

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

MEMOIRE DE MAGISTER

En Chimie Industrielle

Spécialité : Génie de l'Environnement

**CARACTERISATION ET TRAITEMENT DES BOUES D'EPURATION
DE LA REGION D'ALGER**

Par

HADJ-KOUIDER Saida

Devant le jury composé de :

A. KHELIFA	Professeur, USD. Blida.	Président
H. LOUNICI	Professeur, UMM. Tizi-Ouzou	Examineur
M .W. NACEUR	Professeur, USD. Blida.	Examineur
M. ANSER	M .A.A, USD. Blida.	Invitée
A. AOUABED	Professeur, USD. Blida.	Rapporteur

Blida, Janvier 2012

RESUME

Ce travail, concerne l'étude de la caractérisation des boues des deux stations d'épuration d'eaux usées dans la région d'Alger : STEP de Baraki et Reghaia, et le conditionnement chimique de la boue provenant de la station d'épuration d'eaux usées de Baraki. Les résultats de la caractérisation montrent une importante valeur agronomique des boues, le rapport C/N présent une grande quantité d'azote. Les éléments fertilisants majeurs sont appréciables comparés aux différents fumiers naturels. Les éléments métalliques répondent aux normes décrites par l'OMS.

L'aptitude de déshydratation des boues a été examinée par deux méthodes (la filtration sous pression et la centrifugation). Des floculants de différentes natures, à savoir les polymères synthétiques (Sedipur CF 802, Super Floc C498, Sedipur NF 102 et Sedipur AF 400) et un nouveau biofloculant "jus de cactus" ont été utilisés, afin d'augmenter la siccité des boues déshydratées. Les résultats obtenus ont montré que les polymères cationiques étaient les mieux adaptés dans le conditionnement des boues municipales. Le jus de cactus quant à lui présente des résultats encourageants, puisque qu'il diminue la turbidité de 96 % pour une eau filtrée de la boue de Baraki, et permet d'obtenir une siccité de 31% obtenue par centrifugation.

Mots clés : Caractérisation, boues, polymères synthétiques, RSF, filtration, centrifugation, biofloculant "jus de cactus "

ABSTRACT

This work describes the study of the sludge characterization of two sewage plants in Algiers: one in Baraki -STEP- and one in Reghaia region as well the chemical sludge conditioning taken from sewage plant of Baraki. The results show a significant agronomic value of sludge, the C/N ratio present a large amount of nitrogen. The major nutrients are significant compared to various natural manures. The metallic elements are satisfactory to WHO standards.

The ability of sludge dehydration by pressure filtration and centrifugation methods was examined using various types of floculants including synthetic polymers (Sedipur CF 802, Super Floc C498, Sedipur NF 102 and Sedipur AF 400) and a new bioflocculation "cactus juice" in order to improve the dryness of the dewatered sludge. The results obtained showed that the cationic polymers were the best coagulant suited in the municipal sludge conditioning. The cactus juice decreases the turbidity of 96% for filtered water from the Baraki sludge and a dryness of 31% obtained by centrifugation.

Keywords: Characterization, sludge, synthetic polymers, RSF, filtration, centrifugation, bioflocculation "cactus juice"

ملخص

هذا العمل يدرس فعالية الحمأة من محطات الصرف الصحي بالجزائر : واحدة في براقى و الأخرى في منطقة رغايا وكذلك دراسة فعالية المواد الطبيعية في التعبئة الكيميائية للحمأة المأخوذة من محطة للصرف الصحي لبراقى. النتائج تظهر قيمة كبيرة من الحمأة الزراعية، ونسبة N/C تشير الى كمية كبيرة من النيتروجين. المغذيات الرئيسية هي كبيرة مقارنة بالأمدة الطبيعية المختلفة. العناصر المعدنية مرضية لمعايير منظمة الصحة العالمية.

تم فحص قدرة جفاف الحمأة من براقى باستخدام أنواع مختلفة من البوليمرات الاصطناعية بما في ذلك التخنثر (Super 802 CF Sedipur ، Flocc498 ، 102NF Sedipur و 400 AF Sedipur) والجديد "عصير الصبار" من أجل تحسين جفاف الحمأة . تم استخدام طريقتين من الجفاف (الضغط الترشيح والطررد المركزي)، المقارنة بين البوليمرات المختلفة أظهرت ان البوليمرات الموجبة كانت الأنسب في تجفيف حمأة. عصير الصبار يقلل من التعكر من 96 ٪ من المياه المصفاة من الطين (براقى) ، وجفاف 31 ٪ التي تم الحصول عليها عن طريق الطرد المركزي.

الكلمات الرئيسية : توصيف والحمأة، والبوليمرات الاصطناعية ، RSF ، والترشيح ، الطرد المركزي ، "عصير الصبار"

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu de m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Ce travail à été réalisé au niveau du laboratoire de biotechnologie de l'Ecole Nationale Polytechniques d'Alger.

Mes sincères remerciements s'adressent à monsieur LOUNICI.H de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire à l'ENP, pour son aide précieuse, sa présence ponctuelle, ses encouragements et ses orientations.

Je remercie monsieur AOUABED.A, de m'avoir fait confiance, et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant de diriger ce mémoire.

J'exprime mon profonde gratitude à monsieur KHELIFA.A de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je remercie vivement les membres du jury monsieur NACEUR.M.W et monsieur LOUNICI.H de bien vouloir accepter d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier Monsieur ALIOUA.H, directeur d'exploitation de la direction d'hydraulique d'Alger, de m'avoir accueilli et pour l'intérêt qu'il a manifesté envers mon travail, au personnel du laboratoire central de la station qui m'ont beaucoup aidé.

Je tiens à remercier Monsieur CHEROUK.M, et madame AIT MOULOUD.L responsables du laboratoire de la station de Baraki.

Je tiens à remercier Monsieur SI SALAH.A directeur d'exploitation de la société autrichienne VATECH-WABAG, pour son aide précieuse.

Mes vifs remerciements s'adressent à madame BOUCHFER.F, responsable du laboratoire central de l'Office National de l'Assainissement, ainsi que toute l'équipe du laboratoire : Nabila et Anis.

Je n'oublierai jamais de remercier toute l'équipe de la station d'épuration de Reghaia surtout : Mm Sana, Mr Kamel et Mr Heraoui.

Mes sincères remerciements s'adressent à monsieur LOUNICI H, pour son aide précieuse, ses encouragements et ses orientations.

Je tiens à remercier toute l'équipe du laboratoire de Biotechnologie de l'école nationale polytechnique : Mm Laribi.H et Mm Baaziz B.

Enfin, il me serait difficile d'omettre de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. Qu'ils trouvent dans ses quelques lignes l'expression de mes sincères remerciements.

LISTES DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1 : Les différentes étapes du traitement des eaux	10
Figure 1.2 : Principe du procédé de traitement des eaux par boues activées	12
Figure 1.3 : Les différentes étapes du traitement des boues	15
Figure 1.4 : Epaisseur gravitaire	17
Figure 1.5 : Epaisseur par drainage	19
Figure 1.6 : Les différentes étapes de la digestion anaérobie	21
Figure.1.7 : Evacuation des boues d'épuration	23
Figure 2.1 : Flocculation par adsorption	37
Figure 2.2 : Formation de ponts entre particules	37
Figure 2.3 : Formule du Polyacrylamide	39
Figure 2.4 : Polyacrylamide non ionique	39
Figure 2.5 : Polyacrylamide anionique	40
Figure 2.6 : Polyacrylamide cationique	41
Figure 2.7 : Détail de l'opuntia (nopal)	51
Figure 3.1 : Schéma de traitement des boues de la station de Baraki	53
Figure 3.2 : -a- Schéma représentatif du dispositif de la filtration sous pression -b- photo réelle du dispositif	60
Figure 4.1 : Schéma représentatif de la dénitrification	65
Figure 4.2 : Etude de la valeur agronomique des boues	73
Figure 4.3: Comparaison des éléments fertilisant majeurs	74
Figure 4.4 : Influence de la dose du Super Flocc C 498 sur le volume recueilli	76
Figure.4.5 : Influence de la dose du Sedipur CF 802 sur le volume recueilli	79
Figure 4.6 : Influence de la dose du Sedipur NF102 sur le volume recueilli	80
Figure 4.7 : Evolution du taux de filtration en fonction de la dose du polymère employé	81
Figure 4.8 : Phénomène de restabilisation	81
Figure 4.9 : Influence de la dose du Sedipur AF 400 sur le volume recueilli	82
Figure 4.10 : Variation de la siccité du gâteau en fonction de la dose des polymères ajoutés	83
Figure.4.11 : Influence de la dose des flocculants sur la turbidité du filtrat	84
Figure.4.12 : Variation de la RSF en fonction de la dose des polymères étudiés	85
Figure 4.13 : Viscosité des dilutions du jus de Cactus	87
Figure 4.14 : Influence de la dose du jus de cactus (5%) sur le volume filtré	88
Figure 4.15 : Influence de la dose du jus de cactus (10%) sur le volume filtré	89
Figure 4.16 : Influence de la dose du jus de cactus (15%) sur le volume filtré	90
Figure 4.17 : Influence de la dose du jus de cactus (20%) sur le volume filtré	91
Figure 4.18 : Influence de la dose de jus de cactus (25%) sur le volume filtré	92
Figure 4.19 : Influence de la viscosité des dilutions de Jus de Cactus sur le taux de	

filtration	93
Figure 4.20 : Influence de la dose du jus de cactus sur la siccité du gâteau	94
Figure 4.21 : Influence de la dose du jus de cactus sur la turbidité du filtrat	95
Figure 4.22: Evolution de la RSF des différentes doses du biofloculant	96
Figure 4.23 : Influence de la dose des polymères chimiques sur la siccité du culot	98
Figure 4.24 : Influence de la dose des polymères chimiques su la turbidité du surnageant	99
Figure 4.25 : Influence de la dose du biofloculant sur la siccité du culot	100
Figure 4.26 : Influence de la dose du biofloculant sur la turbidité du surnageant	101
Tableau 1.1 : Principe et but des différentes opérations de prétraitement	11
Tableau 4.1 : Paramètres physico-chimiques des boues épaissies et digérées de la station de Baraki	62
Tableau 4.2 : Paramètres physico-chimiques des boues déshydratées de la station de Baraki	67
Tableau 4.3 : Paramètres physico-chimiques de la boue épaissie de la station de Reghaia	69
Tableau 4.4 : Paramètres physico-chimiques de la boue déshydratée de la station de Reghaia	70
Tableau 4.5 : Comparaison des teneurs en ÉTM en mg/kg des boues des deux stations étudiées par des engrais de ferme	72
Tableau 4.6 : Caractéristiques des polymères étudiés	76
Tableau 4.7 : les caractéristiques de la boue de Baraki à conditionnée	77
Tableau 4.8 : Caractéristiques du jus de cactus brut	87
Tableau 4.9 : Résultats obtenus de la filtration sous pression	97

TABLE DES MATIERES

RESUME	1
REMERCIEMENTS	2
LISTES DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX	4
TABLE DES MATIERES	6
INTRODUCTION	8
CHAPITRE 1. LES BOUES D'EPURATION	10
1.1. Procédés d'épuration des eaux usées	10
1.2. Les différents types de boues	13
1.3. Filière de traitement des boues	14
1.4. Valorisation des boues	24
1.5. Caractéristiques physico-chimiques des boues	27
1.6. Intérêt agronomique des boues	29
CHAPITRE 2. CONDITIONNEMENT ET DESHYDRATATION DES BOUES	32
2.1. Introduction	32
2.2. L'eau dans les boues	32
2.3. Evolution dans l'utilisation des réactifs de conditionnement	33
2.4. Mécanisme d'action des polyélectrolytes	35
2.5. Les flocculants organiques synthétiques	38
2.6. Techniques de déshydratation	41
2.7. Etude bibliographique	44
2.8. Le cactus	49
CHAPITRE 3. MATERIELS ET METHODES	52
3.1. Introduction	52
3.2. Présentation des stations étudiées	52
3.3. Prélèvements des boues	53
3.4. Conservation des échantillons	53
3.5. Analyses physico-chimiques	53
3.6. Tests de déshydratation	56
3.7. Préparation des flocculants	56
3.8. Filtration sous pression	57
3.9. La centrifugation	60

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS	61
4.1. Caractéristiques des boues des deux stations	61
4.1.1. Résultats d'analyse de la STEP de Baraki	61
4.1.2. Résultats d'analyse de la STEP de Reghaia	69
4.2 Conditionnement des boues	76
4.2.1. Déshydratation par filtre presse	76
4.2.2. Déshydratation par centrifugation	98
4.3. Discussion	103
CONCLUSION	105
APPENDICES	107
A. Liste des symboles	107
B. Droite de Carman	109
REFERENCES	110

INTRODUCTION

Les ressources en eau ne sont pas inépuisables et leur dégradation, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement, mais aussi entraîner des risques de pénurie. De ce fait l'assainissement des eaux usées est devenu un impératif pour nos sociétés modernes. Si on veut continuer à jouir de son environnement, Il est en effet nécessaire de réduire la charge polluante des eaux usées, tant domestiques qu'industrielles.

L'épuration des eaux usées s'accompagne de production de boues. En effet, il y a un transfert de la pollution du milieu liquide (eau usée) vers le milieu solide (les boues produites).

Le traitement des boues d'épuration, urbaines et industrielles, est un élément clé de la filière de traitement des effluents, dans la mesure où elles représentent de 30 à 40 % des coûts d'exploitation d'une station d'épuration [1]. Le traitement des boues s'effectue en deux étapes principales, la déshydratation, qui se fait au niveau de la station d'épuration, et l'élimination ou la valorisation des boues concentrées (décharge ou épandage).

La déshydratation des boues constitue aujourd'hui un véritable enjeu, tant technologique qu'économique. En effet, les boues d'épuration, chargées en eau, sont volumineuses (plus de 97% d'eau), donc coûteuses à éliminer. C'est pourquoi, gagner quelques points de siccité sur la déshydratation des boues entraîne une réduction de leur volume et, par là, de leur coût d'élimination. La réduction de volume est liée essentiellement à l'élimination de l'eau contenue dans les boues, les techniques d'élimination étant différentes selon la siccité finale à atteindre et la nature de l'eau à éliminer (eau libre et eau liée).

Après une première phase de concentration des boues par épaissement il est indispensable de procéder à un conditionnement des boues pour ce faire, il faut procéder à la coagulation-floculation de la boue pour "casser" la stabilité colloïdale et

augmenter la taille des particules. Pour cela, on a recours à l'ajout de réactifs (polyélectrolytes).

Ce travail est divisé en deux parties, la première est une caractérisation physico-chimique des boues de deux stations de la région algéroise : STEP de BARAKI et de REGHAIA, la deuxième partie est consacrée au conditionnement chimique de la boue provenant de la station d'épuration d'eaux usées de BARAKI.

L'aptitude des boues à la déshydratation a été étudiée en appliquant des coagulants de différentes natures, à savoir les polymères synthétiques (Sedipur CF802, Super Floc C498, Sedipur NF102 et le Sedipur AF400) et le Jus de Cactus Algérien.

Ce dernier est un nouveau flocculant naturel biodégradable de nature polysaccharidique issu des branches de cactus par extraction, il a été testé avec succès dans le traitement des eaux usées. Dans ce travail, le Jus de Cactus a été testé pour la première fois sur le conditionnement des boues.

La déshydratation des boues a été déterminée par les mesures de la résistance spécifique à la filtration (RSF) et des essais de centrifugation.

CHAPITRE 1

LES BOUES D'EPURATION

1.1. Procédés d'épuration des eaux usées

1.1.1. Introduction

L'eau consommée ou utilisée par l'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des eaux résiduelles urbaines ou industrielles. Ces eaux usées sont recueillies par des conduites d'assainissement et dirigées vers les stations d'épurations afin d'être épurées avant leur rejet dans le milieu naturel [2]. Sans traitement, les eaux usées peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique [3]

1.1.2. Station d'épuration :

Une station d'épuration ou une usine de dépollution est une association normalement judicieuse, de plusieurs étapes de traitement (Figure 1.1), afin de réduire la pollution de l'eau, à la sortie de cette station. L'eau épurée doit répondre aux normes de rejet dans le milieu naturel [4].

Lors de l'épuration des eaux usées, il se produit un transfert de pollution de la phase liquide (eau) vers une phase plus concentrée (boues) et une phase gazeuse (CO_2 , CH_4 , N_2 ,...). La production de boues d'épuration est donc totalement dépendante de la filière du traitement de l'eau [5].

Elle reste un outil fondamental pour la protection des milieux naturels [6].

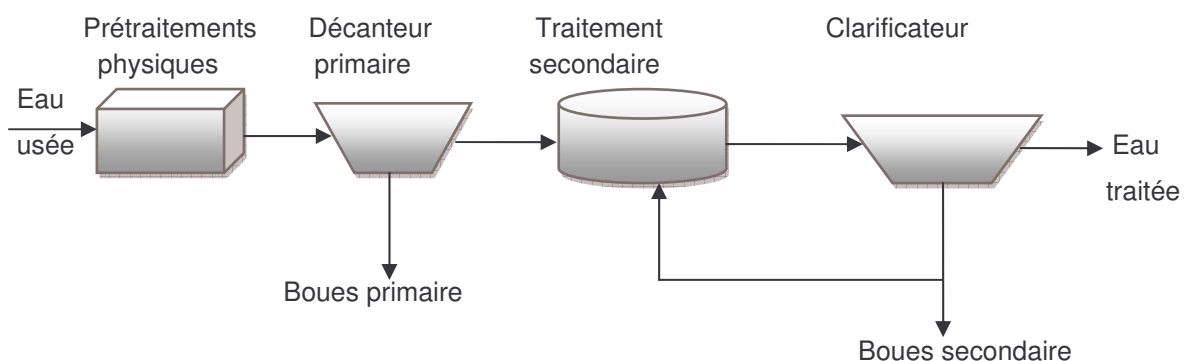


Figure 1.1 : Les différentes étapes du traitement des eaux usées.

1. Les prétraitements

Il est constitué d'un ensemble d'opérations physiques et mécaniques : dégrillage, dessablage, déshuilage et dégraissage, dont la mise en œuvre est largement dépendante de la nature et des caractéristiques des rejets à traiter [7].

Tableau 1.1 : Principe et but des différentes opérations de prétraitement :

Operations	Principe	Buts
Dégrillage	- Il consiste à faire passer l'eau à travers une grille fixe dont les barreaux judicieusement espacés, retiennent les débris qui sont éliminés manuellement ou par un râteau automatique	- Eviter l'obturation des conduites et le blocage des organes mécaniques [8]
Dessablage	-Il consiste à éliminer les sables en faisant passer l'eau à vitesse réduite dans des bassins de sorte que les sables sédimentent, une partie du sable est recyclé après lavage. [9]	- Eviter la formation des dépôts dans les ouvrages. -Eviter la diminution des volumes des ouvrages. -Eviter l'abrasion des corps des pompes.
Déshuilage et Dégraissage	-Il consiste à éliminer les graisses par raclage en surface après injection de l'air permettant leur flottation [10].	-Eviter les agglomérations en amas des graisses qui gênent le traitement et peuvent boucher les canalisations. -Eviter le blocage des échanges (UV, O ₂)

2. Traitement primaire

Le traitement primaire est une simple décantation qui permet de supprimer la majeure partie des matières en suspension, ces matières qui sont responsables du trouble des eaux usées. L'opération est réalisée dans des bassins de décantation dont la taille dépend du type d'installation et du volume d'eau à traiter. Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boue primaire.

3. Traitement secondaire ou biologique

Le traitement secondaire ou biologique sert à éliminer en premier lieu la pollution carbonée mais également azotée et phosphorée [7]. Il permet la biodégradation des matières organiques des eaux usées grâce à des bactéries aérobies ou anaérobies. On distingue deux types de procédés à savoir les systèmes intensifs ou extensifs.

3.1. Procédés à système intensif :

Soit à cultures fixes telles que les lits bactériens ou les disques biologiques ou bien à cultures libres telles que les boues activées.

- Traitement des eaux usées par boues activées

C'est actuellement le procédé le plus répandu pour traiter des eaux résiduaires urbaines (Figure 1.2) [11].

L'épuration biologique des eaux résiduaires par le procédé des boues activées repose sur l'activité d'une culture bactérienne aérobie [12].

Les micro-organismes de cette culture se développent et se rassemblent en flocons ou flocs maintenues en suspension par brassage accompagnées par une aération. Une décantation élimine les boues, dont une partie est réinjectée en amont, le restant étant éliminé, une opération qui demande souvent des solutions technique délicates [13].

