, lesquelles présentent une valeur fertilisante attractive pour l'agriculture comme source de matières organiques et d'éléments fertilisants.

Étant donné qu'aucune étude sur la valorisabilité des boues résiduaires de BARAKI n'a été entamée, nous nous sommes proposés d'effectuer une en ce sens.

Pour cela des campagnes d'analyses physico-chimiques seront réalisées et nous finirons par une expérimentation des boues sur des plants témoins en l'occurrence les bégonias.

Après une présentation de la station d'épuration des eaux usées de BARAKI (Chap I), nous passerons en revue les différents types de boue, les différentes techniques de déshydratation et de conditionnement, ainsi que la présentation des agents de coagulation-floculation utilisés dans nos essais (Chap. de I à V).

Le protocole expérimental détaillé sera présenté au chapitre Cinq. Quant aux chapitres VI à IX, ils concerneront les études proprement dites sur les agents de conditionnement et seront conclues par une approche technico-économique dont le chapitre X en serait l'objet.

Le chapitre XI intamera le deuxième volet de nos travaux par une introduction à la problématique du processus de valorisation des boues.

Le chapitre XII englobera les résultats des analyses physico-chimiques des boues réalisées et les différentes possibilités offertes quant à leur utilisation en agriculture.

Enfin le dernier chapitre concernera l'étude de la croissance des bégonias en présence des boues conditionnées de la station de BARAKI avec une attention particulière aux métaux lourds.

PRÉSENTATION DE LA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DE BARAKI

Les eaux usées domestiques et industrielles du grand ALGER , collectées par le réseau d'assainissement sont traitées à la station d'épuration de BARAKI.

Les eaux usées proviennent actuellement des bassins versant de Oued-Smar, Oued El Harrach, Oued Ouchaiah et une partie du bassin de Oued Kniss.

C'est la filière classique de traitement biologique qui y est suivie pour l'épuration des eaux usées. il s'agit de traitement par boues activées

A l'issue du traitement, l'eau épurée est rejetée dans le milieu naturel, les résidus constitués par les matières en suspension et les substances forment les boues, qui vont subir à leur tour un traitement approprié afin de les stabiliser et de réduire le volume .

1. APERÇU SUR LA FILIÈRE DE TRAITEMENT

1.1. Données de base sur la station⁽¹⁾

La station d'épuration des eaux usées de Baraki traite 750.000 eq/hab.

DBO₅: 45000 kg/d

DCO : 75000 kg/d

MES : 45000 kg/d

Débit moyen journalier : 150 000 m³/d

1.2. TRAITEMENT DES EAUX (1.4)

Les eaux arrivant à la station d'épuration, sont relevées au niveau de paliers , au moyen de vis d'Archimède.

Elles subissent alors, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations physiques ou mécaniques destinées à en extraire la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront les traitements ultérieurs.

1.2.1. Dégrillage

Deux files de traitement composées d'une grille grossière (espace entre deux barreaux: 0.06 m) et une grille fine (espace libre entre 2 barreaux 0.02 m) assurent l'élimination de la majeure partie des corps solides pouvant perturber la marche des installations en aval.

Les refus de grilles sont évacués par un dispositif de raclage automatique, puis acheminés par une bande transporteuse vers les bennes pour une mise en décharge ultérieure.

1.2.2. Dessablage/Déshuilage

Un ouvrage combiné dessableur/ déshuileur permet, par insufflation d'air dans la partie initiale du bassin, d'éliminer, par mise en flottation les corps gras et par décantation les graviers, sables et particules minérales.

1.2.3. Décantation primaire

Elle permet le dépôt des particules en suspension dans l'eau. A cet effet, quatre décanteurs circulaires de 10 m diamètre et 3 m de profondeur sont utilisés.

Après un temps de passage de 30 mm environ, 50 % de matières décantables sont séparées , le volume journalier de ces boues est de 1800 m³/d

1.2.4. Bassin d'aération

Les eaux usées séjournent en moyenne 6.5 heures dans deux bassins aérés où des bulles d'air frais sont insufflées en profondeur . L'aération sert à maintenir les floccs biologiques (boues activées) en suspension pour maximiser les contacts entre les bactéries et la matière organique qu'ils oxydent.

Le système d'aération est assuré par une batterie de turbocompresseurs pouvant travailler à débit variable et à pression constante et assurant une teneur moyenne dans les deux bassins de 1.0 à 1.5 mg/l. La concentration finale en DBO⁵ est de ~ 20 mg/l.

1.2.5. Clarificateur

Ces ouvrages reçoivent la liqueur mixte (mélange eaux -boues activées) provenant des bassins d'aération .

Après décantation , les eaux sont rejetées dans le milieu récepteur. les boues de fond (boues de retour) sont extraites de l'ouvrage .

1.2.6 Désinfection

La désinfection est l'opération par laquelle, sont détruites les germes pathogènes et les mauvaises odeurs éliminées. Avant d'être rejetée dans les cours d'eau récepteurs , l'eau est désinfectée par chloration à raison de 2,5 à 5 mg/m³ de chlore gazeux et un temps de contact de 20 mn.

1.3. TRAITEMENTS DES BOUES [1-3,5]

1.3.1. Rappel des données de base

- Matières éliminées par jour :

* boues fraîches : ~ 30 000 kg/d .

* boues en excès : ~ 33 000 kg/d.

Le traitement de la boue a pour objectif :

- La stabilisation de la boue , c'est à dire élimination d'une partie de la matière organique .
- La réduction du volume.

Le traitement se fait en quatre étapes :

1.3.2. Épaississement

C'est le premier stade de réduction du volume des boues , la suspension boueuse est introduite dans deux épaisseurs couverts de 28 m de diamètre et 615 m³ de volume utile , équipé de racleurs et de herses.

Le temps de séjour est élevée , de façon à provoquer le tassement des boues par le fond, tandis que le liquide interstitiel est évacué par le haut .

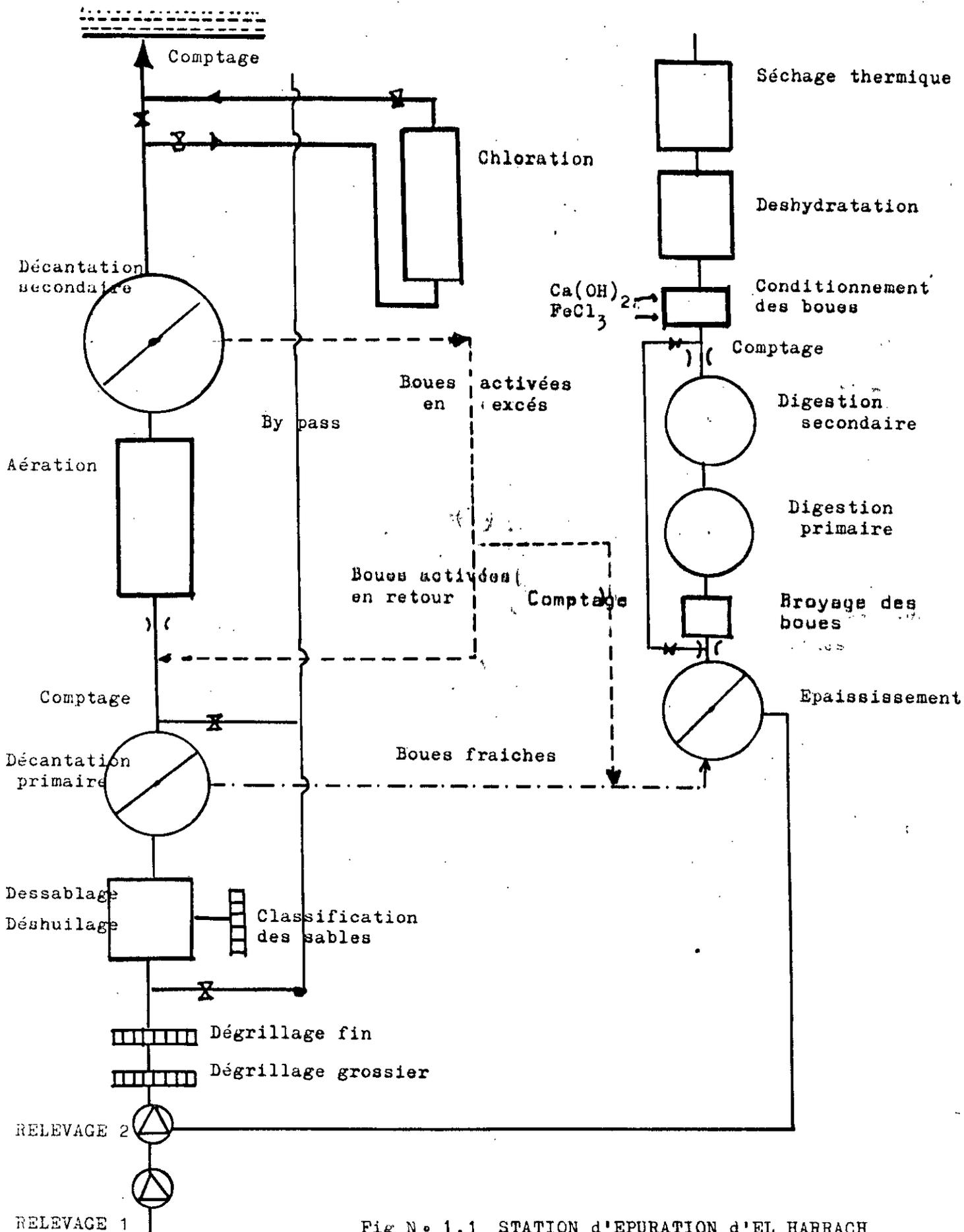


Fig N° 1.1 STATION d'EPURATION d'EL HARRACH

1.3.3. Digestion

Les boues sont digérées en deux étapes :

- La première comprend deux digesteurs de 36 m de diamètre et un volume total de 2100 m³ équipés d'une d'une basse mécanique

La deuxième se compose d'un digesteur de 36 m de diamètre avec un volume de 12 000 m³ .

Les gaz de digesteur (CO₂ ,CH₄ ...) sont recueillis dans un dispositif de récupération des gaz de 28 m de diamètre et 3 000 m³ de volume appelé gazomètre.

1.3.4. Déshydratation

Après conditionnement à l'aide de la chaux et du chlorure ferrique , les boues digérées sont déshydratées au moyen de quatre filtres presses a plateaux d'un volume total de 31 000 litres . A la sortie de la déshydratation , la siccité^m des boues est de 40 % de Matières sèches .

1.3.5. Séchage

Traitement facultatif après la déshydratation , la boue passe par un séchage thermique , elle ressortira sous forme de granulés et son volume aura diminué de moitié .

Les boues de la S.T.E.U. de BARAKI sont présentement acheminées vers la décharge de Oued Smar à la périphérie d'Alger.

CHAPITRE DEUX

GÉNÉRALITÉS SUR LES DIFFÉRENTS TYPES DE BOUE

2.1. ORIGINE DES BOUES

Tous les procédés d'épuration des eaux résiduaires quels qu'ils soient aboutissent à la production de suspensions plus ou moins concentrées dénommées "boues" (6) .

Le caractère commun de toutes ces boues est de constituer un déchet extrêmement liquide . Certaines d'entre elles sont chimiquement inertes, mais celles qui proviennent des traitements biologiques sont fermentescibles et souvent nauséabondes (7) .

Suivant leur origine, on distingue^(1,2) :

- les boues fraîches constituées par les boues primaires et secondaires.
- les boues digérées ou stabilisées.

2.1.1 les boues fraîches

2.1.1.1 les boues primaires

Elles proviennent de la séparation gravitaire de la plus importante quantité des matières en suspension contenues dans les eaux résiduaires au niveau du décanteur primaire . Ces types de boues sont hétérogènes et contiennent autour de 70 % de matières organiques putrescibles⁽⁸⁾ et une flore microbienne assez importante.

2.1.1.2 les boues secondaires

Elles sont extraites des décanteurs secondaires ou clarificateurs qui reçoivent l'effluent des bassins d'épuration biologiques .

Elles contiennent 75 % de matières organiques et 95 % d'eau ^(1,2,5).

2.1.2 les boues digérées ou stabilisées

Elles correspondent globalement à des boues non sujettes à une décomposition biologique ultérieure donc qui peuvent être déshydratées sans reprise des phénomènes d'anaérobie. Ces boues peuvent être obtenues, soit par voie aérobie, soit par voie anaérobie.

2.2 CONSTITUANTS DES BOUES

2.1. Les matières sèches ^(8,9).

Elles représentent en moyenne 5 % de la masse totale de la boue . Sur le plan qualitatif les principales matières en suspension présentes dans une boue peuvent être classées en trois groupes;

* les matières grenues

Généralement minérales, elles sont nettement individualisées et possèdent une masse volumique élevée; sable, limon, sels cristallisés.

* les matières flocculées ou gélifiées

Provenant souvent des particules colloïdes (organiques ou minérales), elles englobent un important volume d'eau liée et ont une masse volumique faible (floccs d'hydroxydes métalliques , floccs biologiques).

* Les matières huileuses ou graisseuses

Elles ont une faible masse volumique et sont généralement à caractère hydrophobe.

2.2.L'eau

Elle représente en moyenne 95 % de la masse totale de la boue et se trouve présente sous trois formes :

- L'eau constitutive

Elle fait partie intégrante des molécules de substances organiques ou minérales.

- L'eau liée

Elle peut être emprisonnée mécaniquement au sein des agrégats de particules, ou bien encore retenue par capillarité dans les interstices inter ou intraparticulaires, c'est l'eau capillaire ^(8,9).

Elle peut encore être adsorbée au niveau de certaines matières organiques à caractère hydrophile, telles que les protéines, c'est l'eau d'inhibition ^(8,9).

- L'eau libre

C'est l'eau interstitielle de la boue, facilement séparable ⁽⁸⁾.

2.3. FACTEURS CARACTÉRISANT LE COMPORTEMENT D'UNE BOUE EN COURS DE DÉSHYDRATATION

Pour pouvoir procéder à l'étude comparative de l'efficacité des filières de traitement et d'évaluer leur conditions optimales, il est indispensable de se baser sur un certain nombre de critères numériques fondamentaux capables de décrire la structure des boues.

2.3.1. Concentration en matière sèche

On l'appelle aussi siccité de la suspension boueuse, elle ne tient pas compte des substances dissoutes et s'exprime généralement en g/l ou en pourcentage en masse^[3].

Elle représente le rapport :

$$\frac{\text{Masse de matière de sèche}}{\text{Masse de boue}}$$

2.3.2 Teneur en eau de la boue

C'est la grandeur complémentaire de la précédente. Elle représente le rapport :

$$\frac{\text{Masse d'eau contenue dans la boue}}{\text{Masse de la boue}}$$

elle s'exprime en % de masse de boue.

2.3.3 Teneur en matière volatile

Elle représente le rapport

$$\frac{\text{Masse de matières organiques}}{\text{Masse de matières sèches}}$$

Elle s'exprime en % de matière sèche^[3].

2.3.4. Résistance spécifique à la filtration : filtrabilité = r

Cette grandeur est définie à partir de la loi de CARMAN comme étant "la résistance qu'offre à la filtration une quantité de gâteau contenant un gramme de matière sèche réparti sur un centimètre carré de surface filtrante"⁽¹⁰⁾.

Elle s'exprime: en cm/g dans le système C.G.S.

et en m/kg dans le système M.K.S.A.

Elle est définie pour une résistance P donnée (P étant exprimée en bars).

En général la résistance spécifique est donnée pour P = 0.5 bar, elle s'écrit alors r_{0.5}.

2.3.5. Compressibilité du gâteau de filtration n

Ce paramètre est exprimé à partir de la loi de CARMAN par un coefficient de compressibilité (1 > n > 0).

Ce coefficient caractérise la façon dont la perméabilité du gâteau diminue par tassement sous augmentations de la pression appliquée (11,12).

2.3.6. Siccité limite

Si on effectue la filtration d'un volume déterminé de boue, on ne pourra dépasser un certain volume de filtrat quelque soit le temps de filtration. La siccité limite est la siccité du gâteau obtenue après un temps infini de filtration (13).

Elle est obtenue par le rapport:

$$\frac{\text{masse de matière sèche}}{\text{masse de boue}}$$

lorsqu'un volume limite v_l de filtrat est extrait.

CHAPITRE TROIS

APERÇU SUR LE CONDITIONNEMENT ET LA DÉSHYDRATATION DES BOUES

3.1 LE CONDITIONNEMENT DES BOUES (14-15)

Pour rendre les boues "transportables" ou "pelletables" une déshydratation complémentaire est nécessaire. Mais ces boues sont naturellement plus difficiles à déshydrater. Aussi est-il nécessaire de les traiter afin d'accroître leur aptitude à perdre leur eau et de réduire les dimensions des appareils de déshydratation qui sont coûteux et consommateurs d'énergie.

Ce traitement de préparation de la boue est appelé conditionnement.

3.1.1 Les mécanismes de conditionnement (16-18)

Les particules solides d'origine organique constitutives des boues fraîches peuvent avoir une structure floconneuse; les agrégats emprisonnent mécaniquement de l'eau en leur sein et ce que l'on appelle l'eau libre ne l'est finalement que très peu; la plus grande partie ne peut se séparer des agrégats et la déshydratation naturelle de ces boues sur une toile, malgré des pressions élevées aboutit toujours à un sédiment ou un gâteau très humide.,

On a vraiment l'impression que la boue résiste, c'est pourquoi, on caractérise les résidus par leur résistance spécifique à la filtration r .

La solution idéale pour diminuer cette résistance est de créer artificiellement des agglomérats plus gros et plus denses que dans la nature par floculation: c'est le premier principe de conditionnement.

Certains procédés de conditionnement ,très actifs , permettent d'extraire une partie de l'eau liée des particules, et ont par conséquent une incidence favorable à la fois sur la résistance à la filtration et sur la compressibilité; la diminution de l'hydrophilie particulaire constitue le deuxième principe de conditionnement des boues, dont par exemple, le traitement thermique est une des applications principales.

3.1.2. PROCÉDÉS DE CONDITIONNEMENT¹³⁻²⁷

L'effet de conditionnement en vue de l'augmentation de l'aptitude à la déshydratation des boues peut être obtenu par l'application de plusieurs principes de nature physique, chimique et thermique ou de leur combinaison :

- l'addition de charges inertes ou à faibles incidences sur le milieu colloïdal
- la floculation chimique par addition d'électrolyte minéraux ou polymères organiques.
- la congélation (gel-dégel).
- l'application de températures élevées sous une pression équilibrante

Ces principes de conditionnement sont généralement des auxiliaires bien souvent indispensables dans la déshydratation mécanique des boues : l'effet produit se traduisant par une amélioration considérable de leur efficacité et de leur aptitude à la sédimentation du fait:

- de l'augmentation de la dimension des particules,
- de l'augmentation de la densité des particules (expulsion d'eau liée).
- d'éventuelles modifications chimiques et structurelles des particules
- de la dilution du milieu colloïdal probablement accompagnée de phénomènes d'adsorption et d'agglomération.

Parmi ces procédés, les techniques les plus souvent mises en oeuvre sont:

- le conditionnement chimique
- le conditionnement thermique .

3.1.2.1. Le conditionnement chimique

Conduit par application des phénomènes de coagulation et de floculation (étudiés en détail dans le chapitre quatre)

Les réactifs chimiques, auxquels il est fait appel, sont des produits simples comme la chaux, le chlorure ferrique ou de nouveaux produits appelés polyélectrolytes organique ou polymères.

3.1.2.2. Conditionnement thermique

La cuisson à des températures de 175 à 210 °C, sous une pression équilibrante et avec une éventuelle injection d'air à titre d'oxydant, conduit à une transformation puissante et irréversible de la structure physique et chimique de la matière boueuse, notamment:

- la destruction des gels colloïdaux dont la majeure partie de l'eau liée est dégagée (60 à 65 % par mesure thermo-gravimétrique);
- la solubilisation d'environ 25 % des matières organiques.

On obtient une boue floculée avec augmentation considérable de la densité des particules qui, après épauvrissement avec cession de plus 50 % de son eau, pourra être filtrée sur filtre presse ou filtre sous vide sans addition de réactifs. Ce procédé conduit à la production de gâteaux jusqu'à 55 % de siccité pouvant être :

- utilisés comme amendement au sol;
- brûlés sans apport appréciable de combustibles d'appoint.

3.1.3. Facteurs affectant le conditionnement des boues^[20-21]

3.1.3.1. Propriété des boues

La plupart des transformations physiques et chimiques associées à l'addition des coagulants ne sont pas bien connues à un niveau fondamental.

Ainsi, la part la plus importante du "débat" et des discussions sur les propriétés des boues se porte plus sur les caractéristiques générales que sur les caractéristiques fondamentales : pour exemple l'origine des boues n'est pas aussi fondamentale que la distribution de la taille des particules, néanmoins c'est l'origine des boues qui est prise comme caractéristique pour la simplicité de son obtention, comparativement à la taille des particules, mais cependant une certaine origine des boues, nous laisse suggérer le type de caractéristiques fondamentales à qui on en a affaire.

L'origine des boues est un bon indicateur de la plage de la dose du conditionneur requise. L'examen des données publiées sur les doses des conditionneurs requises pour des différents procédés d'épauvrissement et de déshydratation suggère que les boues primaires requiert des doses moindres comparativement aux boues secondaires. Les boues digérées nécessitent des doses comparables aux doses de boues secondaires.

L'alcalinité et le pH qui sont aisément mesurables, sont parmi les plus importants paramètres chimiques affectant le conditionnement, en effet dans tout

processus de conditionnement, le mécanisme générant la coagulation, est l'interaction du coagulant avec la surface du colloïde. La nature de la surface chargée et la charge sont toutes les deux des fonctions de pH. Le pH détermine ainsi, quelle espèce chimique est présente ou prédominante : dans le cas de conditionneurs inorganiques, par exemple, le conditionneur peut être sous forme soluble, complexe hydroxyde, métal solide.

L'alcalinité intervient dans le cas des boues digérées anaérobiquement ou des conditionneurs inorganiques associées avec une forte alcalinité conduisent à des valeurs élevées de dosage.

3.1.3.2. La manipulation des boues

Le stockage des boues intervient dans l'efficacité du conditionnement, en effet, il a été démontré que la durée du stockage intervient négativement, en augmentant la résistance spécifique et subséquemment la demande en conditionneurs.

Le mélange est important pour le conditionnement dans les deux cas d'utilisation, que se soit dans le mélange de différents type de boues (avant l'épaississement) ou dans le mélange des réactifs

Le pompage des boues conditionnées est non recommandé du fait de la fragilité des particules floculées.

3.2 PROCÉDÉS DE DÉSHYDRATATION

Les différents procédés de déshydratation sont :

3.2.1 DÉSHYDRATATION NATURELLE

3.2.1.1 Lits de séchage [3,32,34]

Le séchage des boues sur les lits de sable drainés représente la technique la plus utilisée jusqu'à ces dernières années, elle est toujours conservée sur des stations d'importance modeste.

Pour des raisons d'hygiène dictée par l'environnement cette déshydratation naturelle n'est à retenir que sur des boues stabilisées et non putrescibles.

Le principe de fonctionnement de la déshydratation sur des lits est régie dans un premier temps par un phénomène de filtration gravitaire et de drainage de l'eau libre jusqu'à une teneur en eau de 80 % qui, au-delà, cède progressivement le pas à l'évaporation de l'eau en surface, phénomène dépendant

directement des conditions météorologiques , dont le paramètre essentiel est l'humidité relative de l'air au contact de la boue.

Le séchage atmosphérique permet alors d'atteindre des siccités jusqu'à 65 % de M.S. selon la durée de séjour , les conditions climatiques et les caractéristiques de la boue .

3.2.2. LA DÉSHYDRATATION MÉCANIQUE

3.2.2.1. LA FILTRATION

3.2.1.1.1 .*Filtre sous vide* [3,5]

Les filtres sous vides utilisés pour la déshydratation des boues résiduaires sont de type à tambour rotatif , constitué d'un cylindre en acier, partiellement immergé dans une cuve alimentée par la boue à filtrer. Ce tambour recouvert d'une toile filtrante est compartimenté en plusieurs secteurs reliés à un "distributeur" destiné à réaliser le vide ou la surpression.

Ces filtres sont de moins en moins, voire pratiquement inutilisés en raison de leur inconvénients:

- grosse consommation en adjudants de floculation.
- faible taux de concentration.
- grosse consommation d'énergie.
- c'est un procédé ouvert.

3.2.1.1.2. *Filtre à bande* [3,5]

Ce procédé a effectué ces dernières années sur le marché une percée significative , mais il n'est installé en règle générale que dans de petites ou moyennes installations.

Principal avantage ; il fonctionne en continu.

Les inconvénients sont essentiellement liés au fait que ce procédé est ouvert, donc sensible aux mauvaises odeurs et au coût d'investissement élevé.

3.2.1.1.3. *Filtre presse* [34-37]

Le filtre presse est le plus souvent employé pour obtenir une déshydratation poussée en vue de la mise en décharge des boues.

Cette technique consiste à introduire sous pression les boues à traiter, au moyen d'une conduite centrale ,entre des plateaux verticaux évidés portant les toiles filtrantes et pressées les unes contre les autres au moyen de vérins hydrauliques placés à l'une des extrémités du filtre .

Les boues sont amenées sous pression dans les chambres créées entre les plaques contiguës . Le filtrat est récupéré au travers des cannelures aménagés dans les plateaux, à l'arrière des toiles, est évacué au moyen de conduits d'évacuation situés sur la périphérie du filtre presse.

Le cycle de filtration comprend deux phases essentielles:

Remplissage et filtration :

La boue est amené dans les chambres par les faces antérieures des toiles de deux plaques contiguës. Une fois les chambre remplies, l'introduction continue de la suspension à essorer provoque la montée en pression à l'intérieur du filtre. par suite du resserrement des pores de la boue qui se concentre.

Débatissage, nettoyage et rabatissage

Le filtre est ouvert pour séparer les plaques , après nettoyage éventuel de la toile , le filtre est remonté pour un nouveau cycle.

Le temps du cycle sur les filtres modernes varie de 1 à 2h pour la 1ère phase et de 15 à 20 mn pour la deuxième.

Cependant, le procédé présente les inconvénients suivants:

- Frais d'investissement deux à trois fois plus élevées qu'avec les centrifugeuses ou les filtres à bande.
- c'est un système ouvert. il en résulte des nuisances liées aux mauvaises odeurs.
- c'est un procédé discontinu qui impose un stockage intermédiaire avant reprise vers l'incinération ou évacuation vers la décharge.

Malgré les inconvénients cités, le système connaît une propagation inégalée vu qu'il est seul à assurer des pressions effectives très élevées (15 bars et plus) génératrices des siccités maximales (généralement supérieures à 30 %)

3.2.2.2. la décantation centrifuge^(3.29,30)

La centrifugation a , aujourd'hui, atteint un stade de développement qui, pratiquement, autorise le traitement de tous les types de boues. Des dispositifs appropriés lui permettant de traiter des capacités allant jusqu'à 100 m³/h de boue et d'y concentrer ces dernières , avec ou sans adjonction de flocculants.

Le type d'appareil le plus couramment utilisé est la machine à vis (transporteuse) formé d'un tambour conico-cylindrique à l'intérieur duquel une vis tourne à une vitesse légèrement inférieure. La séparation solide -liquide se fait de la même façon que dans la sédimentation mais les valeurs de g. peuvent atteindre 3000 .

La performance de la machine dépend des variables opérationnelles à savoir: la vitesse de rotation, la hauteur de l'anneau liquide, la vitesse de rotation, la hauteur de l'anneau liquide, la vitesse différentielle tambour/vis et le débit d'alimentation de la boue.

Dans la littérature, toutefois on ne trouve pas d'indications uniformes sur les effets de ces variables, ceux-ci peuvent être opposés en fonction des valeurs des autres variables.

Ce système présente de nombreux avantages : il est étanche et fonctionne en continu, son taux d'usure est très faible et ne nécessite pas pratiquement aucune surveillance.

3.2.3. Séchage et incinération des boues [39-42].

Le séchage consiste à évacuer par évaporation de l'eau présente dans les boues. Dans le cas d'un séchage total, le produit final se réduit pratiquement aux seules matières, organiques ou minérales.

L'incinération englobe évidemment une phase de séchage, mais du fait qu'il utilise le pouvoir calorifique des matières organiques de la boue, il requiert toujours moins d'énergie qu'un procédé limité au séchage thermique.

Le séchage thermique ou l'incinération ne sont généralement appliqués qu'à des boues ayant déjà subi une déshydratation mécanique, car l'élimination de l'eau est beaucoup moins chère par des procédés mécaniques que par évaporation.

CHAPITRE QUATRE

PRÉSENTATION DES AGENTS DE COAGULATION ET DE FLOCCULATION

4.1. PHÉNOMÈNE DE FLOCCULATION [44, 45]

Les particules colloïdales d'un système en suspension sont soumises à deux groupes de forces opposés, produisent les uns, la déstabilisation ou floculation et les autres la stabilisation ou dispersion.

les facteurs qui contribuent à la déstabilisation sont:

- Le mouvement brownien
- Les forces à courte portée, telle que celles de Van der Waals.

Les différents paramètres provoquant la stabilisation sont de trois types:

- a) -les forces électrostatiques de répulsion inter-particulaires.
- b) -l'hydratation des particules agissant à faible distance.
- c)- Les forces d'origine électrostatiques stabilisent surtout les systèmes hydrophobes (particules minérales généralement): les systèmes hydrophiles (particules organiques) sont maintenus à l'état de dispersion, tant par répulsion électrostatique que par des facteurs comme l'hydratation.

Le processus de coagulation semble donc être le résultat de deux réactions différentes et indépendantes:

1 - Un phénomène de déstabilisation qui transforme une dispersion stable en une suspension pouvant être coagulée. Il s'effectue par l'intermédiaire de réactifs chimiques qui, ou bien diminuent fortement les facteurs de stabilisation, et notamment les forces répulsives des particules ou bien constituent des ponts entre les colloïdes par suite d'un mécanisme d'adsorption.

2 - Les particules en suspension possèdent alors une énergie supérieure à celle qui est nécessaire pour vaincre les forces de répulsion, l'adhésion des colloïdes, fait intervenir un processus mécanique (agitation douce) qui amène les colloïdes en contact réciproque, et par suite amorce l'agglomération.

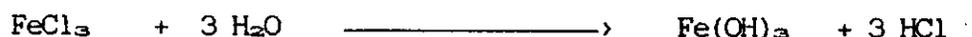
4.2. AGENTS DE DESTABILISATION [44-46]

4.2.1. Les sels minéraux

Les réactifs les plus connus et les plus employés, également, sont :

- Les sels d'alumine, tels que sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$, vendu sous la forme $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$;
- Les sels de fer comme le chlorure ferrique $FeCl_3 \cdot 6H_2O$;
le sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$; ou le sulfate ferreux $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Le mode d'action des sels minéraux peut être schématisé comme suit :



L'hydroxyde apparu est en effet, polymérisé de façon complexe, et peuvent ainsi coexister ;

- des formes simples monomères telles que Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_2$, Fe^{3+} , $Fe(OH)^{-2}$, $Fe(OH)^{3-6}$;
- des micro germes solides : $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$;
- des polymères variés ($Al_6(OH)^{3+}_{18}$, $Al_8(OH)^{4+}_{20}$, $Al_{24}(OH)^{12+}_{60}$, etc...

Bien entendu, les proportions respectives seront fonction de divers critères en particulier du pH, qui joue un rôle fondamentale vis-à-vis de la solubilité des hydroxydes.

Ainsi, l'hydroxyde ferrique, sa précipitation est obtenue pour les pH supérieurs à 5.5 et il ne se dissout guère à fort pH. Sous sa forme d'hydroxyde insoluble dans le milieu, il provoque la coagulation. En raison de sa très grande surface spécifique, le précipité formé adsorbe facilement les particules colloïdales.

Puisque la réaction de formation des hydroxydes libère des acides, il y a lieu de contrôler les variations de pH.

La pratique [46] a montré que l'on a intérêt à appliquer une combinaison d'un électrolyte de type amphotère à réaction acide d'une part, et de chaux d'autre part.

En effet la chaux a un double effet:

- elle neutralise le milieu acide obtenu par l'action des sels métalliques
- elle abaisse le seuil inférieur de la résistance spécifique accessible avec l'électrolyte précédent.

4.2.2. Polymères et polyélectrolytes organiques [47-48]

On distingue trois types de polymères et polyélectrolytes:

- les polymères non-ioniques - neutres -
- les polymères anioniques chargés négativement qui sont constitués de très grosses molécules très réticulées .
- les polymères cationiques , charges positivement, ont une double action de neutralisation des charges électriques qui maintiennent des particules éloignées les unes des autres et pour les récents, de pontage et de réticulations comme les anioniques.

4.2.2.1. Nature chimique [46, 47]

Les polyélectrolytes sont des macrosolubles dans l'eau, possédant des groupements fonctionnels inondables . Par extension, ce terme s'applique aux polymères hydrosolubles ayant des groupements polaires dans leur molécules .

Le pouvoir flocculant des polymères est lié à la configuration des macromolécule au sein des pouvoirs dans leur molécules. Dans le cas des polymères non ioniques, la chaîne a tendance à s'enrouler sur elle même, pour former une sorte de pelote par suite d'attraction intramoléculaire.

Au contraire dans le cas des polyélectrolytes (cationiques et anioniques) les groupements chargés électriquement de même signe répartis tout le long de la chaîne se repoussent mutuellement assurent, ainsi, l'extension de la molécule au sein du liquide. Le phénomène est d'autant plus prononcé que le pourcentage de groupements ionisés portés par le polyélectrolyte est important .

On peut donc caractériser les polyélectrolytes par la nature du ou des monomères de bases, par leur masse moléculaire (qui impose la longueur de la chaîne) la nature de leurs groupements et par leur pourcentage d'ionocité.

4.2.2.2. Polyélectrolytes d'origine naturelle^[47]

Les plus importants sont:

- les dérivés amylics le plus souvent modifiés pour augmenter leur action.
- les alginates extraits des algues
- les gélatines et colles animales
- les polysaccharides (ex ; la gomme de caroube)

4.2.2.3. Polyélectrolytes de synthèse^[3,47]

Les monomères de base sont issus de la pétrochimie, nous citerons

- les flocculants acryliques: ils sont dérivés des monomères acryliques dont les plus importants sont l'acrylamide, les acrylates. Ils se distinguent des autres types de flocculants par une souplesse de fabrication extrême en ce qui concerne

* le poids moléculaire qui peut aller de quelques centaines à quelques dizaines de millions.

* la charge: production de polymères nonioniques, anioniques ou cationiques.

4.3. MODES D'ACTION DES POLYMERES^[45-51]

Il fait intervenir les deux types de facteurs de déstabilisation:

- dans le cas des polymères chargés (surtout les polymères cationiques), le mécanisme de déstabilisation par neutralisation de charges peut être prépondérant, il permet ensuite l'agrégation des colloïdes, après une série de collisions biparticulaires successives provoquées par un processus mécanique (agitation) l'efficacité de ce phénomène évidemment de degré d'ionisation du polymère.

- le second mécanisme correspond à un processus d'adsorption, permet l'action flocculante des polymères non chargés ou porteur d'une charge de même signe que les colloïdes à déstabiliser.

Le polymère peut en effet s'adsorber sur plus d'un colloïde et provoquer ainsi par formation de ponts une liaison entre les particules contiguës.

4.5. THÉORIE CINÉTIQUE DE LA DOUBLE COUCHE IONIQUE

NOTION DE POTENTIEL ZËTA^[8,43,46,47]

L'interprétation théorique des effets électrocinétiques et de la notion de potentiel a conduit de nombreux investigateurs à émettre l'hypothèse de l'existence d'une double couche ionique à l'interface solide-liquide.

Nous nous contenterons ici de rappeler brièvement les différentes théories relatives à cette étude cinétique .

HELMHOLTZ [3] assimila la double couche ionique à un condensateur moléculaire dont les plateaux séparés d'une distance d voisine du diamètre ionique, sont portés à une différence de potentiel τ_0 .

La charge totale de la solution est égale mais de signe opposé à la charge électrique ϕ_0 .et répartie dans un plan situé à la distance d de la surface (voir figure 4.1) .

GOUY & CHAPMAN (1913-1917) [43,52] ont modifié quelque peu ce concept assez simpliste, en considérant que la seconde armature du condensateur d'HELMHOLTZ ne pouvait être, par suite d'agitation thermique considérée comme un plan, mais comme une couche diffuse où interviennent des ions positifs et négatifs avec une prédominance d'ions de signe opposé à la charge de surface; la densité globale diminuant avec la distance par rapport à l'interface (voir figure 4.2)

O.STERN (1924) [43,44] mit au point la théorie de la couche compacte de la couche ionique qui repose sur les hypothèses suivantes:

- a) la charge superficielle ϕ_0 est répartie de façon homogène sur la surface, son potentiel est τ_0 .
- b) la charge de la solution est répartie dans un plan intérieur d'Helmholtz situé à une distance r de l'interface (r étant le rayon de l'ion désolvaté).

C'est la couche compacte de Stern de la double couche ionique à la quelle correspond une charge ϕ_s et un potentiel τ_s qui est le lieu géométrique des ions adsorbés par des liaisons covalentes ou électrostatiques et désolvatés.

Dans ce que l'on nomme la couche extérieure d'Helmholtz ou couche diffuse de Gouy située à une distance d de l'interface , à laquelle correspond une charge ϕ_d et un potentiel τ_d qui est le lieu géométrique des ions adsorbés et solvatés.

- c) La charge au sein de la solution est nulle d'où la relation:

$$\phi_0 = \phi_s + \phi_d$$

voir figures 4.3 et 4.4

Si par un processus quelconque l'on déplace la phase solide par rapport à la phase liquide ou inversement, la couche moléculaire directement au contact de la surface solide (couche stationnaire de Stern) s'y maintiendrait en

adhérent fortement . tandis que la couche diffuse sera mobile avec une répartition des ions s'effectuant de façon continue. cela par l'action d'un champs électrique.

On a nommé par définition potentiel zêta de Freundlich ou potentiel électrocinétique, le potentiel du plan séparant la couche fixe par rapport à la couche mobile , cela par opposition au potentiel thermodynamique τ_0 variant à force ionique constante , en fonction de l'activité des ions en solutions qui sont à l'origine de la charge de la surface.

L'agglomération ou coagulation optimale s'obtiendra. théoriquement lorsqu'on atteint le point de potentiel Zêta nul .c'est à dire lorsqu'on après l'adjonction de flocculants divers ,la charge superficielle et par suite la force répulsive interparticulaire , se trouvent diminuées , ce qui s'accompagne d'une très forte diminution de la mobilité des particules [3,46].

Double couche Ionique d'Helmholtz

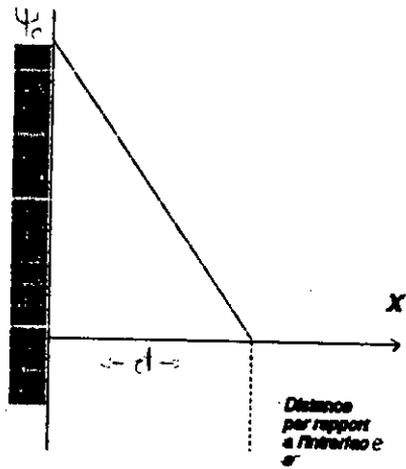


Figure 4.1 Double couche Ionique Selon Helmholtz

Double couche Ionique de Gouy -Chapman

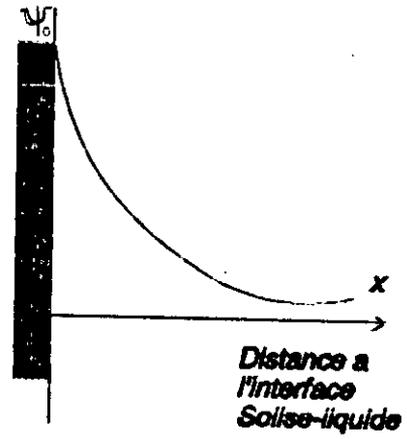


Figure :2

Figure 4.2 Double couche selon Gouy-Chapman

Double Couche ionique selon Stern

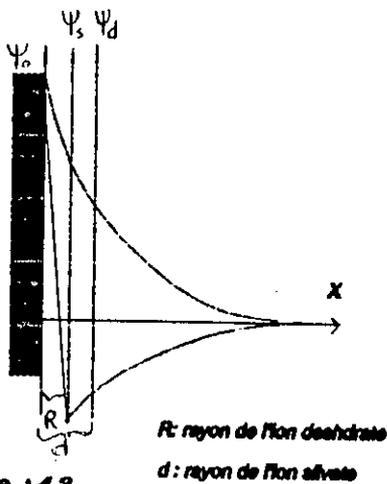


Figure : 4.3

Figure 4.3 La double couche Ionique selon O.Stern

Double Couche ionique selon Stern

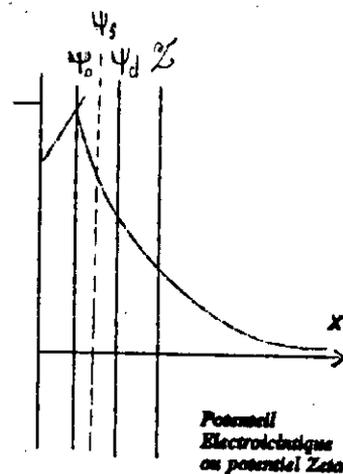


Figure 4.4. Potentiel Electrocinétique Zeta

CHAPITRE CINQ

MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

Nous allons tester différents types d'agents de floculation et de coagulation sur la boue de la station d'épuration des eaux usées de Baraki.

Les prélèvements de la suspension boueuse sont effectués au niveau de l'épaississeur I juste avant la phase de la déshydratation.

La boue introduite dans celui-ci subit un temps de séjour élevé de façon à provoquer le tassement sur elle même, son évacuation se fait par le fond tandis que le liquide interstitiel est évacué par le haut. C'est le premier stade, le plus simple de réduction de volume des boues sans dépense d'énergie notable.

Pendant longtemps, la filtrabilité des boues a été appréciée au moyen d'essais de filtration Büchner, exécutée dans des conditions non codifiées.

Rapidement, il est apparu nécessaire de définir de façon quantitative l'aptitude d'une boue à la filtration. la grandeur r (ou R.S.F.) telle qu'elle est définie ci-dessous répond à ce besoin. elle constitue un critère intéressant pour étudier les facteurs de la filtration sous vide et sous pression et permettre une comparaison des caractéristiques des boues de diverses installations.

Récemment une autre méthode basée sur la succion capillaire ,la C.S.T** (pour Capillary Suction Time) a connu un développement assez conséquent vu la simplicité et la rapidité de son emploi [55-57] .

La C.S.T. et la R.S.F. sont les méthodes les plus exploitées ; elles sont utilisées séparément ou parallèlement

* CST : est définie comme le temps requis au filtrat pour entrer deux cercles concentriques qui s'écoule radialement à l'extérieur d'un cylindre sans fond, posé sur du papier filtre⁽⁵⁵⁾.

R.S.F.: La résistance qu'offre une quantité de gâteau correspondant à 1 kg de produit sec déposé sur 1 m² de surface filtrante.⁽⁵⁷⁾

5.1. CARACTERISTIQUES DE LA BOUE CONDITIONNÉE

- Le potentiel Hydrogène pH = 6.5
- Matières Volatiles Solides 40 - 60 % de M.S.
- $r_{0.5} = 35.5 \cdot 10^{-12}$ m/kg
- La concentration en matière en suspension varie entre 55 à 85 grammes par litre de boue .

étant donné la variation de la concentration ,les doses des agents de floculation utilisés seront rapportées par gramme ou en pourcentage en poids de matière sèche (MS) et non par litre de boue .

5.2. RÉSISTANCE SPÉCIFIQUE A LA FILTRATION (55-60)

Définition

La résistance spécifique à la filtration d'une quantité de gâteau correspondant à 1 kg de produit sec déposé sur 1 m² de surface filtrante.

La résistance spécifique r est une mesure de la filtrabilité de la boue, celle-ci est influencée par la densité, la forme, la dimension des particules et par la charge électrique des particules (3,22)

La filtration d'une boue est un procédé utilisant le passage d'un mélange solide-liquide à travers un support poreux qui retient les particules solides en suspension et laisse passer le filtrat. le gâteau formé oppose une résistance croissante à l'écoulement du liquide .

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{DP}{\eta \cdot R} \quad (1)$$

Cette résistance , fonction du débit, de la surface de filtration , de la pression appliquée et de la viscosité , dérive de la loi de DARCY.

- ou
- A est la surface filtrante [M²]
 - V est le volume du filtrat recueilli au bout du temps t en [M³]
 - DP est la pression appliquée [Pa]
 - η est la viscosité du filtrat à la température de filtration [Pa.s]

Le terme R représente la résistance globale à la filtration par unité de surface. Il correspond à la somme des résistances en série de filtration et de la membrane filtrante.

$$R = R_m + R_g \quad (2)$$

R_m représente la résistance opposée par la membrane poreuse et dépend notamment de la taille, de la forme des interstices, de l'épaisseur et du mode de tissage.

R_g est proportionnelle à la masse des particules formant le gâteau par unité de surface filtrante. Elle se détermine après séchage à l'étude et refroidissement à l'aide de la relation suivante

$$R_g = \frac{r \cdot M}{A} = \frac{r \cdot m \cdot V}{A} \quad (3)$$

En combinant les relations (2) et (3), on peut écrire l'expression (1) sous la forme:

$$\frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{DP}{\eta (m \cdot V + R_m \cdot A)} \quad (4)$$

L'intégration de l'expression (4) à pression constante conformément à la théorie de Carman, conduit à la relation:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{r \cdot \eta \cdot m}{2DP \cdot A^2} V + \frac{\eta \cdot R_m}{A \cdot DP} \quad (5)$$

L'équation (5) montre que la variation du temps de filtration par le volume de filtrat recueilli en fonction de ce volume est une droite dont la pente b permet de calculer la résistance spécifique la filtration r et dont l'ordonnée à l'origine donne R_m .

Dans la pratique, et notamment dans les cas des boues difficilement filtrables, le second membre de l'équation (5) est négligé, en effet la résistance R_m est alors très faible devant R_g .

A partir des expressions précédentes, on a établi l'expression donnant la résistance spécifique à la filtration et égale à :

$$r = \frac{2b \cdot DP \cdot A^2}{\eta \cdot m} \quad (6)$$

avec

M : masse totale du gâteau après séchage [Kg]

V_m : volume final du filtrat obtenu à la fin de l'écoulement y compris le volume d'égouttage éventuel [M³]

DP : Pression appliquée [Pa]

A : surface filtrante [M²]

η : Viscosité du filtrat à la température de filtration [20 C]

* NB: La viscosité du filtrat est considérée égale à la viscosité de l'eau [Pa.s]

r : résistance spécifique à la filtration [M/Kg].

5.3. APPAREILLAGE DE MESURE DE LA R.S.F.

5.3.1. Appareil de mesure

La cellule de mesure, décrite à la figure 5.1 , comporte essentiellement une chambre cylindrique en acier inoxydable de 70 cm de diamètre et de 120 cm de hauteur libre. Un disque , amovible et perforé de trous à 1 mm, repose sur la partie inférieure du cylindre et sert de support au papier filtre type Wattman 10

5.3.2. Matériels utilisés.

- éprouvettes graduées de 100 et 250 cm³ pour recueillir le filtrat.
- Installation de production de pression

L'air sous pression est introduit dans la cellule de mesure par l'intermédiaire d'un dispositif comprenant:

- Un appareil de contrôle manomètre gradué de 0 à 5 bars.
- Un dispositif de régulation de la pression permettant d'obtenir des pressions pré-reglées.

5.4. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

5.4.1. Matériel utilisé

- Appareil de mesure de la R.S.F.
- Appareil de Jar test et, ou agitateurs magnétiques
- Barreau magnétique

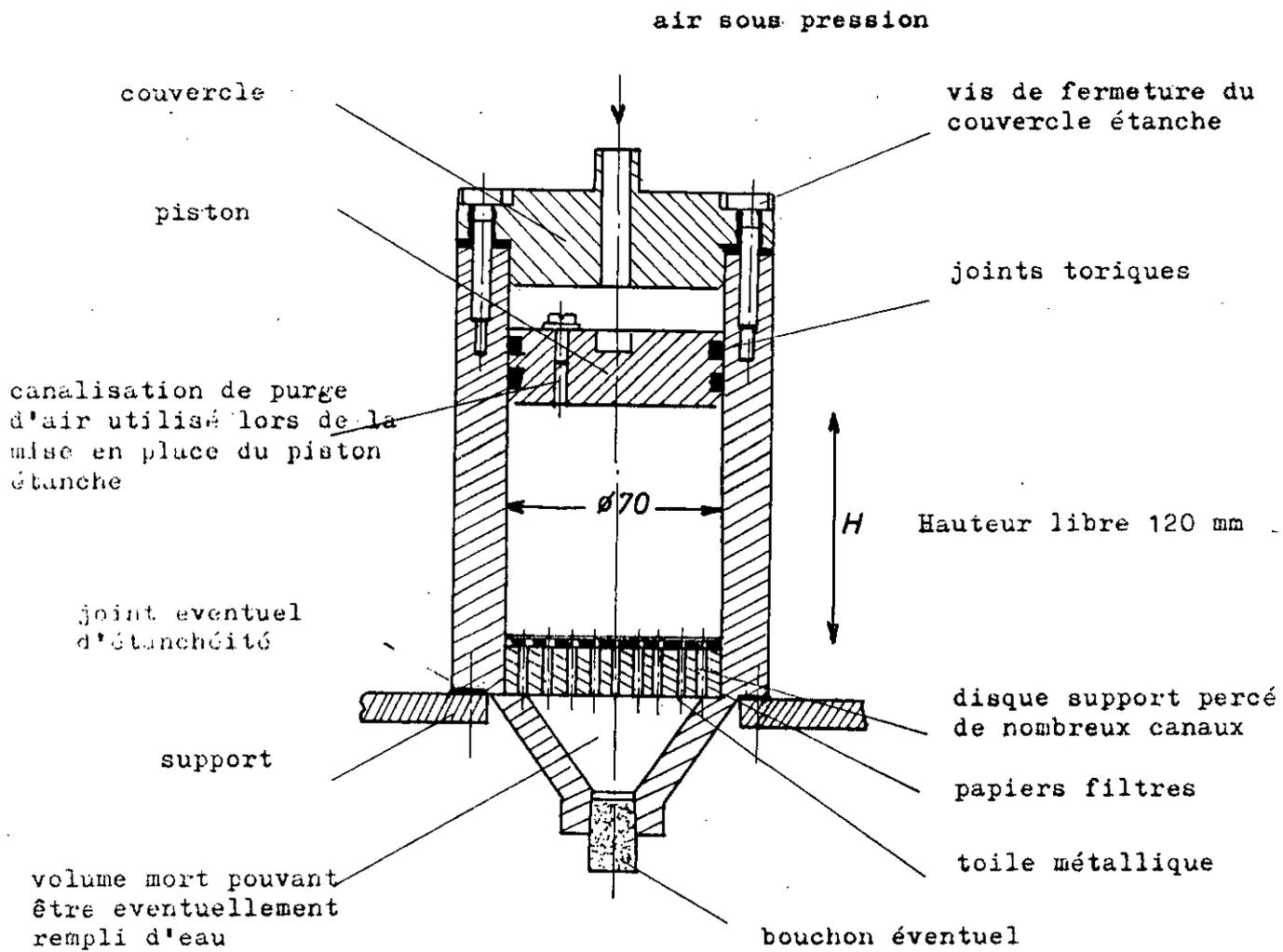


Figure 5.1 : Cellule de mesure

- Bechers de 800 ml
- Seringues
- éprouvette de 250/50 ml
- Thermomètre
- Phmetre

5.4.2. Prise d'essai

L'exécution d'un essai comporte les opérations suivantes ;

- Préparation de l'échantillon;
- Addition des réactifs;
- Essai avec la cellule de la filtration.

5.4.3. Préparation de la boue

La préparation de la boue comporte les opérations suivantes :

- Mise à la température ambiante
- Tamisage à la maille de l'ordre de 2 a 3 mm pour éliminer les amas ou les particules hétérogènes .

5.4.4. Essai de JAR TEST

Nous avons opté pour le plan d'essai suivant, rappelons qu'il n y a pas de plan d'essai codifié ou normalisé dans la littérature^[61-71], néanmoins nous avons reproduit celui qui est le plus répandu avec certaines modifications en tenant compte de nos propres contraintes;

Tableau 5.1: Plan d'essai de coagulation-floculation

| Phase d'essai | Temps d'agitation | Vitesse d'agitation |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|
| N 1 Homogénéisation | 1 minute | 250 tours / mn |
| N 2 Addition de coagulant | Dose d'essai à la seringue | |
| N 3 Agitation forte | 1 minute | 150 tours/mn |
| N 4 Addition de floculant | Dose d'essai à l'éprouvette | |
| N 5 Agitation | 1 minute | 150 tours/mn |
| N 6 Agitation douce | 15 minute | 60 tours /mn |

La procédure générale des essais pour un traitement à deux produits (coagulant et floculant) contient plusieurs phases décrites dans le tableau (5.1) ci dessus.

Les essais de la seule coagulation ne comprennent pas les essais 3 et 4 de même, la floculation isolée est réalisée en supprimant les phases 2 et 3 .

5.4.5. Essai avec la cellule de filtration

- Équipement de la cellule de mesure par mise en place, sur le fond perforé d'un disque de toile , puis du filtre de papier.
- Humidification du papier, puis application d'une légère surpression pour assurer l'étanchéité du fond de la cellule .
- Réglage de la pression à (0.5 bar) .

L'introduction de l'échantillon de boue dans la cellule et application progressive de la pression, 15 secondes après le remplissage de la cellule, puis revisser le couvercle.

Déclencher le chronomètre et noter le volume v du filtrat déjà écoulée à ce moment.

- La mesure du volume de filtrat écoulé en fonction du temps t .
- Prendre à chaque graduation de l'éprouvette le temps donné.
- Peser en fin d'essai , la masse du gâteau frais déposé ainsi que la masse du gâteau sec .

5.5. EXPLOITATION DES RÉSULTATS ET CALCUL DE LA R.S.F.

- Tracer la courbe $t/v = f(V)$

V étant le volume de filtrat obtenu au bout de chaque durée de filtration t .

$$V = (V' - v)$$

ou V' : volume de filtrat écoulé à l'instant t .

v : volume de filtrat à $t = 0$ et à $P = 50 \text{ KN/M}^2$

- Cette courbe doit être une droite dont la pente b .
- Mesurer la pente (b) de la partie linéaire de la courbe .
- Déterminer la masse de matière solide (m) déposée par unité de volume de filtrat $m = M/V_f$

où M : est la masse totale , exprimée en kg, du gâteau après séchage ;

V_f : est le volume du filtrat, (volume total recueilli à la fin de l'écoulement , y compris le volume (V) de l'égouttage .

Le calcul de la résistance spécifique à la filtration r à l'aide de la relation (7);

$$r = \frac{2b \cdot DP \cdot A^2}{\eta \cdot m} = k \frac{b}{m} \quad (7)$$

ou :

b : est la pente exprimée en secondes par mètre à la puissance 6 (S/M⁶) de la partie linéaire de la courbe $t/V = f(V)$.

DP : est la pression de filtration en Newtons par mètre carré (N/M²)

A : est la surface de filtration en mètre carré (M²)

η : est la viscosité dynamique du filtrat à la température de l'essai, exprimée en Newtons par mètre carré (10⁻³ N.S/M² pour l'eau à 20 C).

m : est la masse de gâteau par unité de volume de filtrat , en kilogramme par mètre cube (Kg/M³).

Dans ces conditions , r s'exprime en mètre par kilogramme (M/Kg) .

Calcul de la constante k

$\eta = 10^{-3}$ N sec/M² (la viscosité dynamique du filtrat est considérée égale à celle de l'eau (à 20 C) [3]).

$A = 710^{-2}$ M² ; $DP = 50 \cdot 10^3$ N/M²

D'ou $k = 1481.1$ M⁶ /s

Au cours de la déshydratation mécanique de la boue floculée par la filtration à pression constante la résistance à l'écoulement du liquide croît progressivement avec la formation du gâteau de filtration et de débit du filtrat diminue et la résistance hydraulique augmente.

On détermine V_f , b et nous calculons la résistance spécifique r .

CHAPITRE SIX

CONDITIONNEMENT EN CHLORURE FERRIQUE & CHAUX

Le premier volet de nos travaux a consisté à l'optimalisation du conditionnement en chlorure ferrique-chaux , actuellement suivi à la station d'épuration des eaux usées de Baraki.

En effet, les taux présentement utilisés qui sont de 6 % de M.S. en FeCl_3 et de 22 % de M.S. en chaux , ont été recommandés par le constructeur de la station ,cependant une lecture bibliographique sur les doses communément utilisées dans les stations d'épuration de même type ,nous laisse suggérer la possibilité de pouvoir diminuer ces doses,et ce, toutes fois sans en altérer le bon fonctionnement du processus de conditionnement.

Ainsi, dans cette première phase de nos travaux, notre intérêt s'est porté essentiellement sur l'optimalisation du conditionnement sus-cité, nous ferons varier les taux de conditionneurs entre les gammes suivantes 2-8 % et 16-24 % en FeCl_3 et en CaO respectivement, le choix de ces gammes s'est fait sur la base des données bibliographiques .

Afin de ne pas s'éloigner des conditions opératoires réelles de la station de Baraki,nous avons préféré et juger utile de travailler avec les mêmes réactifs chimiques y utilisés.

6.1. PRÉSENTATION DES RÉACTIFS

6.1.1. Chaux commerciale

La chaux commerciale se présente sous forme de poudre blanche et à une teneur à 60 % en CaO. Elle est utilisée dans le traitement des boues sous forme de lait de chaux à 100/150 g/l.

6.1.2. Chlorure ferrique

La solution commerciale du chlorure ferrique se présente sous forme liquide, à une teneur de 41 % environ en FeCl_3 pur.

6.2. ÉTABLISSEMENT DES DOSES DES RÉACTIFS

Nous devons tenir compte du taux de pureté de la chaux et du chlorure ferrique commerciaux car la dose en réactifs est exprimée en gramme de FeCl_3 et en gramme de CaO par gramme de matière sèche.

D'où les formules suivantes :

$$V_B + V_C + V_F = 0.2 \text{ litres}$$

$$V_F = C_B V_B \times T_C \times T_F / (t_F \times x_F)$$

$$V_C = C_B V_B \times T_C \times M_{\text{CaO}(\text{OH})_2} / (M_{\text{CaO}} \times t_{\text{CaO}} \times C_C)$$

Pour cette partie expérimentale le volume total des échantillons est maintenu constant à 0.2 litre (capacité de la cellule de filtration).

C_B : concentration en matières solides (g/l).

V_B : volume de boue brute (litre).

T_F : taux de chlorure ferrique commercial (% en poids de M.S.)

t_F : taux de pureté de Chlorure ferrique.

x_F : masse volumique de chlorure ferrique commercial.

V_F : volume de chlorure commercial (litre)

T_C : taux de chaux commercial (% en poids de MS)

t_C : taux de pureté en CaO

V_C : volume de chaux commercial (litre)

$M_{\text{CaO}(\text{OH})_2}$: masse moléculaire de chaux hydratée (g/mole)

Données:

$$\begin{aligned} t_F &= 41 \% & ; & x_F = 1.44 \cdot 10^3 \text{ g/l} & ; & M_{\text{CaO}(\text{OH})_2} = 74 \text{ g/mole} ; \\ M_{\text{CaO}} &= 56 \text{ g/l} & ; & t_{\text{CaO}} = 60 \% & ; & C_C = 150 \text{ g/l} \end{aligned}$$

0.2

d'où $V_B = \frac{0.2}{1 + C_B (T_F \times 1.6938 \cdot 10^{-3} + T_o \times 1.4683 \cdot 10^{-2})}$

Exemple :

$C_B = 174.98 \text{ ml} = 175 \text{ ml}$

$V_C = 24.66 \text{ ml}$

$V_F = 0.35 \text{ ml}$

6.3. RÉSULTATS & DISCUSSIONS:

Voir en annexe pour des exemples de détermination de la pente b des courbes $t/v = f(V)$ à partir desquelles sont déterminées les valeurs de r.

Les résultats obtenus pour les différentes séries, au cours de nos essais au laboratoire avec le traitement traditionnel (Chlorure Ferrique + Chaux), sont résumés dans les tableaux ci-dessous:

1 ère série à 16 % de CaO

Tableau 6.1: la variation de la R.S.F. $r_{0.5}$ en fonction de la dose en Chlorure ferrique à un taux de chaux de 16 %

| T_F en % de MS | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r [m/kg] [10^{+12}] | 5.866 | 1.832 | 1.349 | 1.516 | 2.012 | 1.087 | 1.098 |

2ème série à 18 % de CaO

Tableau 6.2. : la variation de la R.S.F. $r_{0.5}$ en fonction de la dose en chlorure ferrique à 18 % en CaO

| T_F en % de MS | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $r_{0.5}$ [m/Kg] [10_{+12}] | 2.120 | 1.817 | 1.143 | 0.586 | 1.063 | 0.675 | 0.923 |

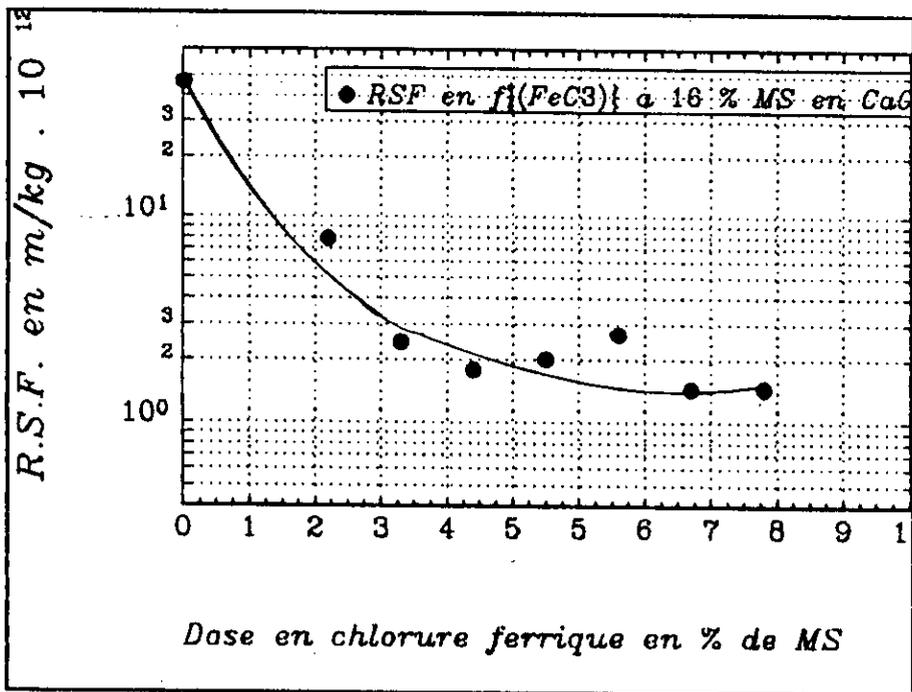


Figure 6.1 : Evolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique avec 16 % MS en CaO

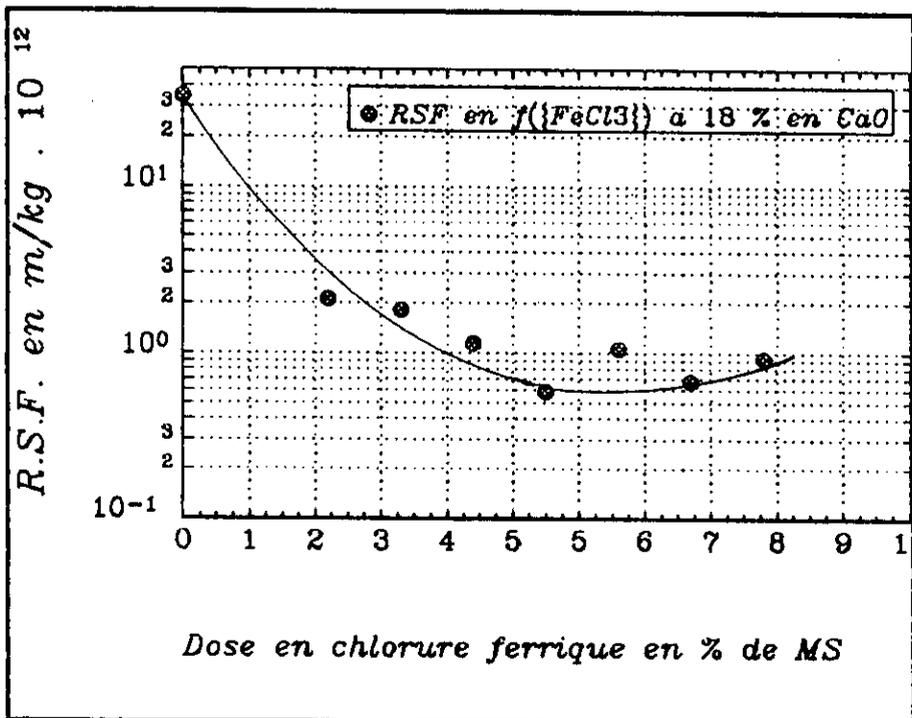


Figure 6.2 : Evolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique à 18 % MS en CaO

3ème série à 20 % en CaO

Tableau 6.3 : la variation de la R.S.F. $r_{o.s}$ en fonction de la dose en chlorure ferrique à 20 % en CaO

| T_F en % de MS | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $r_{o.s}$ [m/kg] [10^{-12}] | 5.220 | 2.169 | 1.244 | 1.946 | 1.143 | 1.184 | 1.390 |

4ème série à 22 % à 22 % en CaO

Tableau 6.4: la variation de la R.S.F. $r_{o.s}$ en fonction de la dose en chlorure ferrique à 22 % en CaO

| T_F % de M.S. | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $r_{o.s}$ [m/kg] [10^{-12}] | 5.060 | 2.800 | 2.354 | 1.956 | 1.880 | 1.453 | 1.814 |

5ème série à 24 % de MS en CaO

Tableau 6.5 : la variation de la R.S.F. $r_{o.s}$ en fonction de la dose en Chlorure Ferrique à 24 % de CaO

| T_F [% MS] | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $r_{o.s}$ [m/kg] [10^{-12}] | 7.811 | 1.668 | 2.770 | 1.945 | 1.543 | 1.532 | 1.647 |

L'établissement des courbes de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique exprimée en matière sèche nous permet de faire les constatation suivantes:

Les courbes obtenues sont globalement identiques à celles rapportées par la littérature ,en effet une allure similaire s'observe pour toutes les courbes.

En augmentant la dose en chlorure ferrique, la résistance spécifique à la filtration diminue jusqu'à atteindre un minimum où la floculation des boues y est optimale, puis celle ci remonte légèrement.

Pour un taux de chlorure ferrique donné, la dose de chaux incorporée à nos échantillons réduit ou augmente la filtrabilité .

On observe que l'addition d'un excès de produit est défavorable à la floculation; elle fait augmenter quoique légèrement le résistance spécifique , ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il s'effectue une dispersion par suite des répulsions électrostatiques des particules à présent chargées positivement.

Les minima des courbes de floculabilité des boues conditionnées au chlorure ferrique et chaux obtenus sont relevés dans le tableau 6.6:

Tableau 6.6 : optimums des courbes de floculabilité des boues conditionnées avec le chlorure ferrique et chaux

| <u>Taux de chaux (% MS)</u> | <u>Taux de FeCl (% MS)</u> | <u>$\Gamma_{0.5} 10^{12}$ (m/kg)</u> |
|-------------------------------|------------------------------|---|
| 16 | 7.0 | 1.08 |
| 18 | 5.5 | 0.62 |
| 20 | 6.0 | 1.18 |
| 22 | 6.5 | 1.46 |
| 24 | 6.5 | 1.55 |

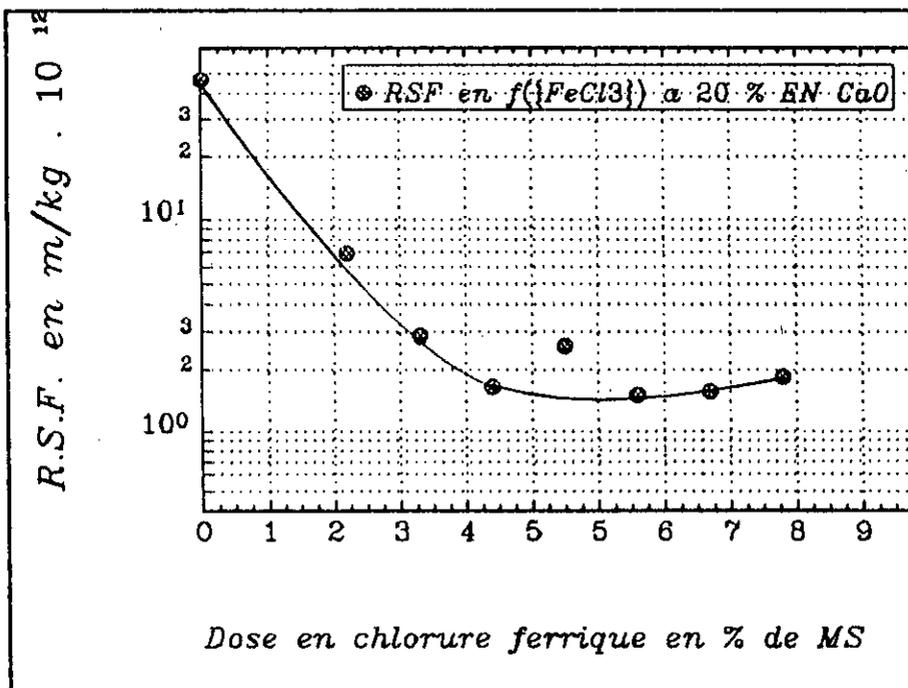


Figure 6.3 : évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique à 20 % MS en CaO

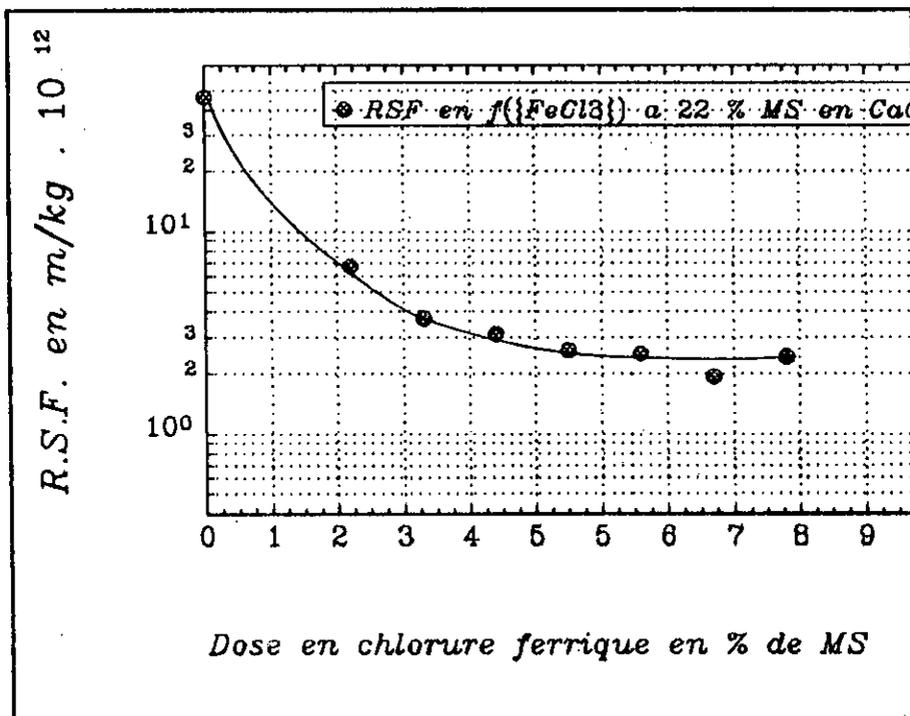


Figure 6.4 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique en 22 % en CaO.

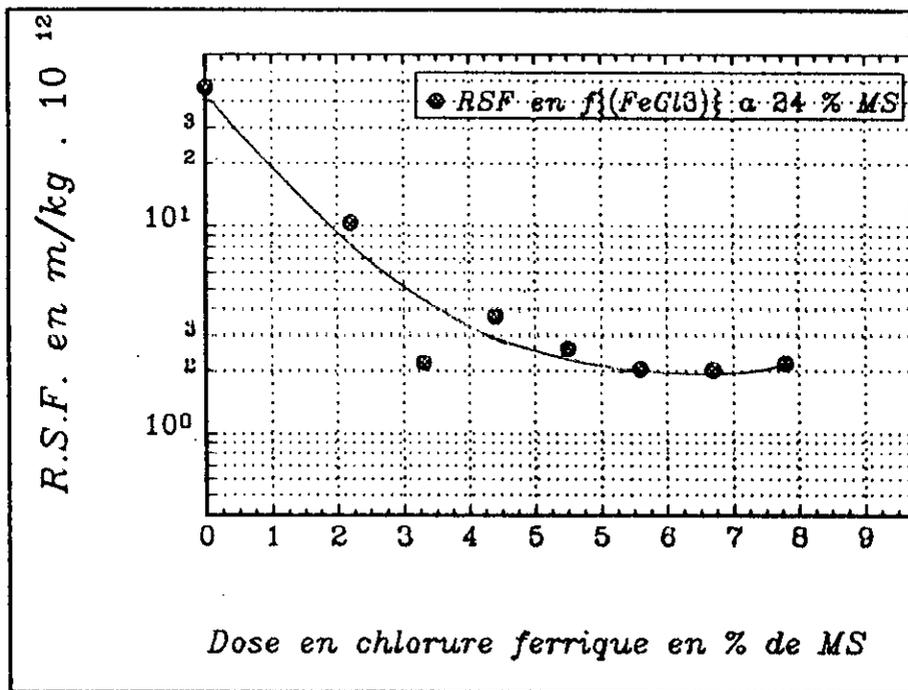


Figure 6.5 : évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorure ferrique à 24 % MS en CaO.

Ces résultats concourent à établir que l'obtention d'une bonne filtrabilité de cette boue filtrabilité à caractère hydrophile est réalisée pour une dose en réactifs bien déterminée.

Mais on constate qu'avec un conditionnement de 3 - 4 % de M.S. en chlorure ferrique et 16 % de M.S. en CaO permet d'ors et déjà , une floculabilité quasi bonne de la suspension boueuse étudiée.

Cependant , l'efficacité de la floculation n'est obtenue qu'à partir de 3 - 5 % en $FeCl_3$ (et 18 % M.S. en CaO) et la valeur optimale est atteinte pour la boue de BARAKI pour des doses de 5.5 % MS et 18 % pour le chlorure ferrique et la chaux respectivement où la floculabilité y est efficace et où une amélioration notable de la filtrabilité est aussi constatée.

Ces résultats sont liés aux phénomènes suivants :

La quasi totalité des cations (Fe^{3+}) ajoutés au milieu provoque la coagulation se trouvent précipités sous forme d'hydroxydes insolubles.

En premier lieu, l'addition de chlorure ferrique génère une séquence de réactions d'hydrolyses , qui produise une variété d'hydroxyde de fer (III)

qui affectent la coagulation par adsorption et par neutralisation de charge et se précipiteront sous forme de $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3$ (s) ou de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (s) .Étant donné que les pH élevés favorisent la formation de solides $\text{Fe}(\text{OH})_3$, l'ajout de la chaux fait élever le pH (généralement à $\text{pH} > 11.5$) qui fera accélérer la formation de précipités [28,3,50].

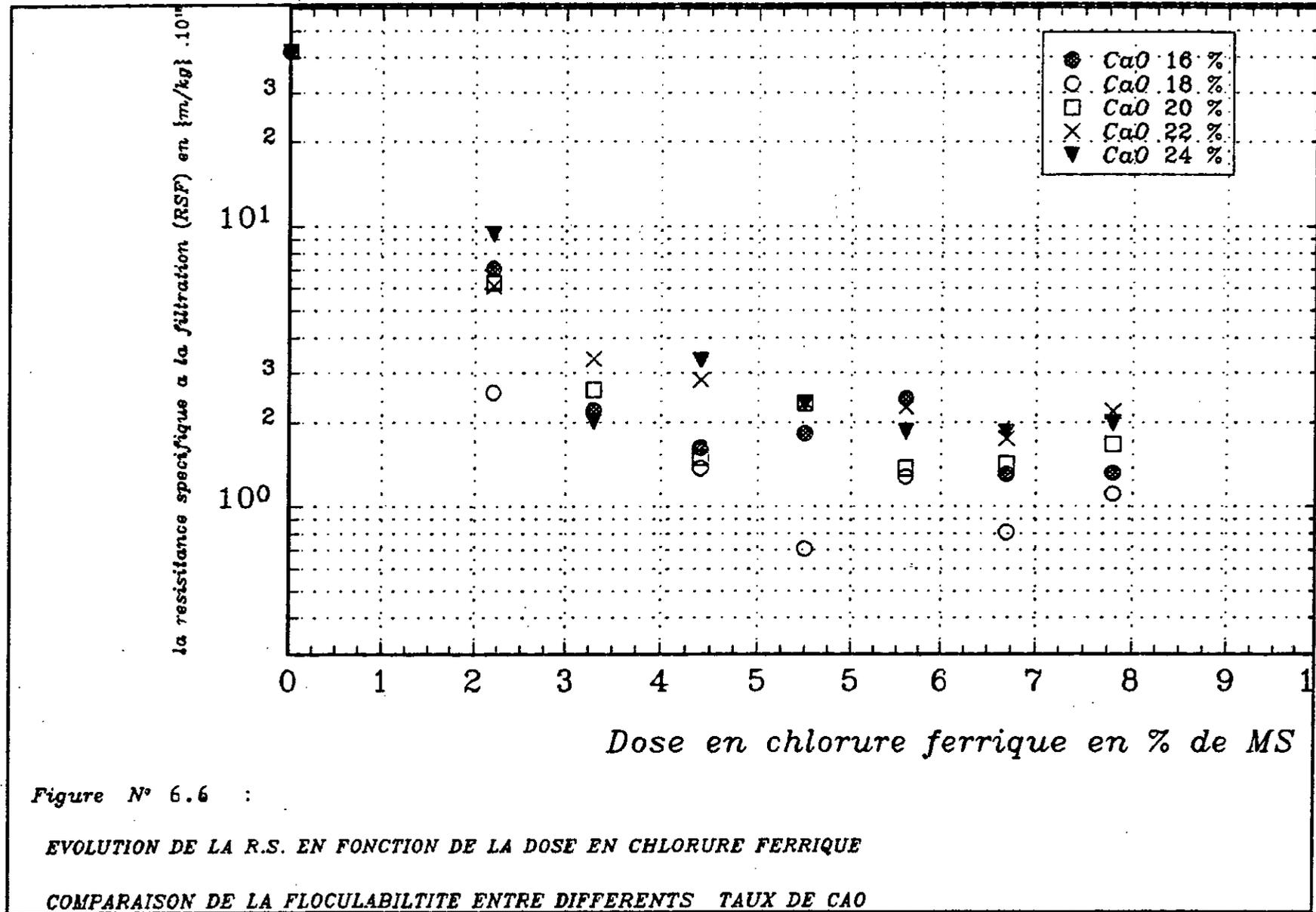
En raison de sa très grande surface et sous la compression d'une double couche due à la grande concentrations de Ca^{2+} , le précipité formé en présence de la chaux adsorbe facilement les particules colloïdales [22,28].

En Conclusion :

Le travail effectué nous permet de constater que le traitement classique du conditionnement des boues fournit une très bonne filtrabilité pour des taux en Chlorure Ferrique de 5.5 % MS et en Chaux de 18 % de matière sèche.

Mais il faut signaler que les pourcentages cités ci-dessus sont exprimées en pourcentage de réactifs purs, or ils sont fabriqués avec un certain taux de pureté (41 %) en FeCl_3 et 60 % en chaux hydratée $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Ainsi . l'adjonction réelle en réactifs est en fait de $\sim 39,6$ % en poids de chaux commerciale , ce qui est assez considérable , car cette quantité en produits commerciaux va s'ajouter aux solides à mettre en décharge par conséquent les frais de transport se voient multiplier .



CHAPITRE SEPT

CONDITIONNEMENT AVEC LA BENTONITE

7.1. APERÇU SUR LA BENTONITE

7.1.1. Origine

La bentonite utilisée pour les besoins de nos essais, provient du gisement de Hammam Bougherara à Maghnia.

7.1.2. Structure et composition.

La bentonite est une argile dont les cristaux sont des particules très fines, la formule brute de la maille constituant le minéral de la bentonite est la suivante : $(Si_4Al_2O_{10}(OH)_2)$ [72] .

Selon Hoffman, Marshall (1936) et Hendrix (1942) [72, 74] , une unité structurale de montmorillonite est constituée de feuillets dont la composition chimique est la suivante:

Tableau 7.1: Composition chimique de la bentonite (70)

| Composé | Teneur en pourcentage pondéral |
|------------------------------------|--------------------------------|
| SiO ₂ | 58.58 |
| Al ₂ O ₃ | 20.87 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.22 |
| MgO | 5.05 |
| TiO ₂ | 0.19 |
| Na ₂ O | 1.59 |
| K ₂ O | 0.56 |
| CO ₂ , H ₂ O | 9.35 |
| CaO | 1.42 |
| TOTAL | 99.74 |

D'après cette composition, la bentonite est donc un aluminosilicate-magnésium .

7.1.3.Utilisation des Bentonites

Les bentonites ont été utilisées dans plusieurs domaines technologiques: dont principalement (74-76) :

- Les céramiques
- Les bétons
- Les papeteries comme charge de pâte et agent de désencrage.