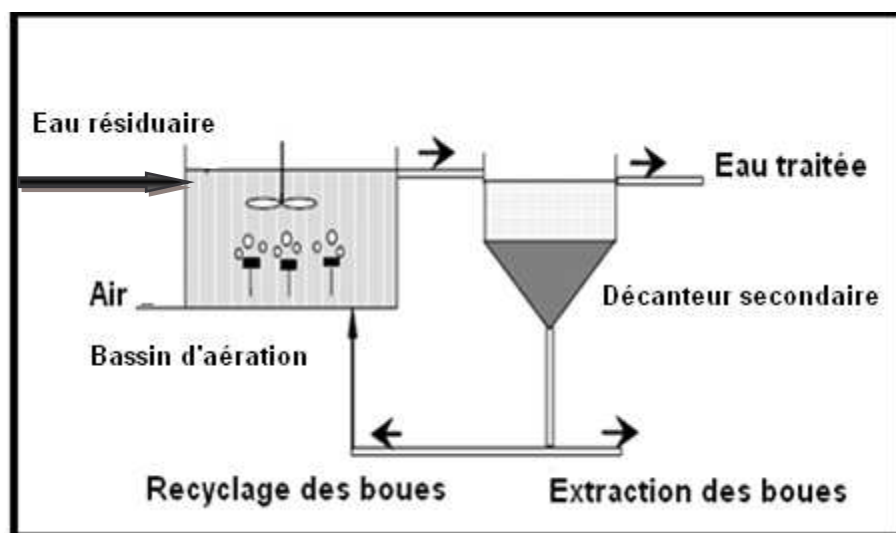


Figure 1.2 : Principe du procédé de traitement des eaux par boues activées [14]

3.2. Procédés à système extensif

Le plus répandu et le plus classique est le lagunage surtout dans les pays à climat chaud et où le terrain est disponible à coût raisonnable [15].

Les floccs de boues présentent une structure peu dense et hétérogène, ils décantent naturellement. Ils résultent de l'agrégation de différents constituants présents dans la liqueur mixte : des microorganismes (bactéries essentiellement, protozoaires...), des particules inorganiques (silicates, oxydes ferriques, phosphate de calcium...), des polymères exocellulaires et des cations multivalents [16].

L'aptitude à la séparation entre la biomasse et l'effluent traité dépend fortement des propriétés physiques des floccs (masse volumique).

4. Traitement tertiaire

Les eaux épurées peuvent faire parfois l'objet d'un traitement complémentaire ou « affinage » (désinfection, traitement de l'azote et du phosphore), dans le but, soit d'une réutilisation à des fins industrielles ou agricoles, soit de la protection du milieu récepteur contre l'eutrophisation [17].

1.2. Les différents types de boues

Les éléments polluants qu'ils soient d'origine domestique ainsi que les produits de leur transformation au cours des traitements d'épuration se trouvent finalement rassemblés dans la grande majorité des cas sous formes de suspensions plus ou moins concentrées dénommées « boue » [18].

Les boues de stations d'épuration sont classées en quatre grands groupes, selon le type de traitement on distingue [1] :

1.2.1. Les boues primaires

Provenant du traitement de l'effluent par décantation et que l'on appelle également « boues fraîches » [19].

Elles sont issues du décanteur primaire, sont caractérisées par un taux important de matière organique (20 à 30% de matière sèche), une quantité

d'eau très élevées de l'ordre de 90% et une odeur désagréable avec une couleur noir [20].

1.2.2. Les boues secondaires

Issues des traitements biologiques (décanteur secondaire), beaucoup plus riches en azote et en acide phosphorique que les boues primaires [21], la fraction de matières volatiles (FV) avoisine couramment 80 à 90 %. [19]

Ce sont des boues fraîches biologiques, essentiellement sous forme de floccs de bactéries. Leur pouvoir fermentescible dépend du temps de séjour dans le bassin d'aération (aussi appelé âge de boues : θ_b).

1.2.3. Les boues mixtes

Leurs caractéristiques sont dépendantes de la quantité de boues primaires et secondaires produite, ces boues sont très fermentescibles. [5]

1.2.4. Les boues physico-chimiques

Ces boues sont issues d'un traitement utilisant des flocculants minéraux (sels de fer ou d'aluminium). Le traitement physico-chimique est principalement utilisé sur les boues industrielles ou pour palier au sous dimensionnement de certaines stations d'épuration (stations situées en zones touristiques, par exemple).

1.3. Filière de traitement des boues

1.3.1. Introduction

Les boues générées lors de l'épuration des eaux sont riches en eau, en matières organiques et en micro-organismes, donc il est nécessaire de diminuer leur volume et de les stabiliser [22].

1.3.2. Filière de traitement interne à la station d'épuration

Une fois collectées, les boues doivent subir différents traitements avant leur rejet. Ces traitements ont trois objectifs majeurs :

- la réduction du pouvoir fermentescible.
- la réduction de la masse des boues.
- la réduction des risques sanitaires.

La figure 1.3 résume le principe général d'une filière boue, avec toutes les étapes possibles.

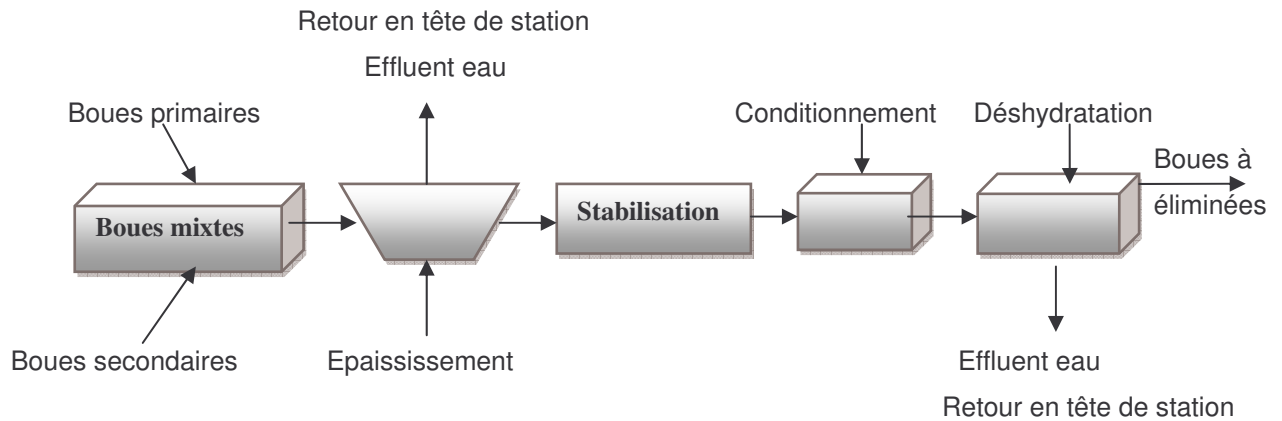


Figure 1. 3: Les différentes étapes du traitement des boues

1. Epaississement

Le premier stade consiste à éliminer le maximum d'eau dans une étape d'épaississement cette étape est indispensable pour diminuer la taille des ouvrages des traitements en aval et améliorer leur fonctionnement [23].

La suspension boueuse est introduite dans une cuve (épaississeur) où le temps de séjour est élevé, de façon à provoquer le tassement des boues dont l'évacuation se fait par le fond tandis que le liquide surnageant est évacué par le haut afin d'éliminer la pollution dissoute dans la fraction soluble [1]. A ce stade, la siccité obtenue (teneur en matière sèche) est de l'ordre de 1 à 10%, selon les installations [24].

L'épaississement est avantageux pour les raisons suivantes :

- Il améliore le rendement de la digestion si celle-ci est prévue et en réduit le cout d'investissement.
- Il réduit le volume des boues en particulier en cas d'épandage ou de rejet en mer.
- Il augmente l'économie des systèmes de déshydratation (centrifugation, filtration sous vide, etc.) [19]

L'épaississement peut être statique, gravitaire ou dynamique par flottation, selon le type de boue à traiter, pour une boue activée, on préfère l'épaississement gravitaire permet de concentrer la boue de deux à huit fois, en l'amenant de quelques grammes par litre a quelques dizaines de grammes par litre. Il existe une troisième méthode, plus performante, mais qui nécessite l'emploi de polymères. C'est l'épaississement dynamique sur table d'égouttage : la boue est floculée avec le polymère, puis circule sur une toile filtrante ou l'eau est éliminée.

1.1 Epaississement gravitaire (statique)

C'est, de façon générale, la technique de concentration des boues la plus utilisée. Elle consiste à faire séjourner des boues dans des bassins de forme cylindro-conique [25]. L'épaississement est réalisé en provoquant le tassement des boues dont l'évacuation se fait par le fond tant dis que le liquide surnageant est évacué par le haut [1].

Jusqu'à 5 m de diamètre, on peut utiliser le type statique, simple cuve cylindrique a fond conique (45 a 75° sur l'horizontale). Au-delà de cette dimension, on munit des cuves à radier à pente faible d'un système de raclage et d'agitation lente dont le rôle est double :

- Faciliter le glissement des boues vers la fosse centrale d'ou elles sont extraites.
- Permettre le dégagement de l'eau interstitielle et des gaz occlus (emprisonnés) dans les boues au moyen d'une herse verticale accrochée au dispositif tournant.

L'ensemble du dispositif mécanique de raclage est le plus souvent à entrainement central avec double bras diamétral. Ce système est constitue d'une série de racleurs montes, afin d'éviter le blocage de la boue au cours de son transfert vers la fosse centrale d'extraction.

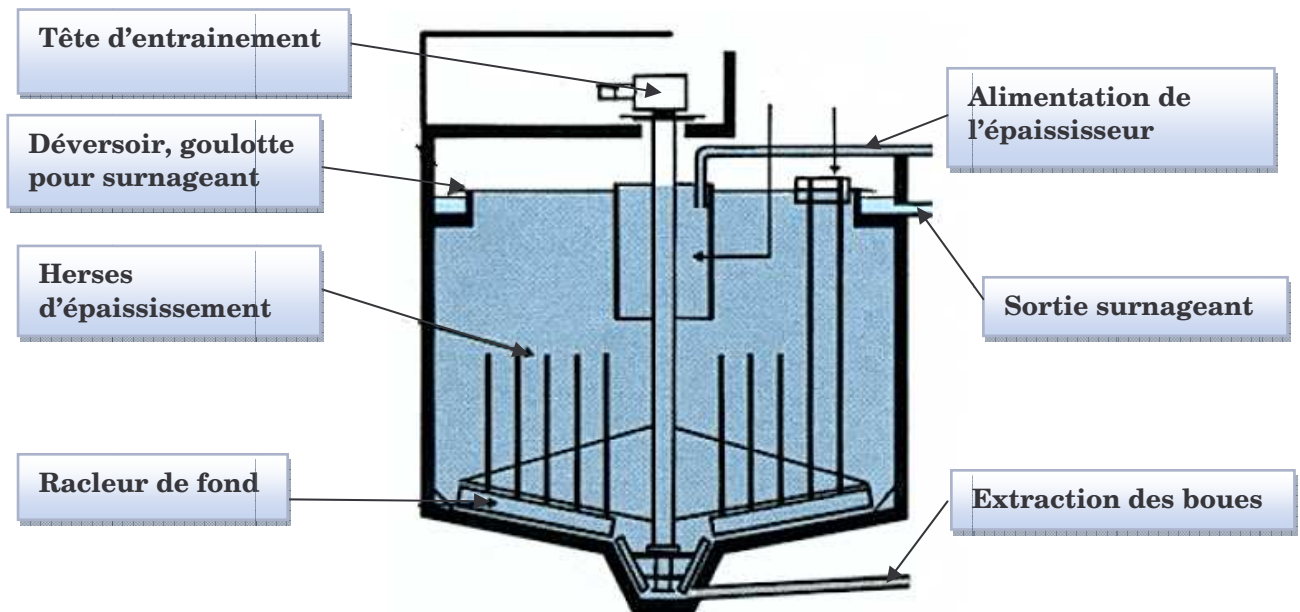


Figure 1.4 : Epaisseur gravitaire [1]

On a toujours intérêt à construire des épaisseurs de hauteur suffisante, afin de faciliter le tassement de la boue sous le seul poids de la masse solide. Une hauteur de 3,5 à 4 m, tenant compte du volume de stockage, est préconisée [25].

1.2 Epaisseur par flottation

Il s'applique particulièrement aux boues à floccs légers et volumineux (hydrophile) comme c'est le cas des boues physicochimiques.

Dans l'épaississement par flottation, les fines bulles d'air formées par dépressurisation s'accrochent aux floccs des boues. Le mélange air-matière s'élève à la surface du bassin où il se concentre et est éliminé.

Les principaux paramètres sont le taux de recyclage, la concentration de la suspension alimentée, le rapport air-matière et les charges massiques et hydrauliques. Pour la pressurisation à l'air, on applique couramment des pressions de 2.5 à 4 bars. Le taux de recyclage est lié au rapport air-matière et à la concentration de la suspension alimentée [19].

1.3 Epaississement par centrifugation

L'épaississement est réalisé en utilisant une centrifugeuse, de forme cylindrique généralement. Ce procédé est beaucoup plus sensible que la flottation aux changements de caractéristiques de la boue.

Les siccités des boues épaissies varient de 4 à 8 %, mais le rendement d'extraction est généralement inférieur à celui obtenu par flottation.

L'emploi de polymères (de 3 à 4 kg par tonne de MES) est utile, surtout si on désire obtenir un centrifugat peu chargé. La consommation de réactifs est aussi très dépendante des variations de concentration de la boue entrante. La consommation d'énergie, sur des boues activées en excès, est de 800 à 1500 Wh par m³ de boue [1].

1.4 Epaississement par Drainage

Les techniques d'épaississement précédemment décrites y conduisent souvent à des ensembles trop coûteux et/ou trop exigeants en main-d'œuvre spécialisée. Pour cela, l'épaississement par drainage est une solution intéressante.

L'appareil, est placé d'une façon continue directement au refoulement de la pompe d'alimentation en boues fraîches. La boue, préalablement floculée, est épanchée sur un champ horizontal de grilles fines, raclée en permanence par des lames en caoutchouc (Figure 1.5).

L'apport d'agent de floculation s'effectue à travers un mélangeur statique placé en aval de la pompe à boue. La consommation de polymères est relativement élevée environ 5 kg par tonne de MES.

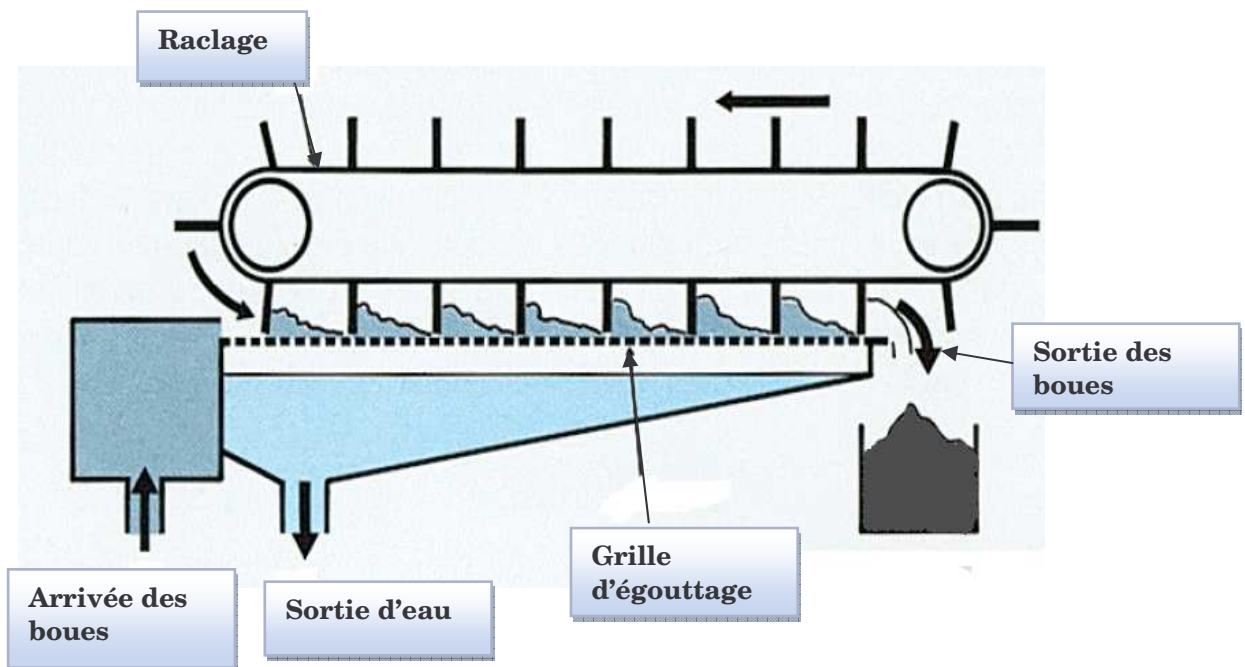


Figure 1.5 : Epaisseur par drainage

Cependant, cette dépense demeure faible en égard aux avantages que présente cet épaissement :

- Soutirage directe de la boue en excès peu concentrée depuis le bassin d'aération et suppression de silos intermédiaires.
- Réduction de 2 à 3 fois du volume de stockage des boues avant leur reprise en culture.
- Réduction comparable du cout de transport des boues [1]

2.Stabilisation

Les boues de stations, en grande proportion à caractère organique, sont instables dans la mesure où des fermentations s'y développent, qui sont à l'origine d'une mauvaise qualité des eaux et des nuisances olfactives.

La stabilisation, qui n'est pas effectuée de manière systématique, a pour but d'éviter une reprise de la fermentation des boues qui entraineraient des nuisances

olfactives. En même temps, le taux d'agents pathogènes est réduit dans des proportions qui varient selon le type de traitement [26]

Il existe trois grands types de stabilisation : la stabilisation biologique (digestion aérobie ou anaérobie), la stabilisation chimique (chaulage, stabilisation aux nitrites, oxydation) ou la stabilisation physique (séchage poussé) [1,27].

2.1 Digestion anaérobie

La fermentation méthanique a un pouvoir de destruction cellulaire parmi les plus puissants du monde biologique, et permet l'élimination d'une quantité importante de la matière organique.

La digestion anaérobie des boues est normalement mise en oeuvre, sans recyclage de boues digérées épaissies, les boues fraîches présentent par elles-mêmes une concentration initiale suffisante en MO, qui permet ensuite la synthèse de la flore bactérienne.

La nature des boues est à prendre en compte, notamment le type de boues. A l'inverse des boues primaires (substrat très réactif et fermentescible), les boues secondaires sont beaucoup plus difficiles à digérer. En effet, ces boues sont déjà en partie stabilisées, d'autant plus si le temps de séjour dans le bassin d'aération est élevé.

En ce qui concerne le temps de séjour hydraulique (TSH), il doit être suffisamment long pour éviter le lessivage des micro-organismes épurateurs. Ainsi, il est nécessaire que le temps de séjour hydraulique soit supérieur au temps de génération de nouveaux micro-organismes, en particulier des méthanogènes (micro-organismes les plus lents). En culture libre, le TSH est équivalent au temps de rétention des micro-organismes, et peut être fixé entre 10 et 60 jours : en général il est fixé à 25 – 35 jours [28]

La figure 1.6 donne les différentes étapes de la digestion anaérobie [1].

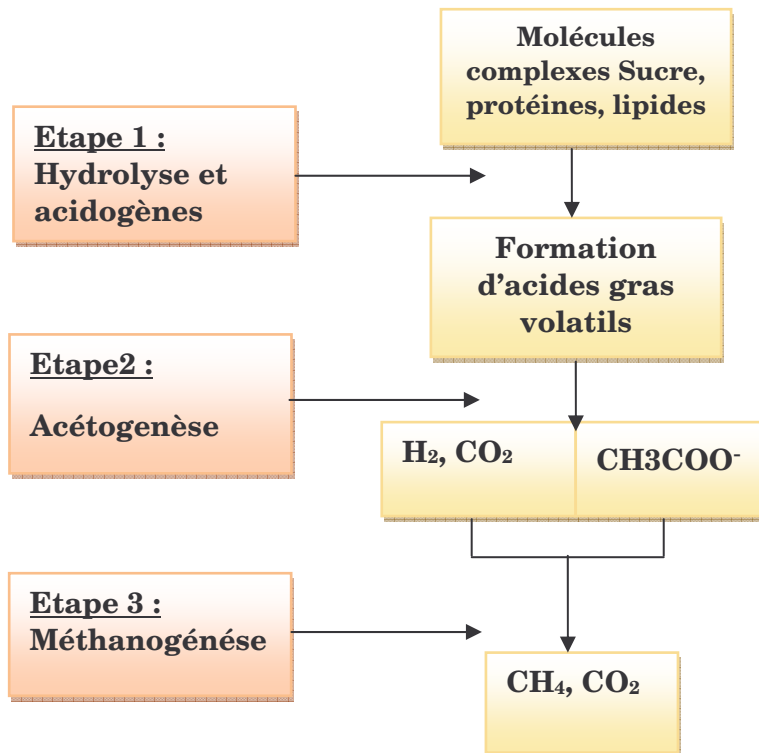


Figure 1.6 : Les différentes étapes de la digestion anaérobie.