Quant à l'utilisation de la bentonite dans le traitement des eaux usées tant qu'agent d'agrégation , elle est encore au stade expérimentale : divers travaux ont été menés en ce sens des résultats primaires furent obtenus (76-78) pour l'efficacité de la bentonite mais sans résultats d'un point de vue pratique.

La bibliographie rapporte que la montmorillonite se disperse facilement¹¹ dans l'eau: on obtient une suspension dont les propriétés sont en

¹¹ Comme cela s'est avéré ultérieurement ; l'expérience nous a démontré que ce n'est point le cas , la bentonite se disperse difficilement dans l'eau , elle a plus tendance à se gonfler qu'à se disperser.

fonction des caractéristiques suivantes:

- Hydratation
- Granulométrie
- Adsorption
- échange chimique.

Les propriétés adsorbantes de la montmorillonite proviennent de la capacité d'échange de cations . la fixation d'ions peut être due aux déficiences électriques provoqués par la substitution ou les cassures des feuillets mais aussi au phénomène d'adsorption moléculaire^[71,73].

7.2. RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

Tableau 7.2 évolution de la résistance spécifique à la filtration de la boue de BARAKI en utilisant la bentonite comme conditionneur avec et sans aide coagulant.

| Taux de bentonite % MS | Taux de chaux % MS | Taux de FeCl ₃ % MS | $r_{0.5} \cdot 10^{12}$ (m/kg) | pH |
|------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|
| 18 | 0 | 5 | 16.13 | 5.5 |
| 5 | 18 | 0 | 2.34 | 9.5 |
| 12 | 18 | 0 | 2.15 | 12.2 |
| 16 | 18 | 0 | 2.90 | 12.2 |
| 20 | 18 | 0 | 3.14 | 9.7 |
| 24 | 18 | 0 | 4.46 | 12.1 |
| 0 | 16 | 0 | 4.13 | 9.6 |
| 0 | 18 | 0 | 2.75 | 11.0 |
| 0 | 20 | 0 | 2.21 | 11.5 |
| 0 | 24 | 0 | 2.28 | 12.25 |

Discussion

Dans cette partie , nous avons cherché à déterminer le rôle que peut jouer la bentonite dans le conditionnement de la boue .

Les essais effectués avec la bentonite seule comme conditionneur de boue n'ont pas été concluants; en effet, on a constaté que la boue a tendance à se gonfler ,en effet, on a constaté que la boue a tendance à se gonfler ,elle se comporte ainsi comme une pâte et par delà s'empêchant toute dissolution dans la boue ce qui conduit à une inefficience du conditionnement.

Il fallait procéder à plusieurs essais pour avoir une dissolution de la bentonite convenable, cependant on n'a pas point observé d'action notable.

En fait, la boue utilisée toute "seule" pose plus de problèmes, d'un point de vue pratique, qu'elle n'en résout, mais il serait bon de s'enquérir de son comportement utilisée conjointement avec autre réactif de conditionnement.

En effet, la question que nous sommes posés est la suivante : La bentonite peut elle remplacer le chlorure ferrique ou la chaux ?

Dans un premier temps , nous avons substitué la chaux par la bentonite en prenant en considération les taux optimaux obtenus dans la partie précédente ($T_o = 18 \%$, $T_{FeCl_3} = 5 \%$).

Cette éventualité a été vite écartée (Bentonite 18 % MS , T_{FeCl_3} , en effet nous avons observé la présence d'hydroxydes de Fer dans le filtrat .outre la difficulté d'avoir un coagulant homogène ; la bentonite a tendance à prendre la forme de pâte de ce fait la dissolution dans la boue est pratiquement nulle

Dans un second temps nous avons conditionné la boue avec 18 % de chaux et de taux différents de Bentonite.

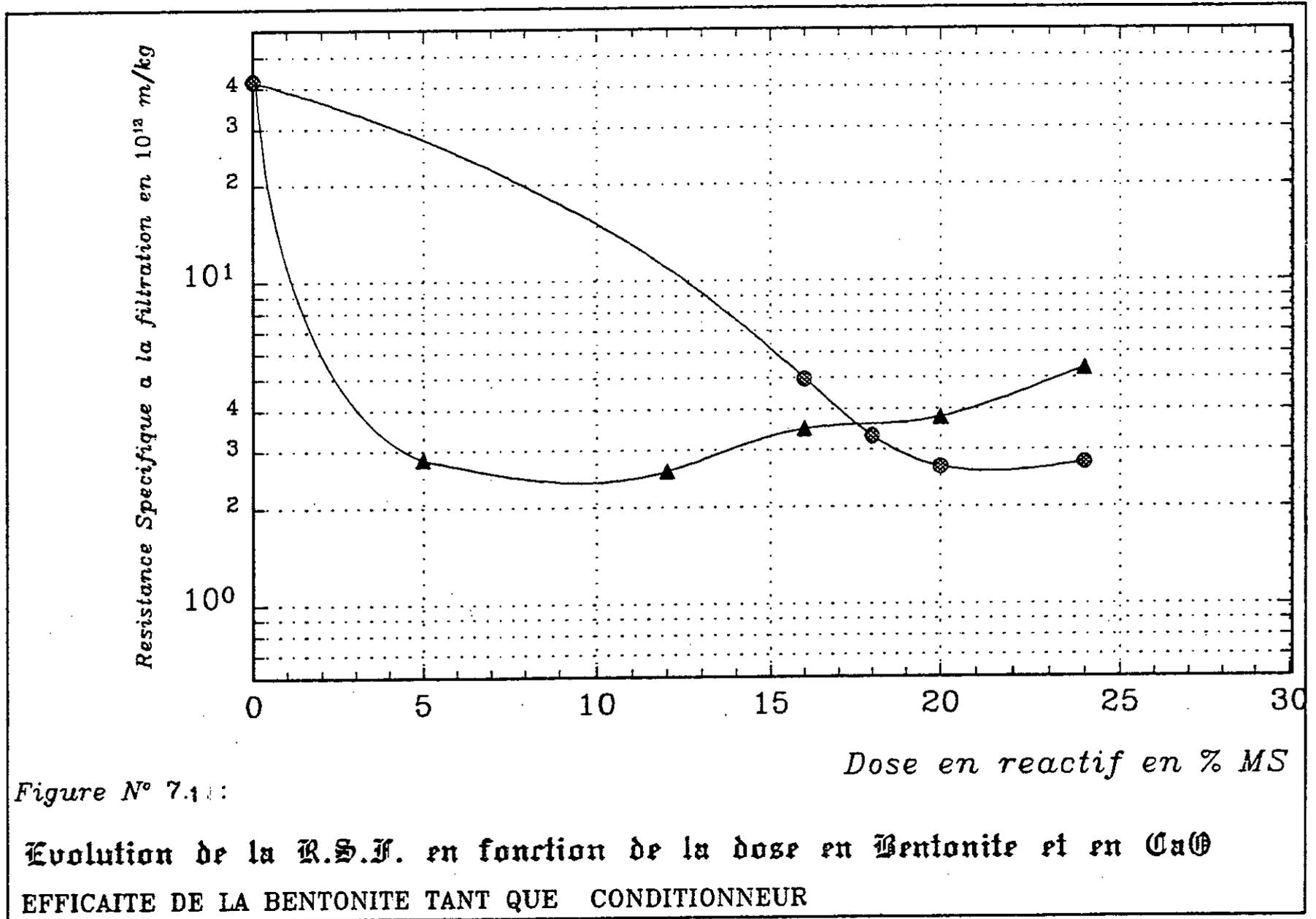
La floculation optimale se situe à taux de 12 % Ms de Bentonite, bien que la filtrabilité s'est nettement améliorée par rapport à celle de la boue brute, elle reste inférieure à celle obtenue dans le conditionnement classique.

La bentonite a t-elle participer au traitement ?

Pour répondre a cette question , on a été amenés à réaliser une série d'expériences avec la chaux uniquement afin de savoir dans quelle proportion la bentonite a agit comme un agent de désagrégation .

La floculation optimale après traitement avec la chaux est située à $T_o = 18 \%$ MS et la résistance spécifique est de $2.75 \cdot 10^{12}$ m/kg

En la comparant avec celle obtenue avec la bentonite + CaO à des taux de 12% de Bentonite et 18 % de MS de Chaux ($r = 2.15 \cdot 10^{12}$ m/kg, nous avons attribué cette légère amélioration à la bentonite, mais néanmoins , elle n'est pas suffisante pour pouvoir consacrer la bentonite comme conditionneur de boue efficace compartivement au traitement classique en Chlorure Ferrique et Chaux.



CHAPITRE HUIT

CONDITIONNEMENT AVEC LES CHLOROSULFATES DE FER

Dans cette partie , nous nous sommes intéressés à l'étude du conditionnement des boues de la station de Baraki par les chlorosulfates ferriques.

Tout procédé chimique industriel génère inéluctablement des sous produits lesquels, lorsqu'ils ne sont pas utilisés ou réutilisés dans un autre procédé chimique, sont habituellement évacués à la décharge, ce qui constitue outre le fait d'être une charge supplémentaire (occasionnée par les frais de manutention de ces sous produits) , de représenter également un manque à gagner net pour l'entreprise.

Dans cet optique , EN SIDER cherche à rentabiliser les Chlorosulfates ferriques, sous produit des procédés industriels utilisées à El Hadjar¹ , en lui trouvant un débouché commercial.

Aussi devant l'absence momentané ,mais néanmoins répété de Chlorure Ferrique sur le marché ,l'entreprise EPEAL gérante de la station d'épuration de BARAKI s'est intéressée à trouver un substitut pour le Chlorure ferrique, un produit de suppléance qui soit disponible localement et à un prix de revient raisonnable.

Ainsi ,nous avons été amené à étudier l'efficacité des ChloroSulfates ferriques comme agent de conditionnement des boues .

La littérature a fourni peu de références sur l'utilisation des Chlorosulfates ferriques comme conditionneur, DÉGRÉMONT en a mentionné l'existence, mais rien sur la fourchette de la dose à administrer.

Pour nos essais, pour des raisons d'intérêt économique, nous utiliserons pour les CSF + Cao pratiquement les mêmes gammes appliquées au couple $FeCl_3 + CaO$, à savoir 2-7 % MS et 16 - 24 % MS en $FeSO_4 \cdot Cl$ et en CaO respectivement.

¹Principale Aciérie En Algérie

8.1. PRÉSENTATION DES RÉACTIFS

- Chaux commerciale
- Chlorosulfate-ferrique

Chaux commerciale :

La chaux commerciale utilisée conjointement avec les C.S.F. se présente sous forme de poudre à une teneur de 42 % en CaO. Elle est utilisée sous forme de lait de chaux à une concentration de 100 g/l

Chlorosulfate-ferrique:

Les analyses effectuées sur le sous produit de Sider El Hadjar ont montré que sa teneur en Chlorosulfate-ferrique (C.S.F.) est de 31 %, il se présente sous forme liquide .

8.2. ÉTABLISSEMENT DES DOSES EN RÉACTIFS

Les doses de réactifs sont déterminées suivant les caractéristiques commerciales des réactifs: pureté ; concentrations des solutions secondaires et de la capacité de l'appareillage et aussi les doses sont exprimées en pourcentage pondéral des matières sèches.

Pour des raisons de commodité et de facilité , les formules suivantes ont été déterminées pour simplifier les calculs des dosages ;

$$V_B + V_S + V_C = 0.2 \text{ litres}$$

$$V_S = C_B V_B \frac{T_s}{t_s \cdot f_s}$$

$$V_C = C_B V_B \frac{T_C \cdot M_{Ca(OH)_2}}{M_{CaO} \cdot t_{CaO} \cdot C_C}$$

Où :

- C_B = Concentration en matières sèches (G/L)
- V_B = Volume de la boue brute [Litre]
- T_s = Taux en chlorosulfate-ferrique [g/g] de MS
- t_s = Taux de pureté de chlorosulfate-ferrique
- V_s = Volume de chlorosulfate [litre]
- f_s = Masse volumique de chlorosulfate-ferrique [Litre]
- T_C = Taux de CaO
- V_C = Volume de chaux [litre]
- M_{CaO} = Masse moléculaire de la chaux vive (g/l)
- $M_{Ca(OH)_2}$ = Masse moléculaire de la chaux hydratée (g/l)
- C_C = Concentration en lait de chaux (g/l)

Le volume total des échantillons est maintenu constant et égal à 0.2 litres

8.3. PLAN EXPERIMENTAL

Le même plan expérimental suivi pour les essais sur le chlorure ferrique+chaux a été reconduit pour le conditionnement en chlorosulfates ferrique + chaux.

8.4. LES RESULTATS

Les résultats obtenus au cours de nos essais de laboratoire avec le traitement Chlorosulfate-ferrique & Chaux sont résumés dans le tableau 8.1

Pour la détermination des pentes b à partir des courbes $t/v = f(v)$ et les détails de calcul se rapporter à l'annexe 1 .

Tableau N 8.1 : évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en chlorosulfate-ferrique à différents taux de Chaux ($r.10^{12}$)

| Taux en C.S.F. [%] de MS | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T ₀ 16 % MS | 0.973 | 0.517 | 0.450 | 0.360 | 0.410 | 0.440 |
| T ₀ 18 % MS | 1.080 | 0.517 | 0.440 | 0.326 | 0.282 | 0.340 |
| T ₀ 20 % MS | 1.550 | 0.263 | 0.474 | 0.197 | 0.215 | 0.330 |
| T ₀ 22 % MS | 1.375 | 0.450 | 0.465 | 0.260 | 0.365 | 0.312 |
| T ₀ 24 % MS | 1.480 | 0.490 | 0.414 | 0.435 | 0.340 | 0.308 |

Commentaires

Le tracé des courbes de la variation de la résistance spécifique à la filtration en fonction des en chlorosulfates nous a permis de procéder à certaines constatations dont ;

On retrouve globalement la même allure des courbes concernant le conditionnement en chlorure ferrique , en effet une augmentation de la dose en C.S.F. une diminution de la résistance spécifique à la filtration est visible.

La diminution de la RSF est nettement accentuée dans la première partie de la courbe jusqu'à un minima appelé " point critique " où la filtrabilité des boues y est au optimum . Au delà de ce point ,on constate que la RSF tend à augmenter légèrement et la filtrabilité devient moins bonne

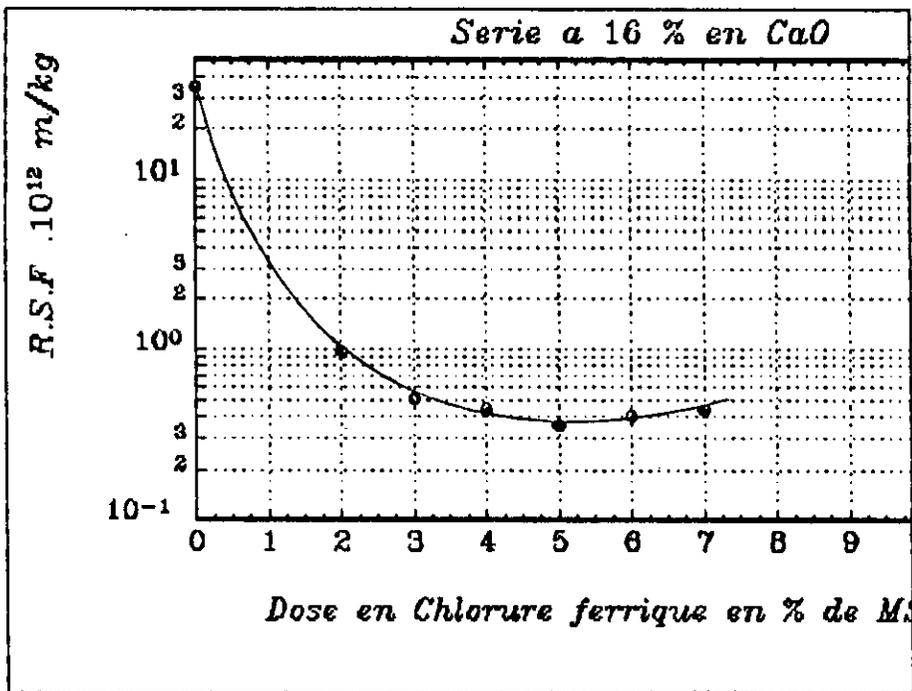


Figure 8.1 : Evolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en $FeSO_4Cl$ à un taux 16 % MS en CaO

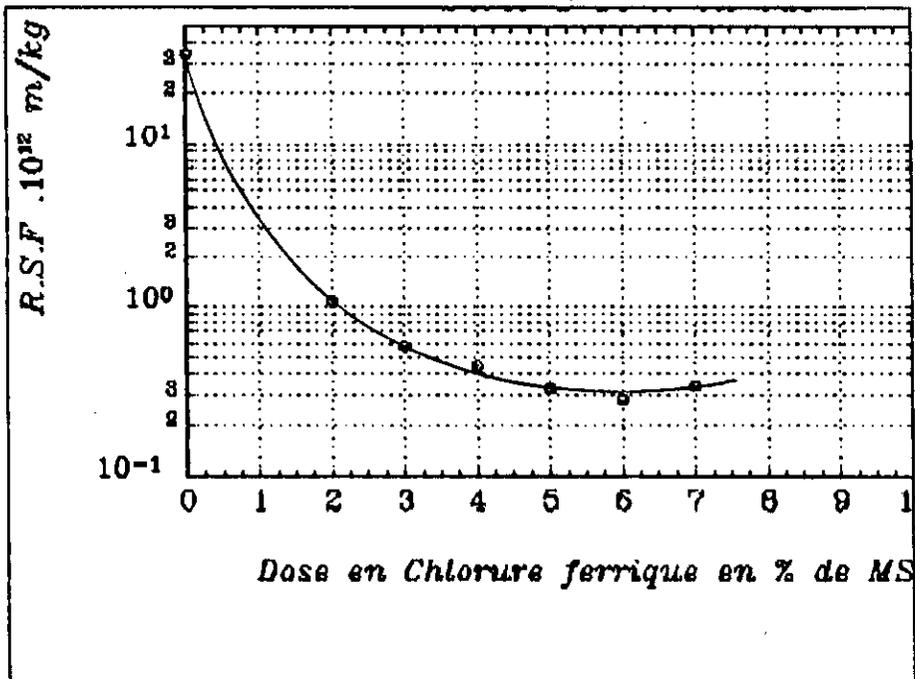


Figure 8.2 : Evolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en $FeSO_4Cl$ à taux de 18 % MS en CaO

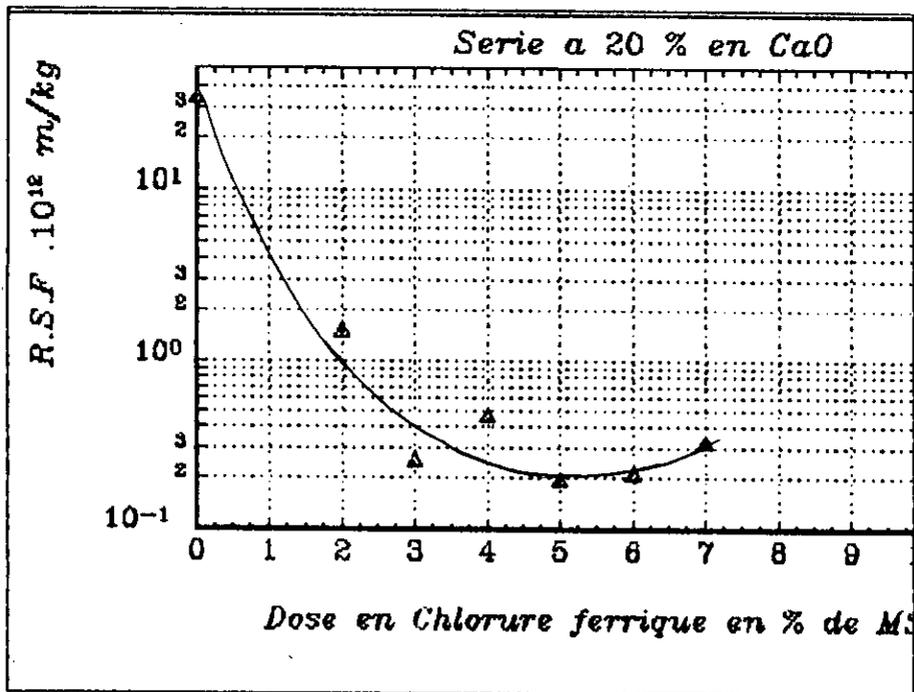


Figure 8.3 : Evolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en $FeSO_4Cl$ à un taux de 20 % MS en CaO

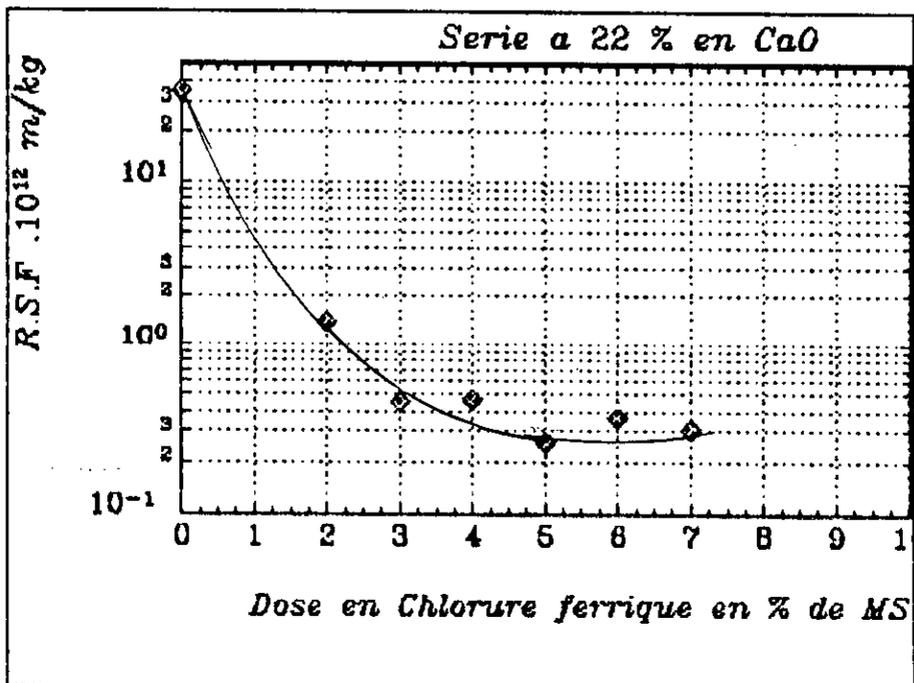


Figure 8.4 : Evolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en $FeSO_4Cl$ à un taux de 22 % en CaO

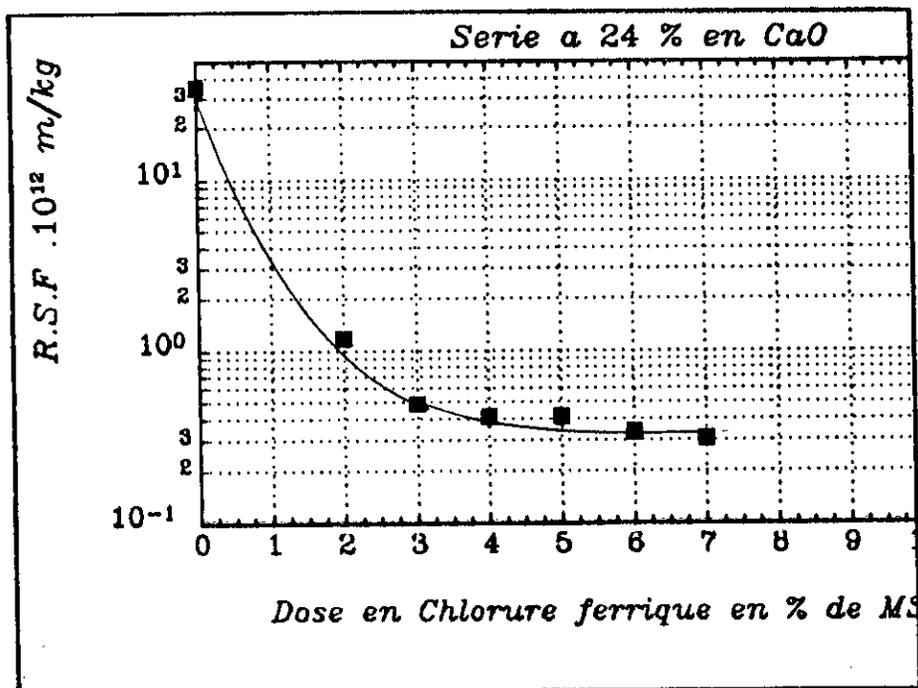


Figure 8.5 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en $FeSO_4Cl$ à 24 % MS en CaO

L'excès du coagulant est défavorable à la floculabilité des boues ce qui est due à la dispersion des particules , par suite , des répulsions électrostatiques des particules, maintenant, chargées positivement .

Les minima de chaque courbe sont relevées dans le tableau suivant :

Tableau : 8.2 Les optimums de floculabilité des différentes courbes de filtrabilité des conditionneurs chlorosulfate-ferrique et chaux

| Taux de chaux % MS | Taux de Chlorosulfate-ferrique % MS | $R_{s.f.} \cdot 10^{12}$ m/kg |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 16 | 5 | 0.36 |
| 18 | 6 | 0.28 |
| 20 | 5 | 0.19 |
| 22 | 5 | 0.26 |
| 24 | 7 | 0.30 |

Ces résultats démontrent que pour avoir une bonne filtrabilité de cette boue à caractère hydrophile, il suffit de respecter une dose bien définie et à déterminer.

Un conditionnement de 3 - 4 % de MS en chlorosulfates et 20 % en chaux permet déjà une bonne floculation de la suspension, cependant à 4-5 % de MS en CSF et 20 % de MS en CaO, une floculabilité meilleure et même excellente est observée

8.5. DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITÉ

La détermination du coefficient de compressibilité du gâteau de filtration se fixe pour but l'évaluation quantitative de l'effet de la compression sur les boues.

L'expérience montre que la variation de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la pression appliquée suit généralement une loi empirique

$$r = r_0(P)^s$$

dans laquelle :

r : est la résistance spécifique à la filtration mesurée sous la pression *P*

s : est une constante appelée coefficient de compressibilité ;

*r*₀ : résistance spécifique à la filtration sous une pression de 0.5 bars

Principe

Mesure de la RSF *r* sous plusieurs pressions et port du $\ln r = f(\ln P)$, on mesure sa pente qui est égale à *s*.

Tableau 8.3 : Tableau des essais pour la détermination du coefficient de compressibilité.

| P (bars) | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| $r \cdot 10^{-11}$ [m/kg] | 3.94 | 4.04 | 4.18 | 4.99 |

d'où :

$$r_0 = 3.23 \cdot 10^{11} \text{ m/kg}$$

$$s = 0.32$$

Commentaires:

La valeur de la résistance spécifique à la filtration augmente avec la pression appliquée, par suite d'une diminution de la porosité du gâteau consécutive à un tassement ou une déformation des particules solides, sous l'effet de la compression.

La valeur de la compressibilité s de nos boues mesurée ($s = 0.32$) indique que le matériau constitué de boues et de conditionneurs (CSF + CaO) est de faible compressibilité ($s < 0.5$), de satisfaisante cohésion, d'une bonne résistance mécanique à l'écrasement et que se filtre bien.

CHAPITRE NEUF

CONDITIONNEMENT AUX POLYÉLECTROLYTES

Les polyélectrolytes se trouvent actuellement en grand nombre sur le marché mondial. Parmi les plus répandus on peut citer:

Prosedium, Sedipur, Praestol, Magnafloc , Drew floc , Super floc etc...

Dans cette partie , nous allons comparer l'action de quelques uns de ces produits sur la boue de BARAKI , le choix est porté sur les suivants:

- Superfloc ;Sc 581 (Polyamine) 50 % cationique

PM = $2 \cdot 10^{12}$ à 10^{13}

- Sedipur NF 102
- Sedipur AF 400
- Floerger 85 % cationique
- Floerger 95 % cationique

Il s'agit donc de déterminer le produit le plus adapté à ces boues :

Ces produits se présentent sous forme de poudre ou de sirop visqueux, leur utilisation nécessite une dilution très importante avant leur injection. La concentration satisfaisante de la solution mère est comprise entre 0.3 et 1 %.

9.1. Dissolution des polyélectrolytes

Lors de la dissolution des polyélectrolytes, au cas où le délayage serait trop rapide et qu'il se formerait des grumeaux ,il serait préférable de jeter l'échantillon et de recommencer l'opération, sinon la dissolution exigerait trop de temps.

Notre modeste expérience de la manipulation des polyélectrolytes nous a permis d'éviter ce genre d'inconvénients, il suffit lors de l'addition des polymères de juste de saupoudrer le réactif et si nécessaire de chauffer légèrement l'eau de dilution

Dans tout les cas ,une solution d'une telle teneur ne devrait pas être conservée plus d'une semaine pour certains au laboratoire.

9.2. Préparation de la boue conditionnée

On homogénéise l'échantillon de boue par utilisation d'un agitateur magnétique à 250 tours /mn , après une minute on réduit la vitesse d'agitation à 60 tours/mn et puis on ajoute à ce moment la dose de flocculant , cette phase est suivie d'une période d'agitation douce d'environ 5mn à 20 tours /mn .

9.3. Résultats expérimentaux:

Les résultats obtenus sont rapportés par le tableau suivant (Tableau :9.1):

Tableau 9.1 : évolution de la résistance à la filtration à la filtration en fonction de la dose en polymères.

| Polyélectrolytes | Doses (mg/g de MS) | $R_{fils} \cdot 10^{-2}$ |
|-------------------------------------|--|--------------------------|
| Superfloc Sc 581 50 % cationique | 5 | 23.996 |
| | 8 | 12.325 |
| | 10 | 8.950 |
| | 20 | 3.906 |
| | 30 | 4.689 |
| | 40 | 2.460 |
| | 50 | 2.530 |
| Sedipur NF 102 Sedipur AF 400 | Aucune action de flocculante de ces produits | - - |
| Floerger 95 % Cationique | 4 | 4.746 |
| | 5 | 2.480 |
| | 8 | 1.760 |
| | 10 | 1.483 |
| | 14 | 2.120 |
| Floerger 85 % Cationique | 5 | 4.290 |
| | 8 | 2.760 |
| | 10 | 1.160 |
| | 15 | 1.250 |

COMMENTAIRES

Le tracé des courbes de l'évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction des doses en polyélectrolytes établies, nous a amené à faire ces constatations suivantes :

- Plus la dose en polyélectrolytes est grande, plus la résistance spécifique r s'amointrit jusqu'à atteindre un palier de saturation.

- Entre 2 et 8 mg/g de MS, le floerger 85% cationique offre une meilleure filtrabilité que le Floerger 85 % cationique .

L'allure des courbes s'expliquent par les phénomènes physico-chimiques suivants:

Au fur et à mesure qu'on on augmente la dose en polyélectrolytes le nombre de chaînes macromoléculaires augmente , celles ci s'adsorbent de plus en plus aux colloïdes en formant des ponts "physiques".

Cependant, si le nombre de segments étales augmente ,la surface libre des particules sur laquelle ils se fixent , diminue.

L'obtention d'un palier de saturation est donc liée au fait que l'augmentation de la fraction recouverte de la surface, entraîne une diminution des chances d'adsorption.

Les Résultats les plus significatifs sont obtenus avec les additifs macromoléculaires cationiques , qui sont les seuls à avoir une action sur l'ensemble des particules.

L'emploi de ces produits nous a conduit à relier l'efficacité de leur action floculante à leur degré d'ionicté.

Tableau 9.2 : évolution de l'efficacité de la floculation des polyélectrolytes en fonction de leur degré d'ionicté.

| Produits | Doses optimales | $F_{0.5} \cdot 10^{12}$ |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Superfloc Sc 581 50 % cationique | 35 | 2.200 |
| Floerger 85 % cationique | 12 | 1.100 |
| Floerger 85 % cationique | 10 | 1.480 |

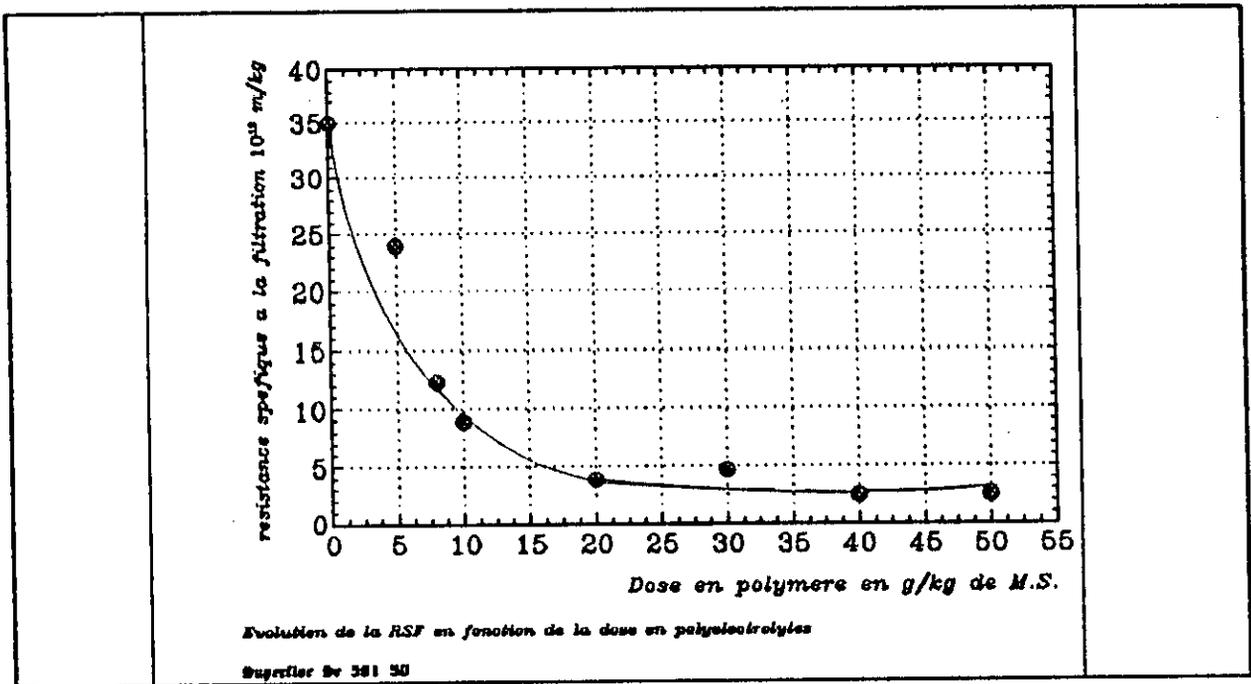


Figure 9.1 : Variation de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en polymère Sc 581

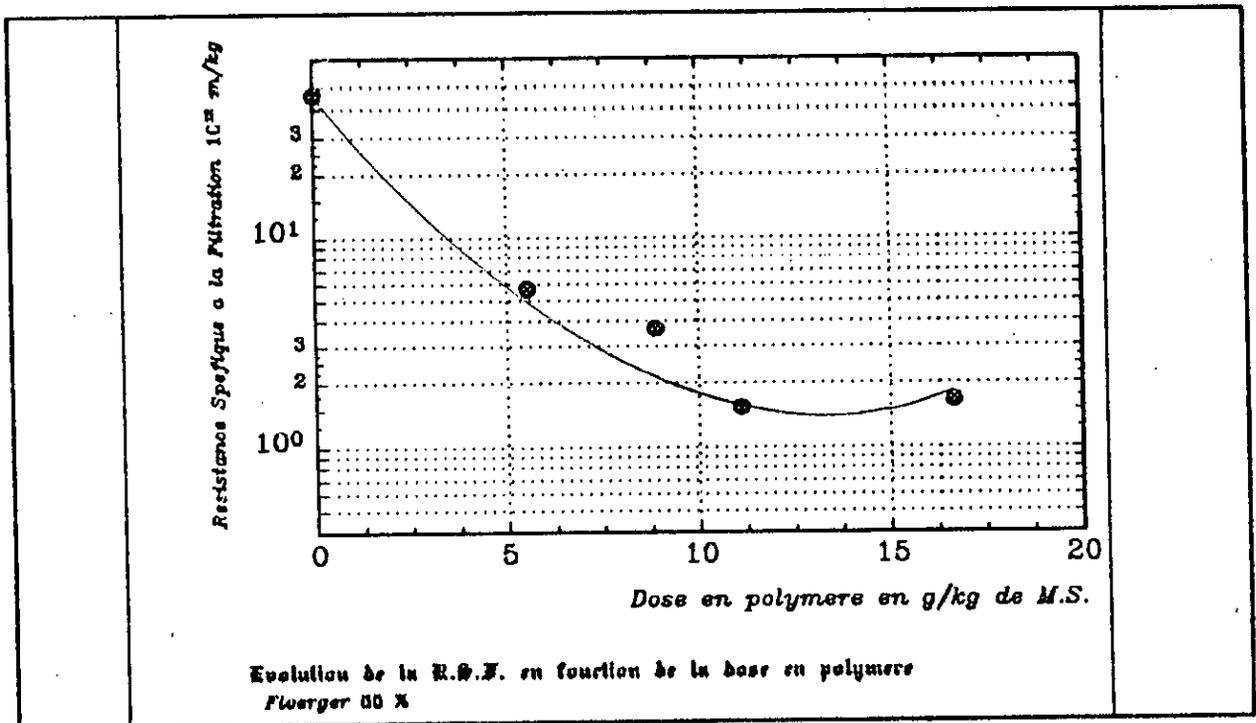


Figure 9.2 évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en polymère Floerger 85% cationique.

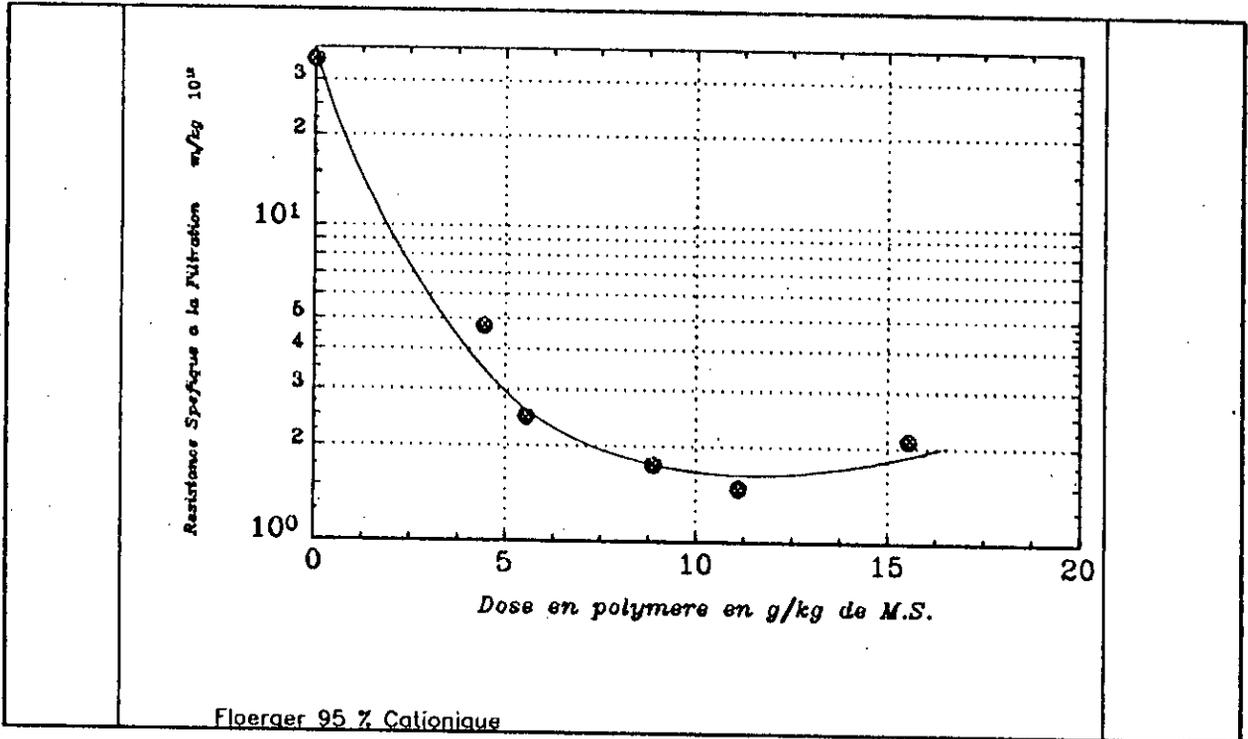


Figure 9.3. évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en polymère Floerger 95 % cationique

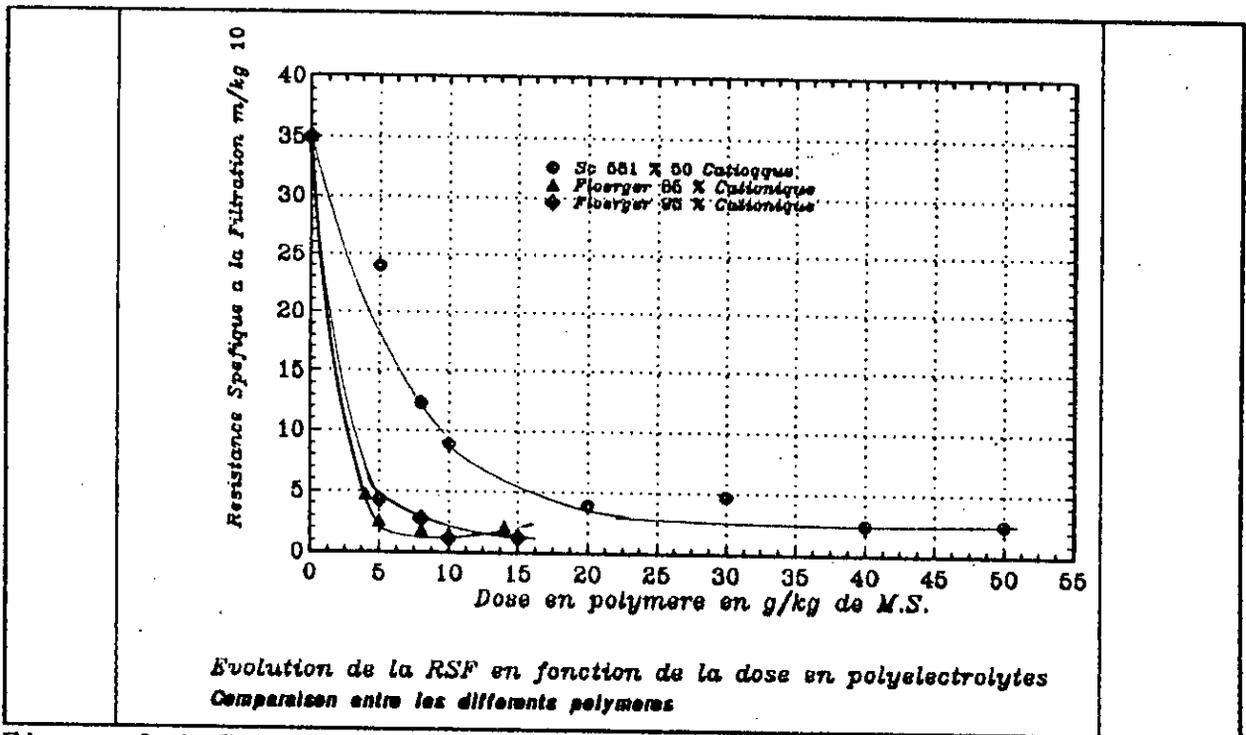


Figure 9.4 Comparaison des Résistance spécifique à la filtration des boues en présence des différents polymères cationiques

Les résistances spécifiques correspondantes aux doses optimales sont à près du même ordre de grandeur, seulement il a fallu une dose de SC 581 50 % cationique trois fois plus grande que celle obtenue par les deux Floerger; parmi ces deux derniers la plus basse est donnée par le Floerger 85 % cationique.

Il existe donc un optimum de degré ou de pourcentage d'ionicté permettant une extension suffisante de la chaîne macromoléculaire et ne gênant pas trop l'adsorption .

En effet , celle-ci se trouvera contrariée si le pourcentage d'ionicté du polyélectrolytes est trop élevé .

Muni des résultats obtenus cités précédemment , on a procédé à une autre série d'essais portant sur d'autres polyélectrolytes cationiques afin de voir la virtualité de diminuer la dose requise de coagulant en obtenant des résistances spécifiques minimales ou du moins semblables à celles acquises avec les Floerger 85 % et 95 %

Notre choix s'est porté sur la famille des coagulants cationiques de BASF étant donné la proche similitude avec les Floerger

Les résultats obtenues sont résumés dans les tableaux suivants (Tabl: 9.3; 9.4).

Tableau 9.3 : évolution de la floculabilité de la boue en fonction de la dose en polyélectrolyte CF 802

| Dose en C 802 en mg/g de MS | 0.00 | 2.00 | 3.50 | 5.00 | 10 | 15 | 20 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| R.S.F. 10^{12} m/kg | 35 | 2.05 | 1.30 | 1.17 | 1.20 | 1.29 | 1.45 |

Tableau 9.4 évolution de la flocculabilité de la boue en fonction de la dose en polyélectrolyte

| Dose en CL920 en mg/g de MS | 0.00 | 3 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| R.S.F. $\cdot 10^{12}$ m/kg | 35 | 4.32 | 2.96 | 2.43 | 2.09 | 2.30 | 2.46 |

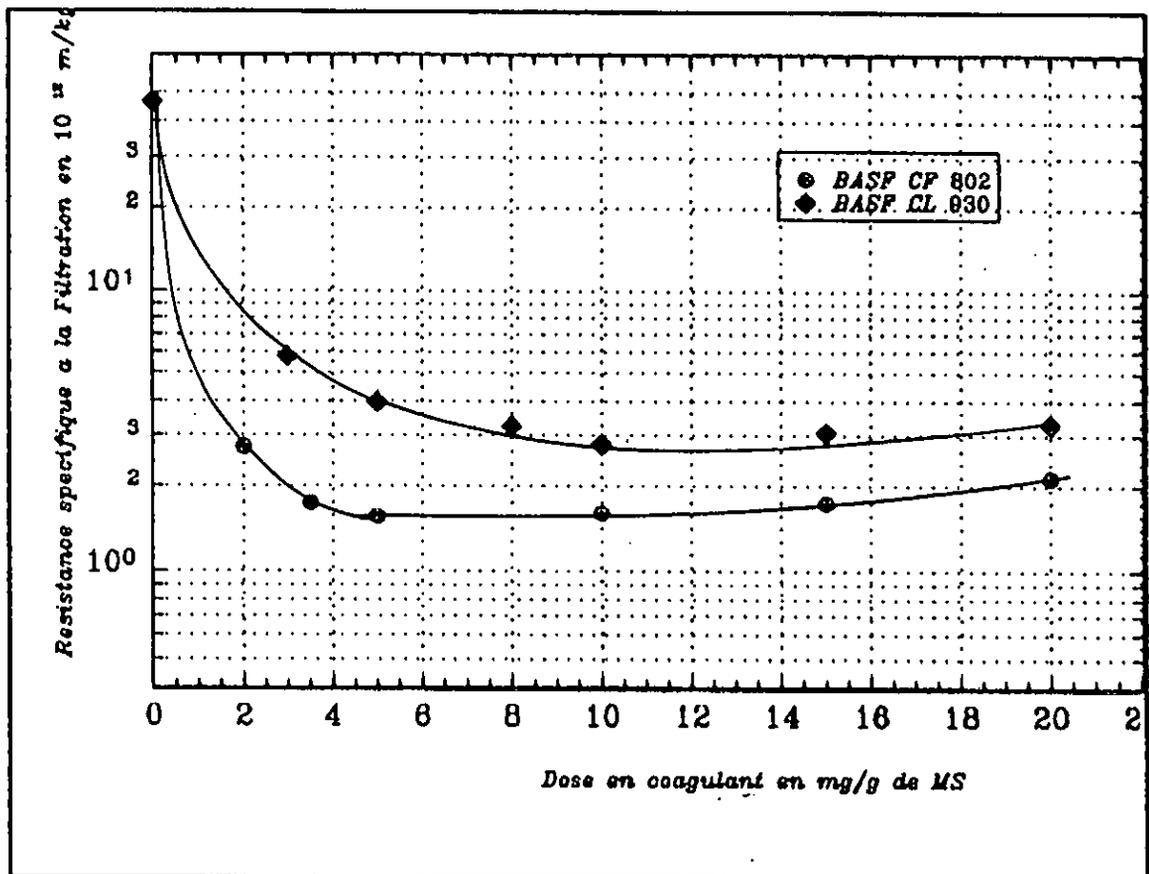


Figure 9.5 : évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose en polyélectrolyte

La figure 9.5 montre qu'une bonne courbe de flocculabilité est obtenue par le BASF 802, en effet les valeurs de la R.S.F. recueillies annoncent une nette diminution de la dose requise, pour une déshydratation adéquate de la boue de BARAKI. Ainsi, dès une dose de 2 mg/g MS en polymère, on peut aspirer, d'ors et déjà, à une bonne agrégation de la boue en suspension examinée.

C'est le polymère qu'on recommande et qui est retenu pour la suite de études.

Toutefois une excellente floculation est concrétisée dans la gamme de 4-5 mg/g MS ,ce qui donne une nette amélioration par rapport aux Floerger, un gain de 50 % en coagulant est réalisé.

Concernant le BASF 902 . il offre des résultats assez similaires que ceux concernat le BASF C 802 mais , en moindre performance .

CHAPITRE DIX:

ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION TECHNICO-ÉCONOMIQUES

Après avoir examiné l'efficacité des conditionneurs en usage à la station de BARAKI ainsi que les réactifs éventuels de substitution à savoir le chlorure ferrique et les ChloroSulfates Ferriques combiné à la chaux et le polyélectrolyte BASF C802 respectivement, nous avons étudié, dans cette présente partie, l'implication financière de chacune de ces options avec l'option déjà existante:

Les calculs ont été établis pour les valeurs optimums de chaque cas étudié. Étant donné que les installations sont déjà existantes, la comparaison se limitera essentiellement donc aux prix de revient des produits et les frais de transports occasionnés par la mise en décharge des boues traitées.

10.1. HYPOTHESES DE CALCUL :

- * Concentration de la boue épaissie $C_b = 60$ g/l
- * Volume de boue épaissie à traiter par semaine $V_b = 5500$ M³
- * Poids de boue à traiter hebdomadairement ;
 $P = V_b \cdot C_b = 5500 \times 60$ (M³ x KG/M³) = 300,000 kg /semaine.
- * Capacité de filtre presse : 31 M³
- * Capacité de transport d'un camion (par rotation): 7 tonnes .
- * Gain de siccité dû à la phase de séchage et aussi en tenant compte de la différence de pression exercée dans le filtre presse par rapport au laboratoire : 45 % en siccité (Valeur généralement constatée).
- * CaO : Chaux hydratée à 48 % de pureté utilisée sous forme de lait de chaux à 150 g/l

10.2. CALCUL DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES NÉCESSAIRES A L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE¹

10.2.1. 1er. cas. : FeCl₃ + CaO

10.2.1.1 Spécificités des produits chimiques :

* FeCl₃ : Solution commerciale à 41 % en teneur

* CaO : utilisé sous forme de chaux hydratée à 48 % de pureté .*

Doses de conditionnement : 5 % pour FeCl₃ et 18 % MS pour la Chaux qui correspondent respectivement à 134,1 g/kg et 428,6 g/kg de MS en solutions commerciales de ces réactifs.

10.2.1.2 Calcul du poids de la boue aux différentes étapes de traitements;

* à l'entrée du filtre presse

Masse du gâteau sec:

$$\begin{aligned} G.S &= \text{Masse de la boue brute} + \text{Masse de Ca(OH)}_2 + \text{Masse de FeCl}_3 \\ &= 330.000 \times (1 + 0.4286 + 0.1219) = \underline{511.665} \text{ [KG]} \end{aligned}$$

* à la sortie du filtre presse Taux d'humidité à la sortie du filtre presse HU₁ = 73%

Masse du gâteau humide : GH₁

$$GH_1 = GS \cdot 100 / (100 - HU_1) = 511.665 \times 100 / (100 - 73) = 1.895.056 \text{ [KG]}$$

* à la sortie du sécheur

Taux d'humidité de la boue à la sortie du sécheur

$$HU_2 = 73 - 45 = 28 \%$$

masse de la boue à la sortie du sécheur GH₂

$$GH_2 = GS \cdot 100 / (100 - HU_2) = 511.665 \times 100 / (100 - 28) = \underline{710.646} \text{ [KG]}$$

10.2.1.3. Calcul du volume entrant dans le filtre presse

volume de chlorure ferrique :

$$V_F = 330.000 \times (0.1219) \text{ [Kg]} / 1.44 \cdot 10^{-3} \text{ [KG/M}^3] = \underline{27.935} \text{ [M}^3]$$

volume de chaux :

$$V_{Ca(OH)_2} = 330.000 \times 0.4286 \text{ [KG]} / 150 \text{ [G/L]} = 942.92 \text{ M}^3$$

¹ tout les paramètres ont été calculés pour une semaine

² Les prix sont arrêtés au 31 DÉCEMBRE 1991

10.2.2..2ème.cas.:.FeSO₄Cl.+CaO

10.2.2.1.Spécificités des produits chimiques :

- * FeSO₄Cl : sous forme de solution commerciale à 31 % en teneur.
- * CaO : utilisé sou forme de chaux hydratée à 48 % de pureté .
Doses de conditionnement : 5 % et 20 % MS qui correspondent à 161.3 g/kg MS et 476.2 g/kg MS de Chlorure ferrique et Chaux hydratée respectivement

10.2.2.2. Calcul du poids de la boue aux différentes étapes de traitements; à l'entrée du filtre presse

$$\begin{aligned} * \text{ masse de la boue G.S.} &= 330,000 \times (1 + 0.4762 + 0.1613) \\ &= 540.375 \text{ [KG]} \end{aligned}$$

* à la sortie du filtre presse

Taux d'humidité à la sortie du filtre presse $H_1 = 68 \%$

Masse du gâteau humide G_1

$$GEL_1 = GS \cdot 100 / (100 - H_{U1}) = 540.375 \times 100 / (100 - 68) = 1,688.672 \text{ [KG]}$$

* à la sortie du sécheur

Taux d'humidité de la boue à la sortie du sécheur

$$H_{UE2} = 68 - 45 = 23 \%$$

masse de la boue à la sortie du sécheur GEL_2

$$GEL_2 = GS \cdot 100 / (100 - H_{UE2}) = 540.375 \times 100 / (100 - 23) = 740.234 \text{ [KG]}$$

10.2.2.3. Calcul du volume entrant dans le filtre presse

volume de C.S.F.

$$V_F = 330.000 \times (0.1613) \text{ [Kg]} / \rho \cdot 10^{-3} \text{ [KG/M}^3\text{]} = 65.32 \text{ [M}^3\text{]}$$

volume de chaux :

$$V_{Ca(OH)_2} = 330.000 \times 0.4762 \text{ [KG]} / 150 \text{ [G/L]} = 1047.64 \text{ [M}^3\text{]}$$

10.2.3 3ème cas : polyélectrolyte BASF CL 802

10.2.3.1.Spécificités des produits chimiques :

Polymère sous forme de solution dilué à 1 % en teneur.

Dose de conditionnement : 4 G/KG MS correspondant à 0.040 L/KG de MS.

2.3.2 Calcul du poids de la boue aux différentes étapes de traitements;

* à l'entrée du filtre presse

$$* \text{ masse de la boue G.S.} = 330,000 \times (1 + 0.004) = 331320 \text{ [KG]}$$

* à la sortie du filtre presse

Taux d'humidité à la sortie du filtre presse $HUE_1 = 71 \%$

Masse du gâteau humide $GELH_1$

$$GEL_1 = GS \cdot 100 / (100 - HU_1) = 331320 \times 100 / (100 - 71) = \underline{1,142483 \text{ [KG]}}$$

* à la sortie du sécheur

Taux d'humidité de la boue à la sortie du sécheur

$$HU_2 = 71 - 45 = 28 \%$$

masse de la boue à la sortie du sécheur GH_2

$$GH_2 = GS \cdot 100 / (100 - HU_2) = 331320 \times 100 / (100 - 23) = \underline{430,286 \text{ [KG]}}$$

2.3.2. Calcul du volume entrant dans le filtre presse

volume de polymère

$$V_p = 330.000 \times (0.004) \text{ [Kg]} / 0.01 \% \approx 132 \text{ [M}^3\text{]}$$

3. PRIX DES RÉACTIFS ESTIMÉS POUR UNE TONNE DE M.S.

- * Le chlorure ferrique par tonne de matière sèche : 225 DA/tonne
- * la chaux par tonne de matière sèche ;
 - a. pour le traitement $CaO + FeCl_3$: 237 DA/Tonne de MS
 - b. Pour le traitement $CaO + C.S.F.$: 264 Da/Tonne de MS
- * ChloroSulfate ferrique : 187 Da/Tonne de MS
- * BASF 65 DA / tonne de M.S.

4. FRAIS DE TRANSPORT :

Le prix d'une rotation d'un camion benne de capacité de 7 Tonnes est de 500.00 DA

5. COMPARAISON

A partir des données ci dessus , nous donnons un tableau comparatif évaluant le coût de revient de chaque une de ces options :

- a. $CaO + FeCl_3$
- b. $CaO + C.S.F.$
- c. Polymère BASF CL 802

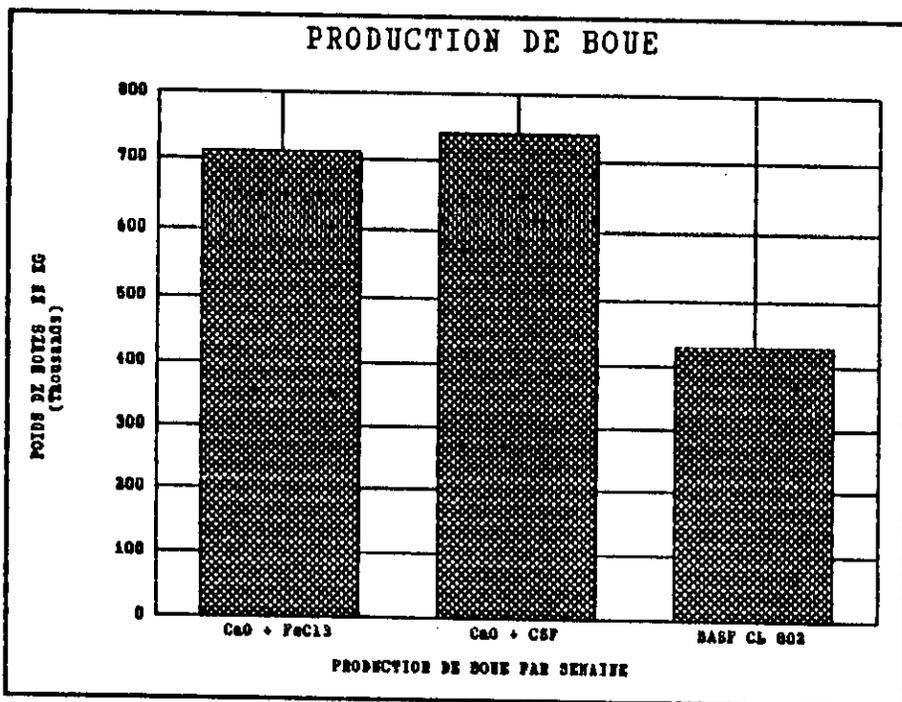


Figure 10.1 : Comparaison des quantités de boue produites chaque semaine selon le type de conditionnement opté.

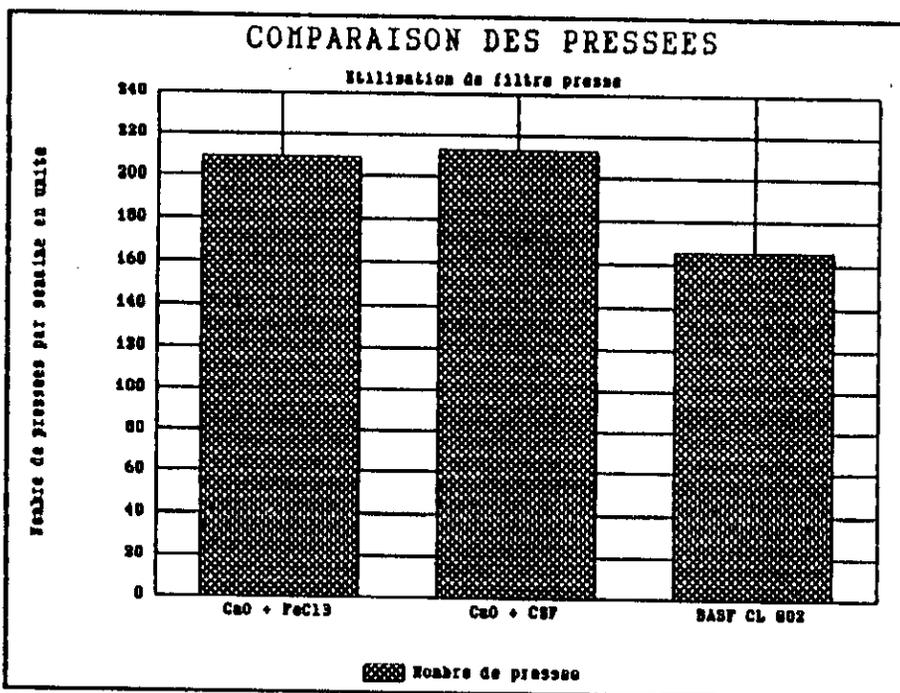


Figure 10.4 Comparaison des pressées de requises pour chaque type de conditionnement opté.

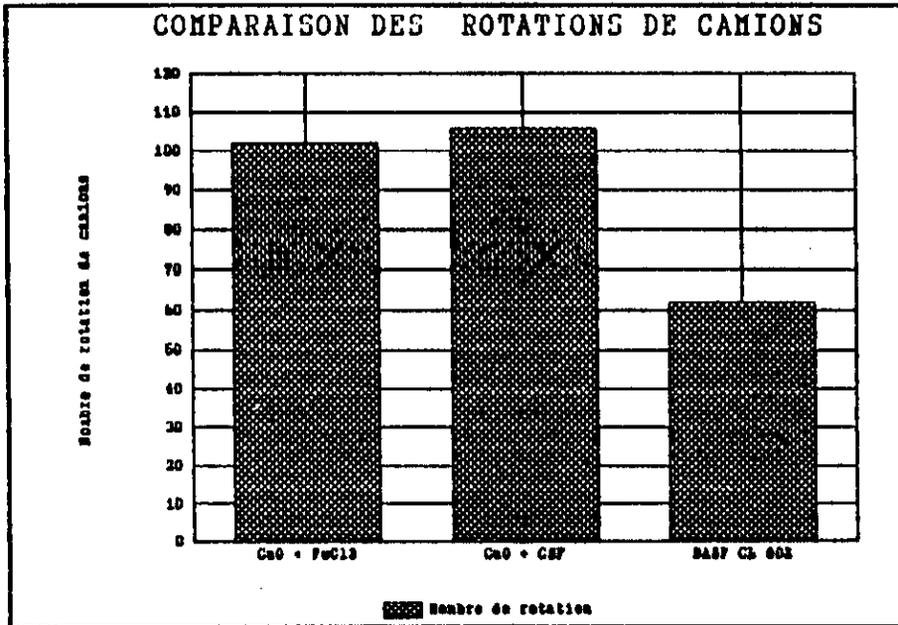


Figure 10 .3 : Comparaison de nombre de rotation de camions requises pour chaque option optée

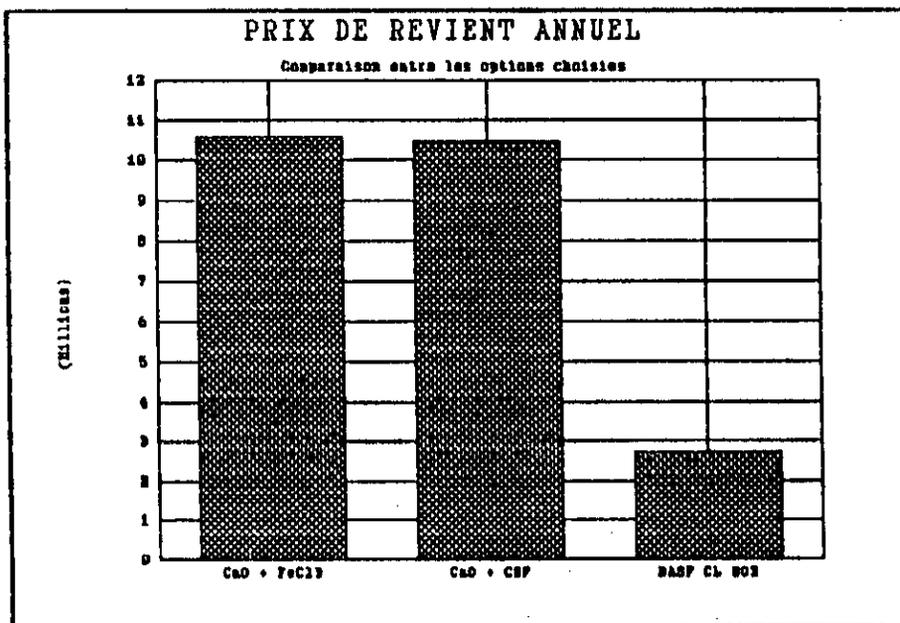


Figure 10.4 : comparaison de prix de revient annuel des options choisies.

TABLEAU COMPARATIF

TABLAU 10.1 : Tableau Comparatif et récapitulatif de différents options choisies pour le conditionnement des boues de BARAKI

| REACTIFS UTILISES | 1ere. OPTION CaO + FeCl ₃ | 2eme. OPTION CaO + C.S.F. | 3eme. OPTION POLYMER CPBO2 |
|--|---|-------------------------------------|----------------------------------|
| Volume des réactifs M ³ | FeCl ₃ : 27,93 CaO : 942,92 | C.S.F: 65,32 CaO :1047,64 | 132 |
| Prix de revient des réactifs par semaine | FeCl ₃ :74.250 CaO :78.210 | C.S.F: 61.050 CaO : 87.120 | 21.470 |
| Masse de la boue à traiter /semaine. EN KG | 300.000 | 330.000 | 330.000 |
| Volume de boue à conditionner par semaine M ³ | 64.735 | 66.129 | 5.132 |
| Nombre de pressées par semaine | 209 | 213 | 166 |
| Poids de gâteau humide avant décharge [kg] | 710.646 | 740.234 | 430.286 |
| Nombre de rotations de camion par semaine | 102 | 106 | 62 |
| Prix de revient de transport /semaine | 51.000 | 53.000 | 31.000 |
| Prix total de revient de traitement de la boue en D.A. | 203.460 | 201.170 | 52.470 |
| Prix de revient total de traitement des boues/ année en D.A. | 10.579.920 | 10.460.840 | 2.728.440 |

REMARQUES

A) Stockage des réactifs

Le volume nécessaire des sels minéraux est de loin supérieur à celui des polyélectrolytes . Les silos de ces dernier présente l'un des avantages liés à l'emploi de ce type de coagulants , en effet leur faible volume de réacteur et de cuves et, ou de silos (pour ;a chaux) , procure des avantages financiers certains.

A prendre à considération lors de la conception de nouvelle STEP.

B) Nombre de pressée

Le nombre de pressée est réduit de 45-49 unités , en utilisant le conditionnement par poleléctrolytes par rapport aux sels minéraux ; Ce qui correspond à un gain de de temps de 90 heures par semaine et surtout de 25 % en capacité par rapport à la capacité initiale .

Le Conditionnement en polymères rentabilise d'une manière significative le filtre presse .

C) Transport

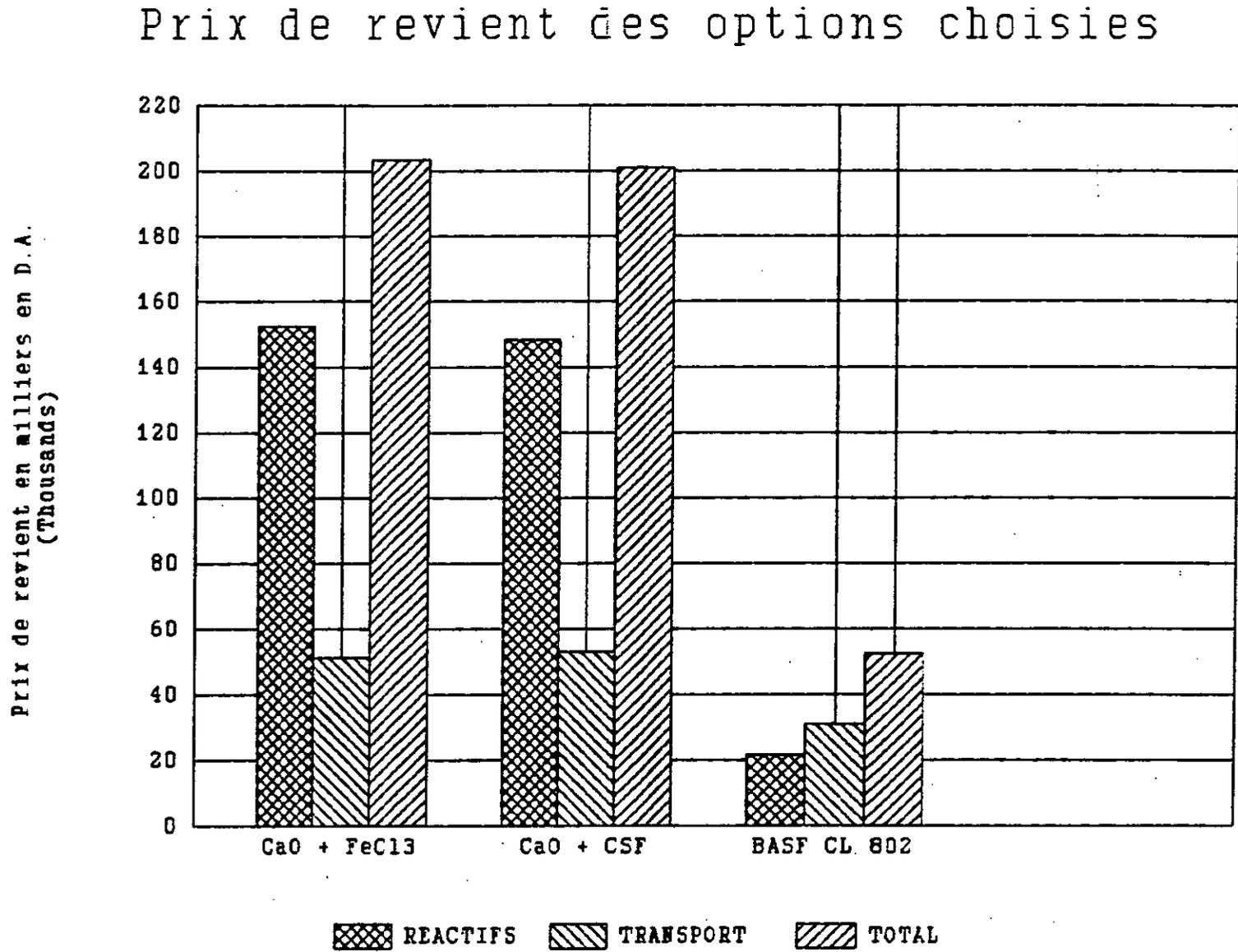
Le nombre de rotations de camions nécessaire à la manutention est réduit d'environ ~ 40 % quand on utilise les polyélectrolytes, d'ou un gain très sensible en camions et en main d'oeuvre.

D) Coût de revient :

On remarque tout d'abord que l'utilisation des Chlorosulfates n'afflige aucun frais supplémentaire pour son utilisation , au contraire , on peut espérer un léger bénéfice , ce dernier peut être augmenté on abaissant les doses administrées en CSF sans que celà porte préjudice à là bonne tenue du procédé de déshydratation.

Cependant le principal bilan à noter est le coût de revient annuel . très réduit des polymères comparativement aux sels minéraux où un gain de 75 % en Coût est constaté.

FIGURE 10.5 : COMPARAISON ENTRE LES PRIX DE REVIENT DE CHAQUE MODE DE CONDITIONNEMENT TESTÉ



CHAPITRE ONZE

Valorisation des boues résiduelles de la station d'épuration des eaux usées de la station de BARAKI

11.1. LA PROBLÉMATIQUE

Le deuxième volet de notre étude consiste en l'étude de la possibilité de valoriser les boues conditionnées issues de la station d'épuration de BARAKI, comme amendement agricole.

Depuis quelques années, l'évolution de facteurs économiques tels que le prix des matières premières, associée au soucis de préserver l'environnement, ont fait prendre conscience de la nécessité d'une meilleure gestion de nos ressources valorisables.

C'est dans ce contexte que s'est développée l'utilisation, à des fins agricoles, des boues de stations d'épuration, lesquelles présentent une valeur fertilisante attractive pour l'agriculture comme source de matières organiques et d'éléments fertilisants⁽¹³⁾.

Cependant, cette dernière utilisation n'est pas encore bien acceptée par les agriculteurs et ce pour des raisons diverses avancées, entre autres, la non consistance de la composition du produit, la non adaptabilité aux différents type au sol⁽¹⁴⁾.

En outre, leur épandage doit toutefois n'être effectué qu'avec discernement pour plusieurs raisons:

- Le lancement d'un produit nouveau auprès d'utilisateurs à juste titre méfiants, ne tolère pas de contre-références.

- L'usage d'un amendement organique en agriculture doit engendrer une bonne fertilité immédiate et assurer une amélioration durable des qualités du sol, tout en évitant les risques de pollution du milieu naturel^(25,26).

Ces différentes exigences impliquent une connaissance suffisante des caractéristiques des boues, de leur devenir dans le sol et de leur effet sur les plantes^(27,28).

Nous nous proposons donc, dans cette partie, l'étude de l'évaluation de la composition des boues de la station de traitement des eaux usées de Baraki, elle nécessite pour cela des analyses physico-chimiques pour déterminer qualitativement et quantitativement la composition physico-chimique, avec une attention particulière pour les éléments fertilisants et les éléments traces (essentiellement les métaux lourds).

11.2. COMPOSITION DES BOUES ET TENEUR EN MÉTAUX LOURDS

La composition des boues varie en fonction des caractéristiques des eaux usées et des types de traitement mis en oeuvre. Le tableau 11.1 donne la composition moyenne des boues urbaines comparées à celle du lisier et du fumier. À la sortie de la station, les boues liquides renferment 94 à 95 % d'eau après déshydratation 50 à 80 %⁽²⁹⁾. La matière sèche des boues stabilisées contient 45 à 60 % de matières organiques, surtout constituée de corps microbiens et des produits de leur métabolisme (polysaccharides) ainsi que de la matière hétérogène retenue au cours de la décantation primaire^(25,29).

La teneur en azote des boues (4 à 6 %) de la matière sèche est un des éléments principaux qui favorisent leur valorisation^(25,29).

L'azote contenu dans la phase liquide est essentiellement sous la forme minérale et directement assimilable (nitrate et ammonium), celui de la matière solide est sous forme organique, et n'est assimilable qu'après décomposition partielle [105, 100]. Les boues renferment également du phosphore, de 4 à 6 % d'acide phosphorique, ainsi que du potassium, du magnésium et du calcium [105, 100].

Tableau n° : 11.1 Composition moyenne des boues urbaines du lisier et du fumier de ferme [105]

| | Éléments majeurs | | | | |
|---|-----------------------------|-------------------|--------------|--------------------|-----------|
| | Matière sèche (%) | Matière organique | Azote totale | Acide phosphorique | Potasse |
| Lisier | 10 | 600 à 800 (*) | 40 à 60 | 20 à 50 | 30 à 50 |
| Fumier de ferme | 25 | 600 (*) | 10 à 30 | 3 à 25 | 25 à 35 |
| Boue liquide urbaine stabilisée aérobie | 6 | 450 à 600 (*) | 45 à 60 | 40 à 85 | 5 à 15 |
| | Éléments secondaires | | | | |
| | Matière sèche (%) | Ca | Mg | Fe | Mn |
| Boue liquide urbaine stabilisée aérobie | 6 | 1 à 250 (*) | 2 à 13 | 5 à 15 | 0.1 à 0.5 |
| | | Zn | Cu | Pb | |
| | | 1 à 3 | 0.1 à 1.5 | 0.2 à 1.5 | |

(*) en mg/kg de matière sèche .

En plus des matières organiques et des éléments fertilisants, les analyses sur les boues, rapportées par la littérature, montrent que ces dernières renferment également des éléments chimiques à faible teneurs, notamment, des métaux lourds qui peuvent être toxiques au delà d'un certain seuil [101].

Le tableau 11.2 indique les teneurs en métaux rencontrés dans les boues de stations d'épuration, les sols et les végétaux^(92,93). Il apparaît que la concentration de métaux dans les boues est très importante et nettement supérieure aux concentrations rencontrées dans les milieux naturels.

Tableau N°: 11.2 : Teneurs en métaux lourds rencontrés dans les boues de stations d'épuration les sols et les végétaux d'après (95)

| Métaux | Teneur des boues domestiques (*) | Teneur extrême des boues contaminées (*) | Teneur moyenne des sols (*) | Teneur des végétaux (*) | Valeurs limites fixées par la norme Afnor 044-041 (*) |
|--------|-------------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|---|
| Zn | 2000 à 3000 | 4000 | 50 | 15 - 150 | 3000 |
| Mn | 200 à 1000 | 1500 | 850 | 15 - 150 | 1500 |
| Cu | 200 à 1000 | 2250 | 20 | 3 - 40 | 500 |
| Pb | 1000 à 300 | 400 | 10 | 0.05 - 0.2 | 300 |
| Cr | 50 à 200 | 675 | 200 | 0.1 - 0.5 | 200 |
| Ni | 25 à 100 | 610 | 40 | 0.1 - 1 | 100 |
| Cd | 5 à 15 | 4000 | 0.5 | | 20 |
| Hg | 2 à 8 | 53 | 0.03 | 0.001-0.010 | 15 |

(*) en mg/kg de matière sèche

Les origines des métaux lourds sont diverses: les eaux pluviales entraînant du zinc, du cadmium, du plomb par lessivage des conduits galvanisés et des chaussées; de nombreuses activités industrielles se traduisent par des déversements d'éléments métalliques (traitement de surface, fabrication de peinture, d'accumulateurs, ... etc)⁽⁹⁴⁾.

11.3. POSSIBILITÉS DE VALORISATION DES BOUES

La valorisation des boues de stations d'épuration peut être :

- énergétique par incinération ; récupération de la chaleur
- énergétique par méthanisation ; récupération des biogaz suite à la fermentation et la digestion des boues.
- agricole comme amendement .

Cette dernière valorisation , qui tend à se développer à déjà fait l'objet de très nombreuses publications , la réglementation sur ce sujet commence également à être abondante dans de nombreux pays.

A l'intérieur de cette valorisation "agricole" au sens large, il est noté l'utilisation des boues en sylviculture et ou pour la reconstitution des sols érodés ou de sols "anthropiques" (déblais miniers par exemple) .

D'autres voies de valorisation sont encore en cours de prospection telle leur utilisation après incinération comme adjuvant dans la fabrication de ciment type "Portland" ou d'autres plus simples : leur emploi comme remblai .

11.4 RISQUES SANITAIRES A L'UTILISATION DES BOUES EN AGRICULTURE

Le traitement d'épuration par voie biologique des eaux usées urbaines entraîne la formation journalière de 50 à 70 g de boues exprimées en matière sèche par équivalent habitant . Aussi très régulièrement , ces résidus doivent être traités , évacués , enfouis ou valorisés par utilisation agricole . Cette dernière possibilité se heurte en pratique à l'inquiétude manifestée par les agriculteurs et les hygiénistes quant à la présence de métaux et de germes pathogènes présentant un risque certain pour la santé de l'homme

Dans la présente étude , une attention particulière sera accordée aux métaux lourds .

Quant à l'aspect microbiologique , des études citées par la littérature (101-106) , deux points au moins ressortent :

- d'une part, le risque est faible et sa mesure nécessite l'étude d'une grande population d'individus en contact avec la boue (ce qui est fort compliqué) .

- d'autre part des mesures d'hygiène appropriées (lavage des mains, masques anti-poussières etc...) auraient sans doute , éliminé les rares cas de contamination humaine .

Cependant aucune étude épidémiologique sérieuse ne permet à ce jour , de décider du seuil de contamination par des pathogènes , acceptable pour une boue de station avant son utilisation agricole.

Pour notre part , l'aspect bactériologique ne sera pas traité étant donné que les boues résiduaires de la station de BARAKI , en plus du fait qu'elles ont subi un chaulage lors de la phase du conditionnement , sont d'abord séchées à 140 ° C , ce qui fait diminuer sinon en éliminer le risque .

CHAPITRE DOUZE

LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

de la boue résiduaire de la station
d'épuration de BARAKI

12.1. ÉCHANTILLONNAGE

Pour les besoins de nos analyses , les échantillons homogènes de boue ont été prélevés à la fin de la chaîne de traitements, soit dans le container placé juste sous le sécheur .

La fréquence de prélèvement durant la période des essais a été de trois par semaine.

12.2. ANALYSES

Les caractéristiques chimiques mesurées pour l'analyse de nos échantillons, après une minéralisation spécifique , sont déterminées selon les méthodes A.F.N.O.R citées au tableau 12.1 (107).

L'analyse chimique portant sur une vingtaine d'échantillons a pour but d'évaluer les risques de pollution pour le milieu et de connaître les substances utiles dans le cadre d'une valorisation agricole.