2.2. Stabilisation aérobie

La stabilisation aérobie est normalement mise en œuvre dans des ouvrages ouverts à l'air libre. Les systèmes d'aération utilisés sont, soit des diffuseurs d'air, soit des aérateurs de surface.

Ces derniers peuvent provoquer, à la longue, une certaine destruction mécanique du floc biologique rendant plus difficile sa déshydratation ultérieure; ils conduisent aussi à de plus fortes pertes calorifiques. L'insufflation d'air permet également de brasser des boues de plus forte concentration (pouvant dépasser 30 g.L⁻¹).

Le taux de minéralisation des boues dépend essentiellement du temps de séjour, de la température, ainsi que de l'âge des boues introduites. Dans les pays froids, la stabilisation aérobie est donc déconseillée, tout au moins si l'on ne prend pas des dispositions spéciales: isolation et couverture du réacteur, chauffage éventuel. Dans les conditions climatiques les plus fréquentes, la réduction du taux

de MO dans les boues obtenues par stabilisation aérobie est très sensiblement inférieure à celle atteinte par digestion anaérobie [1].

3. Conditionnement et déshydratation

3.1 Conditionnement

Cette étape permet de préparer les boues à la déshydratation. En effet, afin de libérer l'eau contenue dans les boues, il est nécessaire de réduire la stabilité des colloïdes et de faciliter leur agrégation. Les procédés utilisés peuvent être physiques (traitement thermique) ou chimiques (ajout de sels minéraux ou de polyélectrolytes). Le traitement thermique à 150°C – 200°C pendant 30 à 60 minutes est le plus efficace pour réduire l'hydrophilie particulaire [1], mais il induit un fort problème d'odeur [29]. Ainsi, et en raison d'un coût plus faible, la floculation chimique est plus souvent utilisée. Elle fait appel à des agents coagulants (de charge opposée à celle des particules contenues dans les boues) et/ou à des agents floculants (formation de complexes hydratés). Généralement, les réactifs utilisés sont des sels de fer ou d'aluminium, de la chaux ou des polymères.

Elle facilite la libération de l'eau liée aux particules et elle est indispensable à l'application de divers procédés de déshydratation [30].

3.2 Déshydratation

Cette étape permet de réduire le volume des boues, généralement conditionnée par un agent coagulant [31], en éliminant le maximum d'eau. Il existe trois grands types de déshydratation : la déshydratation par filtration (sous pression, sur bandes), la déshydratation par évaporation (lits de séchage) et la déshydratation par centrifugation. Dans la pratique, à l'exception de certaines petites installations, la déshydratation est principalement réalisée par filtration ou centrifugation. L'eau retirée est renvoyée en tête de station, afin d'être traitée. A ce stade, la siccité obtenue est de l'ordre de 15 à 40%, selon les boues et les installations utilisées [27].

Ce schéma général peut être modifié selon les procédés utilisés. En effet, il peut être intéressant de réaliser l'étape de déshydratation avant celle de stabilisation (par exemple, dans le cas du compostage).

4. Destinations finales des boues

L'évacuation des boues d'épuration apparaît comme la phase la plus délicate de l'épuration, des eaux usées. Il s'agit de débarrasser de ces résidus par des procédés provoquant le minimum de nuisance tout en limitant les frais de l'opération (Figure 1.7).

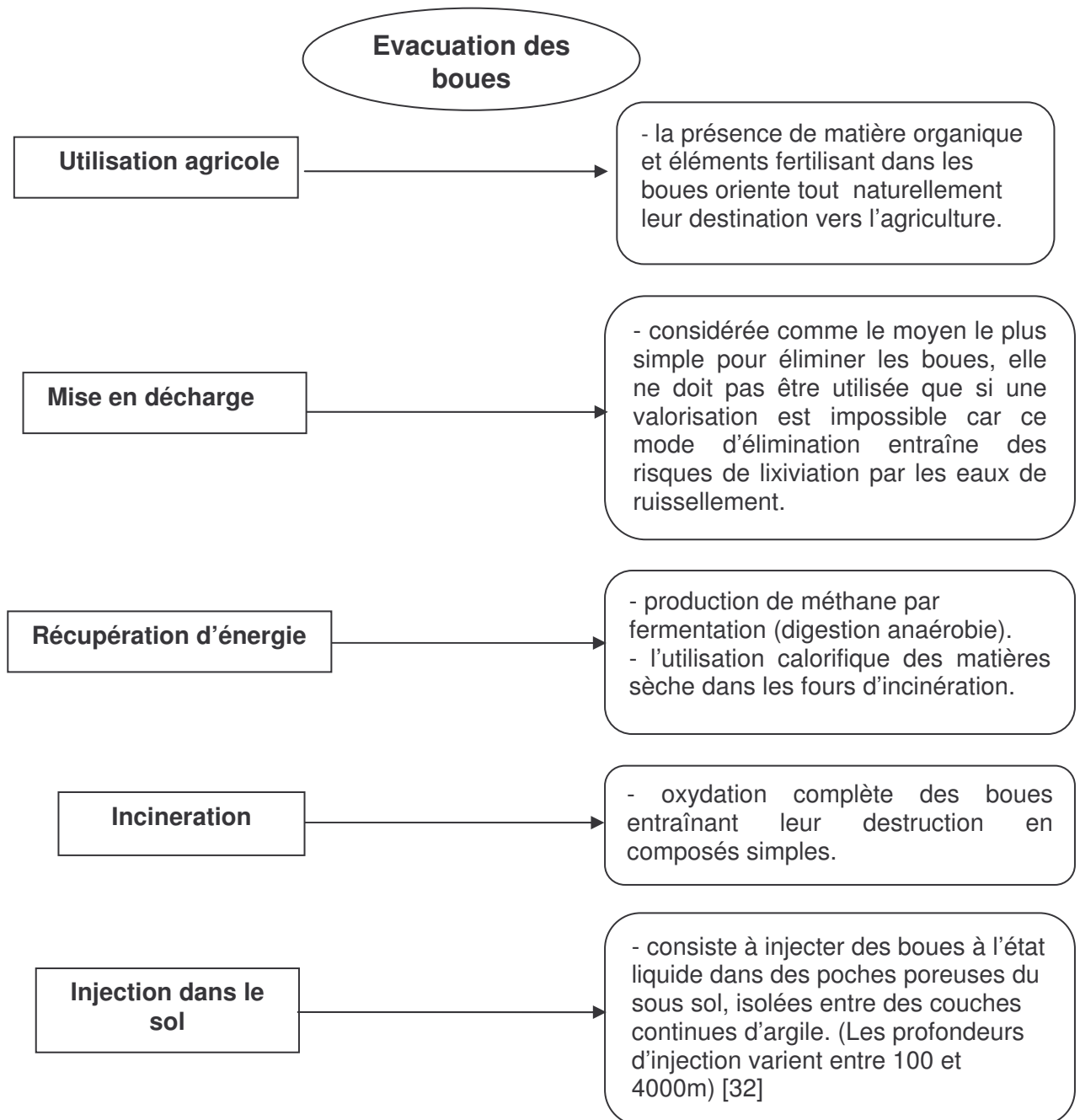


Figure.1.7 : Evacuation des boues d'épuration [32]

1.4. Valorisation des boues

L'épandage agricole est le plus ancien mode d'élimination des boues mais d'autres modes peuvent être envisagés.

Les boues traitées sont valorisées par épandage agricole, ou par élaboration de compost. Elles peuvent être ainsi éliminées par incinération ou par enfouissement [33].

Pour l'instant, la valorisation agricole reste la voie privilégiée de recyclage des boues. En effet, celles-ci agissent comme un catalyseur de la biologie du sol et non pas seulement comme un engrais au sens strict du terme.

C'est surtout en raison de leur richesse en carbone organique, en azote et en phosphore, que les boues sont potentiellement intéressantes pour améliorer les propriétés des sols [34 ,35].

Les actions de récupération et de valorisation doivent être menées sans mise en danger de la santé humaine et sans utilisation de méthodes pouvant porter atteinte à l'environnement.

Traduites pour ce qui concerne les boues, les modes de recyclage et de valorisation ne peuvent s'envisager que :

- s'il n'y a pas de risque pour l'eau, l'air, le sol, les plantes et les animaux donc de danger pour les êtres humains.
- s'il n'y a pas génération de nuisances, dont les odeurs en particulier.
- s'il n'y a pas dénaturation du paysage et des sites ayant un intérêt particulier.

La réinsertion directe des éléments dans le cycle de la matière est au mieux réalisée au travers de l'épandage agricole qui le plus ancien des modes d'élimination des boues.

La réintroduction indirecte dans le cycle de la matière peut être effectuée à partir de boues dont l'état est modifié, par compostage, par les traitements thermiques ou la transformation avec récupération d'énergie (production de combustible par pyrolyse, incinération, Co-combustion dans les centrales électriques, dans des processus industriels comme la fabrication de briques et de ciments) et la récupération des minéraux (produits vitrifiés...) [36].

Une étude faite par MUSTAFA K. HOSSAIN et al (2010) sur les valeurs agronomiques d'une boue issue d'une eau usée. Ils ont étudié et mesuré des effets des boues sur la qualité du sol [37]. La croissance, le rendement et l'accumulation des métaux dans les tomates cerise et ont été effectués en pot dans des conditions contrôlées. La boue est appliquée à 10 tonne par ha. Les résultats montrent que l'application de la boue améliore la production des tomates de cerise de 64%. Les capacités de la boue à augmenter le rendement ont été attribuées à l'effet combiné de la présence des éléments nutritifs « azote et phosphore ». Par ailleurs, les conditions chimiques de sol sont améliorées lors d'amendement. Le rendement de production de tomate de cerise s'est avéré à son maximum si la boue est appliquée en combinaison avec l'engrais. La concentration des métaux dans les tomates est au-dessous des concentrations maximales prescrite par la normalisation Australienne pour la nourriture.

IGOUD.S (2001) a étudié l'effet positif de l'épandage des boues résiduares de la station d'épuration urbaine de Baraki sur la croissance en hauteur de deux espèces forestières, à savoir : *Pinus maritima* et *Acacia cyanophylla*. Dans ce but, trois quantités de boues de 2, 8 et 15 tonnes par hectare, à 80 % d'humidité, ont été épandues sur des parcelles unitaires. Ces dernières constituent un site expérimental d'une surface totale de 0,409 hectares où sont disposés 576 plants forestiers à une équidistance de 3 mètres. Après une durée de croissance d'une année, une augmentation de la croissance en hauteur des plants de plus de 70 % a été enregistrée. S'agissant des métaux lourds, leur présence a été décelée sous forme de traces, au niveau des boues utilisées. Les résultats enregistrés ont été statistiquement significatifs [38].

35 stations mécanisées et 68 stations de type étangs au Québec ont été étudiées par VINCENT PERRON (2007a). L'étude comparative des propriétés agronomiques des boues de stations mécanisées et de type étangs a été effectuée. Les paramètres agronomiques retenus dans cette étude comparative sont la siccité (pourcentage de matière sèche), le pourcentage de matière organique, le pH ainsi que les teneurs en azote total, azote ammoniacal, phosphore, potassium, calcium et magnésium. Les rapports C/N, N/P₂O₅ et N-NH₄/NTK ont également été calculés. Il a été démontré que la valeur

agronomique des boues de stations mécanisées est supérieure à celle des boues d'étangs en raison d'une meilleure conservation de la matière organique et de l'azote lors du processus d'épuration des eaux usées et d'une plus grande siccité liée à la déshydratation mécanique. Les concentrations en azote et en phosphore des boues de stations mécanisées sont également supérieures à celles des principaux engrais de ferme produits. Cette étude précise enfin que les teneurs en éléments fertilisants des boues municipales sont assez variables d'une station à l'autre [39].

VINCENT PERRON (2007b) a étudié les éléments traces métalliques des boues d'épuration municipales [40]. Les ETM étudiés sont : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se) et le zinc (Zn). Bien qu'ils ne soient pas des ÉTM, l'aluminium (Al) et le fer (Fe) ont également été retenus, il a démontré que la qualité des boues des stations du Québec s'est grandement améliorée au cours des 15 dernières années, avec une réduction importante de leurs teneurs en cadmium (66 %), en mercure (53 %) et en plomb (76 %). Les résultats présentés indiquent qu'en général, les teneurs moyennes en oligo-éléments des boues de stations mécanisées sont du même ordre de grandeur que celles des principaux engrais de ferme produits au Québec. Les boues de stations mécanisées présentent toutefois les plus fortes teneurs en chrome et en nickel. Le fumier de volailles possède les plus fortes concentrations en arsenic et le lisier de porcs contient d'avantage de cuivre et de zinc.

La capacité de la boue d'épuration municipale d'immobiliser le Pb, le Zn et le Cd contenus dans un sol contaminé provient d'un ancien secteur d'extraction de Lavrion, Grèce, a été étudié par PANAGIOTIS THEODORATOS (2000) [41]. Le sol a été traité avec la boue d'épuration à diverses proportions. La stabilisation a été évaluée principalement par l'application des essais chimiques et compléter par l'exécution des essais biologiques additionnels.

L'analyse de Spéciation des sols traités indique une diminution significative dans les fractions mobiles des métaux lourds. Pour évaluer la possibilité de la phytotoxicité, des expériences comprenant la croissance des haricots dans le sol traité a été effectuée. Il a été trouvé que l'addition de boue

d'épuration a eu un effet positif sur la croissance des plantes. En outre l'absorption du Pb et Zn par les racines a été réduite. Les résultats de cette étude soutiennent l'hypothèse que la boue d'épuration municipale est un agent stabilisant efficace pour les sols contaminés par Pb, le Zn et le Cd.

R.P. SINGH(2010) a évalué la convenance de l'utilisation de boue d'épuration pour la culture des fèves en évaluant la croissance, le rendement, la qualité alimentaire et l'accumulation de métal lourd [42]. L'amendement avec la boue d'épuration a modifié les propriétés physico-chimiques du sol, tel que la neutralisation du pH, l'augmentation du carbone organique, l'augmentation de la concentration du fer. Les résultats ont montré des incréments dans la longueur de pousse, le secteur de feuille et la biomasse totale à tout les taux de la boue ajoutés. Les plantes cultivées à différents taux de boue ont montrés la plus haute concentration en nutriments et métaux lourds dans les graines. L'application de boue d'épuration à 60, 90 et 120 tonnes par hectare, à augmenter Le rendement environ 39, 76 et 60% , respectivement. Les concentrations du Pb et du Ni dans les grains étaient plus hautes que les limites permises par la réglementation indienne.

L'étude suggère que l'utilisation des boues d'épurations à un taux inférieur à 90 tonne par hectare peut être recommandée pour une meilleure fertilisation au sol et favoriser le rendement de fèves. Mais un taux plus élevé d'application de boue d'épuration mène à élever l'accumulation des métaux lourds en graines, et limite la convenance à la consommation humaine.

1.5. Caractéristiques physico-chimiques des boues

La composition des boues varie d'une station à une autre mais également sur une même station en fonction du temps et de la saison [32]. Elle varie également en fonction de l'origine des eaux usées et leur charge polluantes, de type du traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration [43]. Les principales caractéristiques sont :

1.5.1. Matière sèche MS et siccité S

C'est le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer. La matière sèche (MS) est exprimée en g/L. Rapportée à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité [44].

La siccité (pourcentage de matière sèche) est un paramètre qui renseigne sur la consistance et la concentration en solides des boues. Une siccité élevée a pour avantage de réduire le volume de boues à transporter et de permettre leur entreposage au champ, ce qui n'est pas autorisé avec les boues liquides. Une siccité élevée facilite également l'acheminement des boues vers des sites de compostage spécialisés [39].

1.5.2. Les matières volatiles et minérales

C'est la quantité de matières organiques contenues dans les matières en suspension, En première approximation, on considère que

MV (matière volatile) = MO (matière organique), les MV étant classiquement appréciées par perte au feu à 550 °C [45].

Le résultat de l'évaporation totale de l'eau représente les matières minérales, c'est-à-dire son « extrait sec », constituées à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles (nitrates, phosphates,.....etc.) [46].

1.5.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'une solution est la mesure de la quantité d'ions d'hydrogène donc il est un indicateur d'équilibre entre OH^- et H^+ en solution [47].

1.5.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies [48], la présence des matières oxydables peut entraîner une prolifération de micro-organismes et la production des composés halogénés indésirables pour la santé et l'environnement [49].

1.5.5. Acides gras volatils et le titre alcalimétrique complet

La variation de la concentration des acides gras volatils et du titre alcalimétrique complet dans le cas d'une stabilisation anaérobie, influe directement sur le rendement de la digestion ainsi que sur la qualité et le volume du biogaz produit. En effet un déséquilibre entre les phases acidogènes et méthanogènes résulte d'une accumulation d'AGV et une diminution importante du TAC.

1.6. Intérêt agronomique des boues

1.6.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Pour améliorer les propriétés chimiques des sols, L'agriculteur intervient en apportant des amendements pour neutraliser l'acidité, et assurer l'exercice du pouvoir absorbant vis-à-vis des engrais qu'il incorpore au sol (fumures organiques, composte, boues d'épuration....etc.) [50].

1.6.2. Matières organiques

La matière organique est un élément important de la fertilité des sols, cette question de matière organique est fondamentale pour toute production végétale [50].

Le sol est fertilisé par amendement organique ou minéral, les boues résiduelles sont chargées en matière organique dans des proportions dépendant du type de traitement employé ,par exemple une boue ayant subi la nitrification dénitrification au cours d'une aération prolongée sera moins chargée en azote et contiendra peu de matière organique , par contre , une boue provenant d'un filtre bactérien sera dans une situation inverse tandis qu'une boue peu ou pas stabilisée sera très riche en matière organique [32].

1.6.3. Le rapport C/N

L'importance du rapport C/N en agriculture c'est qu'il renseigne sur la richesse en N et sur l'activité biologique du milieu, plus C/N est faible, plus la biodégradation des boues est facile. L'azote en excès se minéralise sous forme ammoniacale et nitrique (boues à C/N< 10 : véritable engrais organiques)

1.6.4. Nitrates et nitrites

Les nitrates sont des substances chimiques naturelles qui sont beaucoup utilisées dans les engrais inorganiques et comme des agents de conservation des aliments. Les nitrates sont la forme la plus stable des deux formes de l'azote, mais sous l'action microbienne, ils peuvent être réduits en nitrites, qui sont la forme la plus toxique [51].

1.6.5. Les phosphates

Les composés du phosphore des eaux résiduaires sont le phosphate sous forme organique, les ortho-phosphates, dont l'origine principale est constituée par les lessives [52].

Les phosphates se combinent à l'humus pour donner des humo-phosphates insolubles qui, par leurs décompositions, libèrent le phosphate absorbé par les plantes.

1.6.6. Potasse

Elle a le rôle le plus important après la chaux, elle constitue un aliment indispensable aux plantes.

La productivité d'un sol dépend notamment de la nature et de la proportion d'éléments fertilisants qu'il renferme, ces substances sont :

-A l'état insoluble et, dans ce cas, pour être assimilées, elles doivent être dissoute directement par les racines des plantes.

-Soit en solution (soluble), qui circulent librement ou bien sont retenues par les particules terreuses.

On considère qu'une bonne terre doit renferme 1 pour 1.000 d'acide phosphorique, 1 pour 1.000 d'azote, 2 pour 1.000 de potasse et 20 pour 1.000 de chaux [52].

Mais cette notation n'est pas rigoureuse, car ce qui est important, ce n'est pas la quantité totale d'un élément dans le sol, mais sa partie soluble et assimilable.

1.6.7. Les éléments traces métalliques et Les oligo-éléments

Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, et le mercure sont des micropolluants qui présentent un intérêt particulier, car ils ont une incidence sur la santé et l'environnement à cause de leur rémanence, de leur forte toxicité et de leur accumulation biologique [53].

Les éléments qui se trouvent dans la plus part des sols et ne sont absorbés qu'en quantité infime, sont appelés oligo-éléments, ce sont notamment, le fer, le manganèse, le bore, le zinc, le cuivre, le molybdène, l'argent et le cobalt [50].

CHAPITRE 2

CONDITIONNEMENT ET DESHYDRATATION DES BOUES

2.1. Introduction

Pour améliorer la filtrabilité de la boue, il faut procéder à la floculation pour casser la stabilité colloïdale et augmenter artificiellement la taille des particules. C'est le conditionnement, qui a recours à des procédés de nature physique (thermique principalement) mais plus souvent de nature chimique (ajout de réactifs minéraux ou de polymères de synthèses). Le conditionnement a pour but de diminuer l'hydrophilie particulaire [1].