Tableau (12.1): Méthodes et normes utilisées pour l'analyse des paramètres d'après (107)

| <i>Paramètres mesurés</i> | <i>Méthodes utilisées</i> | <i>Normes</i> |
|-------------------------------------|--|-------------------|
| <i>PH</i> | <i>électrométriques</i> | <i>T90-105</i> |
| <i>Humidité</i> | | <i>T90-105</i> |
| <i>Matières sèches (MS)</i> | | <i>T90-029</i> |
| <i>Matières volatiles</i> | <i>volumétrique</i> | |
| <i>Carbone Organique Total</i> | <i>Calométrique (Nessler)</i> | <i>T90-105</i> |
| <i>Azote ammoniacal de Kjeldahl</i> | <i>Titrimétrique après minéralisation et distillation...</i> | <i>C.B.E.D.E.</i> |
| <i>Orthophosphates</i> | <i>colorométrie après minéralisation</i> | <i>T90-023</i> |
| <i>Alcalins et Alcalino-terreux</i> | <i>spectrométrie d'absorption atomique</i> | <i>T90-112</i> |
| <i>Métaux lourds</i> | <i>Spectrométrie d'absorption atomique</i> | <i>T90-112</i> |

12.3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats d'analyses des échantillons prélevés sont résumés sur les tableaux (12.1) à (12.10) et illustrés par les figures 12.1 à 12.12

12.3.1. MATIÈRES SÈCHES M.S. (SICCITÉ):

La mesure de la siccité de la boue est importante dans la chaîne de traitement des boues , en effet, en plus qu'elle se présente comme un bon indicateur de l'efficacité de la dite chaîne, elle nous indique le poids réel de la boue et donc les moyens logistiques à mettre en oeuvre pour sa manutention ultérieure : plus la boue est sèche, et moins elle cause des désagréments dans le domaine de transport et éventuellement le stockage.

Tableau N° 12.2 : Teneur de la boue et en matières sèches

| PRÉLEVEMENT No: | Matières Sèches (%) |
|-----------------|---------------------|
| 1 | 47.27 |
| 2 | 90.55 |
| 3 | 87.50 |
| 4 | 71.00 |
| 5 | 70.50 |
| 6 | 81.89 |
| 7 | 48.71 |
| 8 | 72.43 |
| 9 | 67.00 |
| 10 | 38.00 |
| 11 | 61.00 |
| 12 | 65.60 |
| 13 | 40.30 |
| 14 | 71.43 |
| 15 | 60.90 |
| 16 | 69.00 |
| 17 | 71.90 |
| 18 | 69.70 |

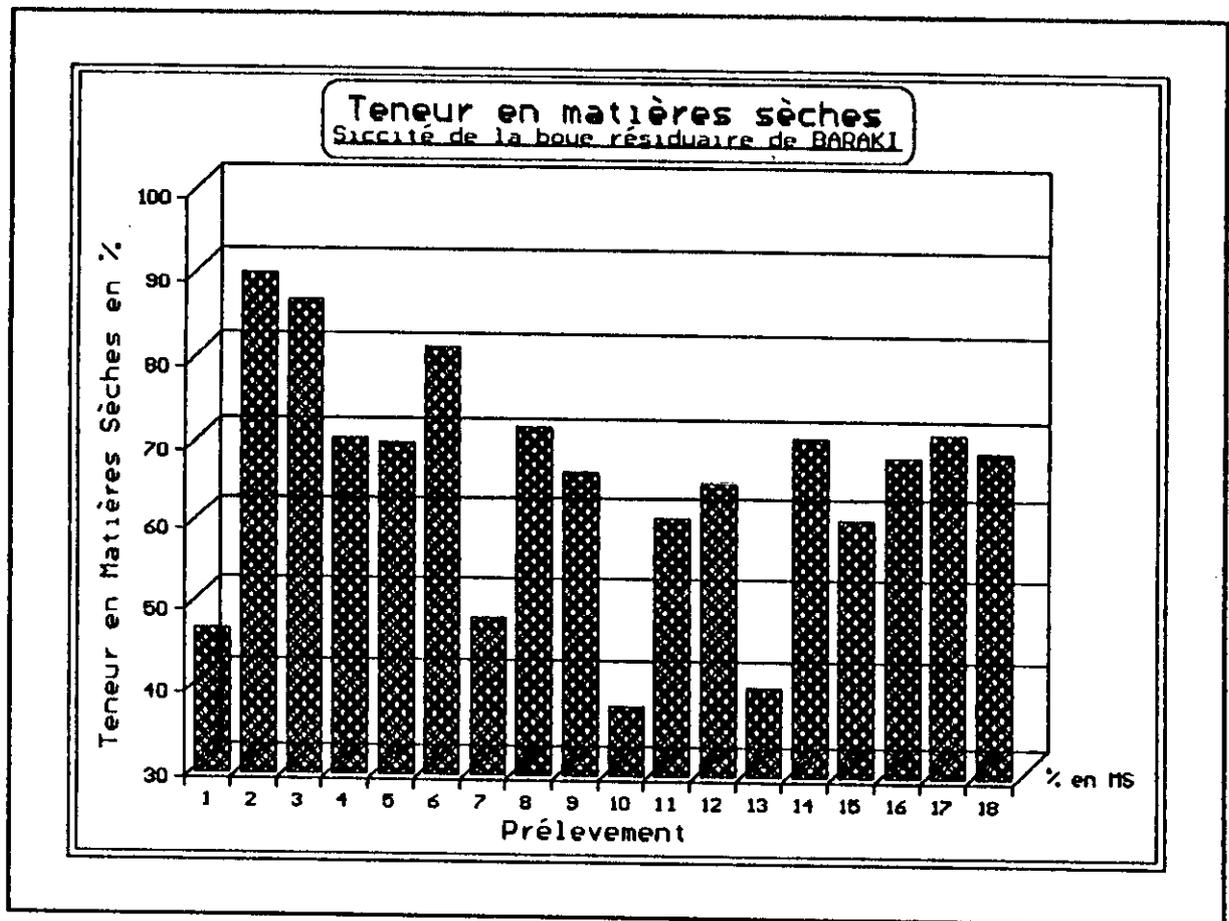


Figure 12.1 : Teneur en matières sèches de la boue de la station d'épuration des eaux usées de Baraki

Les teneurs en matières sèches de la boue mesurées révèlent que la siccité est relativement acceptable, ce qui atteste une tenue assez correcte de la chaîne de traitement et plus particulièrement de du conditionnement choisi ; le chlorure ferrique et la chaux et du cycle de traitement de boue..

On note que la valeur moyenne de la siccité observée est de 66 %, mais néanmoins, elle demeure perfectible, laissant ainsi suggérer que des améliorations pouvant être apportées au cycle de traitement des boues en agissant particulièrement sur l'étape non statique du processus c.a.d l'étape du conditionnement chimique. Ce point a fait l'objet du premier volet de cette présente étude.

12.3.2. POTENTIEL HYDROGENE (pH)

C'est un paramètre important pour l'utilisation ultérieure de la boue en agriculture.

| PH | PRELÈVEMENT |
|------|-------------|
| 11.1 | 1 |
| 11.1 | 2 |
| 11.0 | 3 |
| 11.1 | 4 |
| 10.0 | 5 |
| 10.8 | 6 |
| 11.0 | 7 |
| 11.1 | 8 |
| 11.0 | 9 |
| 11.1 | 10 |
| 10.5 | 11 |
| 11.7 | 12 |
| 11.0 | 13 |
| 12.1 | 14 |
| 11.9 | 15 |
| 11.7 | 16 |
| 11.7 | 17 |
| 12.5 | 18 |

Tableau 12.2: Le potentiel Hydrogène de la boue résiduaire

Le pH détermine partiellement la charge électrique des particules solides et par conséquent, influe sur la stabilité colloïdale.

Le potentiel hydrogène des boues analysées est compris entre 10.5 et 12.5 avec une moyenne de 11.3

Les résultats de nos échantillons sont présentés dans le tableau 12.2

La basicité des boues étudiées est due au chaulage par Ca(OH)_2 effectué lors de la phase de stabilisation.

12.3.3. MATIÈRES ORGANIQUES

Les déchets résultants du traitement des eaux usées urbaines sont d'abord et surtout des matériaux organiques, ils peuvent être considérés avant tout comme amendements organiques , au même titre qu'un fumier.

L'agriculture moderne intensive conduit à une baisse du taux d'humus des sols , et il est donc utile de préconiser des techniques qui visent à fournir un remède à cette déchéance.

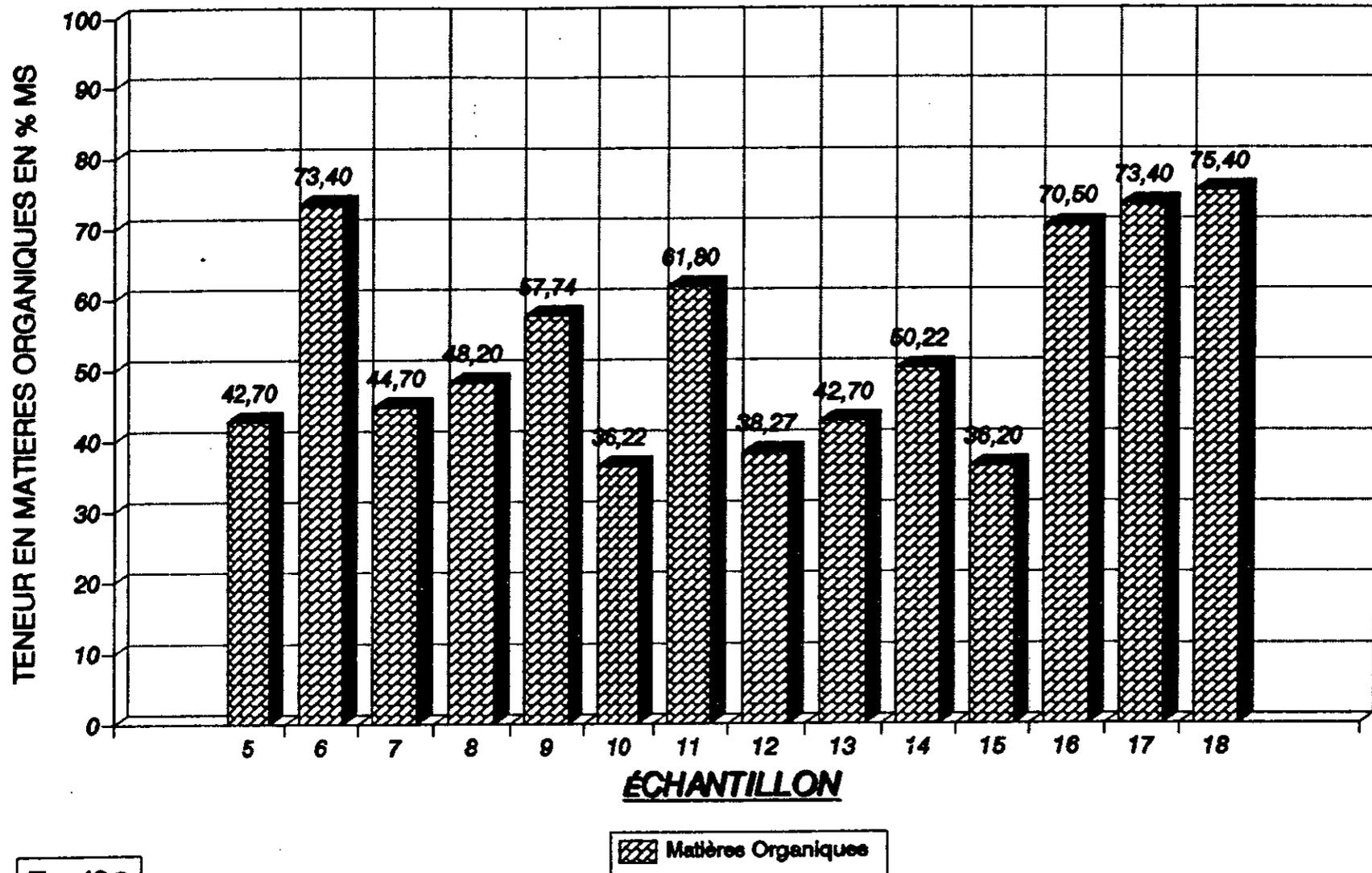
On y parvient partiellement en restituant au sol les résidus de récolte ou en incorporant du fumier , des tourbes ou des composts .

Les boues de la station d'épuration peuvent avoir un rôle important à jouer dans ce domaine.

Tableau 12.3: Teneur en matières organiques et en matières volatiles de la boue résiduaire de la station d'épuration de Baraki.

| PRÉLEVEMENT N° : | Carbone (MS %) |
|-------------------------|-----------------------|
| 1 | / |
| 2 | / |
| 3 | / |
| 4 | 18.79 |
| 5 | 42.70 |
| 6 | 73.40 |
| 7 | 44.70 |
| 8 | 48.20 |
| 9 | 57.74 |
| 10 | 36.22 |
| 11 | 61.80 |
| 12 | 38.70 |
| 13 | 42.70 |
| 14 | 50.22 |
| 15 | 36.20 |
| 16 | 70.50 |
| 17 | 73.40 |
| 18 | 75.40 |

TENEUR EN MATIERES ORGANIQUES



87

Fig : 12.2

Si l'on se réfère au tableau 12.3 , on constate en effet, que ramené à la teneur en matière sèche , le taux en matières organiques des boues non digérées biologiquement de la station d'épuration de Baraki est important et représente une moyenne de 51.3 % de la matière sèche.

La teneur en matières organiques des boues étudiées est légèrement supérieure à celle du fumier qui est de 20-40 % de M.S⁽⁸⁵⁾.

12.3.4. AZOTE TOTAL & AZOTE AMMONIACAL:

Sur le plan agronomique , l'azote est le facteur qui permet de donner un aperçu sur la valorisabilité de la boue.C'est le mode d'obtention et de conditionnement des boues qui détermine sa teneur.

L'azote total se présente soit sous forme organique dans les matières sèches, soit dans la phase liquide. Le plus souvent sous forme minérale (nitrate ou ammonium)⁽¹⁰⁸⁾.

L'analyse des échantillons de boues prélevés , montre que la concentration en azote total fluctue entre 0.15 et 0.86 % de M.S. et représente en moyenne 0.456 % de celle-ci ,soit 45.6 mg/g de matière sèche.

Les teneurs en azote ammoniacal dans nos échantillons se situent entre 0.01 et 0.05 % de matière sèche et représentent en moyenne 0.024 % de celle ci , soit 0.24 mg/g de matière sèche.

La composition de chaque échantillon est relevée dans le tableau 12.4

La teneur en azote du fumier est de 1.3 % de M.S. , d'après les tableaux présentés plus bas , on constate que les boues sont pauvres en azote , ceci s'explique par le fait qu'elles soient traitées thermiquement.

D'une manière générale , les conditionnements qui aboutissent aux boues les plus déshydratées sont à l'origine d'une chute considérable du taux d'azote , la phase liquide étant la plus riche en composés azotés^(109,110).

Une forte proportion de l'azote contenue dans cette phase liquide se trouve d'ailleurs sous forme de composés ammoniacaux rapidement utilisables par les plantes⁽¹⁰⁹⁾ , alors que l'azote de la phase solide est présenté par des formes organiques dont la minéralisation dans le sol est très progressive⁽¹¹⁰⁾.

Cela ne constitue d'ailleurs pas un handicap , certaines cultures qui, couvrent le sol durant de longues périodes pouvant parfaitement tirer profit de cette libération progressive d'azote.

Il convient enfin de signaler que les boues flocculées par la chaux Ca(OH)_2 peuvent conduire à des pertes d'azote notables par volatilisation [9,110].

Tableau 12.4: Teneur en azote de la boue de la station d'épuration des eaux usées de Baraki

| PRÉLEVEMENT N°: | Azote Total (mg/kg de MS) | NH_4^+ (mg/kg de MS) |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 | / | / |
| 2 | / | / |
| 3 | / | / |
| 4 | 3300 | / |
| 5 | 4200 | / |
| 6 | 5900 | 290 |
| 7 | 7800 | 490 |
| 8 | 2000 | 110 |
| 9 | 6600 | 0120 |
| 10 | 8600 | 500 |
| 11 | 1515 | 110 |
| 12 | 2600 | 120 |
| 13 | 5600 | 120 |
| 14 | 2700 | 310 |
| 15 | 4300 | 140 |
| 16 | 4400 | 170 |
| 17 | 3500 | 400 |
| 18 | 5600 | 280 |

12.3.5. RAPPORT C/N

Le rapport C/N est important à connaître en agriculture , il permet de pouvoir nous renseigner sur l'activité biologique du milieu , en effet ,autant le rapport C/N est faible , plus la biodégradabilité des boues est facile [111].

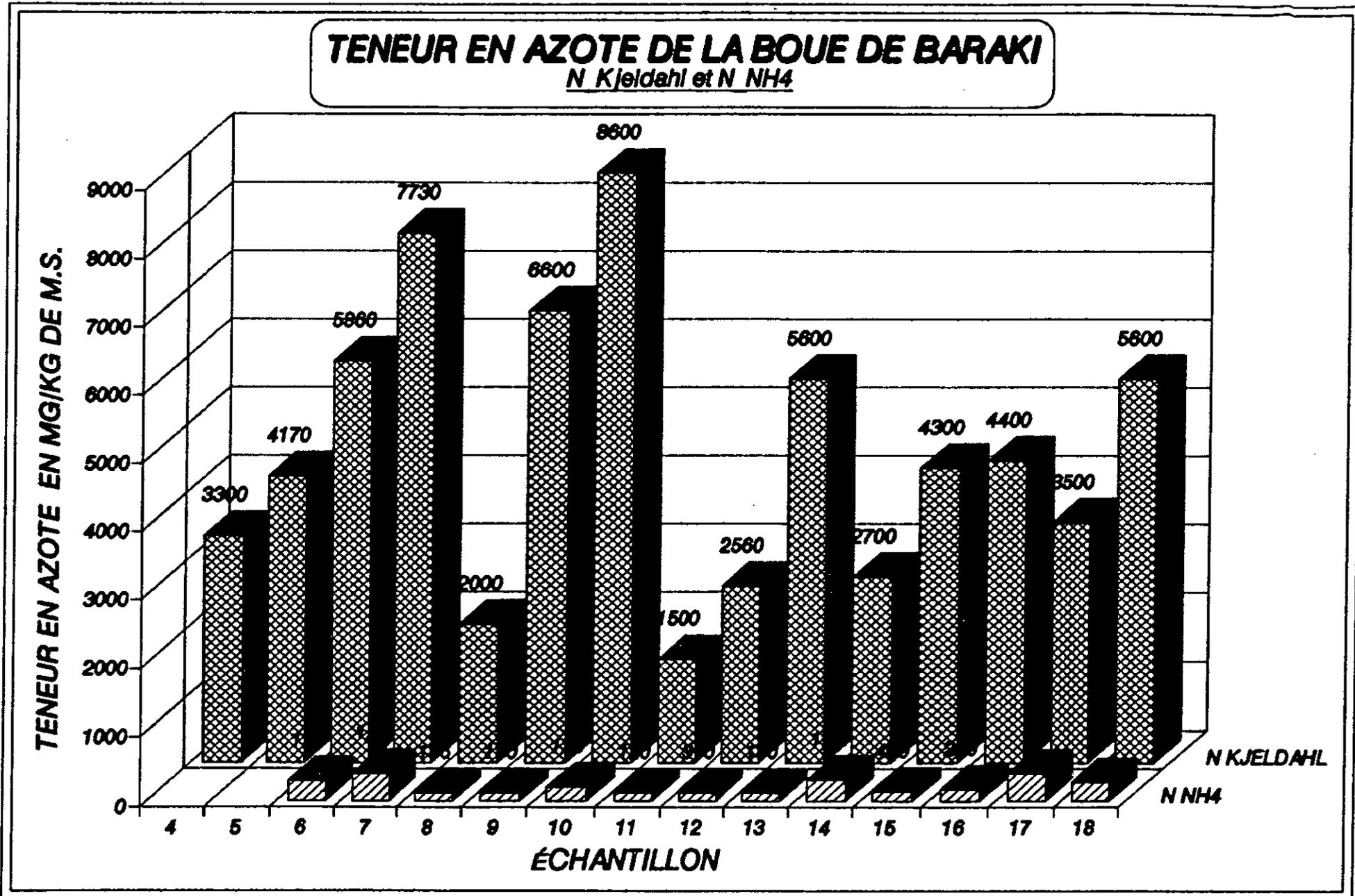


Figure 12.3 Composition de la boue urbaine de Baraki en Azote total et en Azote de Kjeldahl .

La valeur moyenne du rapport C/N des échantillons prélevés est de l'ordre de 105.22 (Voir Tableau 12.5)

étant donné que la rapport Carbone Azote C/N des boues étudiées est supérieure à 30 , ces dernières sont alors susceptibles de provoquer un blocage temporaire d'azote en raison d'une stabilisation insuffisante, et conjugué, au fait que la teneur en azote est inférieure à 2 % de MS , ces boues risquent de provoquer une immobilisation prolongée de l'azote [90].

Pour y remédier , on pourrait prévoir un mélange complémentaire de boues avec des quantités bien déterminées d'engrais azotés , en fonction des besoins des cultures , ce mélange constitue alors un engrais de grande valeur.

Tableau 12.5 : Le rapport C/N de la boue analysée

| PRELEVEMENT N° : | C/N |
|------------------|--------|
| 1 | / |
| 2 | / |
| 3 | / |
| 4 | 56.9 |
| 5 | 102.4 |
| 6 | 125.2 |
| 7 | 57.8 |
| 8 | / |
| 9 | 87.5 |
| 10 | 42.1 |
| 11 | / |
| 12 | 149.5 |
| 13 | 76.25 |
| 14 | 186.0 |
| 15 | 84.2 |
| 16 | 160.2 |
| 17 | / |
| 18 | 134.64 |

RAPPORT CARBONE / AZOTE
de la boue résiduaire de BARAKI

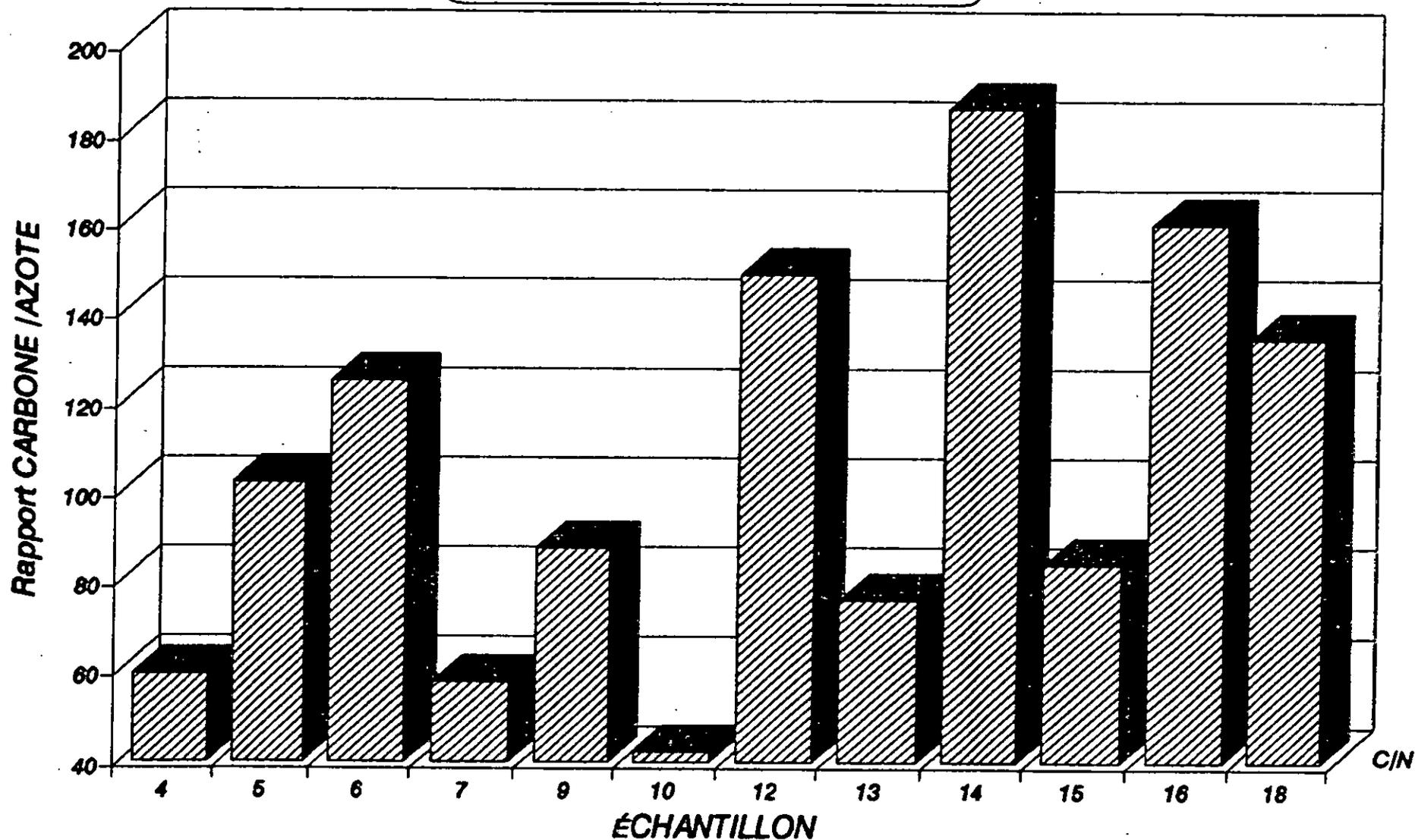


Figure 12.4 Rapport C/N de la boue résiduaire de la Station d'épuration des eaux usées de BARAKI

12.3.6. PHOSPHORE

Les boues sont toujours riches en acide phosphorique, il provient à raison de 60 % des détergents et 40 % des matières fécales.

Compte tenu du prix de l'acide phosphorique, cet élément constitue un facteur intéressant pour la valorisation des boues.

Les boues étudiées présentent l'avantage d'être riches en acide phosphorique, celui-ci est compris entre 2.1 et 4.9 % de matière sèche.

Les résultats de nos échantillons sont relevés dans le tableau 12.6

Les teneurs de l'acide phosphorique dans les échantillons de boues analysées sont très importantes par rapport à celles du fumier qui sont comprises entre 0.5 et 1 % de matière sèche (1983).

La disponibilité de l'acide phosphorique est en relation avec le mode de conditionnement des boues ; en particulier, leur floculation par la chaux Ca(OH)_2 et sels de fer FeCl_3 : est de nature à conduire à la production de phosphates insolubles, dont l'assimilabilité paraît des plus problématiques (1983).

Tableau 12.6 : Teneur de la boue résiduaire de la station de Baraki en phosphates

| PRÉLEVEMENT N° : | P_2O_5 | |
|---------------------|------------------------|-----------------|
| | EN % DE M.S. | MG/KG DE M.S.S. |
| 8 | 2.5 | 25000 |
| 9 | 3.0 | 30000 |
| 10 | 2.3 | 23000 |
| 11 | 4.0 | 40000 |
| 12 | 3.0 | 30000 |
| 13 | 3.5 | 35000 |
| 14 | 3.5 | 35000 |
| 15 | 2.3 | 23000 |
| 16 | 4.9 | 49000 |
| 17 | 4.1 | 41000 |
| 18 | 3.2 | 32000 |

**Teneur en phosphates
DE LA BOUE RÉSIDUAIRE DE BARAKI**

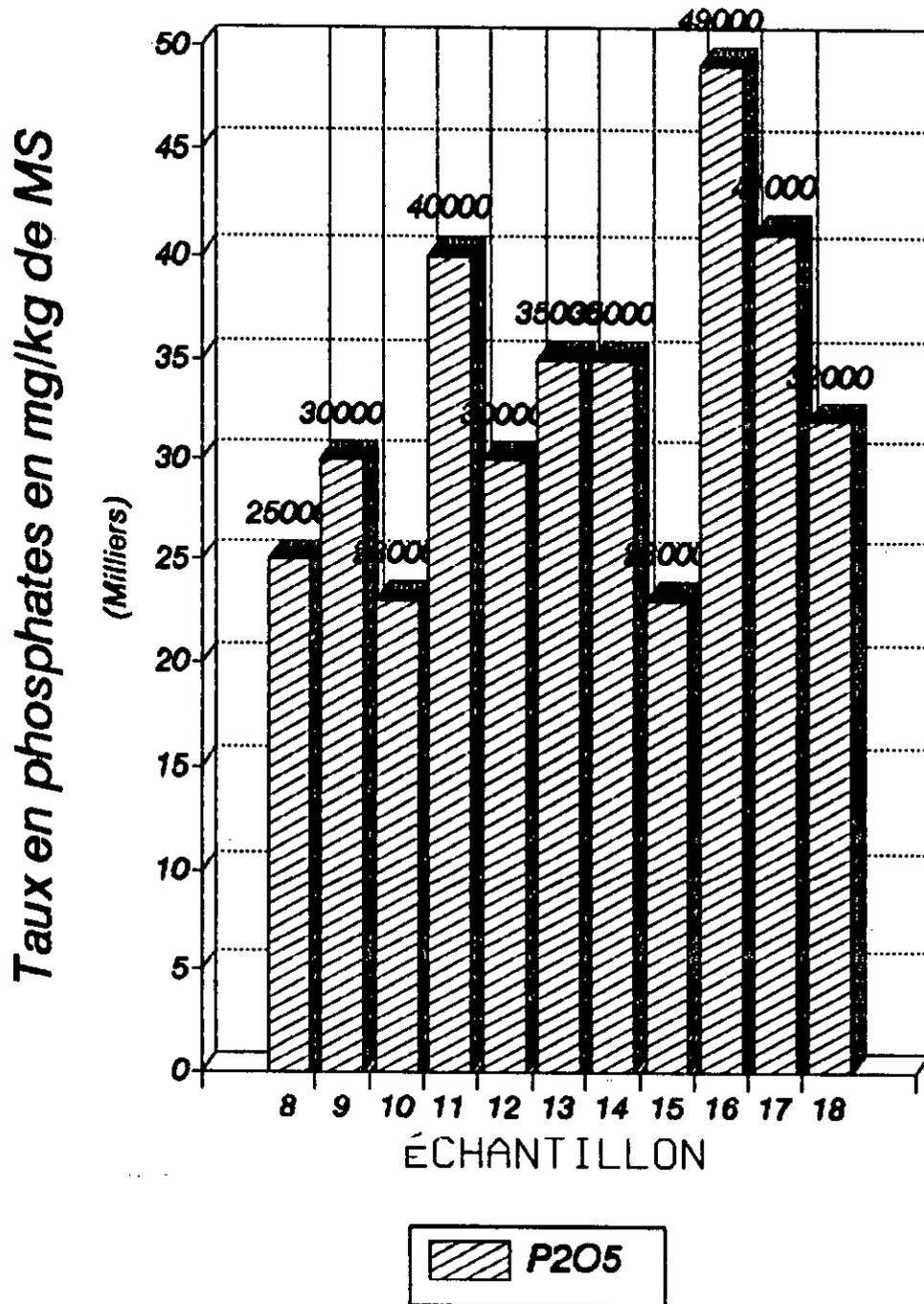


Figure 12.5 Teneur en phosphates de la boue de BARAKI

12.3.7. ALCALINS et ALCALINS TERREUX

12.3.7.1. POTASSIUM

La teneur des boues en potassium varie entre 0.15 et 0.30 % M.S. avec une moyenne de 0.24 % de matières sèches, soit 2.4 g/kg de matière sèche.

La concentration de chaque prélèvement est indiquée dans le tableau 12.8 et illustrée à la figure 12.7

Les teneurs observées en potassium des boues étudiées sont très pauvres comparativement aux teneurs qu'on retrouve dans le fumier qui varie de 1 à 3 % de M.S, elles ne peuvent, donc dans ce point prétendre évaluer le rôle de fumier.

Tableau N°: 12.7 : Teneur des boues en alcalins et alcalins terreux

| PRÉLEVEMENT N°: | Potassium mg/g de M.S. | Sodium mg/g de M.S. | Calcium mg/g de M.S. | Magnésium mg/g de M.S. |
|--------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 30 | 5.01 | 391.3 | 67 |
| 2 | 29 | 1.81 | 277.1 | 31 |
| 3 | 15 | 1.94 | 172.2 | 17 |
| 4 | 19 | 3.17 | 247.4 | 42 |
| 5 | 28 | 2.47 | 248.8 | 20 |
| 6 | 32 | 2.07 | 306.5 | 36 |
| 7 | 28 | 2.36 | 257.6 | 30 |
| 8 | 23 | 0.55 | 242.5 | 30 |
| 9 | 24 | 0.59 | 262.5 | 32 |
| 10 | 24 | 1.05 | 198.1 | 28 |
| 11 | 20 | 1.14 | 329.5 | 36 |
| 12 | 18 | 0.60 | 229.5 | 16 |
| 13 | 25 | 0.99 | 186.8 | 27 |
| 14 | 17 | 0.84 | 210.8 | 30 |
| 15 | 26 | 0.98 | 247.2 | 736 |
| 16 | 23 | 0.58 | 218.2 | 31 |

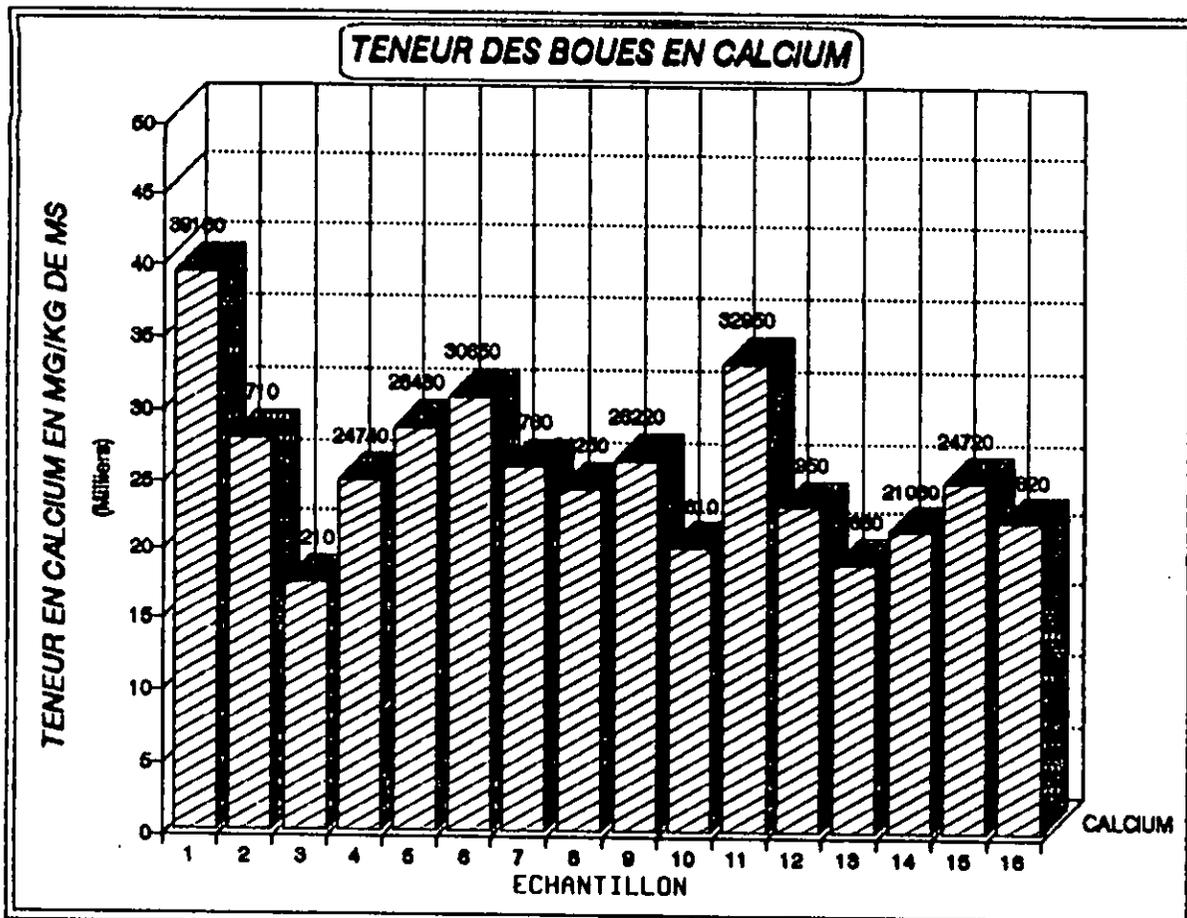


Figure 12.6 Teneur en Calcium des boues résiduaires de BARAKI

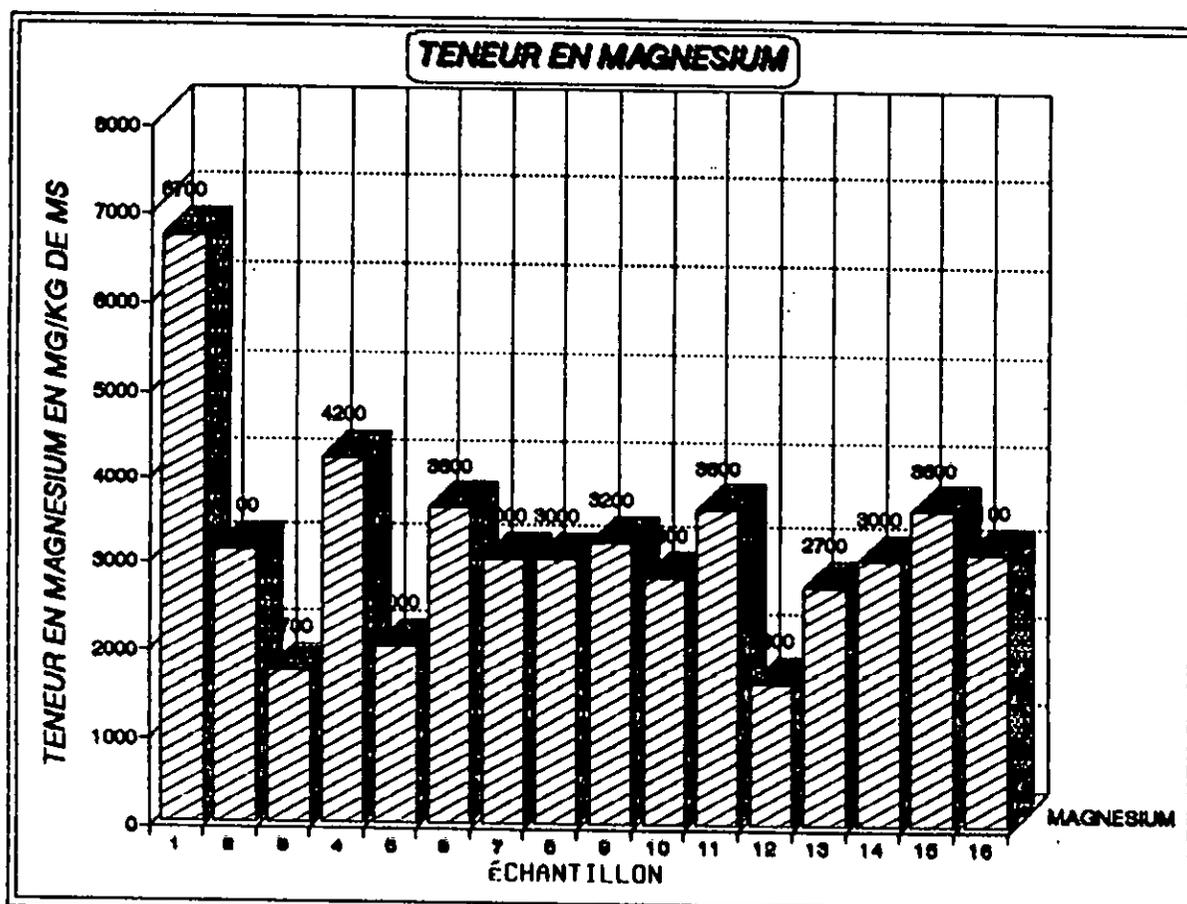


Figure 12.7 Teneur en Magnésium des boues résiduaires de BARAKI

La valeur potassique des boues est donc négligeable ,ces faibles valeurs s'explique par le fait que cet alcalin n'est pas retenu dans la boue et demeure en solution dans les eaux sortants de la station d'épuration.

Dans le cas de la réutilisation de ces boues en agriculture ,un complément de potassium sous forme d'engrais minéral doit être apporté.

L'utilisation combinée des boues et des fumiers apparait ainsi comme une bonne formule pour rééquilibrer les apports en potassium.

12.3.7.2. SODIUM

L'activité humaine emploie beaucoup de sels de sodium dans des diverses industries , ou il constitue le cation alcalin de meilleur marché.

En agriculture, il constitue, associé aux autres éléments alcalins et alcalino-terreux , un élément de maintien de la perméabilité des sols.

En général, les boues sont pauvres en sodium. Sa valeur dans les échantillons analysées varie de 0.05 à 0.05 % de matière sèche avec une moyenne de 0.16 % , soit 1.6 g/kg de MS.

Les résultats des boues prélevées sont formulés dans le tableau 12.6

La pauvreté des boues étudiées en sodium s'explique par le fait que cet élément n'est pas retenu par les boues et reste en solution dans l'eau épurée.

12.3.7.3.CALCIUM

La composition des boues étudiées en calcium varie entre 17.21 et 39.13 % de MS avec une moyenne de 25.4 % de M.S.soit 254 mg/g de matière sèche.

La composition de chaque échantillon est illustrée dans la figure 12.6

En comparant la teneur en calcium des boues étudiées à celle du fumier qui comprise entre 1 et 2 %, on constate qu'elles sont très riches en cet élément.

Cette forte charge s'explique par le fait que les boues ont subi un conditionnement $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Elles se comportent donc comme des véritables amendements calcaires.

Le calcium est un élément essentiel à la croissance végétale et joue un rôle important dans la couche arable du sol.

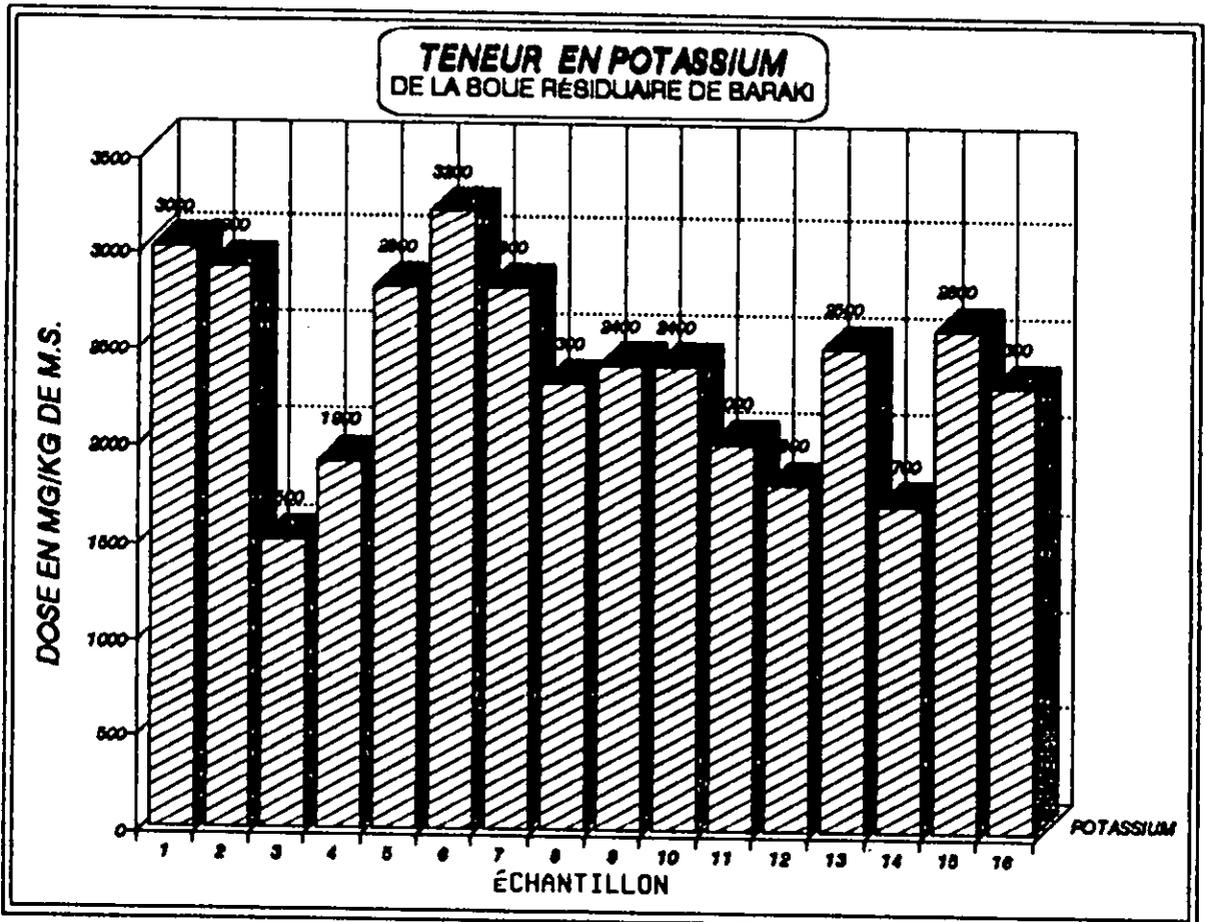


Figure 12.8 Teneur en Potassium de la boue résiduaire de BARAKI

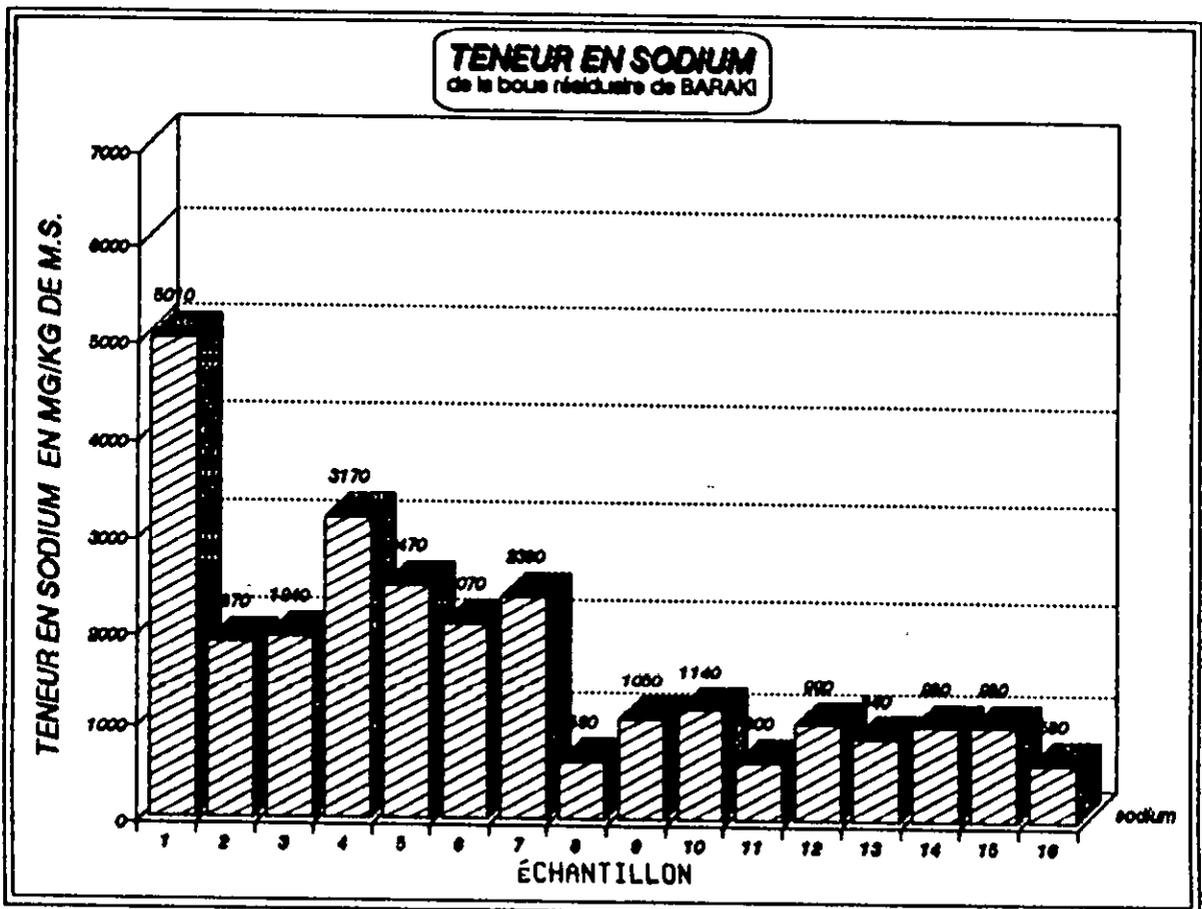


Figure 12.9 TENEUR en Sodium de la boue résiduaire de BARAKI

12.3.7.4. MAGNESIUM

L'apport en magnésium des boues étudiées n'est pas à négliger , il varie dans l'intervalle allant de 0 .16 à 0.67 % de MS , il représente en moyenne 0.32%, soit 3200 g/kg de M.S.

Les résultats des analyses des boues sont présentés dans le tableau 12.7

La teneur en magnésium des boues prélevés est du même ordre de grandeur que celle du fumier qui varie entre 0.2 et 0.4 % de matière sèche.

12.3.8. MÉTAUX LOURDS

La composition des effluents arrivants dans une station d'épuration ne peut que refléter de manière assez fidèle:

la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau.

la nature et la quantité des effluents industriels rejetés dans le tout à l'égout.

En ce qui concerne les produits consommés par la population, il faut entendre, non seulement les aliments et l'eau ingérée par cette population, mais également les produits de consommation indirecte, tels: les lessives, les savons les produits pharmaceutiques ou cosmétiques divers [113].

Le Fer, le Zinc, le Plomb et le Cuivre qui entrent dans la composition des récepteurs et des conduites d'eau, se retrouvent en quantités importantes dans les eaux usées. Ceci est dû à la corrosion des conduites par les eaux de villes, cette corrosion est un phénomène permanent et notable [114].

La nature et la quantité des effluents industriels jouent un rôle déterminant dans la composition des boues. La nature de ces éléments est fonction du type d'industrie rejetant dans le tout-à-l'égout

Une enquête effectuée par Comedor en 1973, a évalué à 160 usines et entreprises déversant directement ou indirectement leurs eaux usées dans l'Oued El Harrach (voir Annexe N° II)

La fixation des métaux lourds par les boues résulte soit de la rétention par adsorption sur la matière organique ou formation de complexes insolubles entre cette dernière et la fraction minérale, soit par la précipitation d'hydroxydes ou de sels métalliques [91-113].

Cette concentration des métaux lourds dans la boues constitue un élément de dévalorisation de ce type particulier de déchets dans la mesure où ils représentent une source d'oligo-élément que l'agriculture se procure habituellement en faisant appel :

- soit à des engrais peu concentrés.

- soit à des amendements organiques classiques (fumier et autres ..)

Malheureusement les boues sont souvent trop chargées en ces oligo-éléments, elles peuvent même contenir des métaux non indispensables au développement des végétaux [114].

Les dangers qui peuvent être provoqués après utilisation de ces boues sont les suivants:

- L'action phytotoxique.
- Risque d'accumulation susceptible de perturber la chaîne trophique .
- Risque de contamination d'eau souterraine pouvant être utilisée comme eau d'irrigation ou comme eau de boisson.

12.3.8.1.FER

La teneur en Fer est extrêmement élevée , cette forte charge en Fer peut s'expliquer aisément :

- d'une part par le fait qu'il entre dans la fabrication des récepteurs et des conduites d'eau.

- d'autre part par l'addition importante du chlorure ferrique $FeCl_3$ lors du conditionnement chimique .

Tableau 12.8 Teneur en FER de la boue résiduaire de Baraki

| échantillon | Fer | |
|-------------|------------------|--------------|
| | en mg/kg de M.S. | en % de M.S. |
| 1 | 23 380 | 2.33 |
| 2 | 45 870 | 4.58 |
| 3 | 31 200 | 3.12 |
| 4 | 48 450 | 4.84 |
| 5 | 42 200 | 4.22 |
| 6 | 46 890 | 4.68 |
| 7 | 61 580 | 6.15 |
| 8 | 26 920 | 2.69 |
| 9 | 23 280 | 2.32 |
| 10 | 24 470 | 2.44 |
| 11 | 25 570 | 2.55 |
| 12 | 25 000 | 2.50 |
| 13 | 26 050 | 2.60 |
| 14 | 25 190 | 2.51 |
| 15 | 31 210 | 3.12 |
| 16 | 25 500 | 2.55 |

**TENEUR EN FER
DE LA BOUE RÉSIDUAIRE DE BARAKI**

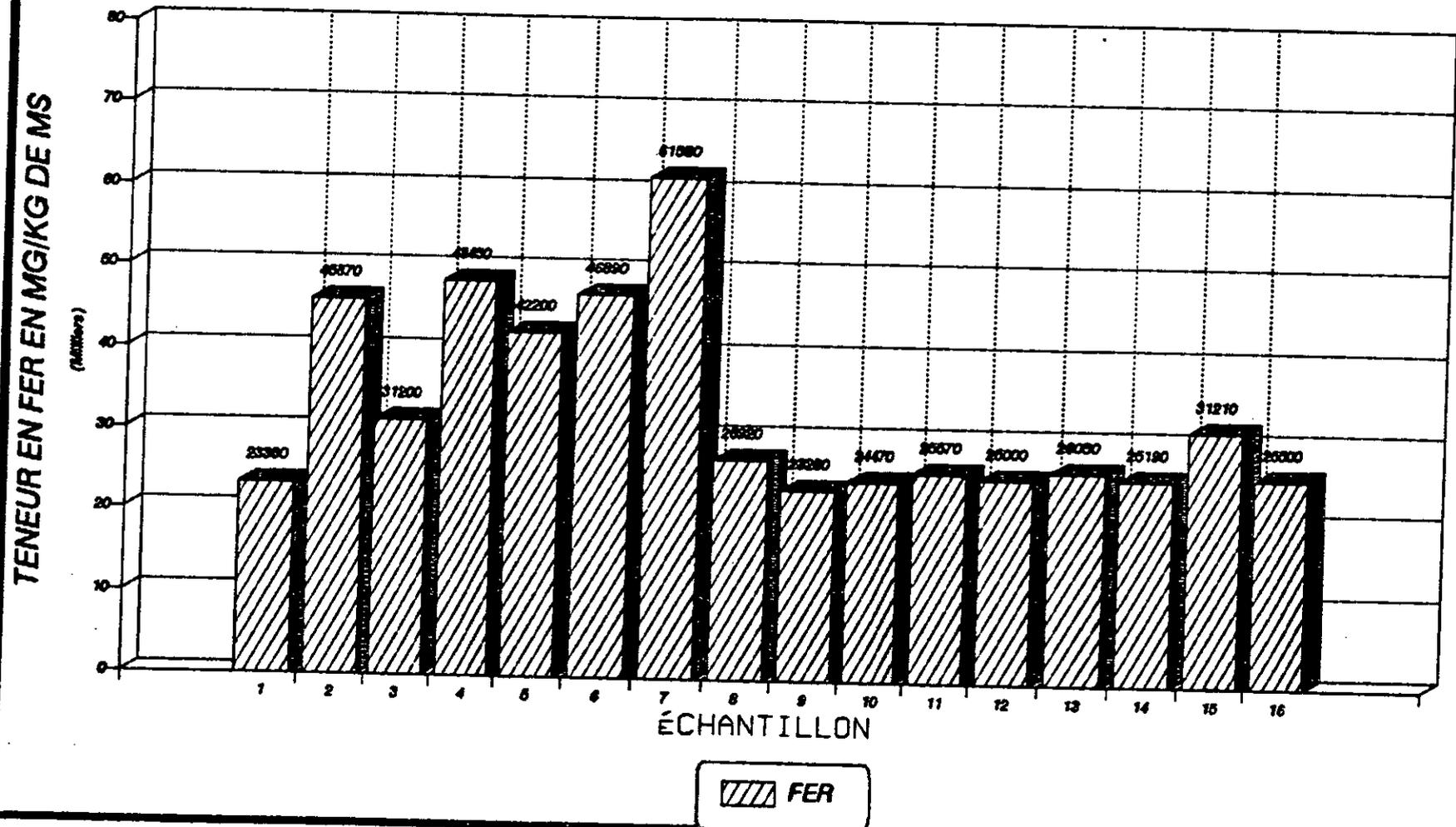


Figure 12.10 Teneur en Fer de la boue résiduaire de la station d'épuration des eaux usées de BARAKI

La concentration du Fer dans nos échantillons varie entre 23.8 et 61.6 g/kg de MS , tableau 12.8

Le Fer se présente surtout sous forme de phosphates ou d'hydroxydes tout à fait insolubles et par conséquent , il a peu d'effet sur les plantes, sous forme chélatée , le Fer est utilisé pour combattre la chlorose [109].

Les sols de la Mitidja sont caractérisés par leur haute teneur relative en Fer , si bien que l'apport éventuel par ces boues à ces sols , serait tout à fait négligeable .

12.3.8.2. CUIVRE

Compte tenu de sa grande conductivité thermique, le cuivre est surtout utilisé pour la fabrication du fil électrique mais ,il est utilisé à grand échelle dans la fabrication des radiateurs d'automobiles, d'appareils de cuisson etc... Aussi la fabrication de canalisation en cuivre contribue largement à l'utilisation de ce métal.

Les concentrations de cuivre dans nos échantillons varient dans l'intervalle 138 - 222 mg/kg de MS Voir Tableau 12.9

Les concentrations en Cuivre dans les boues étudiées étant toujours inférieures à la valeur limite fixée par la Norme A.F.N.O.R., qui est de 1500 mg/kg de MS : Celles-ci ne peuvent donc constituer un danger immédiat pour l'agriculture , vu que de faibles quantités sont souvent bénéfiques pour la végétation . Par contre , le cuivre en quantité importante provoque , aussi bien , dans les racines que dans les parties supérieures, un développement anormal des végétaux [113,115].

12.3.8.3. ZINC

Le Zinc fait partie des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau.

De petites quantités de Zinc sont nécessaires à la croissance des plantes mais un excès peut devenir toxique ,il est aussi l'élément qui s'accumule le plus fréquemment dans les plantes et les animaux [113] , sa concentration dans les boues analysées fluctue entre 289 et 1434 mg/g de MS . Tableau 12..

12.3.8.4. MANGANÈSE

La teneur en Manganèse des boues varie entre 114 et 492 mg/kg des boues étudiées sont indiquées dans le tableau 12.09

On remarque que les teneurs en Manganèse des boues étudiées sont toutes inférieures à la norme AFNOR qui est de 500 mg/kg de MS.

Le Manganèse est nécessaire à la croissance normale des végétaux , toutefois un apport , en présence de vanadium et de Molybdène cause des difficultés dans la croissance des plantes [116].

Certains éléments chimiques tel que ceux cités auparavant (Cu, Fe, Zn, Mn, sont des oligo-éléments . Au delà du seuil limite , ils deviennent phytotoxiques.

D'autres, issus en général d'effluents industriels, tel que le (Pb, Cr, Ni, Cd) sont toxiques pour le sol et les plantes . La norme AFNOR (U-44041) précise les doses admissibles .

12.3.8.5. PLOMB

Il est utilisé dans la production des bacs de batteries , et dans la fabrication de peinture en tant qu'agent anti-corrosif, Tableau: 12.09.

Le plomb ralentit la croissance des racines et provoque une diminution très nette de la respiration [117, 118] , d'ou l'importance de la mesure de ce paramètre qui nous renseigne sur une possibilité d'utilisation des boues en agriculture.

Bien que certaines variétés ont une grande tolérance pour le plomb , dans les boues analysée la teneur maximale est de 366 mg/kg de MS . Celle-ci est légèrement supérieure à la dose tolérable par la norme AFNOR qui est de 300mg/kg, mais cette valeur unique ne peut être représentative.

12.3.8.6. NICKEL

Il est surtout employé pour la fabrication d'aciers spéciaux devant subir des contraintes thermiques élevées , ou pour la constitution d'alliages spéciaux nickel-cuivre, ainsi que pour le recouvrement de surface métallique par électrolyse , mais on l'emploie aussi comme agent d'hydrogénation des huiles ou autres substances ou autres substances organiques.

Une très grande quantité de zinc provoque chez les végétaux une détérioration de l'appareil Chlorophyllien , et par suite , compromet l'activité d'assimilation (92,94).

On remarque d'après le tableau 12.9 que les teneurs des boues en Zinc sont toujours très éloignée de la norme fixée par AFNOR qui est de 3000 mg/kg de MS.

Tableau 12.09 : Teneurs en métaux lourds et éléments traces de la boue traitée

| ECHANTILLON | Cuivre | Zinc | Manganèse | Plomb | Nickel | Chrome |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | MG/KG DE M.S. |
| 1 | 222 | 668 | 222 | 222 | ND | ND |
| 2 | 227 | 662 | 220 | 331 | ND | ND |
| 3 | 114 | 342 | 114 | 114 | ND | ND |
| 4 | 140 | 845 | 281 | 281 | ND | ND |
| 5 | 141 | 571 | 283 | 283 | ND | ND |
| 6 | 122 | 488 | 244 | 366 | ND | ND |
| 7 | 205 | \ | 205 | 205 | ND | ND |
| 8 | 138 | 552 | 414 | 138 | ND | ND |
| 9 | 149 | 1343 | 447 | 149 | ND | ND |
| 10 | 263 | 1052 | \ | 263 | ND | ND |
| 11 | 163 | 655 | 327 | 163 | ND | ND |
| 12 | 152 | 609 | 457 | 152 | ND | ND |
| 13 | 248 | 992 | 248 | 248 | ND | ND |
| 14 | 139 | 1120 | 419 | 140 | ND | ND |
| 15 | 164 | 1313 | 492 | 164 | ND | ND |
| 16 | 144 | 289 | 434 | 144 | ND | ND |

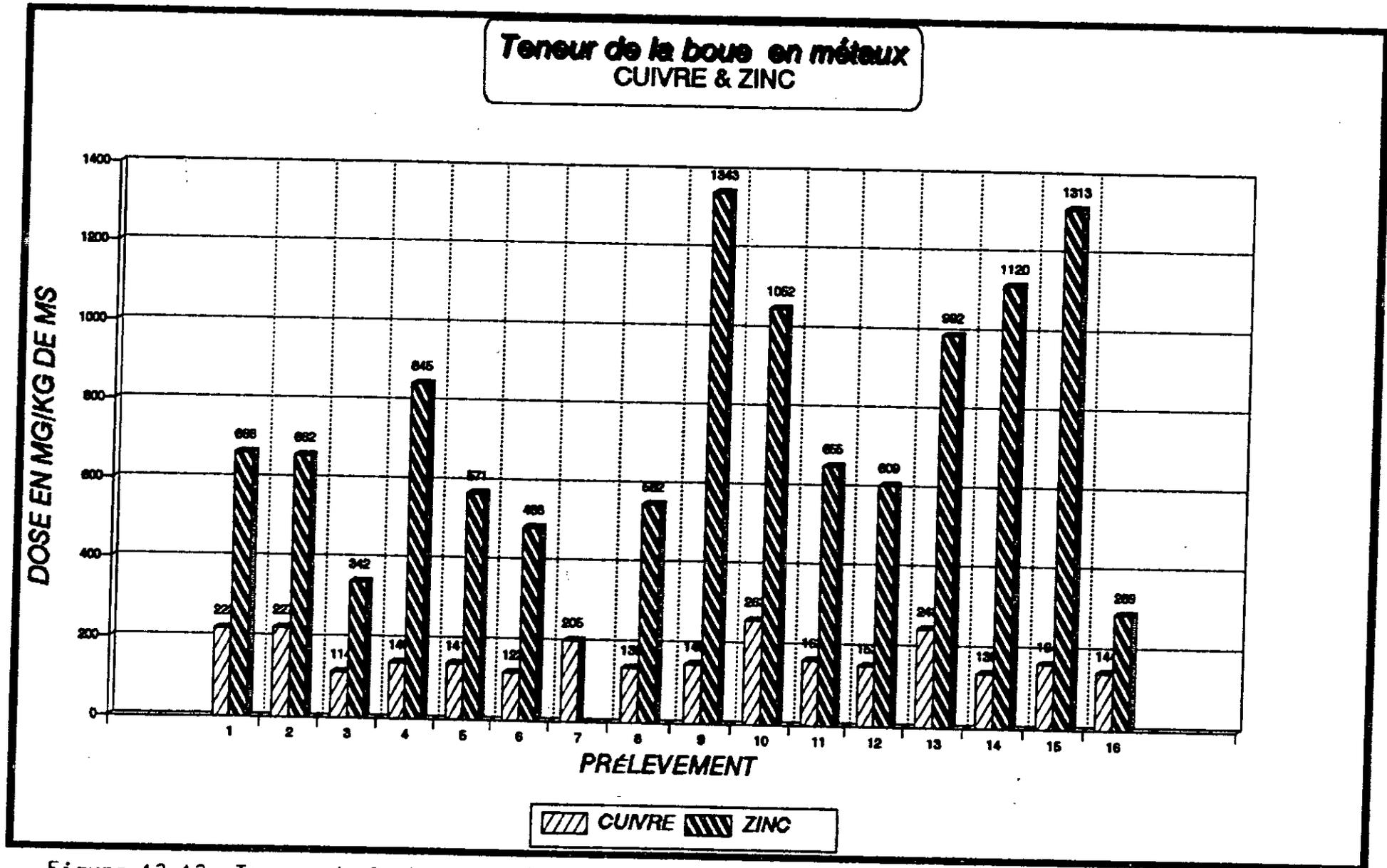
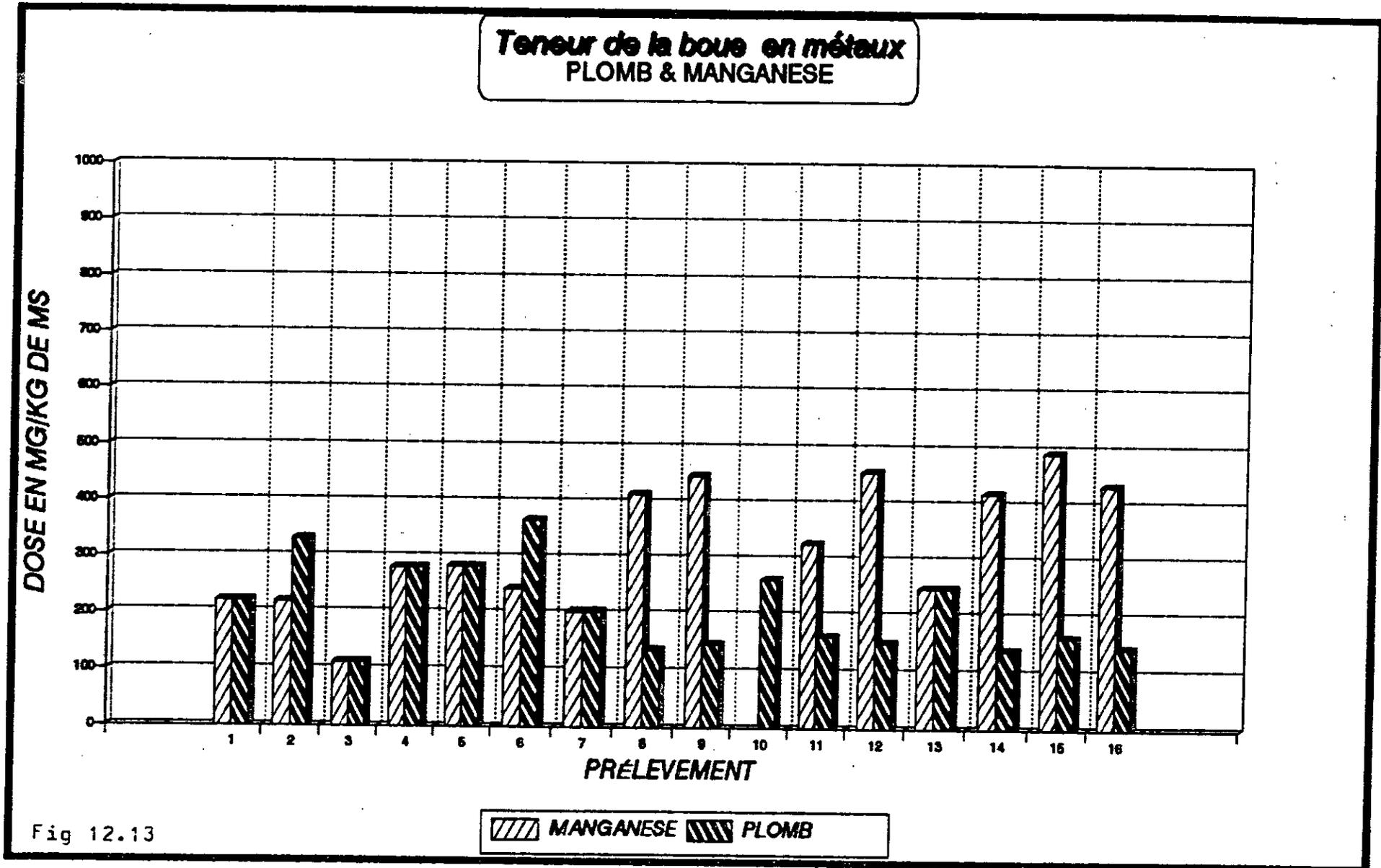


Figure 12.12 Teneur de la boue en Cuivre & Zinc



Teneur de la boue résiduaire de la Station de BARAKI en éléments traces (Cas de Plomb et de Manganèse)

Les concentrations en nickel dans nos échantillons sont très faibles ,elles sont non décelables par nos appareils de mesure .

L'action du nickel sur les plantes est connue, il semble qu'il suffise d'une concentration de 1 p.p.m. pour perturber la croissance de la plante. Par contre la toxicité du nickel vis à vis des mammifères se révèle être relativement faible par rapport à d'autres micropolluants. (118,119)

12.3.8.7.CHROME:

Il est utilisé dans le traitement des métaux , en tannerie , peinture et papeterie.

Sa teneur dans les boues analysées est inférieure à la concentration limite qui est de 1 mg/kg.

Le Chrome est généralement présent en petites quantités dans les sols et dans les plantes , il semble que sa nuisance essentielle est de gêner la nitrification, si la quantité présente dans les boues excède 200 mg/kg de MS.

12.3.8.8.CADMIUM

Il est utilisé dans l'industrie des traitements de surface , colorants et en métallurgie dans de nombreux alliages avec le cuivre , le Plomb , l'argent et le nickel.

La teneur du cadmium dans les boues étudiées est inférieures au seuil de détectabilité de nos appareils et de là inférieurs à la norme AFNOR.

C'est certainement le micropolluant le plus élevé dans le cas de l'épandage des boues , car il est assimilé par les plantes et accumulé par les mammifères et par l'Homme. Le Cadmium n'a pas une toxicité très considérable pour les plantes mais il s'accumule généralement dans les parties vertes (surtout les feuilles) et les quantités emmagasinées dépendant du pH du sol (120,121) .

CONCLUSION :

Les analyses effectuées sur les boues conditionnées de la station de BARAKI , nous permettent de les caractériser de façon suivante :

Concernant les éléments fertilisants :

- La richesse appréciable de ces boues en matières organiques et en phosphates .
- La forte teneur en Calcium .
- Les très faibles teneurs en Potassium et surtout en Azote

Concernant les éléments traces :

- Les teneurs en métaux lourds sont inférieures aux normes AFNOR .

Ces constatations sont corroborées par le tableau ci dessus (10.10) représentant une comparaison entre les teneurs en éléments fertilisants des ces boues et celles du fumier .

TABLAU 10.10 : COMPARAISON DES TENEURS EN ÉLÉMENTS FERTILISANTS DES BOUES DE BARAKI AVEC CELLES DU FUMIER

| ÉLÉMENTS | FUMIER DE FERME % EN POIDS | BOUES DE LA STATION DE BARAKI % MS |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| CARBONE | 20-40 | 18-76 |
| AZOTE | 1-3 | 0.15-0.86 |
| ACIDE PHOSPHORIQUE | 0.5-1 | 2-5 |
| POTASSIUM | 1-3 | 0.15-0.30 |
| CALCIUM | 1-2 | 17-39 |
| MAGNESIUM | 0.2-0.4 | 0.16-0.67 |

Les boues analysées se présentent sous forme de produit sec , qui peut être épandu . Il peut , selon le besoin et selon certaines conditions être mélangée ajouté à des engrais industriels , constituant alors un engrais de grande valeur. En effet la valeur de leurs rapport C/N ne permet pas de les considérer comme amendement humique convenable .

TABLERAU 10.11 : Teneur des boues dans une station d'épuration en Algérie et dans des stations à l'étranger en mg/kg de MS

| ÉLÉMENT | EL HARRACH (BARAKI) | ÉTRANGER | NORME AFNOR |
|---------|------------------------|----------|-------------|
| Fe | 33.280 | / | / |
| Zn | 767 | 2000 | 3.000 |
| Mn | 321 | 500 | 500 |
| Cu | 168 | 500 | 1.500 |
| Pb | 235 | 500 | 300 |
| Ni | / | / | / |
| Cd | / | / | / |
| Cr | ‡ 161 | 200 | 200 |

Les normes A.F.N.O.R fixent les doses tolérables dans les boues et les sols et permettent , ainsi , de calculer les apports en fonction de ces éléments.

L'utilisation agricole de telles boues est une méthode très répandue dans le monde et pratiquée avec les meilleurs succès .

Le tableau présenté ci-dessus donne un aperçu sur les teneurs en métaux lourds des boues étudiées sur des stations d'épuration situées à l'étranger .

Par conséquent , on peut dire que l'apport des boues étudiées peut se traduire par une amélioration du rendement agricole dans les conditions citées ci dessus .

Ces boues peuvent être épandues facilement avec des épandeurs agricoles à fumier ; mais avant de passer à l'épandage , il faut prévoir les quantités de boues que l'on peut apporter au sol avec bénéfice , à intervalles de temps réguliers , et durant de longues périodes ; comme, on le fait depuis les temps les plus reculés pour le fumier de ferme.

Dans la pratique agricole courante , et pour la majorité des systèmes de culture , il est habituel d'apporter 30 tonnes/hectare de fumier tout les trois ans.

Cet apport correspondrait à un épandage de 150 kg d'azote par hectare , cette quantité d'azote , dont la libération est progressive correspond sensiblement aux besoins annuels d'une culture .

Un raisonnement de type analogue pourrait être adopté pour les boues , et par conséquent , dans le cas ou les boues soient utilisées , telle quelles , une application de ce composé correspondant à 150 kg d'azote par hectare et une fréquence d'épandage de 3 années peut être conseillée.

Une telle application correspond à l'incorporation au sol de 33.5 t/ha de matière sèche , si l'on adopte 0.45 % comme moyenne en azote des boues étudiées. Mais , si on envisage une augmentation du taux d'azote par addition d'engrais azoté , la quantité de boues incorporée au sol va diminuer sensiblement.

Toutefois le principal emploi préconisé pour ce type de boue étant donné leur aspect fortement calcique , est l'amendement des sols acides comme c'est le cas de la MITIDJA , jouant ainsi un rôle de correcteur de pH , en plus des éléments fertilisants apportés.

Si on peut être certain qu'une grande quantité d'éléments fertilisants sera utilisée et assimilée par les plantes à plus ou moins brève échéance , les métaux lourds , par contre , ont un effet cumulatif dans les plantes et sont susceptibles de manifester une phytotoxicité à la culture.

Au 10 juillet 1991 , à la fin de l'expérimentation , les échantillons sont dépotés et découpés et étuvés à 70 °C ,ensuite, elles ont subit une digestion à l'eau de régale afin d'analyser , par spectrophotométrie de flamme , les éléments traces (métaux lourds).

13.3.RÉSULTATS ET DISCUSSION

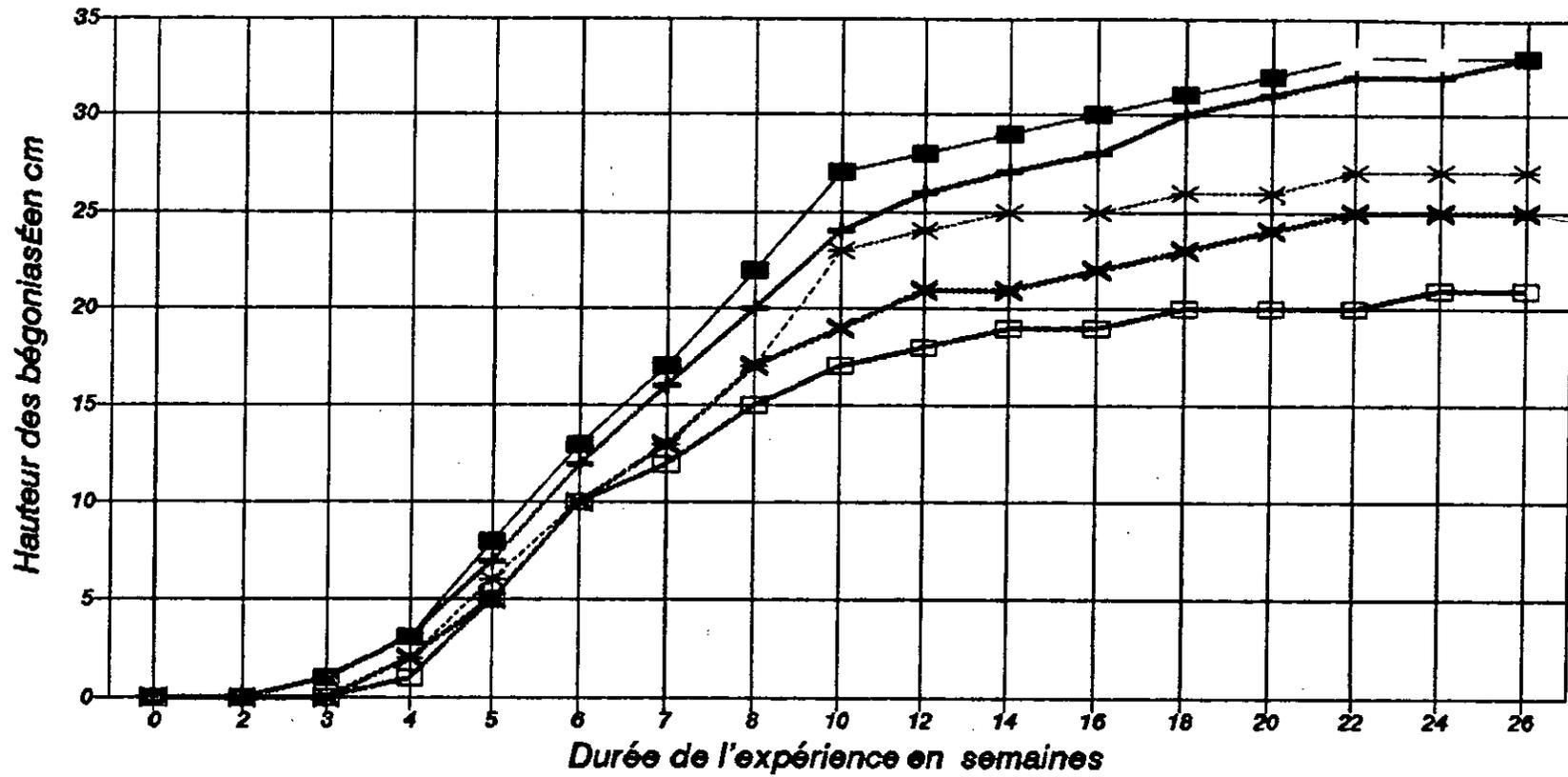
13.3.1. La croissance des plantes

La figure 13.2 montre l'évolution de la croissance des plantes de bégonias. Chaque valeur est une moyenne de trois répliques .

Tableau 13.2 L'évolution de la croissance des plantes de bégonias suivant la charge en boue

| la hauteur des bégonias en cm. | | | | | |
|--------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | la teneur du sol en boue exprimée en Volume boue/Volume(argile + boue) | | | | |
| Série | - 1 - | - 2 - | - 3 - | - 4 - | - 5 - |
| Durée en semaines | 1/10 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 ^{ème} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 ^{ème} | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 ^{ème} | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 5 ^{ème} | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 6 ^{ème} | 13 | 12 | 10 | 10 | 10 |
| 7 ^{ème} | 17 | 16 | 13 | 12 | 13 |
| 8 ^{ème} | 22 | 20 | 17 | 15 | 17 |
| 10 ^{ème} | 27 | 24 | 23 | 17 | 19 |
| 12 ^{ème} | 28 | 26 | 24 | 18 | 21 |
| 14 ^{ème} | 29 | 27 | 25 | 19 | 21 |
| 16 ^{ème} | 30 | 28 | 25 | 19 | 22 |
| 18 ^{ème} | 31 | 30 | 26 | 20 | 23 |
| 20 ^{ème} | 32 | 31 | 26 | 20 | 24 |
| 22 ^{ème} | 33 | 32 | 27 | 20 | 25 |
| 24 ^{ème} | 33 | 32 | 27 | 21 | 25 |
| 26 ^{ème} | 33 | 33 | 27 | 21 | 25 |

Evolution de la hauteur des bégonias
Comparaison entre les différents taux



■ [1/10] en boue ▲ [1/4] en boue * [1/3] en boue
 □ [1/2] en boue ✕ Échantillon Témoin

Figure 13.1 Evolution de la hauteur des bégonias en présence des boues résiduelles de BARAKI

On remarque aisément une nette différenciation quant à l'évolution de la hauteur , les plantes dont les ratios des sols en boue sont les plus bas, ce sont celles qui ont une croissance supérieure (1/10 & 1/4 en boue respectivement) à celles qui ont reçues des charges assez élevées (ex : 50 % en boue) .