2.2. L'eau dans les boues

Les boues résiduelles, en général, contiennent une part importante d'eau qui interagit plus ou moins fortement avec la matière environnante. Selon la force des interactions, on peut définir plusieurs types d'eau, qui donnent des indications sur les structures possibles, liquide, pâteuse ou solide, de la boue [54].

2.2.1. L'eau libre

C'est la part la plus importante de l'eau dans la boue liquide : elle se comporte thermodynamiquement comme de l'eau pure. BAUDEZ (2001), affirme que cette eau peut s'éliminer par simple épaissement, sous l'action de la gravité. Par sa présence ou son absence, cette eau libre distingue les notions de boue liquide et de boue pâteuse.

On dira qu'une boue est pâteuse lorsqu'elle ne contient plus d'eau libre [54].

2.2.2. L'eau interstitielle

C'est l'eau prisonnière des enchevêtrements des polymères ou enfermée dans les pores des floccs suite à l'agglomération des particules [56].

Elle serait libérée par déstructuration du floc. Nos observations visuelles vont dans ce sens : un échantillon de boue, stocké dans un récipient hermétique pendant plusieurs jours, laisse apparaître une fine pellicule d'eau sur les parois et au fond du récipient.

A plus grande échelle, WIART et EFFENDIATZ (1998), ont suivi pendant six mois un stockage couvert de boue résiduaire, (environ 8 tonnes), possédant un fond drainant afin de récupérer les lixiviats. Ils ont recueilli une importante quantité d'eau, notamment en début d'essai.

2.2.3. L'eau vicinale

Cette fraction est liée à la surface des particules solides par des liaisons hydrogénées fortes [57]. L'eau vicinale représente une épaisseur équivalente à une dizaine de molécules d'eau autour des particules. Elle est éliminée par séchage thermique à plus de 65°C [54].

2.2.4. L'eau d'hydratation

C'est la fraction d'eau chimiquement liée aux particules. Par exemple, l'eau d'hydratation est l'eau qui forme la chaux éteinte $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ à partir de chaux vive $[\text{CaO}]$. Elle ne peut être éliminée que par des dépenses très importantes d'énergie thermique [57].

2.3. Evolution dans l'utilisation des réactifs de conditionnement

L'épuration physicochimique des eaux polluées, dans le but d'améliorer le processus de clarification, est appliquée depuis longtemps.

Les travaux déjà anciens de SCHULZE et HARDY (1904) ont montré que la rupture de la stabilité colloïdale pouvait être obtenue moyennant l'adjonction, des solutions hydrophobes et d'électrolytes minéraux, dont l'efficacité coagulante est liée à la valence du cation du sel, ce qui explique que l'on utilise surtout des sels de fer (Fe^{3+}) et d'aluminium (Al^{3+}).

A ces réactifs chimiques sont venus s'ajouter, par la suite, des composés organiques naturels, comme les produits amylicés, gommes, dextrines, alginates, qui avaient trouvé des applications dans le conditionnement de nombreuses eaux industrielles.

Depuis quelques années, ces derniers sont remplacés presque totalement par une nouvelle catégorie de floculant, émanant surtout des Etats-Unis et d'Allemagne. Il s'agit de produits organiques de synthèse, à savoir de macromolécules artificielles nommées polyélectrolytes, qui présentent une plus grande pureté, une meilleure spécificité réactionnelle et, à poids égal, une efficacité nettement supérieure.

Devant l'acuité grandissante du problème de la pollution des eaux, leur utilisation n'a cessé d'augmenter dans toutes les techniques de l'eau, et on peut penser que malgré leur cout encore élevé, les polyélectrolytes ont de nombreux avantages:

- efficacité, réactivité et rendement exceptionnellement élevés pour l'utilisation de très faibles quantités,
- facilité de mise en œuvre, contrôle aisé du dosage.
- obtention d'un volume de boue réduit, par suite de l'absence de sels insolubles apportés au processus.
- aucune modification dans les propriétés physicochimiques du liquide interstitiel, d'où la possibilité d'une réutilisation ultérieure de l'eau séparée (recyclage), sans avoir à craindre des problèmes de corrosion [58].

2.3.1 Conditionnement chimique des boues

Le conditionnement chimique consiste en une floculation de la boue permettant de casser la stabilité colloïdale et d'augmenter artificiellement la taille des particules. Il a recours à des procédés de nature physique (thermique principalement), mais plus souvent de nature chimique par ajout de réactifs minéraux ou de polymères de synthèses.

La floculation qui fait appel à des électrolytes minéraux (sels métalliques et chaux notamment) réduit l'hydrophilie particulaire. La mise en œuvre des polyélectrolytes ne provoque, quand à elle, aucune baisse du taux d'eau liée, et parfois même ne l'augmente.

Le type de conditionnement va donc avoir une influence sur le taux d'hydratation du sédiment obtenu. En outre, chaque réactif chimique employé a son efficacité propre en ce qui concerne la dimension des floes formes : grenus avec les réactifs minéraux et volumineux avec les polyélectrolytes.

Si l'on considère un volume de 1m^3 de boues initialement à 5% de matières sèches, les 950 litres d'eau se partagent comme suit :

- 650 litres d'eau libre (l'énergie à fournir pour l'évacuer est de 0,01 à 0,1 kWh/m^3).
- 200 litres d'eau d'adhésion et capillaire, formant une couche diffuse (1 à 10 kWh/m^3).
- 100 litres d'eau adsorbée.

Maitriser le départ de l'eau libre consiste à optimiser le mécanisme de formation des floccs et leur taille. C'est ce qui est actuellement réalisé avec l'emploi de réactifs de floculation, conduisant à des siccités de 15 à 20 %.

Favoriser le départ de l'eau d'adhésion et capillaire permet d'atteindre des siccités de 25 à 35%.

La dimension et la densité des floccs des boues formés sont spécifiques du type d'agent de conditionnement employé et les caractéristiques physico-chimiques recherchées pour le flocc vont être gouvernées par l'atelier de déshydratation [59].

2.4. Mécanisme d'action des polyélectrolytes

Ces dernières années, les polyélectrolytes sont devenus le choix primaire comme conditionneur pour la déshydratation de la boue. Différents mécanismes d'action des polyélectrolytes existent en fonction de la nature du flocculant (cationique, anionique et non ionique) [60].

2.4.1. La floculation

L'augmentation des facteurs d'attraction, en constituant des 'ponts' entre colloïdes par la mise en œuvre d'un processus d'adsorption, puis de réticulation. Ce sont précisément les phénomènes conduisant à l'union des particules élémentaires, sous la forme d'un réseau tridimensionnel à structure fibreuse, qui est désigné sous le terme de 'floculation'.

La floculation de boue d'épuration avec des polyélectrolytes avant la déshydratation est une méthode généralement utilisée pour augmenter la siccité des boues. Les réactifs polymériques, selon leur composition chimique

et le caractère ionique de leurs groupements actifs, font intervenir dans la floculation deux mécanismes très différents :

- Floculation par neutralisation de charge (Annulation du potentiel zêta).
- Floculation par adsorption physicochimique des polymères. (Phénomène de réticulation).

2.4.1.1. La floculation par neutralisation de charge

Les polyélectrolytes cationiques, par l'intermédiaire de leurs groupements ammoniums quaternaires, provoquent la neutralisation des colloïdes, en venant s'adsorber à l'interface solide/liquide, selon une réaction irréversible très voisine de celle mise en jeu dans la 'coagulation' par les électrolytes minéraux.

L'agglomération des particules adjacentes contiguës interviendra lorsque, pour des adjonctions croissantes de polymères cationiques, on annule le potentiel zêta des colloïdes, réunis alors par une agitation modérée du milieu réactionnel. Il conviendra d'ajuster rigoureusement le dosage, un excès de réactif étant préjudiciable, dans la mesure où l'adsorption physique des macromolécules, à la surface des particules, inverse leur charge, entraînant par suite une nouvelle dispersion.

2.4.1.2. Floculation par adsorption physicochimique des polymères

Lorsqu'on utilise des polyélectrolytes constituées par les molécules de très longues chaînes contenant des groupements chimiques qui peuvent adsorber des particules colloïdales à l'une de leurs extrémités, ainsi que d'autres sites sont libres pour adsorber d'autres particules.

On dit alors que les molécules de polymères forment des "ponts" entre les particules colloïdales. Il peut y avoir restabilisation de la suspension, restabilisation imputable à une concentration excessive de polymères. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule-molécules de polymère ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdales (Figure 1.2 et 2.2) [84].

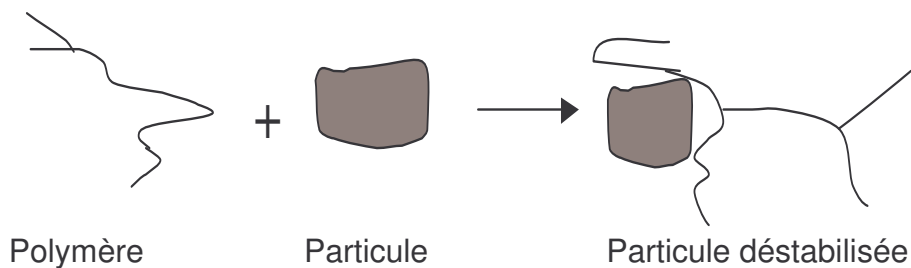


Figure 2.1 : Flocculation par adsorption [84].

La déstabilisation optimale causée par la flocculation adsorptive s'effectue lorsqu'une partie seulement des sites d'adsorption disponibles est occupée, en laissant d'autres positions disponibles pour une seconde adsorption par pontage.

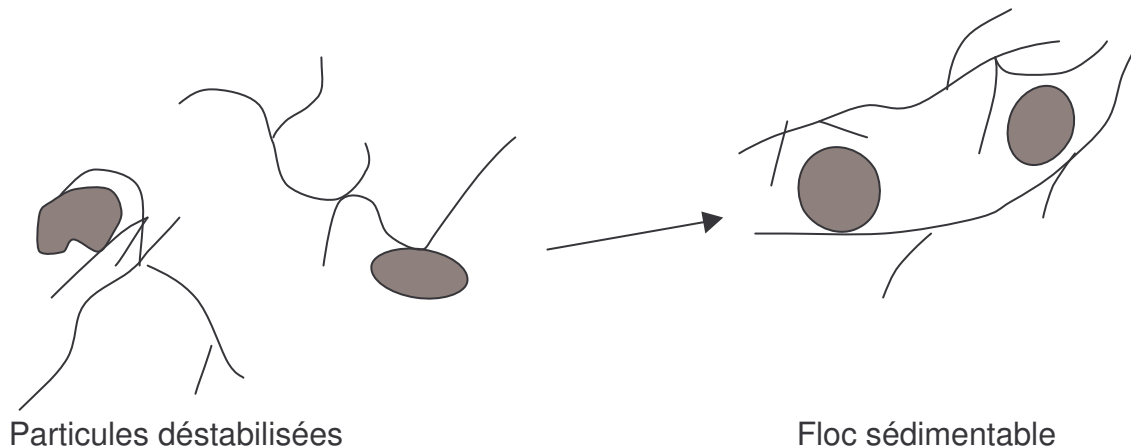


Figure 2.2 : Formation de ponts entre particules [84].

Les polymères anioniques et non ioniques, additifs électronégatifs ou non chargés, ne peuvent occasionner la flocculation par simple neutralisation. Leur mode d'action ne peut s'expliquer qu'en faisant intervenir un processus d'adsorption d'une fraction de la chaîne polymérique sur un emplacement

déterminé de la surface des particules, conformément, en première approximation, a une loi du type isotherme de Langmuir.

L'adsorption, qui s'effectue probablement par l'intermédiaire de liaisons hydrogéné entre un groupement actif de la chaîne macromoléculaire (en l'occurrence un radical amide —CONH₂) et un site électronégatif à la surface des particules, ne représente cependant qu'un premier stade nécessaire du processus de floculation.

Elle doit être suivie d'une phase d'agglomération consistant, par l'intermédiaire de la formation de 'ponts' ou liaisons interarticulaires entre colloïdes, en la création d'un réseau tridimensionnel ou 'floc'.

Cette seconde phase sera grandement favorisée par la taille (masse moléculaire du réactif) et une configuration linéaire des macromolécules, dans la mesure où un étalement maximum de la chaîne polymérique permettra son adsorption sur plusieurs particules contiguës rassemblées ainsi par pontage. [60,63].

En général, l'efficacité de la floculation en formant des ponts est directement liée au poids moléculaire (PM) ou la force des chaînes que portée le polyélectrolyte [62].

2.5. Les flocculants organiques synthétiques

Les flocculants organiques synthétiques sont des polyélectrolytes hydrosolubles de haut poids moléculaire et de différentes ionicités, obtenus par polymérisation d'un ou de plusieurs monomères. On distingue les flocculants, à forte charge cationique et poids moléculaire relativement bas (10^4 à 10^5), dont un exemple est le DADMAC (chlorure de diallylméthylammonium) et les flocculants, de très haut poids moléculaire (10^6 à 10^7) et charge ionique très variable dont les principaux sont les Polyacrylamide (Figure 2.3).

2.5.2. Les polymères anioniques

Ce sont des réactifs macromoléculaires (masse molaire 5 à 10 millions), qui comportent sur leurs chaînes des groupements ionisés, carboxyliques ou sulfoniques, chargés négativement, par dissociation en solution aqueuse (Figure 2.5) [65].

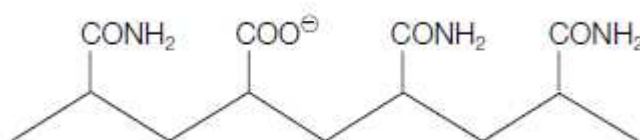


Figure 2.5 : Polyacrylamide anionique [66]

2.5.3. Les polyélectrolytes cationiques

Ce sont des produits polymériques de masse molaire moindre (250000 à un million), préparés à partir de structures de base de sels sulfonium ou phosphonium, ou à partir d'une base ammonium qui peut être sous forme d'amine ou de sel quaternaire. (Figure 2.6)

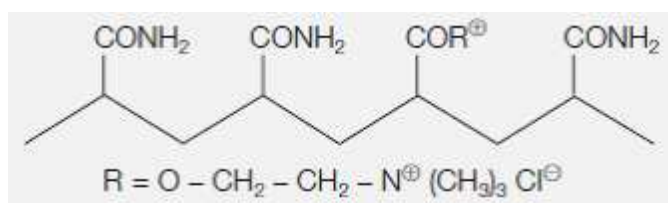


Figure 2.6 : Polyacrylamide cationique [66]

Tout repose, en fait, sur l'intervention d'une double fonctionnalité moléculaire:

Le rôle des groupements amides consiste à assurer l'adsorption d'une fraction de la chaîne à l'interface solide/liquide, et celui des groupes ionisés, à provoquer le déploiement de la macromolécule au sein du liquide, par suite de la répulsion des charges de même nom des groupes dissociés.

2.6. Techniques de déshydratation

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues au cours de laquelle on réalise sur les boues épaissies, stabilisées ou non, une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle de façon à les amener à l'état solide ou tout au moins «pelletable » (siccité minimale de 18 à 20 % en masse MS en fonction de la nature et des caractéristiques physico-chimique de la boue).

On peut avoir recours pour cela à :

- Une déshydratation par drainage naturel.
- Une déshydratation mécanique relevant de deux principes, la filtration et la centrifugation dont les techniques principales sont : la filtration sous vide, la filtration sous pression progressive et la décantation centrifuge [19]

2.6.1. Déshydratation naturelle

La déshydratation naturelle des boues à l'air libre sur des lits de sable draine reste, en raison essentiellement des frais d'investissement réduits, la technique de dessiccation la plus utilisée dans les stations d'épurations modestes, malgré les sujétions notables de place et de main d'œuvre qu'elle entraîne. On utilise des lits de séchage comportant un massif drainant (de 25 cm d'épaisseur), constituées de pierrailles et de sable, sur lequel on réalise un égouttage naturel des boues. On dimensionne généralement l'aire de séchage pour une capacité de production de 0.2 à 0.6 kg MS/(m².j) fortement influencée par le climat et la nature des boues, qui font que la durée de séchage, normalement, d'environ 4 à 6 semaines, peut atteindre 3 à 4 mois dans des conditions défavorables. L'enlèvement des boues séchées 35-40% (masse/volume) de matières sèches est réalisé le plus souvent naturellement.

Une amélioration notable des rendements des lits peut être obtenue par un conditionnement polymérique préalable de la boue dont l'égouttage se trouvera accéléré [13].

2.6.2. Déshydratation mécanique

Pour les stations d'épuration physico-chimique ou biologiques des eaux résiduaires urbaines et industrielles, produisant des volumes de boues

importants, on est évidemment conduit à rechercher des techniques de séchage plus élaborées, permettant d'aboutir plus rapidement à un résultat. On a recours pour cela à la déshydratation mécanique, avec mise en œuvre de moyens artificiels procurant une amélioration sensible du rendement productif par rapport aux moyens naturels.

Il faut cependant noter que la présence, dans la plupart des boues urbaines ou industrielles, d'une fraction élevée de colloïdes organiques ou minéraux à caractère hydrophile ne permet pas toujours de bien séparer le solide du liquide au moyen de la seule énergie mécanique.

Pour rendre alors les boues aptes à la dessiccation mécanique, il est nécessaire de conditionner au préalable ces suspensions, concentrées en matières solides plus ou moins hétérogènes, dans le but de rompre leur stabilité colloïdale [13].

2.6.2.1. Centrifugation

La centrifugation est appliquée à la fois en épaissement et en déshydratation des boues résiduares. Ce n'est autre que l'accélération de la sédimentation des particules sous l'incidence de forces centrifuges.

Dans les applications sur des boues résiduares, il faut retenir trois types de machines, notamment la décanteuse continue à bol plein (et racleur hélicoïdal), la centrifugeuse à panier (plein) et le séparateur à assiettes (ou disques) à décharge par buses ou par ouverture automatique du bol [1].

2.6.2.2. Filtration sous vide

La filtration sous vide est une des méthodes les plus courantes de déshydratation des boues d'eaux résiduares. La filtration sous vide déshydrate une suspension par application du vide à travers un milieu poreux qui retient les matières solides mais permet au liquide de le traverser. Les médias utilisés sont des tissus, des tamis métalliques ou des ressorts à boudins très serrés.

Dans l'opération de filtration sous vide, un tambour rotatif plonge dans la cuve contenant la suspension et les matières solides sont retenues à la surface du tambour sous application du vide.

L'immersion du tambour peut varier de 12 à 60 %. Tandis que le tambour tourne dans la suspension, un gâteau se constitue sur la partie immergée et l'eau est éliminée par filtration à travers les matières déposées et le medium filtrant. Le temps pendant lequel le tambour reste immergé dans la suspension est le temps de formation. Lorsque le tambour émerge, le gâteau déposé est encore desséché par transfert de liquide dans l'air qui traverse le gâteau par suite de l'application du vide. Cette phase est appelée temps de séchage [1].

2.6.2.3. Filtration sous pression

La filtration sous pression est applicable à presque toute espèce de boue résultant de traitement d'eau industrielle ou d'eau résiduaire.

Dans le filtre-presse, la boue est pompée entre des plateaux munis d'une toile filtrante appropriée. Le filtrat traverse les toiles tandis que les matières solides s'accumulent dans les chambres formées par les plateaux (couverts par les toiles). Les médiateurs filtrants (ou toiles) peuvent éventuellement être munis d'une précouche (avant passage de la boue). Au terme de la filtration, quand les chambres ont été remplies (et que les gâteaux ainsi formés ont atteint une siccité suffisante), les plateaux sont séparés pour l'enlèvement (ou décharge) des gâteaux [1].

Dans tous ces procédés, il s'agit, en fait, d'une opération de séparation des solides du liquide interstitiel, dont l'efficacité est intimement liée à la stabilité de ces suspensions hétérogènes, présentant généralement les caractéristiques physicochimiques des systèmes colloïdaux.

On conçoit donc aisément que la destruction de la structure colloïdale de ces boues, par l'intermédiaire d'un processus de floculation, s'avère indispensable si l'on désire faciliter et améliorer notablement les traitements mécaniques de déshydratation.

2.7. Etude bibliographique

Plusieurs chercheurs ont étudié le conditionnement et l'aptitude des boues à la déshydratation par ce qui suit on présentera quelques résultats relatifs au conditionnement des boues en utilisant les flocculants de synthèses ainsi que les bioflocculants.