Mais, toutefois, elles dépassent nettement la hauteur moyenne des plantes "témoins" lesquelles, à la fin de l'expérimentation , n'ont atteint que 25 cm , comparativement aux 33 cm des plantes des séries "1" et "2". et à moindre différence la série "3" (1/3 en boue) .

On constate donc , que des charges en boue de l'ordre de 10 % à 25% en volume augmente sensiblement la hauteur des plantes

Ceci suggère que la boue ajoutée au sol des plantes , à "certaines" doses , contribue d'une manière notable à l'amélioration de la croissance des plantes et delà joue bien le rôle d'amendement organique. et C.Q.F.D.

L'évolution inverse de la croissance de la hauteur des bégonias en fonction de la charge de la boue peut s'expliquer par les hypothèses suivantes:

A des taux faibles , la plante épuise de la boue le complément d'éléments nutritifs, juste nécessaire pour atteindre les conditions de croissance optimales des bégonias , dans le cas présent , entre 10 et 25 % en boue.

Mais dès que cela dépasse , cet intervalle, à des charges , en boue, supérieures , des " facteurs limitants" interviennent pour contrecarrer d'abord la croissance ,(exemple les plantes de la "3^{ème}" série) et à la fin en inhibant la croissance comme est le cas de la quatrième série à 50 % en volume en boue .

Ces facteurs limitants peuvent être constitués par un ou plusieurs des éléments nutritifs , eux mêmes , ou les métaux lourds qui sont des oligo-éléments à des très faibles doses mais des inhibiteurs de croissance à des doses juste légèrement supérieures

13.3.2 CONCENTRATION DES ÉLÉMENTS TRACES DANS LES PLANTS

Le tableau 13.3 montre les concentrations du Zn, Mn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd, Fe dans les fleurs de bégonias à la fin de l'expérimentation, à leur taille maximale. Ces éléments ont été analysés par spectrophotométrie de flamme après digestion acide à l'eau de régale, des fleurs de bégonias déséchées et à 70°C dans l'étuve. Le même procédé a été suivi pour l'analyse des métaux lourds dans la boue urbaine en vue de sa valorisation comme amendement.

La concentration des éléments observées, dans tout les traitements, sont similaires à celles trouvées dans des bégonias saines rapportées par la littérature.

Tableau: 13.3 Concentration des éléments traces (métaux lourds) dans les plantes de bégonias à fin de la manipulation comparée

| CONCENTRATION DES ÉLÉMENTS TRACES DANS LES PLANTS DE BÉGONIAS ET DANS LA BOUE | | | | | | |
|--|---------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| ÉLÉMENT TRACE | TÉMOIN | 10 % | 25 % | 33,33 % | 50 % | BOUE |
| Zinc | 503.50 | 653.90 | 304.40 | 339.70 | 431.28 | 591.03 |
| Manganèse | 251.80 | 322.00 | 159.40 | 176.70 | 119.80 | 1074.61 |
| Cuivre | 191.40 | 169.90 | 101.50 | 190.20 | 158.13 | 134.33 |
| Plomb | 151.10 | 254.50 | 86.90 | 139.50 | 143.76 | 143.38 |
| Chrome | 50.00 | 84.90 | 28.90 | 46.50 | 47.96 | 304.47 |
| Nickel | 75.00 | 127.40 | 86.90 | 116.25 | 239.59 | 259.70 |
| Cadmium | 10.00 | 16.90 | 5.79 | 9.30 | 95.84 | 21.49 |
| Fer | 26441.16 | 12058.00 | 5450.00 | 7207.63 | 4791.88 | 51936.60 |

Aussi dans tout les plants de bégonia à différents taux de boue, on retrouve le même ordre de grandeur des métaux lourds à deux exceptions près, on peut noter les aspects suivants :

CHAPITRE TREIZE

ÉTUDE DE LA CROISSANCE DES BÉGONIAS EN PRÉSENCE DE BOUE RÉSIDUAIRE DE LA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DE BARAKI

De large quantités de boues avec les réactifs chimiques sont introduites dans l'environnement agraire pour différents usages, les produits étant ajoutés pour la précipitation du phosphore ou pour le conditionnement des boues avant la déshydratation. La majorité des études des amendements sur le sol par les boues ont été menées avec des boues liquides ou avec des boues sans rajout de conditionneur (boues organiques) plus qu'avec des boues chimiques. Cependant, à raison des charges croissantes des boues chimiques épandues sur le sol^[99,124,125], il est essentiel de connaître les effets de leur épandage sur les plantes et les sols.

Toutefois, peu d'expériences menées sur ce thème ont été rapportées par la littérature ; quelques unes ont consisté à l'observation de la croissance des plantes avec des eaux usées avec rajout de chlorure ferrique ou sulfate d'aluminium (alun) pour précipiter le phosphore (Jansson^[126] 1972 ; Bates et col^[126] 1974 ; Chawla et Col^[127] 1974 ; Kirkham et Dotsun^[128] , 1974). En général, la croissance observée est de même ordre de grandeur tant qu'avec les boues liquides chimiques, qu'avec les boues organiques solides ou liquides.

Les seuls travaux notables sont l'oeuvre de M.B. Khirham^[129,130] où il a étudié l'effet de l'amendement du sol en boue sur la croissance des tulipes et les travaux de J.L. MOREL^[122] sur l'évolution des sols amendés par les boues de stations d'épuration.

On note enfin que récemment des travaux ont été effectués sur des mélanges de compost et de boue urbains et essentiellement en Allemagne et Suisse^[131,132] en vue de la valorisation des composts urbains.

13.1 EXPÉRIENCE :

Cette expérience a été menée afin d'évaluer, sous des conditions sous serre, si les boues résiduaires de la station d'épuration BARAKI peuvent être utilisées comme amendement agricole.

Pour des raisons de commodité, le choix de la plante test fut porté sur les Bégonias rouges, de la souche "*BÉGONIA SEMPERFLORENS*". La hauteur des plantes des bégonias est prise comme paramètre de comparaison entre les plants des pots recevant la boue (avec différents taux) et les plants témoins.

13.2 MATÉRIEL & MÉTHODES

13.2.1 Boue : la boue utilisée est considérée comme une boue mixte à forte taux de matières organiques, la chaux et le chlorure ferrique ont été ajoutés à la boue en vue de conditionnement à des taux de 22 % et 6 % MS respectivement.

Au début de l'expérience, la boue datait de 3 mois, elle a subi un tamisage en vue d'une meilleure homogénéisation lors du mélange avec l'argile.

13.2.2. SOL : Le sol utilisé est constitué d'argile prélevée à proximité du Département de Génie de l'environnement de l'école Polytechnique, elle est caractéristique du sol de la plaine de Mitidja¹. L'argile a subi un tamisage grossier (enlèvement des graviers) et un tamisage semi-fin afin de faciliter la mixture ultérieure boue-argile.

13.2.3 MÉTHODE :

Des germes de bégonias sont plantés dans des pots en plastique de 12 cm de hauteur et de 10 cm de diamètre le 12 Janvier 1991, en trois pots différents. Les valeurs de mixture boue-argile sont respectivement 1/10 ; 1/4 ; 1/3 ; 1/2, ces valeurs ont été prises intentionnellement, vu d'une part, par la facilité pratique que procure à l'agriculteur et d'autre part, c'est pratiquement les mêmes ratios utilisés avec les engrais.

Ces différents plants sont comparés à des pots témoins multiples sans rajout de boue.

¹ La plaine de Mitidja : Plaine ceinturant Alger, et destinataire éventuelle des boues à valoriser

L'arrosage des plants est effectué par l'eau de ville , 50 ml pour chaque pot et ce deux fois par semaine durant les trois premières semaines ,ensuite 15 ml par pot,chaque trois jours jusqu'à la fin de l'expérimentation.

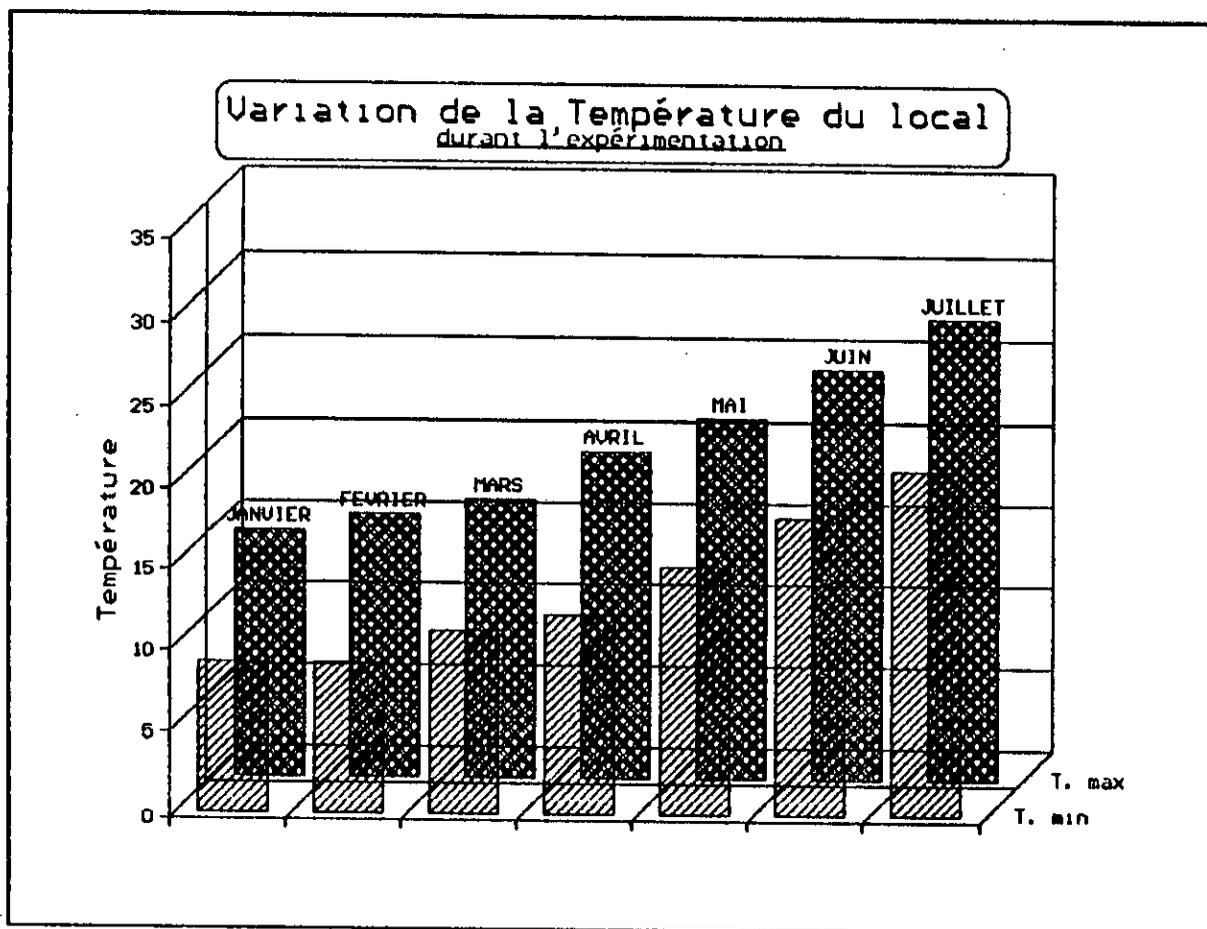


FIGURE 13.1: évolution des maxima et des minima de la température durant l'expérimentation

Les croissance des bégonias s'est fait sous des conditions de lumière naturelle et d'humidité variant de 60 % à 90 % , la moyenne des températures maxi et mini du local durant la période de la manipulation est relevée dans le tableau 13.1 et illustrée à la figure avoisinante. La hauteur des plants est relevée deux fois par semaine.

Tableau : 13.1 La température moyenne max & min durant la période de croissance

| JANVIER °C | FEVRIER °C | MARS °C | AVRIL °C | MAI °C | JUIN °C | JUILLET °C |
|---------------|---------------|------------|-------------|-----------|------------|---------------|
| 15 | 16 | 17 | 20 | 22 | 25 | 28 |
| 9 | 9 | 11 | 12 | 15 | 18 | 21 |

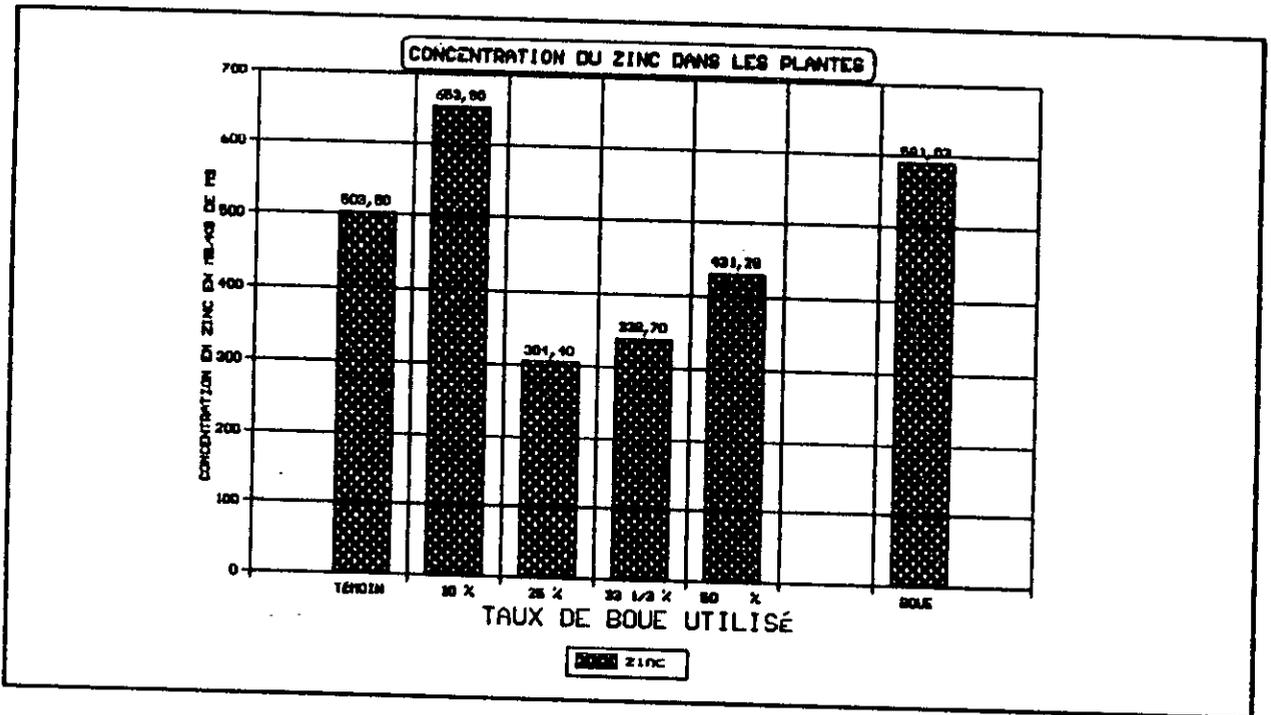


FIGURE 13.3 : Teneur en Zinc des plants de bégonias à différents taux de boue , (comparée à celle du plant témoin et à celle de la boue).

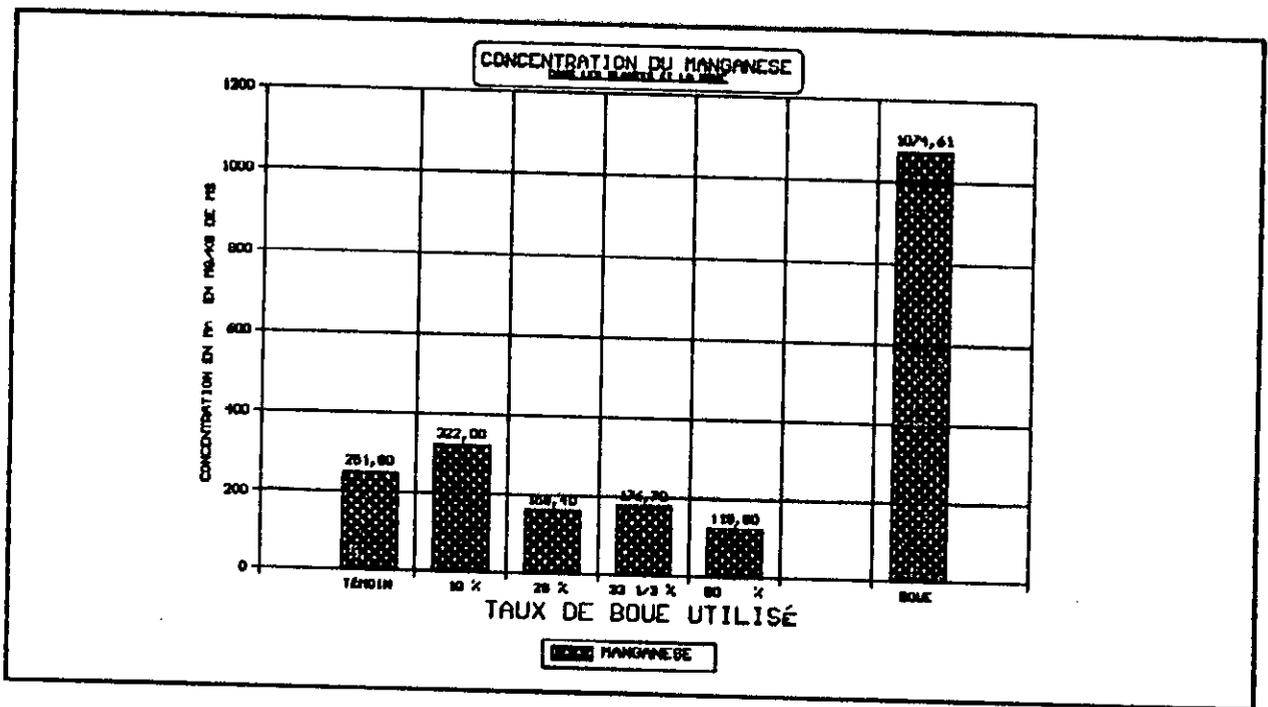


FIGURE 13.4. Teneur de Manganese des plants de bégonias à différents taux de boue , (comparée à celle du plant témoin et à celle de la boue)

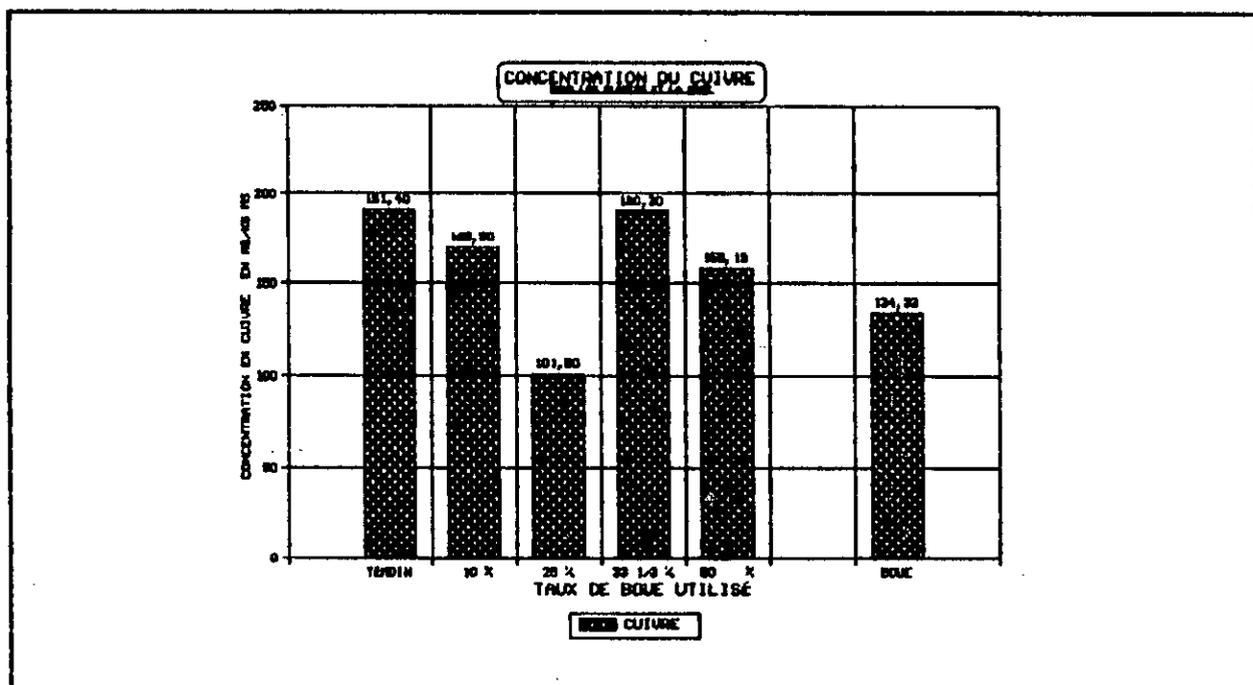


FIGURE 13.5. Teneur en Cuivre des plants de bégonias à différents taux de boue , (comparée à celle du plant témoin et à celle de la boue)

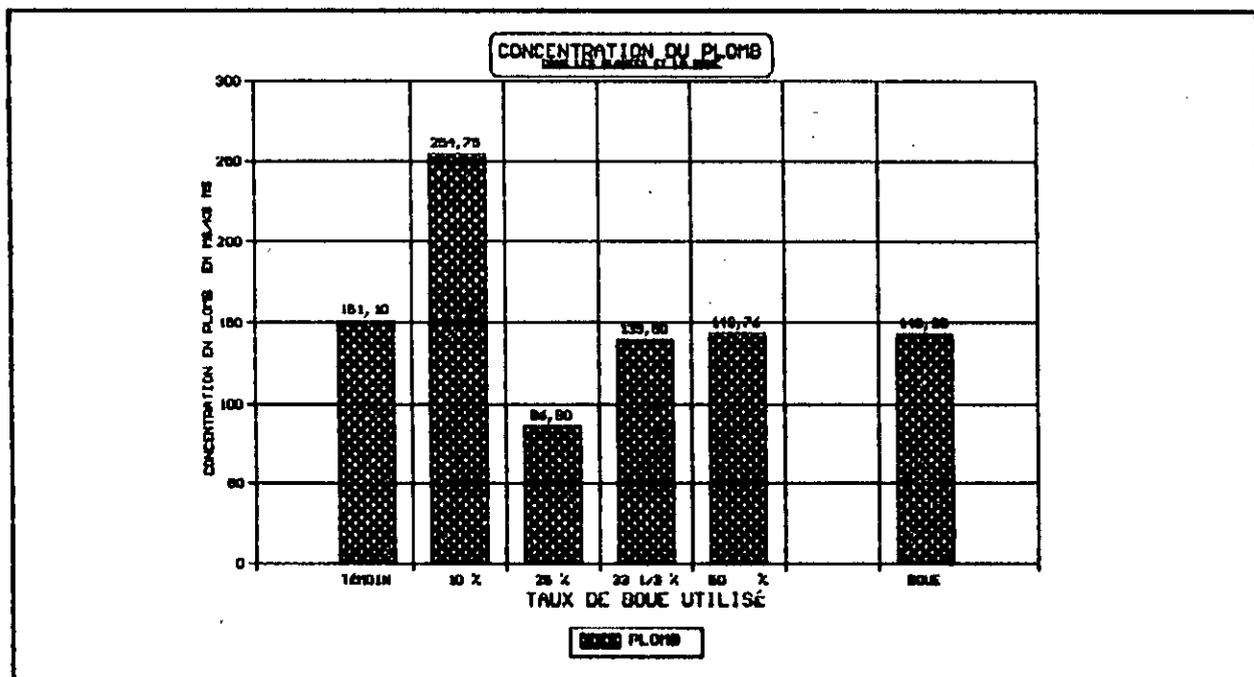


FIGURE 13.6 : Teneur en Plomb des plants de bégonias à différents taux de boue , (comparée à celle du plant témoin et à celle de la boue)

- Les plus grandes valeurs du Zinc ; Manganèse ; Plomb correspondent aux plantes qui ont présenté une meilleure croissance, mais cependant cette observation n'est pas interpolable de façon à pouvoir lier la hauteur des bégonias aux doses de ces éléments, exception faite, pour le cas de Manganèse où la courbe de croissance des plants épouse bien l'allure de la courbe de la croissance maximale des bégonias

- Les plus grandes valeurs de Chrome et de Cadmium correspondent aux plantes ayant subi un amendement à 50 % de boue et qui sont celles qui ont présentées la croissance la plus faible mais toujours est il qu'on ne peut interpoler ces valeurs avec l'allure de la courbe de la croissance maxima des bégonias de façon à pouvoir affirmer qu'il s'agit bien de ces éléments qui ont agit comme inhibiteurs de la croissance .

- La dose du fer absorbée par les plantes "traitées" est moindre à celle de la plante témoin ,une hypothèse peut expliquer cet aspect , c'est que le fer contenu dans les boues , il doit être sous forme moins assimilable par les plantes

En conclusion ,les doses relevées sur les plants de bégonias concernant les éléments traces et le Fer sont assez semblables à celle de la plante témoin , et bien au dessous des normes admises (Normes A.F.N.O.R.) sauf pour le cas de Nickel où la dose dépasse très légèrement la norme pour certains plants.

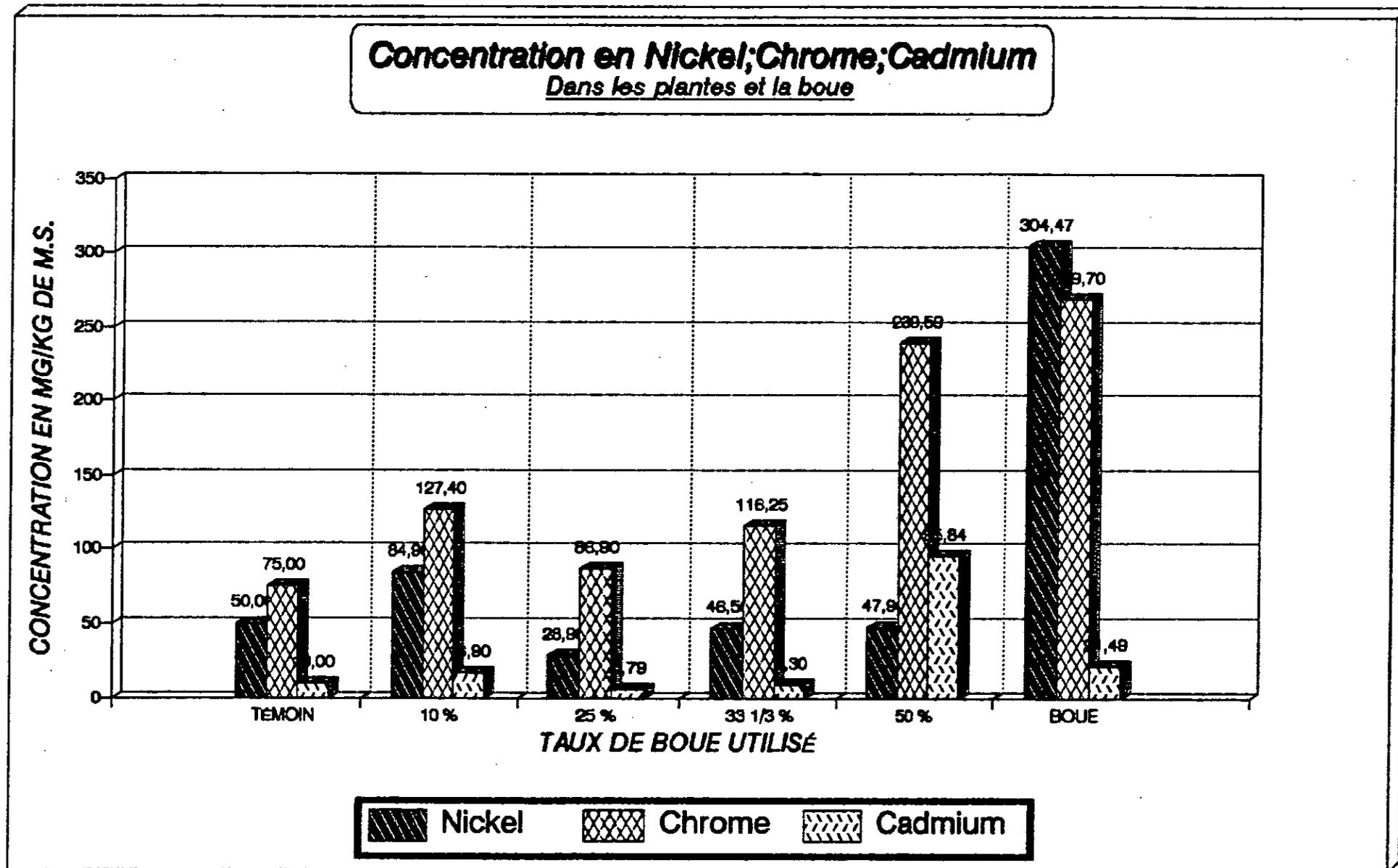


Figure 13.7 Concentration en Nickel , Chrome , Cadmium dans les plants de Régonias et la boue

Conclusion Générale

Le premier volet de ce travail a consisté à l'optimisation du conditionnement des boues résiduaires, soit à la station d'épuration des eaux usées de BARAKI, ainsi que sur l'utilisation de certains conditionneurs pouvant se substituer au Chlorure ferrique, et, ou à la Chaux.

C'est la grandeur de la résistance spécifique à la filtration (R.S.F.) qui a été retenue comme paramètre d'étude et de comparaison entre les différents conditionneurs étudiés ; Cette grandeur permet une définition relativement correcte de la filtrabilité des boues, préalablement conditionnées au moyen de différents réactifs.

La première phase, concerne l'amélioration du conditionnement en Chlorure Ferrique et Chaux (agents d'agréation, présentement, utilisés).

Le travail effectué nous permet de constater que le traitement classique du conditionnement des boues, fournit une très bonne filtrabilité pour des taux en Chlorure Ferrique de 5,5 % MS et en Chaux de 18 % MS.

En les comparant avec les doses actuellement utilisées, des gains pondéraux de 8,3 % en Chlorure Ferrique et de 18,8 % en Chaux sont réalisés.

Des gains substantiels supplémentaires, peuvent être réalisés en diminuant les doses en conditionneurs dans les gammes suivantes 3-5 % MS en $FeCl_3$ et 18 % en CaO sans que cela porte préjudice à la bonne floculabilité et filtrabilité de la suspension boueuse étudiée.

L'abondance relative et son prix bas, nous ont amené, dans la deuxième phase des essais, à s'intéresser à l'éventualité de l'emploi de la Bentonite comme agent coagulant dans le conditionnement des boues de BARAKI

Les essais ébauchés, avec la bentonite seule ou conjointement avec le Chlorure Ferrique, ne sont pas concluants soit à cause des difficultés rencontrées lors de la dissolution de la bentonite, soit tout simplement qu'aucun effet coagulant-floculant n'est observé (le cas de la bentonite + $FeCl_3$).

Quant au cas de la bentonite utilisée conjointement avec la chaux, des résultats assez significatifs sont obtenus, des valeurs de la RSF encourageantes pour les pourcentages 12-18 % MS en Bentonite, mais néanmoins, elles demeurent moins bonnes que celles réalisées avec le traitement classique.

Pour les raisons énumérées ci-dessus, l'emploi de la bentonite comme agent de conditionnement dans les conditions opérationnelles de la station de BARAKI n'a pas été retenu.

Le troisième produit qui a fait l'objet de cette présente étude, est le chlorosulfate Ferrique, un sous produit résiduaire du complexe sidérurgique d'El Hadjar (EN SIDER) dont l'une des principales préoccupations des responsables, est de lui trouver un débouché commercial local. (actuellement mis en décharge).

Devant l'absence des données bibliographiques concernant l'emploi des CSF comme agent de conditionnement et pour des raisons économiques évidentes, c'est pratiquement les mêmes fourchettes percentiles du Couple $FeCl_3 + CaO$ qui ont été reconduites pour les CSF.

Les essais effectués ont démontré l'aptitude du Chlorosulfate Sulfate Ferrique (CSF) comme agent conditionneur efficace, où il est observé une excellente floculabilité pour des doses 4-5% MS en CSF et 20% en CaO.

Même pour des doses inférieures, la floculabilité obtenue demeure satisfaisante, ce qui nous permet de conclure que les Chloro-Sulfates Ferriques étudiées peuvent aisément remplacer "techniquement" les Chlorures Ferriques dans le conditionnement des boues de BARAKI.

La quatrième famille des produits testés concerne les polymères qui, ces dernières années, ont connu une percée notable dans le marché des agents de déstabilisation.

Parmi les divers types testés, ce sont les polymères cationiques qui ont donné les résultats les plus concluants, notamment les Floerger 85 %, Floerger 95 %, BASF 802, s'avérant ainsi qu'ils peuvent se substituer efficacement au traitement classique.

Il est à noter que parmi ces polymères cités, le choix s'est porté sur le BASF C 802 dont il présente les meilleures valeurs de résistance spécifique à la filtration aux moindres concentrations.

Donc, techniquement ; les Chloro-Sulfates Ferriques (utilisés concurremment avec la Chaux) et les polymères BASF C802 peuvent aisément remplacer le traitement classique, suivi à la station de BARAKI .

Toutefois pour une plus grande rigueur, nous avons voulu étayer ces conclusions par une approche économique sommaire, mais néanmoins assez claire et suggestive.

Nous avons comparé les principaux frais occasionnés par le procédé de la déshydratation pour une année, avec les trois options retenues (soit les $FeCl_3 + CaO$; $FeCl_3 + CaO$; BASF C802) aux doses optimales d'utilisation respectives.

De cet approche, il en ressort que les Chloro-Sulfates Ferriques peuvent remplacer sans peine les Chlorures Ferriques, permettant même un léger bénéfice.

Néanmoins, les résultats les plus remarquables sont obtenus pour les polymères BASF C802 où une réduction assez constante, équivalente à 74 % des frais de revient de la déshydratation des boues (10.5 MDA à 2.7 MDA), est observée.

A cela, il faut adjoindre les gains apportés par la réduction notable (~ 40 %) des rotations des camions servant la manutention des boues et la réduction du nombre de pressées des filtre presse, offrant ainsi, une capacité supplémentaire de ~ 25% de la capacité initiale des filtres presses.

Le deuxième volet du présent travail a porté sur une étude de l'éventualité de valorisation des boues présentement conditionnées par le traitement classique en agriculture comme amendement au sol.

Les analyses physico-chimiques effectuées sur les boues, nous ont permis d'observer les caractéristiques suivantes :

Concernant les éléments fertilisants :

- La richesse appréciable de ces boues en matières organiques et en phosphates .
- La forte teneur en Calcium .
- Les très faibles teneurs en Potassium et surtout d'une manière significative en Azote

Concernant les éléments traces :

- Les teneurs en métaux lourds sont acceptables ou les normes AFNOR .

Le principal emploi recommandé pour ce type de boue , étant donné leur aspect fortement calcaïque , est l'amendement des sols acides , comme c'est le cas des plaines de la Mittidja , jouant ainsi un rôle de correcteur de pH , en plus évidemment des éléments qu'elle apporte en éléments fertilisants .

Toutefois , elles peuvent , selon le besoin et selon certaines conditions être ajoutées à des engrais industriels , constituant alors un engrais de grande valeur , étant donné leur richesse en matière organique .

En effet , la faible teneur en azote et donc du rapport C/N ne permettent pas l'emploi , telle quelle , de la boue dans l'amendement agricole , on doit impérativement la faire mélanger avec un engrais azoté industriel .

Toutefois le rapport C/N peut être revu à la baisse si le processus de digestion des boues serait remis en service .

Si on peut être certain qu'une grande quantité d'éléments fertilisants sera utilisée et assimilée par les plantes à plus ou moins brève échéance , les métaux lourds , par contre , ont un effet cumulatif dans les plantes et sont susceptibles de manifester une phytotoxicité à la culture .

Les valeurs relevées montrent que les boues conditionnées au traitement classique de baraki satisfont aux normes AFNOR recommandant les seuils à ne pas dépasser .

Par conséquent , on peut dire que l'apport des boues étudiées peut se traduire par une amélioration du rendement agricole dans les conditions citées ci dessus et dans ce but une étude sur la croissance des bégonias en présence de boue résiduaire de la station à différents taux a été entamée .

Des résultats confortant nos appréciations du départ , ont été obtenus, en effet , il a été constaté une nette augmentation de la croissance des plantes dont l'apport au sol en boue est de 1/10 à 1/4 comparativement à des plantes témoins.

L'analyse de la composition des plantes en métaux lourds a révélé que l'assimilation des bégonias en métaux lourds n'est pas corrélative au taux de la boue administrée , Toutefois cette affirmation n'est valable que dans les conditions opératoires suivies dans cette étude où les teneurs de la boue en métaux lourds sont présentement inférieures aux normes tolérées .

Aussi avant d'entamer des essais à grande échelle , il faudrait d'abord satisfaire aux essais pilotes sur une période d'au moins trois années consécutives suivant les cultures désignées.

Nonobstant cela, et pour plus de prudence , il est recommandé de se pencher sur l'élaboration des normes fixant les concentrations limites en métaux lourds pour les boues et les sols dans nos conditions spécifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 O.T.V. " Documentation technique " sur l'exploitation de la station de BARAKI
- 2 E.P.E.A.L. " Documentation interne " à la station de BARAKI
- 3 DEGRÈMENT " Memento Technique de l'Eau " . *Degrément & Techniques et Documentation* Neuvième
Edition 1990
- 4 Brière F. " épuration physico-chimique des eaux usées " . Edition Ecole Polytechnique de Montréal
1987.
- 5 METCALF & EDDY " Wastewater Engineering Treatment Diposal Reuse " , Seconde Edition Mc GRAW-HILL
1979
- 6 GOMELLA C. & GUERRE .H. " Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales " .Ed.
EYROLLES 1985.
- 7 BECHAC J.P. & Col. " Traitement des eaux usées " . Ed EYROLLES 1984
- 8 BOEGIN " Mécanismes de la floculation des suspensions colloïdales par les hauts polymères
synthétiques , Application à la déshydratation des boues résiduares " , Thèse d'état Nancy 1969.
- 9 BERNARD J. " Les développements récents en traitements des boues " *Tech. Sci et Méthodes L'Eau*,
N° 12 1986 pp 569-577.
- 10 COLIN F. , CORNIER J.C. , DANIEL , JACQUART J.C. , LEFORT D. , MATHAN R. , BRAUSTEIN J.P.
" Caractérisation des boues résiduares " , *T.S.M. L'EAU* Janv. 1976 N°Spécial
- 11 FLANANG M.A. & MARTIRE A.A. " A Diposal-Costing for Evaluating Sludge Dewatering " , *Chemicals*
Journal WPCF Vol 53 N° 2.
- 12 TILLER F.M. , YEH C.S. , TSAI C.D , CHEN W. " Generalised Approach to thickening , Filtration and
Centrifugation " *Filtration & Separation* Mars/Avril 1987 pp 121-129 .
- 13 NHAISALKAR V.A , PARAMASIVAM .R. & BHOLE A.G. " Optimising physical of rapid mix design for
coagulation of turbid waters " *Wat. Res.* N°1 pp 41-52 1991 .
- 14 BÉBIN J. " Conditionnement chimique des boues résiduares ; Développemets récents." in *Technique*
moderne 1979.
- 15 STEVENSON J.R. " A Bible on Coagulation and Floculation " , *Filtration & Séparation* Janv Fev. 1980
- 16 GUNNE .A. " Traitabilité des boues ; Evaluation des domaines d'applications de la résistance
spécifique à la filtration et du temps de succion capillaire " *E.N.S.P. Rennes* 1981 .
- 17 MARKIS N. & REBHUN M. " Ihibition of flocculation process in systems containing organic matter"
Journal W.P.C.F Vol 55 N° 7 pp 947-955.
- 18 LEENTVAAR ET Col " Coagulation floculation of best sugar wastewater " , *Journal W.P.C.F.* Vol
51 N °10 pp 2457-2466 .
- 19 DESBOS .G. , LAPLACE C. " Floculation économique d'une eau par création d'une phase de coagulation
prolongée " *Tribune de l'eau* Mars 1990 N° 546 Vol 42.

- 20 JOHNSON R.A. & CALLANGER S.M. " Use of coagulants to treat processing wastewaters " *Journal WPCF* Vol 56 N°8 pp 970-976.
- 21 COHEN R.D. " Effect of Flocculation on the Permeability Characteristics of Filter Cakes , Application for Improved Performance " . *Filtration & Separation* Sept/Oct 1988 333-335 .
- 22 PEARCE M.J. BARNETT J. " Chemical Treatments for thickening and Filtration " *Filtration and Separation* Sept/Oct 1980 pp 460-470.
- 23 CAPT S.P., SHELTON P.E , BURDICK J.C. " A new concept in sludge filtration theory for industrial Application . *Filtration & Separation* Mai/Juin 1975 .pp 233-237.
- 24 NOVACK J.T. , GOODMAN G.L. , PARIROO A. , HUANG J.C. , The blinding of sludges during filtration. *Journal WPCF* Vol 60 N° 2 pp 206-214 .
- 25 CAMPBELL H.W. , LECLAIR B.P. " Sludge dewatering alternatives for waste activated sludges from phosphorus removal facilities " *Journal WPCF* Vol 51 N° 5 pp 991-998 .
- 26 MINER . R. " Experience with belt filter presses in the pulp and paper industry" . *Journal WPCF* pp 2389-2395.
- 27 BARBER J.B. VEENSTRA J.W. " Evaluation of biological sludge properties influencing volume reduction. *Journal WPCF* Vol 58 N° 2
- 28 WATER POLLUTION CONTROL & FEDERATION " Sludge conditioning Manual of practice " F.D . 14 *Water Poll. Contr. Fed.* 1988
- 29 E.P.A. " Process design manual for sludge treatment and disposal " EPA-625/1-79-011 US EPA , Washington DC.
- 30 WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION An analysis of research needs concerning the treatment , Utilisation , and Disposal Treatment Wastewater Plants Sludges , Washington D.C. (1982).
- 31 E.P.A. Process design manual for sludge treatment and disposal EPA-625/1-79-011 US EPA , Cincinnati , Ohio 1979 .
- 32 ROLAN A.T. Determination of design Loading for sand drying beds *J, N.C Sect. Am. Water Works Asso.* L5 .25 (1980)
- 33 US EPA " Sludge Dewatering and Dryings on Sands Beds" EPA 600/2.78 Cincinnati, Ohio 1978
- 34 The Institute of Water pollution Control GB " Recommend Standars for Sewage Works and thermal Drying Manuals of British Practice" *In water pollution Pollution Control* . G.B. 1981 . .
- 35 GALE R.S. CHEN M.I. " Control of sludge Filter Opération " . *Filtration et Separation* . Janv /Fev 1975. pp 75-83.
- 36 AMOS K.L. THOMAS C.M. ENG C. "Dewatering by Filter presses , A modern Process Technology" *Filtration & Separation* Jan/Fev 1975 pp 39-50.
- 37 MININNI G. M.SANTORI SPINOSA L. " Comparision between Centrifuge and Filter press for Sludge Dewatering " . Mar/Avril *Filtration and Separation* 1984 pp 100-102.
- 38 KINI A.D. NAYAK " Optimising Vacuum Filtration of Sewage Sludge " *Filtration and Separation* Juil/Aug 1980 pp 313-318.
- 39 HATHAWAY S.T. OLEKSEY R.A." Improving Sludge incinération and vaccum filtration and Vaccum with filtration pulverised coal " . *Journal W.P.C.F.* N° Decembre 1977. pp 2419-2431 .

- 40 MARCHAND A. , COQUELET G. , VIGNOBLES C, BOUCHALA Y. " Le séchage des boues des traitements
d'épuration " *T.S.M. L'EAU* Decembre 1986 pp 591-606 .
- 41 MARCHAND A. , COQUELET G. , VIGNOBLES C, BOUCHALA Y. " Le séchage thermique des boues urbaines
et brasseries dans les nouvelles installations de traitement de la station d'épuration du District
Urbain de Nancy" . *T.S.M. l'EAU* Decembre 1986 pp 607-618.
- 42 SHAW F.J. " Filter Press Feed Systems " , Sep/Oct 1980. *Filtration & Separation* , pp 454-45842
- 43 WERRENS A." La floculation principes et applications " In *La technique de l'eau* pp 43-48 année
1975
- 44 ECKENFELDER " Floculation et décantation in *Gestion des eaux usées*" , pp 228-235 ed Tec et
Doc
- 45 CAMPBELL H.W. et Col. " Sludge Dewatering Design Manual " *Canada ONTARIO Agreement Research*
Report (1978).
- 46 U.S. EPA " Chemical Aids Manual Wastewater treatment Facilities *EPA 430/9 78-018* (1979).
- 47 O'BRIEN H ' NOVAK J.T. " Polymer conditioning of chemical sludges" *Journal WPCF* VOL 47 N°10 Oct
1975. pp 2397-2410
- 48 ENVIRONNEMENT CANADA " Control of polymer addition for sludge dewatering " *Wastewatering*
Technology Centre Newsletter. 416/336-4221 Mai 1987.
- 49 NOVACK J.T. ,et Col " Mechanisms and Methods for polymer Conditioning of activated Sludge " *Journal Water Pollution Control* Vol 52 , 2571 (1980)
- 50 REBHUN M , j ZALL . GALIL " A Better Way Of Determining Sludge Filtrabilty" . *Filtartion*
Separation Mai/Juin 1988 pp 192-194.
- 51 ERIKSONN L." Conditioning of biological sludges with cationic polyelectrolutes" . *Wat.Sci.Tech.*
Vol 19 Rio pp 859-868 1987.
- 52 RAISTRICK J.H. " The Relevance of Zeta Potentiel to the Filtration of Small Particles from
Potabls Liquids" *Filtration and Separation* , Mar/Avr 1983.
- 53 SPINOSA L. G.MININI M.SANTORI " La déshydratation mécanique des boues résiduares" *Trib*
CEBEDEAU. N° 485 pp 105-112.
- 54 CARRONDO M.J.T. " Applications of Filtrations Tests fo Extreme Industrial Sludges" *Filtration*
and Separation , Jul/ang 1989, pp 288-291
- 55 P.AARNE VESILAND " Capillary Suction time as a fundamental measure dewaterability " *Journal WPCF*
1988 Vol 66 N° 2 pp 215-220.
- 56 TILLER M. SHEN Y.L. ADIN A. " Capillary Suction Theory for rectangular cells " *Research Journal*
WPCF Vol 62 N° 2 pp 130-136.
- 57 KARR P.R. KEINATH M " Limitations of the Specific Resistance and CST for Sludge Dewatering " *Filtration and Separation* Nov/Dec 1978 pp 543-544
- 58 GALE R.S. " Filtration Theory with Special Reference to Sewage Sludges " *Wat.Pollution Control*
1967 pp 622-632.
- 59 CLARK E.I. FISK B. " Dewatering Of Mixed Sludges " *Wat.Poll.Control* 1978 pp 509-519
- 60 MININI G. SPINOSA L. MISITI A. " Evaluation of filter press perforance for dewatering " .
Journal WPCF Vol 56 N° 4 Avril 1984

- 61 BASKERVILLE R.C. , BRUCE A.M. , DAY M.C. . " Laboratory Techniques for Predicting and Evaluating Performance of Filterbelt Press " . *Filtration and Separation* Sep/Oct 1978
- 62 POULHES M.A. " L'Optimisation du choix et de l'utilisation des agents coagulants et flocculants dans le traitement des boues " . *L'eau l'industrie Les nuisances* , Oct 1983. pp 69-71.
- 63 MURKES J. & CARLSON C.G. " Mathematical Modelling and optimisation Of Centrifugal Separation " *Filtration and Separation* Janv/Fev 1978 pp 18-22.
- 64 BAZER A. PURCH-COST E. BEN AIM R. PROST J.L. " Modélisation mathématique di taux de coagulant dans une station de traitement d'eau " .
- 65 LOTITO V. MANCINI I.M. " A New way to evaluate sewage sludge filtrapressability" *Environ. Tech.Letters* Vol 9 PP 1261-1270 .
- 66 REBHUN M. ZALL J. GALIL M. " Net Sludge yield as an expression of filtrabilty for conditioner optimization " *Journal WPCF* Vol 61 N° 1 pp 52-54
- 67 BERON P. MEILLEUR R.A. " Optimisation de la méthode d'essai de flocculation en laboratoire . *Sciences et Technique de l'eau* Vol 18 N° 3 Août 1985 .
- 68 AUSTIN R.P. " The Filter Belt Press Application and Design" *Filtration and Separation* Jul/Aout 1978 pp 320-330.
- 69 VESILAND P.A. ZHANG G. " Technique for estimating sludge compatability in centrifugal dewatering" *Journal WPCF* Vol 56 N° 12 Dec 1984 pp 1231-1237
- 70 CARLETON J. HACKAY D.J. " Assessment of Models for Predicting the Dewatering of Filter Cakes By Gas Blowing " *Filtration & Separation* , Mai/Juin 1988 pp 187-190
- 71 CINTRE M. DODDS J. LECLERC D. " Efficiency of particule in Colloid Filtration " *Filtration and Separation* Jul/Aug 1987 pp 259-263
- 72 CAILLERE S. & HENIN S. " Minéralogie des argiles "
- 73 HENDRICK S.B. , JEFFERSON Mc . , *Journal Am.Mine.* 1938 28.863
- 74 HENDRICKS S.B. , NELSON R.M. L.T. *Journal Am. Chem. Sai* 1940 62 p 1457
- 75 BENDJAMAA .A " Etude des bentonites Algériennes . Application à la décoloration des huiles . Thèse de Magister *Ecole.Nat. Polytechnique d'Alger* . Juin 1981.
- 76 BENDJAMAA .Z " Sorption de Mercure sur les bentonites algériennes" , thèse de Magister . *Ecole Nat. Polytechnique d'Alger.*
- 78 MOHALBI F. " Contribution à l'étude des bentonites et échange de cation Cu⁺⁺ et Zn⁺⁺ " Thèse d Maogister *Ecole.Nat. Polytechnique* . Juin 1983
- 78 KEULLAM A. DELATANY.J. " Les phénomènes d'échange de cations et anions dans les sols " .
- 80 OLSEN .A . " Low Technology water purification by bentonite clay and Moringa seed Flocculation as performed in Sudanese Villages : Effects on Shistosoma Mansoni Cerciale" *Wat.Res.* Vol 21 N°5 pp 517-522 1987 .
- 81 BOUGHDAOUI M. REHI R. Utilisation de la bentonite dans le traitement des eaux du barrage Chrib. (Medea, Algérie) *Tribune de l'eau* N°1 Vol 42
- 82 SOUCHAY : Echangeurs d'ions
- OUCHERRENKO F.D. Propriétés hydrophiles des argiles et minéraux argileux *Ed Mir Kiev* 1969.

- 83 HYDE H.R. " Utilisation of wastewater sludge for agricultural soil enrichment .Journal W.P.C.F. Vol 48 N° 1 Janvier 1976 pp 77-90
- 84 B.BERTHET , " étude de la valeur agricole de boues résiduares d'une station de traitement physico-chimique d'eaux usées". Avril 1987 *Techniques Sciences et Méthodes*
- 85 A.N.R.E.D. " La valorisation agricole des boues de stations d'épuration" *Cahiers techniques de la D.D.P* N°7 63 p 1982
- 86 CASHILLO ,G.T. TEGA A.O. " Use in agriculture of sludge from chemical treatment of sewage" . *Wat.Sci.Tech.* Vol. 119 N °8 pp 139-145, 1987
- 87 SCHELING H.M. " Sludge in agriculture ; the European Approach " *Wat Sci Tech.* Vol N°8 pp 09-18 1987
- 88 RANBL C." La valorisation agricole des boues de stations d'épuration " , *L'eau ,L'industrie, les nuisances* , N° 97 Janvier 1986 pp 55-59.
- 89 COILLARD J. LEHY J.B. ,RICHAUD F. VERMONDE P. AVUILLOMOZ " évaluation de la valeur agronomique des boues liquides de stations d'épuration d'effluents domestiques" . *Techniques Sciences et Méthodes* Jui-Aug 1988 pp 401-408
- 90 Kelling K.A , Walsh. L.M. KEENEY D.R. R.Y. PETERSON A.E. " A field Study of the agricultural of sewage .II Effect an soil N and P " *J.Environ. Qual.* N °4 pp 345- 352 1989.
- 91 BLÉS M.. MONTEIL A.,HUSSON G.P. ,VELLAGINES R." Différents formes de métaux dans les boues d'une station d'épuration " , in *Tribune de l'eau* , Fev 89 N° 5 Vol 41. pp 24-31
- 92 STOVER R.C. SOMMERS L.E. & SILVEIRA J. " Evaluation of metal in wastewater sludge" *Journal W.P.C.F.* Vol48 N°9 Sepetembre 1976 pp 2165-2175
- JENKINS R.L. , SCHEBELDS M.L SMITH BAIRD , LO M.P.HAUG *Journal W.P.C.F* Vol 53 N°1 pp 25-33 Janv 81
- 93 PIETZ R.I , CARLSON Jr ,PETERSON J. R. ,ZENZ D.R. & LUE-HING C. " Application of sewage sludge and other amendements to coal refuse matériel : II Effects on Revegetation in *J. Environ Qual.* 18 : 169-173 (1989)
- 94 LEGRET M., DIVET L., MARCHANDISE P. " Mobilité et extraction des métaux lourds associés aux boues de stations d'épuration " *Wat. Res.* Vol 21 N° 5 pp 541-547 1987 .
- 94" POMMEL B., TETART J.M." Incidence de la nature des effluents des types de filières de traitement des eaux et des boues sur la valeur agronomique des boues " *Tech. Sci.& Méthodes l'eau* juillet N°7 1978 pp 327-330
- 95 BAUDIN M. BARIOEAU " Perspectives de valorisation des boues d'épuration et composts d'ordures ménagères " ,*Trib.CEBEDEAU* 49n pp 37-40.
- 96 COUILLARD D.& GRENIER Y. Alternative à la gestion des boues résiduares recyclage en sylviculture *Sciences et techniques de l'eau* Vol 20 . N° 3 AOÛT 1987.
- 97 CRITES R.W. RICHARD D. " Land application of sludge in San Diego " *Journal W.P.C.F.* Vol 59 N° 8 pp 774-780 (1987)
- 98 OLIVEIRA P.R.C. FILHO P.R. " Land farming - A solution for the treatment of biological sludge in Cetrel waste treatment plant Brazil" - *Wat. Sci. Tech.* Vol 19 N° 8 pp 27-32 1987

- 99 CHEGMANE F. , ARBAOUI " étude de l'évolution des protozoaires et métazoaires des boues activées de la station d'épuration des eaux usées de BARAKI Durant l'année 1989 " *E.P.E.A.L Dpt Qualité des eaux* 1990.
- 100 EPA " Land application of sewage effluents and sludges " *EPA Report N° 660/2-74-642* Dec. 1974.
- 101 SOBER. C.A. B.E. MOORE , JOHNSON D.E. H.J. Harding R.E.Y. THUMAS " Microbiological aerosols from the application of liquid sludge to land " *JOURNAL W.P.C.F* Vol 56 N°7 July 84.
- 102 CLARK .C.G. , BJORNSON H.S. SHWARTZ J. HOLAND J.W.GARTSIDE "Biological health risks associated of with the composting of wastewater treatment plant sludge" *Journal W.P.C.F* Vol 56 N°12 pp 1269-1277.
- 103 BARON .D.,CARRE J., MAURIN J., " Caractéristiques biologiques et virologiques des boues de stations d'épuration par lagunage naturel; cas de la Chapelle Thourault *Trib Cebedeau* N° 518 40 pp 41-45 Cebedoc éditeur , Belgique 1987
- 104 SCHWARTZBROD J. ,MATHIEU C. THREVENOT M.T. BARRADEL J.M. "Wastewater Sludge Parasitological contamination" *Wat.Sci. Tech.* Vol 19 N°18 pp 33-40. 1987
- 105 O.M.S. " L'épandage des boues d'épuration et ses dangers pour la santé Publique , *Trib Cebedeau* N° 493 pp 511-525 (1984)
- 106 Block J.C." Risques Sanitaires liées à l'utilisation des boues en agriculture ; aspects microbiologiques " *Sci. Tech.de l'eau* Vol 19.N° 1 Fév 1986
- 107 A.F.N.O.R. Normes A.F.N.O.R.
- 109 B.BERTHET "étude de la valeur agricole de boues résiduelles d'une station de traitement physico-chimique d'eaux usées", Avril 1987 *Techniques Sciences et Méthodes*
- 110 Proceedings Sludge ,Handling and Disposal Seminar ." Nitrogen transformation and uptake ". Toronto (Ontario,CANADA) 18-19 Sept 1974 pp 159-173.
- 111 MAKIB .M. Cours de Déchets Solides et Valorisation , école N. Polytechnique d'Alger 1988
- 113 SANDERS J.R., Mc GRATH S.P., ADAMS.T " Utilisation agricole des boues contenues des métaux lourds (Zn ,Cu ,Ni) ". 1987 , *Environ.Pollut.* 44 N° 3 pp 193-210 .
- 114 WEBER M.D. " Contrôle de la concentration de métaux lourds dans les sols après épandage de boues d'égout municipale : l'approche canadienne ". 1988 *Sciences et techniques*
- 115 DAVIES B.E. " Heavy metal pollution of British agricultural soil with special reference to the role of lead and copper mining" . 1977 . *Proc.Int Seminar Soil.Environ.and Fertility Management In Intensive Agri.*
- 116 JENNE E.A. " Controls on Mn ,Fe ,Co ,Ni ,Cu , and Zn , concentrations in soils and water ;the significant role of hydrous Mn and Fe oxides" , in Trace inorganics water 1968 *Am.Chem.Ser.* 1968 N° 73 ; pp 337-387
- 117 LEGRET M." Les métaux lourds dans les boues de stations d'épuration .Valorisation agricole et Extraction des métaux toxiques " *Bull.Liaison Labo.P.Ch* 129 Janv Fev 1984 Réf 2876 .
- 118 GILLIES J.A. , KUSHAWA R.L. , HWANG C.P. , FORD R.J. " Heavy metal residues in soil and crops from applications of anaerobically digested sludge ". *Research Journal WPCF* Vol 61 Numbers 11/12 pp 1673-1677

- 119 KNOCKE W.R. , KELLEY Roy T. " Improving heavy metal sludge dewatering characteristics by recycling preformed sludge solids " *Journal WPCF* Vol. 59 N° 2 Fev. 1987
- 120 LABAURE J.H.,KOTUCKY J., AMACHER R.P. ,GAMBEL " The effect of soil properties and a synthetic municipal landfill leachate on the retention of Cd,Ni, Pb and Zn in soil and Sediment materials " pp 379-398 *Journal JWPCF* N° 3 March 1988 .
- 121 PATTERSON James W. KODUKULA P. S. " Métal distributions in activated sludge systems " *Journal W.P.C.F.* Vol 56 N° 5 mai 1984 .
- 122 MOREL J.L." Contribution à l'étude de l'évolution des boues résiduelles dans le sol" thèse de Dr/Ing. *Inst. Nat. Polytec. de Lorraine* , Université de Nancy .
- 123 GANZE C.W. , WAHLSTROM J.S. , TURNER D.R. " Fate of heavy disposal landspread opération a case history " *Wat. Sci. Tech.* Vol 19 N°8 pp19-26 1987.
- 124 FARREL,J.B. " Overview of sludge handling and disposal". *Proc Natn.Conf.Municipal Sludge Management* 5-10 Washington . D.C. information Transfer Inc.(1974).
- 125 ARNAL G. , DEVAUX P. Valorisation des boues de stations d'épuration dans les plantations routières *Bull Liaison Labo P.et Ch* N° 129 Janv-Fév 984 Réf 2863
- 126 PIETZ R.I , CARLSON Jr ,PETERSON J. R. ,ZENZ D.R. & LUE-HING C. " Application of sewage sludge and other amendements to coal refuse matériel : I Effects on chemical Composition " in *J. Environ Qual.* 18 : 164-169 (1989)
- 127 JANSEN ,S.L." Kläschlammverwertung in der Landwirtschaft Schwedens .Standund Leistung agrkulturchester und agrarbiologischer " *Forschung* 22,61-6.
- 128 CHAWLA V.K. , BRYANT D.W. & LIU D." Disposal of chemical sewage sludges on land and their effects on plants, leachate and sol systems in *Sludge handling and Disposal Seminar* . Conf.Proc N° 2 pp 207-233 Toronto Ontario. *Ontario Ministry of the Environnement* 1974
- 129 KIRKHAM , M.B. & DOTSUN " Growth of barley irrigated with wasterwater sludge containing phosphat precipitans " . *Proc.Natn.Conf.Municipal Sludge Management* pp 97-106 Washington D.C. Information Transfer , Inc . USA 1974
- 130 KIRKHAM , M.B. " Growth of tulips treated with sludge containing dewatering chemicals" , *Environ.Pollu.* (13) 1977 pp 11-20 Great Britain.
- 131 KIRKHAM . M.B." Value of phosphorus in sewage sludge spead on agriculrai land " .In *Phosphorus removal in biological waste treatement* , ed by G.V. Levin Cleveland . Ohio CRS Press, Inc 1976
- 132 COUILLARD D.& GRENIER Y." Alternative à la gestion des boues résiduelles recyclage en sylviculture " *Sciences et techniques de l'eau* Vol 20 ,N°3 AOÛT 1987.
- 133 PARENT .B " étude de compostage commun des boues résiduelles fraîches et d'ordures ménagères" *Tech. Scien. Méthodes* 1976 Octobre pp 425-434.
- 134 ENVIRONNEMENT CANADA " L'épandage des eaux usées et des boues d'épuration d'origine urbaine" *Service de la protection de l'environnement* guide SPE 6-EP-84-1 . 190 pages. (1985)
- 135 LAROUSSE AGRICOLE ,Ed Larousee 1990
- 136 BOUZID K. YAZID.H " Compositon des boues de la station d'épuration de Baraki et valorisation agricole . PFE Dpt Chimie industrielle USTHB Alger 1990

- 137 **YOUNI F. DAHMOUNI S.** " Utilisation des CSF dans le conditionnement des boues de la station de BARAKI", Inst. Chim. Indus. Univers. de BLIDA 1991.
- 138 **ZIANI W & ANKI F.** " Utilisation des coagulants et flocculants dans la déshydratation des boues " *PFE Ins de Chim. Indus. USTHB ALGER* 1990.

ANNEXE UN

Quelques exemples de la
détermination de la
résistance spécifique à la
filtration R.S.F.

1. Essais Chaux + Chlorure Ferrique

1.1 $T_o = 16\%$ & $T_r = 2\%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|----------------|-----------|-------|
| 5 | 3 | 1.67 |
| 10 | 5 | 2.00 |
| 15 | 5 | 3.00 |
| 25 | 7 | 3.57 |
| 35 | 8 | 4.37 |
| 45 | 9 | 5.00 |
| 55 | 10 | 5.55 |
| 78 | 13 | 6.00 |
| 154 | 15 | 7.00 |
| 127 | 17 | 7.47 |
| 154 | 19 | 8.10 |
| 218 | 23 | 9.47 |
| 262 | 25 | 10.43 |
| 297 | 27 | 11.00 |
| 387 | 31 | 12.43 |
| 429 | 33 | 13.00 |
| 535 | 36 | 14.86 |
| 595 | 39 | 15.23 |
| 655 | 41 | 15.97 |
| 755 | 45 | 17.22 |

$V_f = 1304$ ml
 $D_s = 11.9287$ g
 $C_e = 0.898$
 $r_{o.5} = 5.866 \cdot 10^{-12}$

2. $T_o = 16\%$ & $T_r = 3\%$

| temps en [a] | Volume de V ml | t/V |
|--------------|----------------|------|
| 7 | 2 | 3.50 |
| 15 | 4 | 3.75 |
| 22 | 6 | 3.66 |
| 38 | 10 | 3.80 |
| 49 | 12 | 4.08 |
| 60 | 14 | 4.28 |
| 70 | 16 | 4.37 |
| 82 | 18 | 4.55 |
| 96 | 20 | 4.80 |
| 111 | 22 | 5.04 |
| 125 | 24 | 5.20 |
| 142 | 26 | 5.46 |
| 156 | 28 | 5.57 |
| 176 | 30 | 5.86 |
| 194 | 32 | 6.01 |
| 212 | 34 | 6.23 |
| 227 | 36 | 6.31 |
| 246 | 38 | 6.47 |
| 265 | 40 | 6.62 |
| 285 | 42 | 6.79 |

$V_e = 156 \text{ ml}$
 $C_e = 11.4526 \text{ g}$
 $C_r = 0.998$
 $R_e = 1.832 \cdot 10^{12}$

3. $T_o = 16\%$ & $T_f = 4\%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|----------------|-----------|------|
| 5 | 2 | 2.50 |
| 30 | 6 | 5.00 |
| 42 | 8 | 5.25 |
| 51 | 10 | 5.10 |
| 64 | 12 | 5.33 |
| 76 | 14 | 5.43 |
| 88 | 16 | 5.50 |
| 103 | 18 | 5.72 |
| 116 | 20 | 5.80 |
| 132 | 22 | 6.00 |
| 144 | 24 | 6.00 |
| 164 | 26 | 6.30 |
| 179 | 28 | 6.39 |
| 195 | 30 | 6.50 |
| 210 | 32 | 6.56 |
| 230 | 34 | 6.76 |
| 250 | 36 | 6.94 |
| 265 | 38 | 6.97 |
| 285 | 40 | 7.12 |
| 305 | 42 | 7.26 |

| |
|---------------------------------|
| $V_e = 168 \text{ ml}$ |
| $C_e = 11.7507 \text{ g}$ |
| $C_e = 0.987$ |
| $R_{o.g} = 3.349 \cdot 10^{-2}$ |

4. $T_o = 16 \%$ & $T_r = 5 \%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 5 | 2 | 2.50 |
| 10 | 6 | 1.67 |
| 18 | 8 | 2.25 |
| 35 | 10 | 3.60 |
| 55 | 14 | 3.93 |
| 65 | 16 | 4.07 |
| 76 | 18 | 4.23 |
| 100 | 22 | 4.54 |
| 112 | 24 | 4.67 |
| 123 | 26 | 4.73 |
| 140 | 28 | 5.00 |
| 153 | 30 | 5.10 |
| 170 | 32 | 5.31 |
| 185 | 34 | 5.44 |
| 203 | 36 | 5.64 |
| 220 | 38 | 5.79 |
| 234 | 40 | 5.85 |

$$V_r = 168 \text{ ml}$$

$$C_r = 11.7507 \text{ g}$$

$$C_r = 0.997$$

$$R_{o.5} = 1.516 \cdot 10^{-12}$$

5. $T_o = 16 \%$ & $T_r = 6 \%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 10 | 2 | 5.00 |
| 15 | 4 | 3.75 |
| 25 | 6 | 4.17 |
| 35 | 8 | 4.37 |
| 45 | 10 | 4.50 |
| 57 | 12 | 4.75 |
| 70 | 14 | 5.00 |
| 85 | 16 | 5.31 |
| 100 | 18 | 5.55 |
| 115 | 20 | 5.75 |
| 135 | 22 | 6.13 |
| 150 | 24 | 6.25 |
| 169 | 26 | 6.50 |
| 210 | 30 | 7.00 |
| 230 | 32 | 7.18 |
| 255 | 34 | 7.50 |
| 275 | 36 | 7.63 |
| 300 | 38 | 7.89 |
| 330 | 40 | 8.25 |

$V_c = 148 \text{ ml}$
 $C_c = 13,0488 \text{ g}$
 $C_e = 0,997$
 $R_{o,e} = 2,102 \cdot 10^{-2}$

6. $T_o = 16\%$ & $T_r = 7\%$

| Temps t en (s) | V en (ml) | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 2 | 4 | 0.50 |
| 6 | 8 | 0.75 |
| 13 | 12 | 1.08 |
| 20 | 16 | 1.25 |
| 27 | 18 | 1.50 |
| 32 | 20 | 1.60 |
| 38 | 22 | 1.72 |
| 45 | 24 | 1.87 |
| 55 | 26 | 2.11 |
| 65 | 28 | 2.32 |
| 75 | 32 | 2.34 |
| 90 | 36 | 2.50 |
| 122 | 40 | 3.05 |
| 130 | 42 | 3.09 |
| 142 | 44 | 3.23 |
| 150 | 46 | 3.26 |
| 165 | 48 | 3.43 |
| 185 | 50 | 3.70 |
| 192 | 52 | 3.69 |
| 205 | 54 | 3.79 |

| | |
|-----------|------------------------------|
| V_r | $\times 140$ ml |
| D_e | $\times 12.6873$ a |
| C_e | $\times 0.987$ |
| $R_{o,e}$ | $\times 1.087 \cdot 10^{12}$ |

7. $T_o = 18 \%$ & $T_r = 2 \%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 9 | 2 | 4.50 |
| 15 | 4 | 3.74 |
| 25 | 6 | 4.16 |
| 31 | 8 | 3.87 |
| 40 | 10 | 4.00 |
| 52 | 12 | 4.33 |
| 61 | 14 | 4.35 |
| 74 | 16 | 4.62 |
| 85 | 18 | 4.72 |
| 100 | 20 | 5.00 |
| 112 | 22 | 5.09 |
| 129 | 24 | 5.37 |
| 145 | 26 | 5.57 |
| 163 | 28 | 5.82 |
| 179 | 30 | 5.96 |
| 217 | 32 | 6.15 |
| 197 | 34 | 6.38 |
| 217 | 36 | 6.58 |
| 255 | 38 | 6.71 |
| 276 | 40 | 6.90 |

$V_r \times 158 \text{ ml}$
 $C_e \times 10.6300 \text{ g}$
 $C_r \times 0.998$
 $R_{o,e} \times 2.120 \cdot 10^{12}$

8. $T_o = 18 \%$ & $T_r = 5 \%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|----------------|-----------|------|
| 5 | 5 | 1.00 |
| 10 | 7 | 1.42 |
| 15 | 10 | 1.50 |
| 33 | 19 | 1.73 |
| 42 | 22 | 1.91 |
| 50 | 25 | 2.00 |
| 56 | 27 | 2.07 |
| 67 | 32 | 2.09 |
| 79 | 35 | 2.57 |
| 85 | 37 | 2.30 |
| 91 | 39 | 2.33 |
| 97 | 41 | 2.36 |
| 104 | 43 | 2.41 |
| 111 | 45 | 2.46 |
| 121 | 47 | 2.57 |
| 128 | 49 | 2.61 |
| 144 | 53 | 2.71 |
| 155 | 55 | 2.81 |
| 165 | 57 | 2.89 |
| 176 | 59 | 2.98 |

$V_r = 144 \text{ ml}$
 $C_w = 10.5624 \text{ g}$
 $C_s = 0.985$
 $R_{a,m} = 0.586 \cdot 10^{-3}$

9. $T_o = 20 \%$ & $T_r = 3 \%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|----------------|-----------|------|
| 10 | 4 | 2.60 |
| 17 | 6 | 2.83 |
| 28 | 8 | 3.50 |
| 37 | 10 | 3.70 |
| 47 | 12 | 3.91 |
| 61 | 14 | 4.35 |
| 73 | 16 | 4.56 |
| 88 | 18 | 4.89 |
| 100 | 20 | 5.00 |
| 114 | 22 | 5.16 |
| 130 | 24 | 5.41 |
| 144 | 26 | 5.53 |
| 164 | 28 | 5.87 |
| 181 | 30 | 6.03 |
| 199 | 32 | 6.21 |
| 220 | 34 | 6.47 |
| 240 | 36 | 6.67 |
| 265 | 38 | 6.97 |
| 287 | 40 | 7.17 |
| 308 | 42 | 7.33 |

$V_r = 150 \text{ ml}$
 $C_m = 11.3891 \text{ g}$
 $C_r = 0.98808$
 $R_{D.M} = 2.169 \cdot 10^{-3}$

10. $T_o = 20 \%$ & $T_f = 8 \%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 13 | 4 | 3.25 |
| 21 | 6 | 3.50 |
| 30 | 8 | 3.75 |
| 37 | 10 | 3.70 |
| 49 | 12 | 4.08 |
| 57 | 14 | 4.07 |
| 69 | 16 | 4.31 |
| 84 | 18 | 4.66 |
| 94 | 20 | 4.7 |
| 109 | 22 | 4.95 |
| 120 | 24 | 5.00 |
| 133 | 26 | 5.11 |
| 152 | 28 | 5.42 |
| 162 | 30 | 5.40 |
| 188 | 32 | 5.87 |
| 207 | 34 | 6.08 |
| 226 | 36 | 6.27 |
| 247 | 38 | 6.50 |
| 264 | 40 | 6.60 |
| 281 | 42 | 6.69 |

$V_r = 125 \text{ ml}$
 $C_m = 12.4075 \text{ g}$
 $C_r = 0.987$
 $R_{d,r} = 1.390 \cdot 10^{-2}$

2. Essais Bentonite + Chaux

2.1. $T_0 = 16\%$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|----------------|-----------|------|
| 11 | 2 | 5.50 |
| 25 | 4 | 6.25 |
| 42 | 6 | 7.00 |
| 60 | 8 | 7.50 |
| 78 | 10 | 7.80 |
| 100 | 12 | 8.33 |
| 130 | 14 | 9.28 |
| 158 | 16 | 9.27 |
| 185 | 18 | 10.2 |
| 226 | 20 | 11.2 |
| 255 | 22 | 11.5 |
| 290 | 24 | 12.0 |
| 330 | 26 | 13.6 |
| 375 | 28 | 13.3 |
| 430 | 30 | 14.3 |
| 470 | 32 | 14.6 |
| 525 | 34 | 15.4 |
| 575 | 36 | 15.9 |
| 630 | 38 | 16.5 |
| 690 | 40 | 17.2 |

| |
|-----------------------------|
| $V_r = 110 \text{ ml}$ |
| $C_m = 8.8255g$ |
| $C_v = 0.988$ |
| $R_v = 2,800 \cdot 10^{-2}$ |

2.2. $T_0 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 10 | 4 | 2.50 |
| 20 | 6 | 3.33 |
| 35 | 8 | 4.37 |
| 48 | 10 | 4.80 |
| 62 | 12 | 5.17 |
| 75 | 14 | 5.36 |
| 93 | 16 | 5.81 |
| 105 | 18 | 5.83 |
| 128 | 20 | 6.40 |
| 148 | 22 | 6.72 |
| 172 | 24 | 7.17 |
| 195 | 26 | 7.50 |
| 217 | 28 | 7.75 |
| 245 | 30 | 8.17 |
| 270 | 32 | 8.43 |
| 295 | 34 | 8.67 |
| 323 | 36 | 8.97 |
| 355 | 38 | 9.34 |
| 390 | 40 | 9.75 |
| 425 | 42 | 10.1 |

| |
|---------------------------------|
| $V_r = 140 \text{ ml}$ |
| $C_m = 15.1711\text{g}$ |
| $C_r = 0.898$ |
| $R_{m,s} = 3.140 \cdot 10^{-3}$ |

3. Essais avec Polyelectrolytes

3.1. Floerger 85 % : 5 mg/ MS

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|----------------|-----------|------|
| 6 | 1 | 6.00 |
| 12 | 2 | 6.50 |
| 19 | 3 | 6.33 |
| 25 | 4 | 6.25 |
| 34 | 5 | 6.80 |
| 43 | 6 | 7.17 |
| 52 | 7 | 7.42 |
| 62 | 8 | 7.75 |
| 74 | 9 | 8.22 |
| 80 | 10 | 8.50 |
| 92 | 11 | 8.36 |
| 104 | 12 | 8.66 |
| 117 | 13 | 9.00 |
| 127 | 14 | 9.07 |
| 143 | 15 | 9.53 |
| 161 | 16 | 10.6 |
| 176 | 17 | 10.3 |
| 187 | 18 | 10.3 |
| 200 | 19 | 10.5 |
| 218 | 20 | 10.9 |

| |
|---------------------------------|
| $V_p = 104 \text{ ml}$ |
| $C_m = 8,5552$ |
| $C_x = 0,985$ |
| $R_{p,m} = 4,290 \cdot 10^{12}$ |

3.2. Floerger 95 % : 10 mg/g MS

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 3 | 2 | 1.5 |
| 15 | 4 | 3.25 |
| 20 | 6 | 3.33 |
| 25 | 8 | 3.12 |
| 35 | 10 | 3.50 |
| 45 | 12 | 3.75 |
| 50 | 14 | 3.57 |
| 60 | 16 | 3.75 |
| 73 | 18 | 4.05 |
| 80 | 20 | 4.00 |
| 90 | 22 | 4.09 |
| 105 | 24 | 4.37 |
| 115 | 26 | 4.42 |
| 130 | 28 | 4.64 |
| 142 | 30 | 4.73 |
| 160 | 32 | 5.00 |
| 175 | 34 | 5.14 |
| 203 | 36 | 5.63 |
| 225 | 38 | 5.92 |
| 230 | 40 | 6.25 |

| | |
|-----------|--------------------------|
| V_p | = 128 ml |
| C_p | = 11.3412 g |
| C_r | = 0.954 |
| $R_{p,r}$ | = $1.463 \cdot 10^{-12}$ |

4. Essais Chaux + ChloroSulfate Ferrique

4.1. CaO 18 % et C.S.F. 7 %

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|------|
| 5 | 8 | 0.6 |
| 10 | 12 | 0.8 |
| 30 | 26 | 1.2 |
| 45 | 34 | 1.3 |
| 60 | 42 | 1.4 |
| 75 | 49 | 1.5 |
| 90 | 56 | 1.6 |
| 105 | 62 | 1.7 |
| 120 | 68 | 1.8 |
| 150 | 76 | 2.0 |
| 180 | 80 | 2.3 |
| 210 | 83 | 2.5 |
| 240 | 85 | 2.8 |
| 360 | 89 | 4.0 |
| 540 | 91 | 5.9 |
| 780 | 92 | 8.5 |
| 900 | 92 | 9.8 |
| 1200 | 92 | 13.0 |
| 1800 | 92 | 19.6 |

$V_0 = 62 \text{ ml}$
 $V_{\infty} = 154 \text{ ml}$
 $C_0 = 11.1380$
 $m = 72.3 \text{ kg/m}^2$
 $R_+ = 0.34 \cdot 10^{14} \text{ t/s}$

4.2. CaO 20 % et C.S.F. 5 %

| Temps t en [s] | V en [ml] | t/V |
|-------------------|--------------|-----|
| 5 | 8 | 0.6 |
| 10 | 12 | 0.8 |
| 45 | 14 | 1.1 |
| 30 | 22 | 1.4 |
| 45 | 30 | 1.5 |
| 60 | 36 | 1.7 |
| 75 | 42 | 1.8 |
| 90 | 48 | 1.9 |
| 120 | 56 | 2.1 |
| 150 | 66 | 2.3 |
| 180 | 74 | 2.4 |
| 210 | 80 | 2.6 |
| 240 | 88 | 2.7 |
| 300 | 96 | 3.1 |
| 360 | 98 | 3.7 |
| 480 | 100 | 4.8 |
| 600 | 102 | 5.2 |
| 720 | 102 | 7.1 |

$V_0 = 30 \text{ ml}$
 $V_r = 132 \text{ ml}$
 $C_m = 21.7880$
 $m = 165 \text{ kg/m}^3$
 $R_{m, s} = 0.197 \cdot 10^{12} \text{ kg/s}$

ANNEXE TROIS

LISTE DES PRINCIPALES ENTREPRISES POLLUANTES D'ALGER

| Zone industrielle | Entreprise | Mat. (t/a) |
|--------------------|------------------------------|--------------|
| BABA ALI | SATI (Michelin) | 520 |
| | SNMC (Briqueterie) | 8 |
| | SNMC (ex eternit) | 25 |
| | SNC | 160 |
| | SONATRACH (equarissage) | 2 |
| | SONATRACH (Raffinage) | 500 |
| GUÉ DE CONSTANTINE | SONIC (Chlore) | 1200 |
| | SONIC (papeterie) | 15.000 |
| | autres | 2583 |
| total | Situation 1973 | 20.000 |
| | Situation 1980 | 25.000 |
| | Situation 1990 estimée | 32.000 |
| HUSSEIN DEY | Abattoir d'Alger | 1.300 |
| | EMA | 95 |
| | Ets Monserat | 150 |
| | Onalait (Birkhadem) | 510 |
| | SNMETAL (Plastique) | 300 |
| | SOGEDIA UP1 | 3.510 |
| | SOGEDIA UP5 | 9.550 |
| | SOGEDIA UP6 | 1.655 |
| | autres | 1.655 |
| total | Situation 1973 | 18.000 |
| | Situation 1980 | 25.000 |
| | Situation 1990 estimée | 34.000 |

**LISTE DES PRINCIPALES
ENTREPRISES POLLUANTES D'ALGER**

(Suite)

| Zone industrielle | Entreprise | DBit (m³/d) |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------|
| EL HARRACH | Abattoir | 20 |
| | BGA | 1.100 |
| | INOVAC | 5.000 |
| | SEMPAC UP111 . UP113 | 1.875 |
| | SONATRACH | 1.150 |
| | SONIC (Papetterie) | 9.650 |
| | autres | 375 |
| | Situation 1973 | 20.000 |
| | Situation 1980 | 25.000 |
| | total | Situation 1990 estimée |
| OUED-SMAR | ALFREIX | 12 |
| | LESAFRE | 600 |
| | FOLYSOL | 30 |
| | SAEL | 500 |
| | SNIC | 40 |
| | autres | 308 |
| | Situation 1973 | 4.500 |
| | Situation 1980 | 7.000 |
| | total | Situation 1990 estimée |
| ALGER | Situation 1973 | 62.500 |
| | Situation 1980 | 82.000 |
| | Situation 1990 | 96.000 |