2.7.1. Les flocculants de synthèses

Krishnamurthy .S et T. Viraraghavan(2005) ont examiné l'effet de trois flocculants dont deux polymères cationiques (Percol 755 et Percol 757), et le chlorure ferrique $FeCl_3$, sur une boue d'une usine de traitement des eaux résiduaires de Regina (Canada) [67]. Le dosages optimum de chlorure ferrique, Percol 755 et Percol 757 est de 80.6, 2.9 et 2.7 kg/t de matière sèche (respectivement), a comme conséquence la neutralisation complète de charge. Les résultats du conditionnement ont montré qu'une combinaison de 50% du dosage optimum de $FeCl_3$ et 50% du dosage optimum de Percol 757 ont les valeurs les plus bas en CST et RSF, ils ont remarqué aussi qu'il y a une bonne corrélation entre les données de CST et de SRF ($R^2 > 0.99$).

C. H. LEE (2000a) a examiné Le temps de succion capillaire (CST), la résistance de spécifique de filtration (RSF) et le potentiel de Zeta pour tester la déshydratation des boues activées prélevées d'une usine de fibre synthétique. Le polyélectrolyte cationique(KP201) et non ionique(NP800) préparés à 2000 mg/l sont utilisés dans le conditionnement des boues [68]. Les résultats de déshydratation des polyélectrolytes ont été comparés. La RSF du KP201 et NP800 est de 1.3×10^{12} et 2.7×10^{11} m/kg de MS respectivement, avec un dosage optimum de 5.8 kg/t pour chaque polymère.

C.H. Lee (2000b), a réétudié la déshydratation des boues activées prélevées d'une usine de fibre synthétique [69], en utilisant les mêmes flocculants précédent (KP201et NP800) préparées à 2000 mg/l. Les résultats de la résistance spécifique à la filtration sont de 2.0×10^{12} m/kg avec un dosage optimum de 10.0 kg/t de MS, pour le flocculant cationique, et de 8.0×10^9 m/kg avec un dosage optimum de 20.0 kg/t de MS pour le flocculant non ionique, et

quand la boue est conditionnée par les deux polymères, la RSF diminue de 1.5×10^{12} à 2.3×10^{10} m/kg avec un dosage de 12.5 kg/t de MS (boue pré-conditionnée par 2.5 kg/t de chaque flocculant)

G. R. Chang(2000) a étudié l'effet du polyélectrolyte cationique (Oya CN60) préparé à une concentration de 2000 mg/L, sur deux types de boues : chimique et biologique [70]. Il a également mesuré le temps de succion capillaire (CST), la résistance spécifique à la filtration (SRF) et le potentiel de Zeta, pour évaluer les comportements de déshydratation de la boue. Les résultats indiquent que la boue chimique était relativement difficile à déshydratée, même en présence du polyélectrolyte. Et quand la boue activée est mélangée à la boue chimique avec un ratio de 1: 1 et 2: 1, respectivement, la déshydratation est améliorée remarquablement tandis qu'elle est relativement meilleure pour la boue activée. Le dosage optimal du polyélectrolyte est de 100 mg/l avec une RSF de $1,4 \cdot 10^{15}$ m/kg.

Nguyen Tan Phong(2009) a étudié l'effet d'un biopolymère polysaccharides (Alginate) et le polydiallyldimethyl ammonium chloride (PDADMAC) un polyélectrolyte cationique sur deux types de boues : synthétique et boue activée [72]. Les résultats ont montré que l'addition de calcium(II) aux deux types de boues améliore la déshydratation des boues, l'ajout de 5Mm de Ca^{2+} à une boue activée diminue le CST jusqu'à 10s. Le cation contribue de manière significative à l'attachement des floccs dans les deux types de boue.

Hans Saveyn (2005) a étudié l'effet de neuf polyélectrolytes cationiques caractérisés par leur densité de charge cationique sur le conditionnement des boues activées issues d'une station d'épuration d'eau usée en Belgique[73]. La boue a été testée par un filtre presse sous une pression stable de 400 kPa et sous un champ électrique, les polyélectrolytes sont préparés à 0.2% et ajoutés de raison de 3.76, 5, 8, 11 et 12.24 g de polyélectrolyte/ kg de MS. Il a été démontré que les caractéristiques des polyélectrolytes ont une grande importance sur la déshydratation des boues.

Par les moyens de mesures en ligne du potentiel et les mesures électrophorétiques, il a été démontré que même à des hautes doses de polyélectrolyte, les charges sont neutralisées, mais les charges négatives extérieures sont encore présentes à l'intérieur de la matrice de boue. Pendant la formation du gâteau, et quand le liquide est forcé pour se déplacer par les pores d'intrafloc, ces charges négatives extérieures deviennent de plus en plus importantes.

Tan Phong Nguyen(2007), a étudié l'effet des cations et deux polyélectrolytes cationiques « Clarifloc et Stockhausen» (préparé à 1% en poids) [74], sur les caractéristiques et les propriétés finales des boues activées prélevées d'une station de traitement des eaux usées urbaines et une boue synthétiques préparées dans un réacteur, les testes de déshydratations ont été effectués par la mesure du temps de succion capillaire (CST), les résultats ont montrés que l'ajout de 5 Mmole de Ca^{2+} au conditionnement a amélioré remarquablement la déshydratation pour les deux types de boues, les doses optimales pour les deux types de polyélectrolyte étaient comme suit : 4 mg/g et 8 mg/g de Clarifloc et Stockhausen respectivement pour la boue synthétique, et 2 mg/g de chacun pour la boue activée.

Tan Phong Nguyen(2008) a étudié l'effet des Trois polyélectrolytes (polydiallyldimethyl ammonium chloride « PDADMAC », Clarifloc et Stockhausen), préparés à 1% sont utilisés dans le conditionnement des boues activées d'une usine de traitement des eaux résiduaires et une boue synthétique [75], la déshydratation des boues est testée par le temps de succion capillaire (CST). Le résultat précédemment a été confirmé [74], que l'addition de 5Mm de Ca^{2+} au conditionnement a amélioré remarquablement la déshydratation pour les deux types de boues, les doses optimales pour les trois polyélectrolytes étaient comme suit : 16mg/g de PDADMAC pour les deux types de boue, 4 mg/g et 8 mg/g de Clarifloc et Stockhausen respectivement pour la boue synthétique et 2 mg/g de chacun pour la boue activée.

Y.Q. Zhao(2003) a examiné les corrélations entre les propriétés physiques de floculation [76], telles que la taille, la densité, la structure des floccs et le dosage optimum d'un polymère organique dans le conditionnement des boues. La RSF, La taille des floccs, la densité et la structure ont été examinées par un système d'analyse d'image. Les résultats de cette recherche indiquent que: le polymère augmente simultanément la taille des floccs en augmentant la dose du flocculant. Une floculation plus élevée et des densités efficaces sont associées à de plus grandes doses du polymère (15 mg/l). Et des floccs compacts sont associés à la dose optimale (10mg/l), qui correspond à la résistance 9.10^{12} m/kg.

Thierry Ruiz(2010) a étudié les caractéristiques de deux types de boues d'épuration urbaines prélevées de deux types de stations caractérisées par deux différents types de traitement des boues (boue épaissie « A » et boue digérée « B ») [77], les boues ont été conditionnées par un flocculant minéral et la chaux, la déshydratation des boues est mesurées par une cellule de filtration sous pression constante(0.5 bar), afin de déterminer le volume limite recueilli de la filtration, les résultats de la résistance spécifique à la filtration sont comme suit : 1.2×10^{11} et 1.7×10^{12} m.kg⁻¹ pour A et B respectivement, les résultats ont prouvé que les boues A et B n'ont pas présenté la même aptitude mécanique à la déshydratation, tandis que la matière organique a semblé être un paramètre essentiel dans l'efficacité de la déshydratation mécanique, la boue qui contient plus de matière organique (la boue A) présente significativement la RSF la plus basse.

Thapa K.B (2009) a étudié l'interaction de deux types de polyélectrolyte cationique (ZETAG7650 « haut poids moléculaire » et ZETAG7501 « bas poids moléculaire »), sur une boue digérée prélevée d'une station d'épuration de traitement des eaux usées urbaines (Australie) [78]. Des essais de filtration sous vide ainsi que des mesures du potentiel de zêta ont été effectuées pour tester la déshydratation des boues. Les résultats ont confirmés les mécanismes classiques de floculation (la neutralisation de charge ainsi que le phénomène de réticulation) , les résultats montre que la boue est bien flocculée en utilisant le flocculant ZETAG7650 même avec les plus bas dose, avec un optimum de

6.5 et 11 kg/t pour ZETAG7650 et ZETAG7501 respectivement, il s'est avéré que le poids moléculaire a une influence significative sur la formation des floccs (la boue flocculée par le flocculant ZETAG7650 présente des floccs plus grands et plus résistants par rapport à la boue flocculée par le flocculant ZETAG7501).

2.8.2. Les bioflocculant

Le cactus a reçu un grand degré d'attention ces dernières années, parce qu'il contient beaucoup de composants nutritifs et médicinaux tels que la protéine, l'amylose, l'acide malique, la résine, les vitamines et la cellulose [79]. Des études indiquent que le cactus a des propriétés semblables aux graines du *M. Oleifera* « plante de la famille des cactées » [80], ainsi il offre des possibilités intéressantes d'être utilisé comme coagulant.

Jingdong Zhang (2006) a étudié l'effet coagulant du cactus dans le traitement des eaux de surface [81]. Il a comparé la solution de cactus (séchage des branches de cactus à 80°C suivi d'un broyage), préparé à différentes concentrations, avec un autre coagulant « $AlCl_3$ », la comparaison entre les performances de coagulation, a démontré que le bioflocculant a donné des meilleurs résultats en comparant avec le $AlCl_3$. Le bioflocculant préparé à 50 mg/l a diminué la turbidité d'une eau synthétique de 200 NTU (préparé par le Kaolin et une eau déionisée) à moins de 5 NTU, avec une efficacité d'enlèvement de 94%, ensuite le cactus est utilisé à une concentration de 60 mg/l pour traiter une eau de mer de turbidité élevée (980 NTU), les résultats montrent une efficacité d'enlèvement de turbidité de 98%, il a été testé aussi pour traiter une eau usée prélevée d'une station de traitement d'eau usée située à Wuhan (Chine), les résultats montrent que le cactus a pu diminuer la turbidité de 70 à 10.5 NTU et un meilleur résultat est obtenu si le cactus est utilisé avec le chlorure d'aluminium $AlCl_3$, donc le cactus peut être utilisé pour traiter les hautes turbidités des eaux.

ABID.A (2009) a étudié l'effet du jus de cactus sur des échantillons préparés au laboratoire et sur d'autres échantillons issus d'une unité de traitement de surface (bains de laitonnage) [82]. L'étude comparative avec un

floculant industriel (floculant à base d'acrylamide et acrylate de sodium), a montré une très bonne compétitivité avec un fort pouvoir de floculation pour le jus de cactus. L'association des deux étapes de neutralisation et de coagulation avec la chaux suivie d'une étape de floculation en utilisant comme agent floculant le nouveau produit extrait des cactus marocains puis d'une décantation, a montré un effet très significatif sur l'élimination du zinc, du cuivre et de la matière en suspension. Le pourcentage d'abattement des métaux dépasse 95 % pour le cuivre et le zinc. Pour la solution riche en argile, la turbidité passe de 900-1000 NTU à des valeurs avoisinantes de 1 NTU.

2.8. Le cactus

Le cactus est le nom usuel des plantes de la famille des Cactaceae. On les appelle également cactées. Ce sont presque toutes des plantes grasses ou plantes succulentes, c'est-à-dire des plantes xérophytes qui stockent dans leurs tissus des réserves de "suc" pour faire face aux longues périodes de sécheresse.

Pour distinguer les vrais cactus des plantes qui leur ressemblent, il faut se reporter aux critères d'appartenance à la famille des Cactaceae. Mais comme plus généralement en botanique, l'identification se fait par les fleurs et les fruits [83].

2.8.1. Appellation et origine

Nopal, le nom mexicain de la plante, vient du mot Nochtli en nahuatl, langue classique des Aztèques. Opuntia, son appellation savante, vient du latin Opuntius. L'Opuntia vulgaris Miller et l'Opuntia Ficus-indica Miller sont les deux espèces les plus répandues sur terre, mais la plante peut porter un nom différent selon l'idiome local.

En Espagne, outre Nopal, Nopallito, on l'appelle familièrement Nopalcito, Tuna, Ensada, Higos de Pala, Higos de Mauro ; en Andalousie : Chumbera ou Higuera Chumbra. Dans les pays francophones du bassin méditerranéen, où il est très populaire, l'Opuntia est surnommé Cardasse, Chardon d'Afrique, Cactus raquette, Figuier à raquettes, Raquerre, Figuier de Barbarie (par corruption du mot Berbérie), Figuier d'Inde, Figuier du chameau,

Oursin des sables, Châtaigne du désert, Semelle du Pape, et, plus trivialement : Main de velours ou Chatte à piquants ; en Italie, Fico de India ; en Angleterre :Barbary fig, en Égypte c'est l'El tin-el-Choki.

Selon les botanistes, toutes les cactées seraient originaires d'Amérique. Ils affirment qu'avant Christophe Colomb, on n'en connaissait aucune dans l'Ancien Monde mais que ces singuliers végétaux aux formes bizarres furent parmi les toutes premières plantes que les explorateurs rapportèrent du Nouveau-Monde.

2.8.2. Aspect général

La tige de l'Opuntia est formée d'articles ovales, charnus et aplatis, de couleur verte, communément appelés "raquettes" dont la surface est parsemée d'alvéoles. Protégées par des poils barbelés regroupés en touffes et armés de redoutables épines (sétules), elles constituent chacune un "point végétatif dormant et polyvalent". C'est dans ces alvéoles que naissent, sur les articles en formation, les feuilles fragiles, éphémères, caduques. Les bourgeons apparaissent également au creux de ces "cryptes" au sommet des raquettes. Les épines munies de minuscules aiguillons recourbés vers leur base partent également de là. Ce sont ces crochets qui rendent difficile et douloureuse l'extraction d'une épine de Nopal implantée dans la peau [83].

L'Opuntia porte des fleurs et des fruits en abondance. C'est sur le dessus des raquettes qu'apparaissent de belles et grandes corolles latérales jaunes, oranges ou rouges, aux nombreux pétales soudés à leur base et s'ouvrant gaiement à leur extrémité.

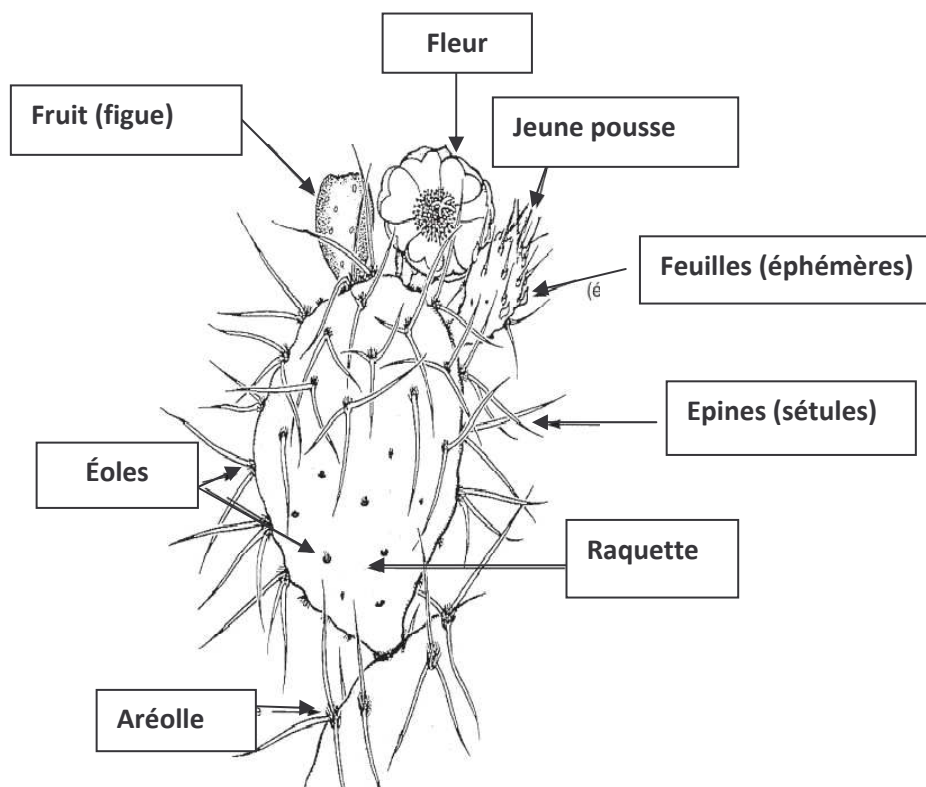


Figure 2.6 : Détail de l'Opuntia (Nopal) [83]

2.8.3. Culture et reproduction

De toutes les Cactées, le Nopal est l'une de celles qui supportent le mieux les conditions de vie les plus dures. On en trouve des variétés de l'extrême nord de l'Amérique, jusqu'aux régions antarctiques, et du rivage maritime jusqu'aux cimes élevées. Son étonnante faculté d'adaptation fait que la plante est facile à cultiver. L'abondance de moyens de reproduction dont elle dispose, graines et boutures, explique la facilité de sa propagation à travers le monde. L'Opuntia peut se reproduire à partir d'un article tombé sur le sol. Il prend racine du simple contact d'un de ses alvéoles avec la terre [83].

CHAPITRE 3

MATERIELS ET METHODES

3.1. Introduction

Notre objectif est de caractériser les boues des stations d'épuration « STEP de Reghaia et Baraki », et d'optimiser la déshydratation des boues de la STEP de Baraki, par l'utilisation de différents polymères, les différentes méthodes d'analyses physico-chimiques de la boue, ainsi que les méthodes de déshydratation (filtre presse et centrifugation) seront présentés.

3.2. Présentation des stations étudiées

La station d'épuration de Baraki est une station qui traite les effluents urbains en utilisant le procédé biologique à boues activées. Elle est dimensionnée pour recevoir une quantité d'eau usée estimée à 114 000 m³/j, avec une charge massique de 0.085 kg de DBO₅/kg de MVS. L'arrivée principale des eaux usées (70%) provient de la station de pompage d'El-Harrach appelé (SRG2) (elle regroupe les dix arrondissements du Grand Alger), et les 30% arrivent gravitairement dans un collecteur de Baba Ali [85].

Le procédé du traitement de la station est composé de deux chaînes : une chaîne de traitement de l'eau et l'autre pour le traitement des boues.

La station d'épuration de Reghaia est une station qui traite les effluents mixtes, provenant de la zone industrielle de Rouiba et les villes de proximité à la STEP de Reghaia, elle utilise le procédé biologique à boues activées, elle reçoit une

quantité d'eau usée estimée à $25000 \text{ m}^3/\text{j}$, La charge massique fluctue entre $0,01$ et $0,04 \text{ kgDBO}_5/\text{kg de MVS/j}$, ce qui correspond au fonctionnement à faible charge (aération prolongée). Elle regroupe 20 postes de relevage, le $1/3$ d'eau usée qui arrive à la station est celui de la zone industrielle de Rouiba et Reghaia.

Le procédé du traitement de la station est composé de deux chaînes : une chaîne de traitement de l'eau et l'autre pour le traitement des boues.

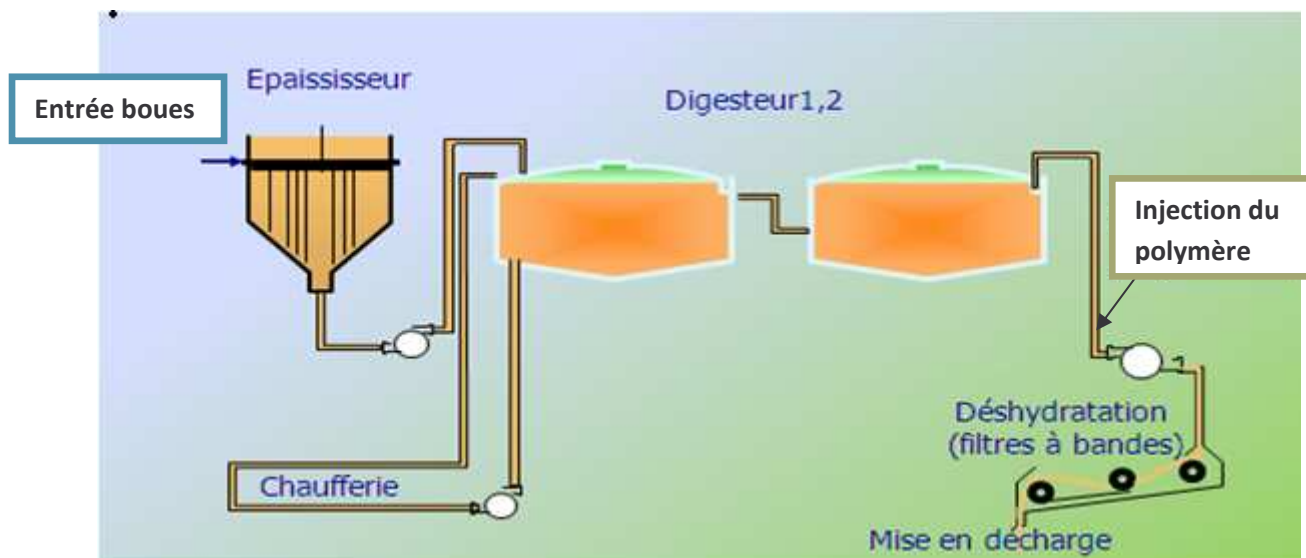


Figure 3.1 : Schéma de traitement des boues de la station de Baraki

3.3. Prélèvement de la boue

3.3.1. Prélèvement de la boue épaissie

Il se fait à partir d'un épaisseur gravitaire, l'échantillon est prélevé dès sa sortie de l'épaisseur qui sépare la boue de l'eau libre, dans des flacons qui doivent être fermés hermétiquement mais le minimum de temps nécessaire, et contrôlés régulièrement pour éviter une augmentation de pression [29]. A l'arrivée au laboratoire, les échantillons sont immédiatement analysés ou conservés pour être analysés plus tard.

3.3.2. Prélèvement de la boue déshydratée

Il se fait à la sortie de la filière de traitement de boue (déshydratation), au niveau des filtres à bande pour la station de BARAKI, et à partir des bennes récupératrices de boue pour la station de Reghaia.

La boue déshydratée, est prélevée, dans des boites bien fermées et propre. A l'arrivée de laboratoire, les prélèvements sont immédiatement analysés.

3.4. La conservation des échantillons

Pour éviter l'évolution de la boue entre le prélèvement et l'analyse, il est conseillé de maintenir les échantillons à une température voisine de 4°C et à l'obscurité et de les transmettre au laboratoire dans un délai de 24 heures après prélèvement.

Pour le conditionnement, la boue peut être conservée un mois au maximum.

3.5. Analyses physico-chimiques

3.5.1. Détermination de l'extrait sec à 105° [28]

La matière sèche est le produit résultant, de la dessiccation par évaporation, d'une certaine quantité fixée initialement de la boue. L'évaluation de la matière sèche se fait par pesée du résidu après sa dessiccation à 105°C.

La dessiccation est faite dans une étuve de marque Venticell 55.

3.5.2. Détermination du pH

Le pH d'une solution est la mesure de la quantité d'ions d'hydrogène donc il est un indicateur d'équilibre entre OH^- et H^+ en solution [55].

La mesure du pH se fait directement avec un pH mètre de type HANNA 211.

La mesure est effectuée directement, l'électrode est introduite dans l'échantillon, quand la valeur reste constante environ 30 secondes, la lecture est faite (à 0.1 unité près) [29].

3.5.3. Détermination du titre alcalimétrique complet(TAC) et les acides volatiles

Le titre alcalimétrique complet ou TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

La mesure du TAC est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré le méthyle orange [55].

Le TAC est mesuré sur le surnageant récupéré après centrifugation de la boue épaissie à 2500 tr pendant 20 min [29]

3.5.4. Matières volatiles en suspension (MVS)

C'est la quantité de matières organiques contenues dans les matières en suspension [55].

La différence de poids entre MES à 105 °C et MES à 550 °C donne la perte au feu et correspond à la teneur en MVS d'une eau [29]

3.5.5. Azote total et nitrate

Les composés azotés présents dans l'eau sont oxydés en nitrates dans un autoclave par une solution alcaline de persulfate. Les nitrates sont ensuite réduits en nitrites et dosés par spectrophotométrie [55]

3.5.6. Nitrites et Ammonium

Les nitrites sont déterminés par spectrophotométrie après diazotation avec la sulfanilamide et copulation avec la *N-1* naphthyléthylènediamine.

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrophotométrie d'absorption moléculaire [55].

3.5.7. Phosphore total

Les polyphosphates tels que le pyro-, méta- ou tripolyphosphate, sont transformés par hydrolyse, en milieu acide minéral concentré, en orthophosphates. En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

Cette méthode détermine la somme des polyphosphates et de l'orthophosphate contenus dans l'échantillon [55].

3.5.8. Les éléments trace métalliques et oligo-éléments

La méthode par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA), permet de doser les éléments majeurs et ceux sous forme de traces dans divers types de substrats (effluents liquides, eaux de surfaces, boues d'épurations etc...).

Cette technique à été choisie pour doser les métaux lourds (Cr, Cd, Zn, Ni, Ag, Mn, Co, Fr, Cu et Pb). L'appareil utilisé est un Varian(Flame Atomic Absorption Spectrometry) Spectr.AA220.

Avant de faire les analyses, une gamme d'étalonnage a été préparée afin d'assurer la linéarité de l'appareil. La limite de détection de l'appareil est de l'ordre de quelques ppm [55].

3.5.9. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies.

Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium [55].

3.5.10. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées.

Un liquide trouble s'éclaire vivement lorsqu'il est traversé par un faisceau lumineux, c'est le phénomène dit de Tyndall, dû aux particules insolubles en suspension diffusant latéralement une partie des rayons lumineux.

La turbidité est mesurée par le turbidimètre de marque HI 88713 –ISO Turbidimeter.

3.6. Tests de déshydratation

Nous avons utilisé des polymères de synthèses de différentes natures à savoir : Super Flocc C498, Sedipur CF802, Sedipur NF102, Sedipur AF400 . Et un bioflocculant « Jus de Cactus » obtenu a partir des branches de Cactus de la région de Hammam Melouane.

3.6.1.Préparation du Jus de Cactus

Le Jus de Cactus est préparé en broyant les branches du cactus après avoir enlevé ses épines.

Les branches de cactus sont coupées en petit dés et broyées dans un mixeur.

Le liquide résultant est ensuite filtré à l'aide d'un passoire de fine pores, et conservé au frais (+4 °C) pour être utilisé plus tard.

3.6.2. Polyélectrolyte de synthèse

Nous avons étudié les flocculants suivants :

Un polymère Cationiques de type Sedipur CF 801 disponible au laboratoire du Biotechnologie de l'ENP.

Un polymère cationique de type Super Flocc C 498 envoyés par la société EMO, et qui est utilisé actuellement à la station d'épuration de Baraki. Un polymère anionique de type Sedipur AF 400 et un polymère non ionique de type Sedipur NF102 disponible au laboratoire du Biotechnologie de l'ENP.

3.7. Préparation des flocculants

La préparation de la solution de polymère passe par quatre phases successives : la dispersion, l'hydratation, la dissolution et la maturation.

La solution du polymère ne doit pas être trop visqueuse afin de faciliter le mélange avec la boue. Dans la pratique les solutions sont préparées à 3 et 7 g/l [74]

La durée de vie d'une solution est estimée à 7 jours, délai au-delà duquel son efficacité est altérée.

Le dosage se fait en fonction du taux de matières sèches des boues en présence :

-Le conditionnement avec les polymères de synthèses se fait selon KRISHNAMURTHY .S et al (2005) [74]

-Le conditionnement avec le biopolymère Jus de Cactus se fait selon ABID.A (2009) [82].

La dose des flocculants est calculée par rapport à la matière sèche de la boue utilisée, selon la formule suivante :

$$\text{Dose du polymère (g/kg)} = \frac{1000 \times \text{Volume de polymère ajouté (ml)} \times \text{Concentration de la solution d'emploi} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right)}{\text{Volume de l'échantillon (ml)} \times \text{sa teneur en MS} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right)}$$

3.7.1. La floculation

La floculation de la boue est effectuée dans un jar-test. 250ml de la boue sont prélevés et placés dans un Becher de 500 ml, la quantité de solution de flocculant requise est introduite sous agitation de 120 rpm pendant 20sec, l'agitation est poursuivie pendant 2 min à une vitesse réduite de 40 rpm.[74].

3.8. Filtration sous pression

Après la floculation l'échantillon est versé dans une cellule de filtration présenté dans la figure 3.1.

3.8.1. Détermination de la résistance spécifique à la filtration

La résistance spécifique r se définit comme étant la résistance qu'oppose à la filtration (ou cheminement de filtrat) une quantité de gâteau déposée sur 1 m² de surface filtrante et contenant 1kg de produit sec.

3.8.1.1. Principe [1]

Le processus de filtration est régi par des lois telles que :

-Loi de Darcy : le débit de filtrat $\frac{dv}{dt}$ par unité de surface A est proportionnel à la pression appliquée P et inversement proportionnel à la viscosité dynamique μ du fluide.

-L'intégration de l'équation différentielle à P constante conduit à la relation du type :

$$\frac{t}{v} = aV + b$$

Avec : $a = \mu wr / 2PS^2$ et $b = \mu Rm / PS$

$$t/V = \mu \frac{w}{2PS^2} rv + \mu R_m / PS$$

Où :

t : temps(s)

v : volume du filtrat au bout du temps t (ml)

μ : viscosité dynamique de la boue (mPa.s)

r : résistance spécifique à la filtration (m.kg⁻¹)

W : masse déposée par unité de volume du filtrat (kg.m³)

S : surface de filtration (m²)

P : pression (Pa)

R_m : résistance de la membrane (négligeable dans le cas des boues par rapport à la résistance r du gâteau) donc :

$$r = \frac{2\alpha PS^2}{\mu w}$$

Où α est la pente de la droite de Carman ($\frac{t}{v} = aV + b$)

3.8.1.2. Mode opératoire [1]

-Remplir la cellule par la boue à filtrer (préalablement conditionnée); 100 ml de boue sont généralement suffisants pour l'obtention d'un gâteau final d'épaisseur 8-10mm.

-Noter le volume du filtrat soit V₀

-Appliquer la pression voulue soit 0,5 bar (40 cm Hg environ) et veiller à ce qu'elle reste constante tout au long de l'essai.

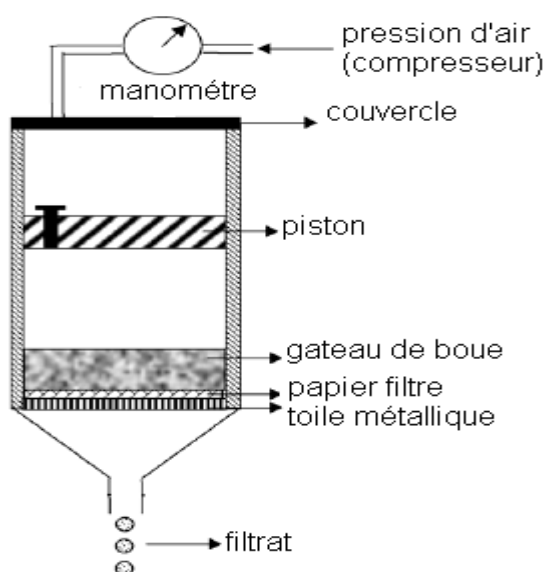
- Mettre en route le chronomètre et noter le volume de filtrat déjà recueilli: volume V₀ correspondant au temps t = 0 qui sera à soustraire des volumes repérés ultérieurement.

-Noter les volumes du filtrat recueilli au cours de l'essai pour différents temps de filtration: toutes les cinq minutes pendant une heure (temps suffisant pour atteindre la siccité limite) [1].

-L'essai est conduit jusqu'à essorage du gâteau.

-le volume recueilli est récupéré pour la mesure de la turbidité, ainsi que le gâteau est récupéré pour le teste de siccité.

Le dispositif de filtration sous pression est schématisé dans la figure 3.1.



-b-



-a-

Figure 3.1 : -a- Schéma représentatif du dispositif de la filtration sous pression. -b- Photos réelle du dispositif.

3.9. La centrifugation

La centrifugation ce n'est autre que l'accélération de la sédimentation des particules sous l'incidence de forces centrifuges.

La boue floculée par le Jar-test subie le test de déshydratation par la centrifugation sous une vitesse de 2500 tr/min pendant deux minutes [74].

La centrifugeuse utilisée est de marque OMEGA M.

Après centrifugation, le surnageant est récupéré pour mesurer la turbidité, le culot quant à lui est récupéré pour le test de siccité.

CHAPITRE 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre on va présenter les résultats d'analyse des boues issus des STEP de Baraki et Reghaia, ainsi que les résultats du conditionnement de la boue de Baraki.

4.1. Caractéristiques des boues des deux stations :

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées sur la boue épaissie, la boue digérée ainsi que sur la boue déshydratée, et ce pour les deux STEP étudiées de la région Algéroise : BARAKI et REGHAIA.

Le prélèvement de la boue épaissie, se fait à la sortie de l'épaississeur ainsi qu'à la sortie du digesteur pour la boue digérée, tandis que le prélèvement de la boue déshydratée se fait à la fin de la filière de traitement au niveau des filtres à bandes et à la sortie des centrifugeuses.

4.1.1 .Résultats d'analyse de la station de Baraki :

Les résultats présentés dans les tableaux 4.1 à 4.4, représentent la moyenne de vingt échantillons prélevés dans des périodes séparées durant les mois d'Octobre 2010 à Mars 2011, sauf les éléments trace métalliques et les oligo-éléments qui sont la moyenne de trois échantillons prélevés sur la période citée précédemment.

Tableau 4.1 : Paramètres physico-chimiques des boues épaissies et digérées de la station de BARAKI.

Paramètres des boues épaissies		Paramètres des boues digérées	
Analyses physicochimiques		Analyses physicochimiques	
MS (g .L ⁻¹)	60 .9	MS (g .L ⁻¹)	49.3
pH	6.81	pH	6.84
MVS (g.L ⁻¹)	30.82	MVS (g.L ⁻¹)	22.00
AGV (mg.L ⁻¹)	27.5	AGV (mg.L ⁻¹)	43.1
TAC (mg.L ⁻¹)	136.5	TAC (mg.L ⁻¹)	399
DCO (mg.L ⁻¹)	23550	DCO (mg.L ⁻¹)	11914
Valeur agronomique (mg .L ⁻¹)		Valeur agronomique (mg .L ⁻¹)	
N.TOT	2480	N.TOT	1190
C.TOT (g/l)	16.53	C.TOT (g/l)	11.69
Nitrite	8 .1	Nitrite	4.53
Nitrate	115	Nitrate	59
Ammonium	539	Ammonium	515
Phosphore .TOT	261	Phosphore .TOT	243
C/ N	6.88	C/N	9.82

1. La matière sèche

Les valeurs de la matière sèche varient entre 52 et 67 g/l avec une moyenne de 60,9g/l pour la boue épaissie ; et de 42 à 65 g/l avec une moyenne de 49,3 g/l pour la boue digérée. Cette différence entre les deux est due à la digestion (transformation anaérobie de la matière sèche dans le digesteur), l'efficacité de la digestion est proportionnelle à la température, l'élimination des matières sèches est optimale à 37°C ±1 [5].

2. Les matières volatiles

Les valeurs du pourcentage de matières volatiles oscillent entre 48 et 56% avec une moyenne de 50% ; cela indique une fermentescibilité moyenne. Cette dernière est due à l'existence uniquement de la décantation secondaire (Décanteur primaire non opérationnel au niveau de la STEP).

Les valeurs de la matière volatile pour la boue épaissie varient entre 26 et 34 g/l avec une moyenne de 30,82 g/l, et pour la boue digérée varient entre 17 et 29 g/l avec une moyenne de 22,03 g/l.

L'élimination des matières volatiles est proportionnelle à la température, ce qui confirme la conversion d'une partie de la matière volatile dans le digesteur en molécules simples (alcools et acides organique) où ces molécules sont transformées en gaz (dioxyde de carbone et méthane) [86].

La matière organique d'un amendement est un paramètre agronomique qui revêt une grande importance en agriculture, puisqu'elle améliore la porosité et le pouvoir de rétention de l'eau des sols [94]. Elle favorise ainsi l'enracinement des plantes cultivées, leur approvisionnement en eau et en éléments nutritifs tout en apportant une source de nourriture aux vers de terre et aux microorganismes utiles [94,88]. Les résultats de la présente étude démontrent que les boues de la station de Baraki contiennent en moyenne près de 50% de matière organique MS.

3. Le pH

On constate que le pH reste dans la neutralité (6,47 et 6,83 pour la boue épaissie et entre 6,75 et 7,44 pour la boue digérée). La digestion anaérobie du digesteur de la STEP fonctionne d'une manière continue ce qui explique la neutralité du milieu. Cette neutralité est due à la stabilité des réactions d'une façon simultanée entre les différentes étapes de la digestion décrite en littérature [89], la formation des acides gras volatils de l'étape acidogène est neutralisée d'une manière parallèle par la formation des acétates, c'est le cas de tout procédé continu.

Le pH est essentiellement lié à la présence d'acides gras volatils. Lors du bon fonctionnement du digesteur, le pH est tamponné par la présence des bicarbonates produits par les méthanogènes [90].

BOUGRIER .C (2005) [5], à remarqué que le pH reste relativement stable (environ $7,3 \pm 0.15$) dans un digesteur continu alimenté par des boues activées.

La boue qui à un pH neutre peut être utilisée en agriculture comme amendement, pour neutraliser l'acidité des sols et assurer l'exercice du pouvoir absorbant [16].

4. La demande chimique en oxygène DCO

Les résultats à l'entrée du digesteur varient entre 12 950 et 34 470 mg d'O₂.L⁻¹, alors qu'à la sortie du digesteur, les valeurs de la DCO de la boue digérée sont comprises entre 7 075 et 16 070 mg .L⁻¹, donc on peut constater qu'il y a un abattement considérable de la pollution chimique (DCO), cet abattement est converti en biogaz, La théorie donne une valeur de la production de méthane maximale de 350 L par kilogramme de demande chimique en oxygène (DCO) éliminée [5], le digestat est plus stable lors de son épandage donc une préservation de l'environnement.

5. AGV et TAC

Les bactéries «homo-acétogènes », utilisent l'hydrogène et le dioxyde de carbone pour produire de l'acétate selon la réaction suivante :



On remarque que le rapport AGV/TAC \leq à 1, et cela est du à la bonne maîtrise des paramètres de la digestion vis-à-vis du chauffage régulier et l'agitation continue [91], ce qui indique un bon fonctionnement de la digestion au niveau de la STEP de Baraki.

6. L'azote total

A l'entrée du digesteur, les valeurs de l'azote total sont comprises entre 2390 et 2800 mg/l, alors qu'à la sortie, on a des valeurs comprises entre 1119 et 2050 mg/l, donc on note une réduction de l'azote total, cela montre que ce dernier a été assimilé par les bactéries dénitrifiantes anaérobies a travers le phénomène de la dénitrification qui se déroulent dans le digesteur.

7. Ammonium

On remarque qu'il n'y a pas une grande diminution de la concentration d'ammonium entre l'entrée et la sortie du digesteur, on constate que les sels d'ammonium ne sont pas convertis en nitrite puis nitrate, donc il n'y a pas de phénomène de nitrification à cause de l'absence d'oxygène dans le digesteur.

8. Nitrates et nitrites

On constate que dans la boue épaissie, les valeurs de nitrates varient entre 80 et 150 mg/l, alors que dans la boue digérée les valeurs varient entre 40 et 79.9 mg/l.

Les valeurs enregistrées des nitrites varient entre 5,63 et 10,7 mg/l à l'entrée, et entre 5,47 et 4.34 mg/l à la sortie.

Cette différence est due à une réduction séquentielle, en quatre étapes, des nitrates et des nitrites en azote gazeux assurée principalement par des bactéries spécifiques réalisant le processus biologique appelé la dénitrification dans le digesteur, ces résultats corroborent avec les valeurs de l'azote total [92].

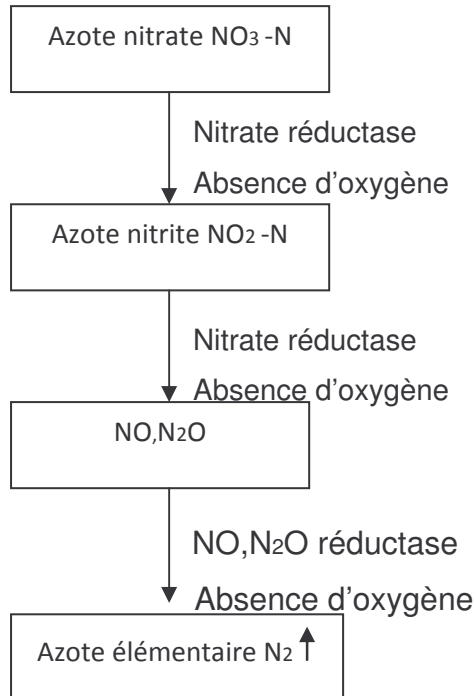


Figure 4.1 : Schéma représentatif de la dénitrification [92]

9. Phosphore total :

La mesure de la concentration du phosphore total est importante surtout en présence de métaux dans le digesteur, ces derniers peuvent précipiter avec le phosphate quand sa concentration est élevée dans le digesteur.

On remarque qu'il y a une légère diminution de la concentration du phosphate total à la sortie du digesteur, cette diminution est assurée aussi par l'assimilation du phosphore par les microorganismes.

10. Le rapport C/N :

Les valeurs relevées concernant le rapport C/N sont toutes inférieures à 10 ce qui préfigure une biodégradabilité des boues, aussi que l'azote en excès s'est minéralisée [39].

- Résultats des boues déshydratées :

Les prélèvements ont été pris à la sortie du filtre à bande, et les résultats obtenus lors des analyses sont présentés dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Paramètres physico-chimiques des boues déshydratées de la station de BARAKI

Paramètre des boues déshydratées		Normes OMS mg.Kg ⁻¹
Analyses physico-chimiques		
Siccité%	26.38	/
DCO (mg.L ⁻¹)	1270	/
Valeurs agronomiques (g.Kg ⁻¹)		
N.TOT	48.2	/
C.TOT	240	/
Nitrate	2.02	/
Ammonium	7.32	/
N-NTK	20.5	/
Phosphore.TOT	15.8	/
Potassium	0.98	/
C/N	4.97	/
Eléments traces métalliques (mg .Kg ⁻¹)		
Cd	1.63	10
Cr	81.33	1000
Zn	510	3000
Cu	126.36	1000
Ni	45.53	200
Pb	202.12	750
Cr+ Cu+ Zn+ Ni	763.22	<4000
Oligo-éléments (mg.Kg ⁻¹)		
Fe	19420	/
Mn	2.83	/
Co	1.86	/
Ag	7.7	/

1. Siccité

Le polymère utilisé pour le conditionnement des boues dans la STEP de BARAKI est un polymère cationique « Super Flocc C498 », c'est le cas des boues d'origine urbaine, la siccité obtenue varie entre 23 et 28% en MS, ces valeurs sont proches aux valeurs données dans la littérature dont les siccités sont comprises entre 21 et 30% lors de l'utilisation des flocculants type cationique dans le conditionnement des boues urbaines et semi-urbaines. Ces valeurs varient selon le type de procédé utilisé dans la déshydratation, et le type de flocculant utilisé [66].

2. Paramètres physicochimiques

Les valeurs des paramètres physicochimiques (DCO, azote total, ammonium, nitrate et nitrite) sont inférieures à celles trouvées dans les boues épaissies, la boue déshydratée de la station de Baraki subit une déshydratation mécanique par les filtres à bandes, l'eau interstitielle éliminée par filtration, reforme une fraction soluble de ces paramètres, de ce fait une diminution considérable des valeurs physicochimiques contenues dans la boue déshydratée.

3. Les éléments métalliques traces

La teneur en métaux lourds est un paramètre très important pour la valorisation des boues dans le domaine agricole. Jusqu'à présent l'Algérie n'a pas établi encore des normes internes exigeantes afin de valoriser ces dernières, de ce fait, nous avons été amenés à comparer les valeurs obtenues avec les valeurs guides proposées par l'OMS. Il est aisé de constater que les boues étudiées répondent d'une manière satisfaisante aux normes OMS.

La boue de Baraki contient des oligoéléments tel que le fer, les boues de station de Baraki possèdent des teneurs élevées en fer, la source de l'augmentation est inconnue, elle est probablement due en raison du phénomène de concentration lié à l'oxydation de la matière organique [40].

4.1.2. Résultats d'analyses de la station de REGHAIA

Les résultats obtenus de la boue épaissie et la boue déshydratée pour la station de Reghaia sont présentés dans les tableaux 4.3 et 4.4.

Tableau 4.3 : Paramètres physico-chimiques de la boue épaissie de la station de REGHAIA.

Paramètres des boues épaissies	
Analyses physicochimiques	
MS (g .L ⁻¹)	81
pH	6.89
MVS (g .L ⁻¹)	22.32
C.TOT (g .L ⁻¹)	11.16
AGV(mg .L ⁻¹)	25.4
TAC (mg .L ⁻¹)	130
DCO (mg .L ⁻¹)	65450
Valeurs agronomiques (mg.L ⁻¹)	
N.TOT	2550
Nitrate	120.6
Ammonium	244.05
Phosphore.TOT	701.25
C/N (sans dimension)	4.37

Tableau 4.4 : Paramètres physico-chimiques de la boue déshydratée de la station de REGHAIA.

Paramètre des boues déshydratées		Normes OMS (mg.Kg ⁻¹)
Analyses physicochimiques		
Siccité %	31.97	/
DCO (mg.L ⁻¹)	15770	/
Valeurs agronomiques (g .Kg ⁻¹)		
C.TOT	305.6	
N.TOT	99.2	/
Nitrate	6.98	/
Nitrite	2.4	/
Ammonium	6.92	/
N-NTK	34.6	/
Phosphore.TOT	38.6	/
potassium	0.67	/
C/N	3.08	/
Eléments traces métalliques (mg.Kg ⁻¹)		
Cd	1.333	10
Cr	28	1000
Cu	59.93	1000
Pb	21.41	750
Zn	883.33	3000
Ni	32.1	200
Cr+ Cu+ Zn+ Ni	1003.36	<4000
Oligo-éléments (mg.Kg ⁻¹)		
Co	1.94	/
Mn	43	/
Fe	16103.33	/
Ag	13.766	/

1. Siccité

Le polymère utilisé pour le conditionnement des boues dans la STEP de REGHAIA est un polymère cationique (super floc). La centrifugation est utilisée comme un procédé de déshydratation. La siccité obtenue varie entre 29 et 34% en MS, valeurs légèrement supérieures à celle obtenues au niveau de la STEP de BARAKI, cette différence est due peut être au procédé de déshydratation (la centrifugation).

2. Paramètres physicochimiques

Les valeurs des paramètres physicochimiques « DCO, azote total, ammonium, nitrate et nitrite », de la boue déshydratée sont inférieurs aux valeurs de la boue épaissie, la boue déshydratée qui a subi une déshydratation mécanique afin d'éliminer au maximum l'eau interstitielle, qui se trouve entre les floccs formé par conditionnement, ces paramètres se trouvent aussi à l'état soluble, par ailleurs une fraction de ces paramètres se trouve dans l'eau éliminée par centrifugation.

3. Les éléments traces métalliques (ETM)

Contrairement à la STEP de Baraki, la STEP de Reghaia reçoit des effluents mixtes urbains et industriels. La région de Reghaia est connue par ses activités industrielles, des ETM trouvés restent inférieurs aux normes de l'OMS. Néanmoins on note une concentration en Zn plus importante et une somme de Cr, Cu, Zn et Ni proche de 1000, mais qui reste encore loin de la norme de 4000mg/kg.

Il n'existe pas un impact important des industries environnantes sur la qualité de la boue.

Les éléments traces métalliques tels que les oligo-éléments et les contaminants stricts trouvés dans les deux stations étudiées, sont comparés avec les différents fumiers de ferme et sont donnés dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Comparaison des teneurs en ÉTM en mg/kg des boues des deux stations étudiées par des engrais de ferme.[40]

Matières fertilisantes	Oligo-éléments (plantes et/ou animaux)					Contaminants stricts	
	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Cd	Pb
Fumier de bovins	1.9	6.9	36	5.6	156	0.2	1.4
Fumier de volailles	4	4.7	192	12	399	0.4	2
STEP de Baraki	1.86	81.33	126.36	45.53	510	1.63	202.12
STEP de Reghaia	1.94	28	59.93	32.1	883.33	1.333	21.41

Certains ÉTM présents dans les boues municipales sont considérés comme étant des oligo-éléments pour les plantes ou les animaux, tels le cuivre et le zinc. Les boues de stations de Baraki et Reghaia possèdent d'ailleurs des teneurs en ces ÉTM qui sont similaires à celles des principaux engrais de ferme.

Pour les oligo-éléments, il est tout de même intéressant de constater que les teneurs en cobalt sont similaires à celles des deux engrais de fermes, et ça dans les deux stations, par ailleurs des teneurs plus élevées en chrome et en nickel sont constatés dans les deux types de station, mais ces teneurs restent toujours inférieures à celles données par l'OMS.

Les teneurs moyennes en contaminants stricts (cadmium, plomb) de ces boues sont par contre plus élevées. Elles respectent néanmoins les critères de l'OMS.

La valorisation de la majorité des boues de ces stations s'avère donc faisable et sécuritaire en ce qui concerne les ÉTM.

Il ne faut pas perdre de vue cependant que si les valeurs de la teneur des ETM sont importantes à considérer, elles ne constituent évidemment pas un élément de jugement suffisant quant à l'aptitude d'une boue à être ou non

épanchée, car d'autres critères doivent être considérées comme la nature des sols ainsi que les types de cultures.

5. Le rapport C/N :

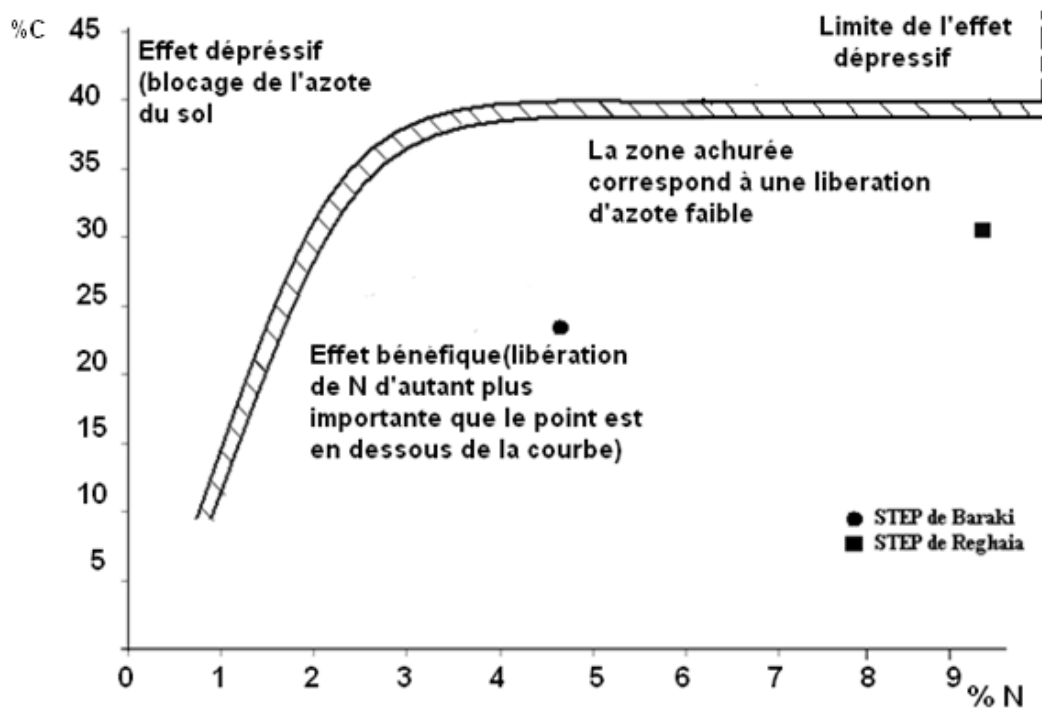


Figure 4.2 : Etude de la valeur agronomique des boues [32]

La figure 4.2 représente le pourcentage de l'azote et du carbone, elle nous renseigne sur la valeur agronomique des boues étudiées.

Il est reconnu que les engrais organiques ayant des rapports C/N inférieurs à 20 se minéralisent rapidement et peuvent libérer des quantités importantes d'azote aux cultures [93]

Le rapport C/N constitue donc un indice de la fraction d'azote organique facilement minéralisable des boues municipales [94]. Le rapport C/N moyen des boues est inférieur à 10 dans les deux STEP. De ce fait, la minéralisation de la matière organique contenue dans les boues de ces deux types de stations devrait débuter peu de temps après leur épandage, rendant ainsi rapidement disponibles de grandes quantités d'azote aux cultures.

La représentation de nos rapports sur la figure 4.2 donnant le pourcentage de l'azote sur le pourcentage du carbone, montre très bien que nos points sont situés dans les zones bénéfiques libérant plus d'azote à la culture.

6. Eléments fertilisants majeurs

La figure 4.3 représente les teneurs moyennes des trois éléments majeurs de la fertilisation en kg/t de matière sèche.

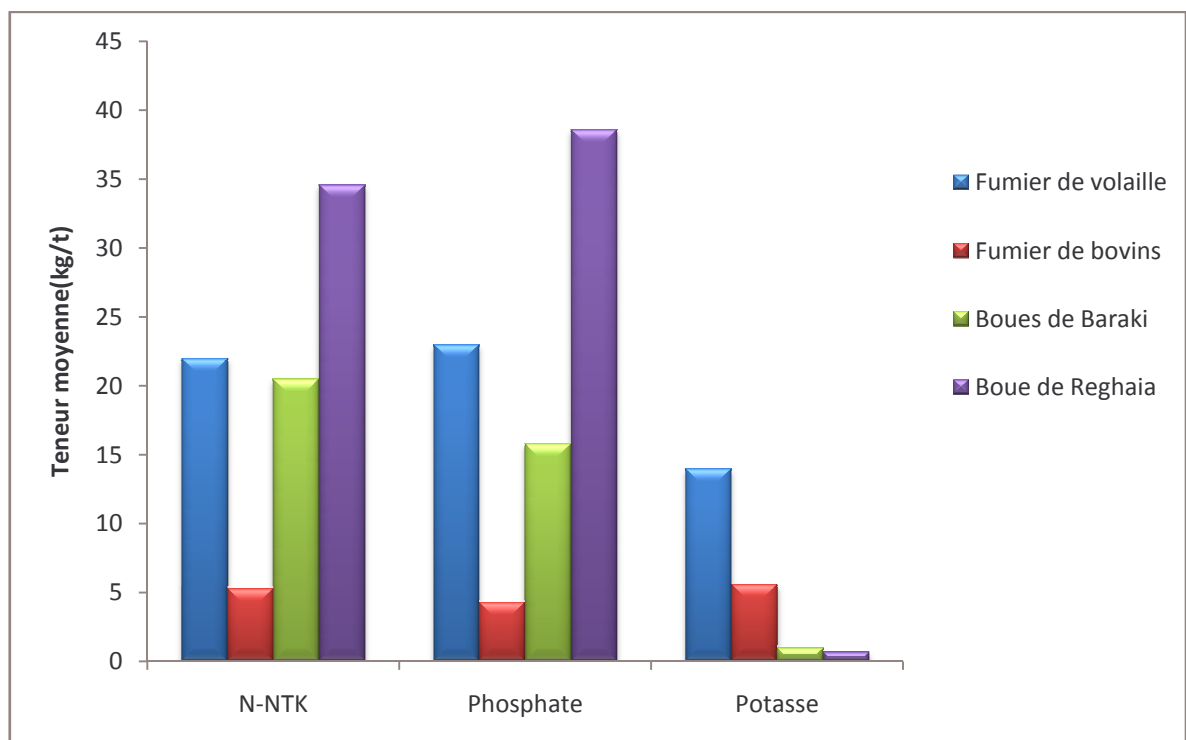


Figure 4.3: Comparaison des éléments fertilisant majeurs

L'azote est l'élément fertilisant qui influence le plus la productivité végétale [87]. Les résultats de l'étude indiquent que la boue de station de Baraki contient moins d'azote que les boues de Reghaia (tableau 4.4 et 4.2). Ceci peut être expliqué par le fait que les boues de Baraki subissent une digestion anaérobie qui mène à des pertes en azote, notamment par les phénomènes de nitrification/dénitrification et de solubilisation. À titre comparatif, la figure 4.3 présente les teneurs moyennes en azote (N-NTK), exprimées en kg/tonne, des boues municipales et de deux engrais de ferme. Les résultats révèlent que les boues de STEP de Reghaia possèdent des teneurs en azote et phosphore

supérieures au fumier de volaille et de bovins, mais une faible quantité en potasse. Par contre les boues de la STEP de Baraki ont des teneurs en azote et phosphore trois fois plus que le fumier de bovins, cependant elles présentent les plus faibles teneurs en potasse.

Le phosphore est un autre élément très important pour la croissance des plantes. Par contre, il se retrouve déjà en quantités excessives dans plusieurs sols agricoles situés dans les bassins versants dégradés [39]. À ces endroits, il est recommandé d'utiliser des amendements possédant des teneurs plus faibles en phosphore et un ratio N/P plus élevé. Les résultats de cette étude démontrent que les boues de Reghaia possèdent des teneurs élevées en phosphore par rapport aux autres engrais de ferme, ce qui rend leur utilisation moins avantageuse dans les secteurs où les teneurs en phosphore limitent les doses d'épandage. Cependant, les boues de Baraki renferment moins de phosphore en raison de leur faible siccité. Ces dernières possèdent toute fois un rapport N/P inférieur à celui des boues de Reghaia.

Le potassium est le troisième élément fertilisant en importance pour les plantes. Toutefois, il est présent en faible concentration dans les deux types de boues. En effet, le potassium excrété dans l'urine, étant très soluble, a tendance à demeurer en solution dans les eaux usées et à être rejeté dans l'effluent épuré des stations. Les boues municipales sont donc nettement moins concentrées en potassium comparativement aux engrais de ferme (figure 4.3). Toutefois, cette particularité des boues municipales peut être avantageuse pour la culture de fourrages dans les sols naturellement riches en potassium [39].

4.2 Conditionnement des boues :

Une boue est considérée comme liquide pour des valeurs de siccité inférieures à 10% [32], ce qui est le cas des boues de la station de Baraki objet de notre étude.

Pour les valeurs de siccité obtenues, le transport peut uniquement être assuré par pompage. L'objectif de la déshydratation sera d'amener ces siccités de 10%, à des valeurs tournant autour de 25-30% afin d'avoir des boues peletables et de réduire leur volume pour pouvoir les transporter plus commodément.

4.2.1 Déshydratation par filtre presse :

Notre choix s'est porté sur deux polymères cationiques ainsi qu'un polymère non ionique et un polymère anionique.

Par ailleurs, nous avons testé un polymère naturel qui est le jus de cactus local de la région de Hammam Melouane.

La boue épaissie de la STEP de BARAKI à été conditionnée par les polymères cités dans le tableau suivant :

Tableau4.6 : Caractéristiques des polymères étudiés

Nom du polymère	Type de polymère	Poids moléculaire
Super Flocc C 498	cationique	/
Sedipur CF 802	cationique	Haut
Sedipur NF 102	non ionique	/
Sedipur AF 400	anionique	/
Jus de Cactus	/	/

Le conditionnement à été fait par l'ajout des polymères à de différentes doses (de 0 à 4 g/kg de matière sèche) [67]

La boue de Baraki possède les caractéristiques présentées dans le tableau 4.7:

Tableau 4.7 : les caractéristiques de la boue de Baraki à conditionnée

Paramètres	pH	MS g/l	Siccité %	RSF m/kg
Valeurs	6.81	90.9	9.09	4.10^{12}

A partir de ce tableau, on remarque que la boue épaissie contient 90.9 g/l de matière sèches ce qui correspond à une siccité de 9%, son pH est proche de la neutralité, et la résistance spécifique à la filtration est de 4.10^{12} m/kg (la boue brute est filtrée dans les conditions opératoires que la boue conditionnée)

a. Conditionnement avec le flocculant Super Flocc C498

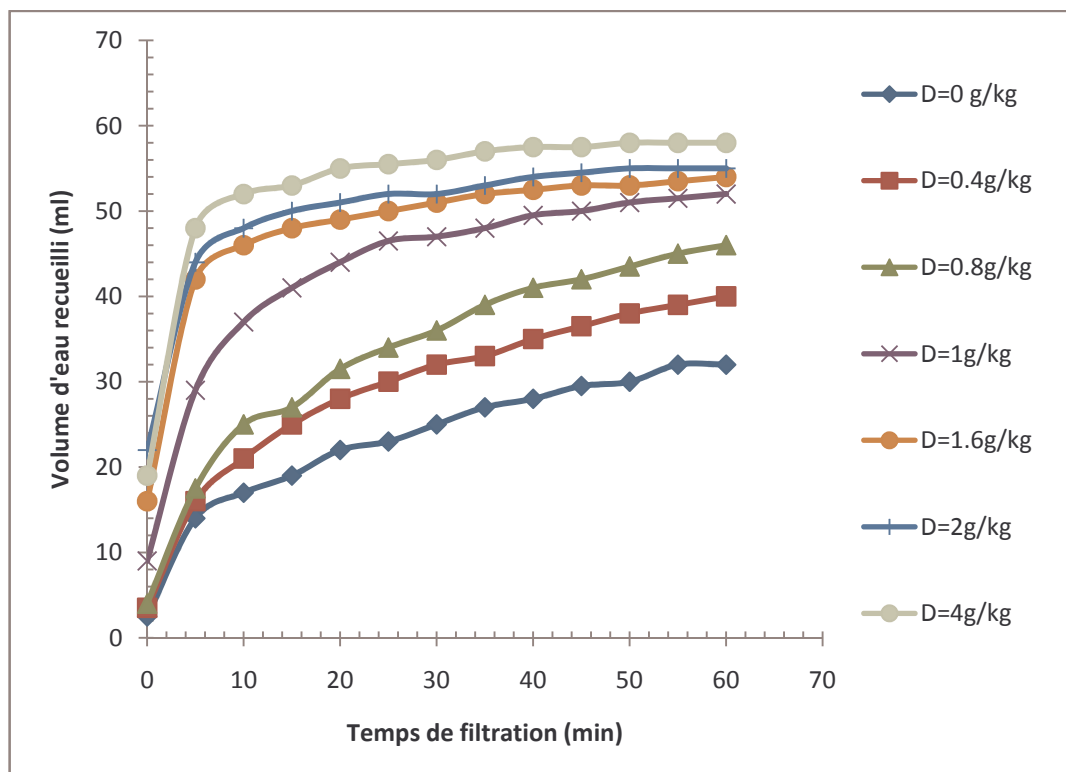


Figure 4.4 : Influence de la dose du Super Flocc C 498 sur le volume recueilli

La figure N°4.4 représente le volume d'eau recueilli (ml) par le filtre presse de la boue conditionnée en fonction du temps à différentes concentrations du

polymère Super Floc C498. Des concentrations de polymère de 0 à 4 g/kg ont été essayées.

Dès que la boue est introduite dans la cellule de filtration l'opération de fermeture et de serrage du dispositif nécessite 1 à 2 minutes. Pour être homogène sur l'ensemble des essais, le $t=0$ correspond réellement à deux minutes après la mise de l'échantillon dans la cellule de filtration mais sans avoir déclenché la mise sous pression. Durant ces deux minutes à pression atmosphérique que recueilli un volume V_0 correspond à l'eau qui traverse la cellule sous pression, ce volume V_0 augmente en augmentant la concentration du polymère, cela est dû à la séparation solide/liquide et l'eau se filtre plus facilement.

La figure 4.4 montre aussi qu'une augmentation de la concentration du flocculant entraîne une filtrabilité des boues puisque que les volumes de l'eau recueilli augmentent. On remarque aussi que la courbe présente deux phases bien distinctes, une première phase rapide de 5 à 10 min où le volume recueilli augmente rapidement pour atteindre des valeurs de 45 ml, au delà de cette phase rapide succède un régime quasi-stationnaire.

Le taux de filtration 'T' ($T = \frac{V_x}{V_0} \times 100$, où V_0 est le volume à filtrer et V_x est le volume recueilli) est de 50 à 60%, pour les doses de 1 à 4 g/kg, alors que les premières doses (0 à 0.8 g/kg) les volumes varient lentement, avec un taux de filtration qui varie entre 32 et 46% du volume principal.

b. Conditionnement avec le flocculant Sedipur CF802 :

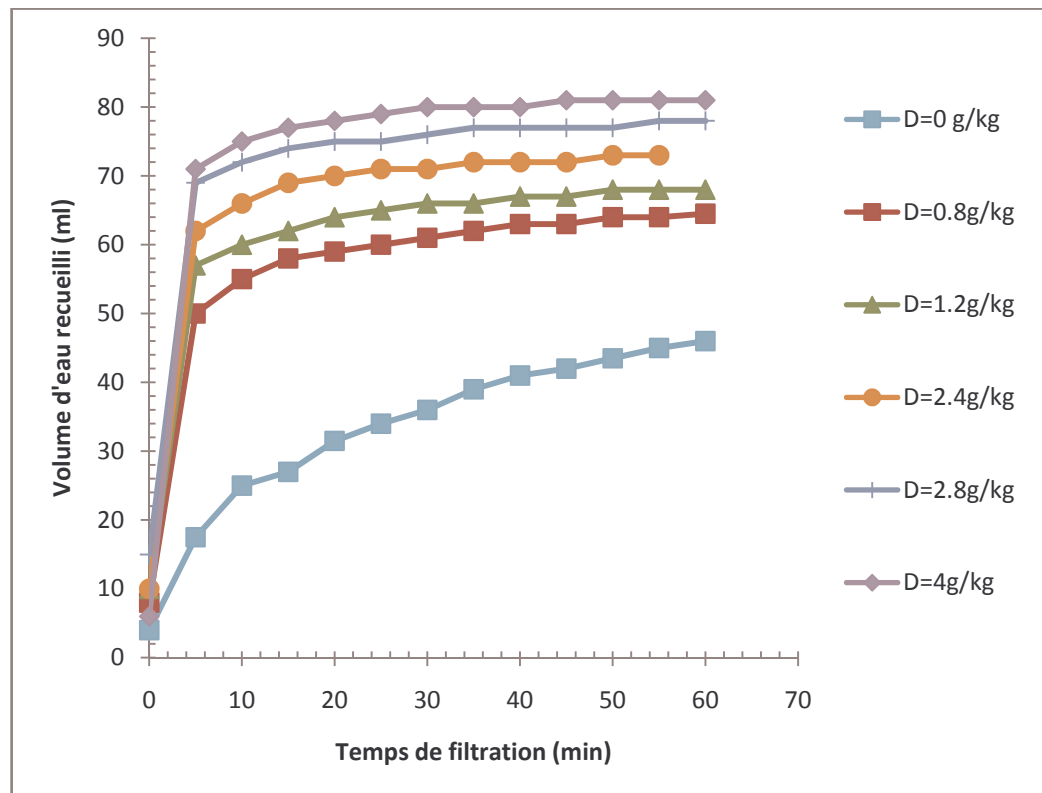


Figure.4.5 : Influence de la dose du Sedipur CF 802 sur le volume recueilli

La figure N°4.5 représente le volume d'eau recueilli (ml) par le filtre presse de la boue conditionnée en fonction du temps à différentes concentrations du polymère Sedipur CF 802. On remarque que le volume d'eau recueilli V_0 à $t=0$ min varie en augmentant la dose du flocculant. Nous constatons aussi, que pour toutes doses du flocculant utilisées, les courbes présentent une phase où le volume recueilli varie rapidement jusqu'à $t=5$ min, au-delà, un régime quasi-stationnaire est établi, le taux de filtration atteint 80% du volume initial de boue, contrairement au Super Floc C498 le taux de filtration est de 60%.

On constate aussi que les volumes d'eau recueilli augmentent en augmentant la dose du flocculant ce qui implique qu'on a une bonne séparation solide/liquide.

c. Conditionnement avec le floculant Sedipur NF102 :

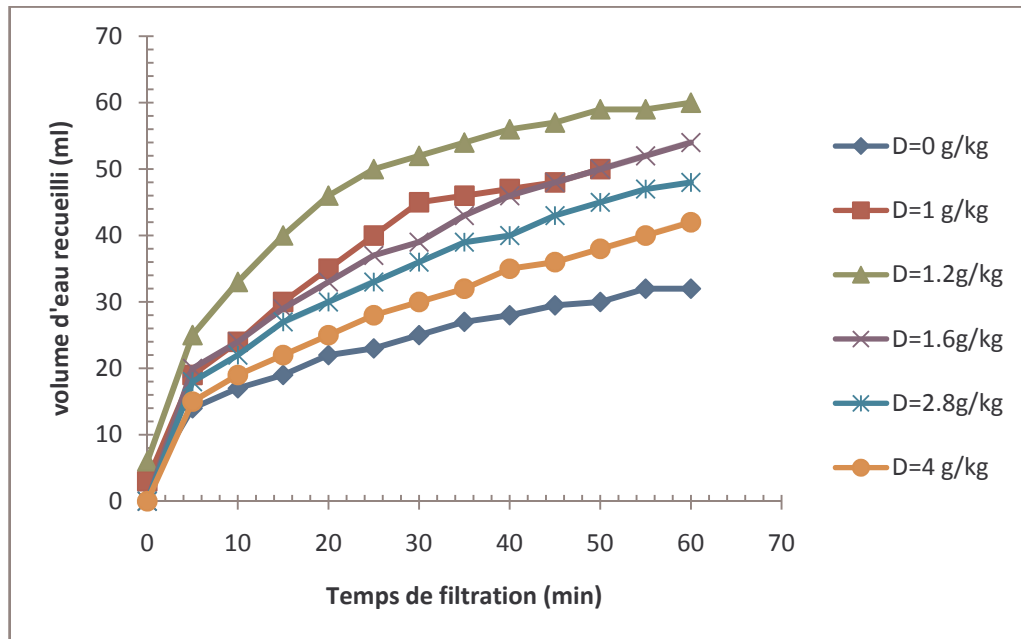


Figure 4.6 : Influence de la dose du Sedipur NF102 sur le volume recueilli

La figure N°4.6 représente le volume d'eau recueilli (ml) par le filtre presse de la boue conditionnée en fonction du temps à différentes concentrations du polymère Sedipur NF102. Le volume filtré atteint 50% après 20 min de filtration avec une dose de 1.2 g/kg, au-delà, les volumes varient très lentement et la filtration devient de plus en plus difficile, cela est dû au phénomène de restabilisation des particules floculées, et à la fin de la filtration on aura un gâteau très mou assez visqueux.

Le phénomène de restabilisation peut être démontré par la manière suivante :

Si on calcule les taux de filtration en fonction des doses de floculant employées on aura la courbe suivante :

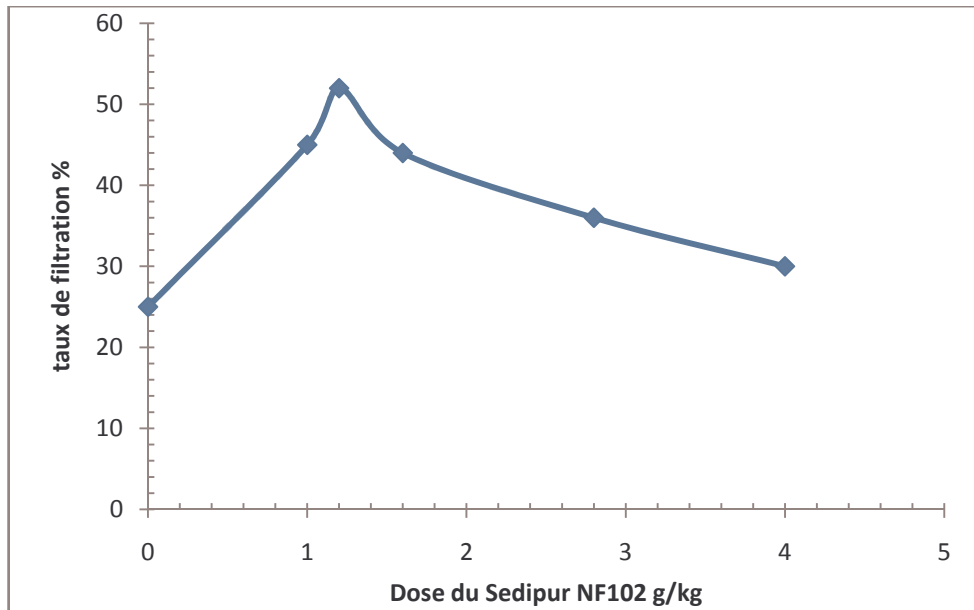


Figure 4.7 : Evolution du taux de filtration en fonction de la dose du polymère employé.

La figure N°4.7 représente l'évolution du taux de filtration de la boue en fonction de la dose du flocculant Sedipur NF102. On remarque que la courbe a la forme d'une cloche, elle augmente en augmentant la dose du polymère jusqu'à la dose optimale, au-delà, la courbe décroît, cela peut être expliqué par la restabilisation des floccs formés lors du conditionnement de la boue.

Les quantités de flocculant qui saturent les surfaces disponibles de la phase dispersée (colloïde) produisent un colloïde restabilisé, la figure 4.8 décrit le phénomène de la restabilisation.

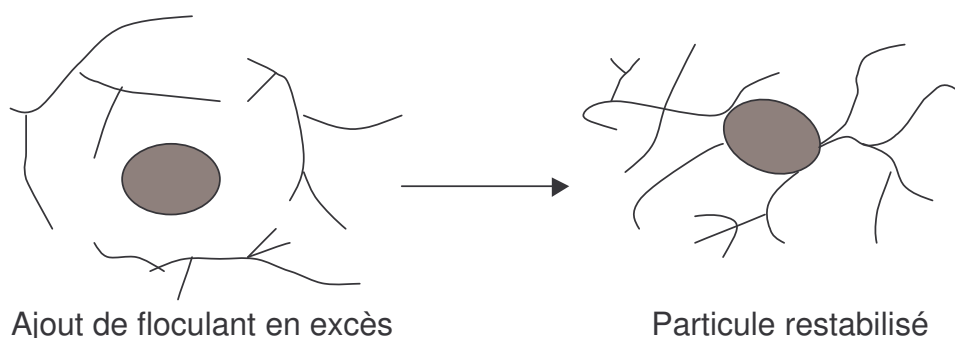


Figure 4.8 : Phénomène de restabilisation

Ce phénomène survient lorsqu'il n'y a plus de sites disponibles pour formation de "ponts polymères". Il survient soit par manque local des colloïdes, soit par surdosage de coagulant [94].

d. Conditionnement avec le floculant Sedipur AF400 :

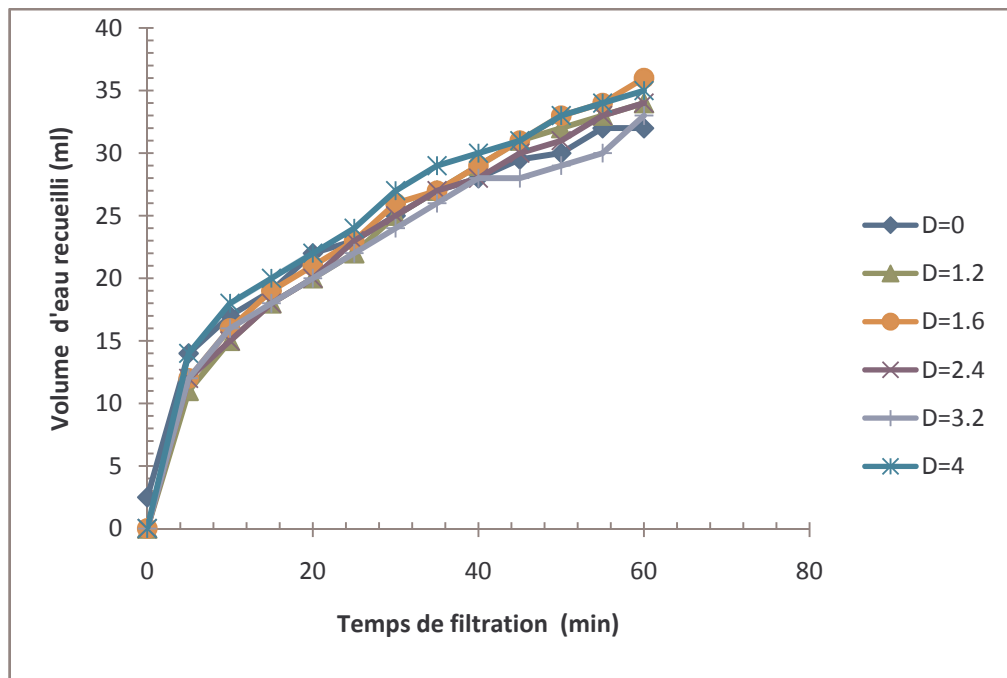


Figure 4.9 : Influence de la dose du Sedipur AF 400 sur le volume recueilli

La figure N°4.9 représente le volume d'eau recueilli (ml) par le filtre presse de la boue conditionnée en fonction du temps à différentes concentrations du polymère Sedipur AF 400. Le Sedipur AF400 induit un comportement différent par rapport aux polymères cationiques (Sedipur CF802 et le Super Floc C498). On constate que le Sedipur AF400 n'a pas l'effet escompté de floculation sur la boue étudiée (pas de formation des floccs), donc on n'a pas une bonne séparation solide-liquide, et à la fin de la filtration, on constate qu'il n'y a pas une formation de gâteau, mais on a une forme gélatineuse assez visqueuse. On remarque aussi que le volume de filtration final recueilli est modeste, équivalent à la moitié des volumes de filtrats recueillis avec les autres polymères utilisés (10 à 15% du volume principal), il atteint 33% après une heure de filtration et ce pour une dose de 1.6 g/kg.

4.2.1.1. Variation de la siccité du gâteau

La figure N°4.10 représente l'évolution de la siccité du gâteau en fonction de la dose de flocculants pour les quatre polymères étudiés.

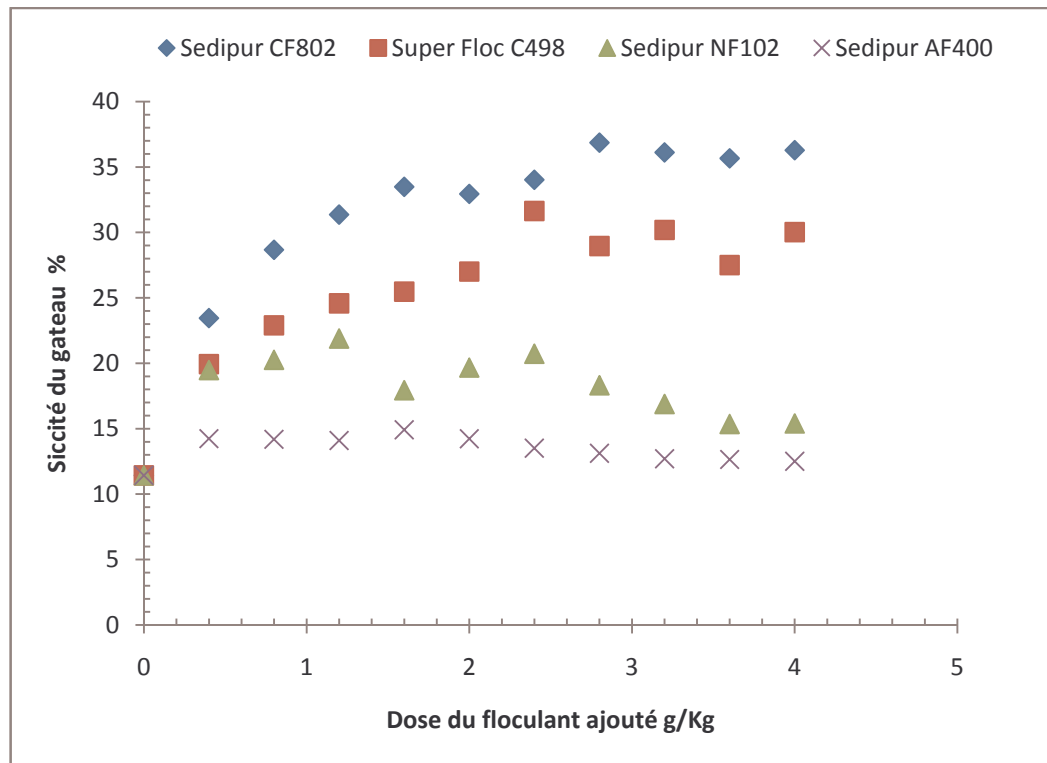


Figure 4.10 : Variation de la siccité du gâteau en fonction de la dose des polymères

D'après la figure 4.10 on remarque que la courbe présente deux zones, une première zone pour des concentrations variant de 0 à 1.5 g/kg, où on observe une augmentation de la siccité, au delà, on atteint une seconde zone où la siccité est relativement constante pour des concentrations de 1.5 à 4 g/kg.

Les meilleures siccités sont obtenues pour les deux polymères cationiques. Le Sedipur CF802 atteint une siccité de 33.5% pour une concentration de 1.5 g/kg alors que pour la même concentration le Super Floc C498 atteint une siccité de 25%. Cette différence entre les deux polymères cationiques ne peut être expliquée que par un poids moléculaire plus important dans le cas de Sedipur CF802 [58,57].

Pour le polymère non ionique sa courbe est plutôt sous forme de cloche passant par un maximum correspondant à une concentration optimale de 1.2 g/kg et une siccité de 21%. Au-delà de cette concentration on observe des phénomènes de restabilisation due à un excès de polymère.

La courbe du Sedipur AF400 donne une siccité proche à celle obtenue par une boue brute sans l'ajout de polymère, ce résultat peut être expliqué par rapport à la nature de la boue étudié (une boue de nature urbaine présente des substances polymériques extracellulaires « SPE », quelle forme un réseau de polymère négativement chargé, nécessite un polymère cationique pour une bonne rétention d'eau [53 ,57 ,94].

4.2.1.2. Variation de la turbidité du filtrat

La figure N°4.11 représente la turbidité d'eau recueilli en fonction de la concentration du polymère pour les quatre flocculants.

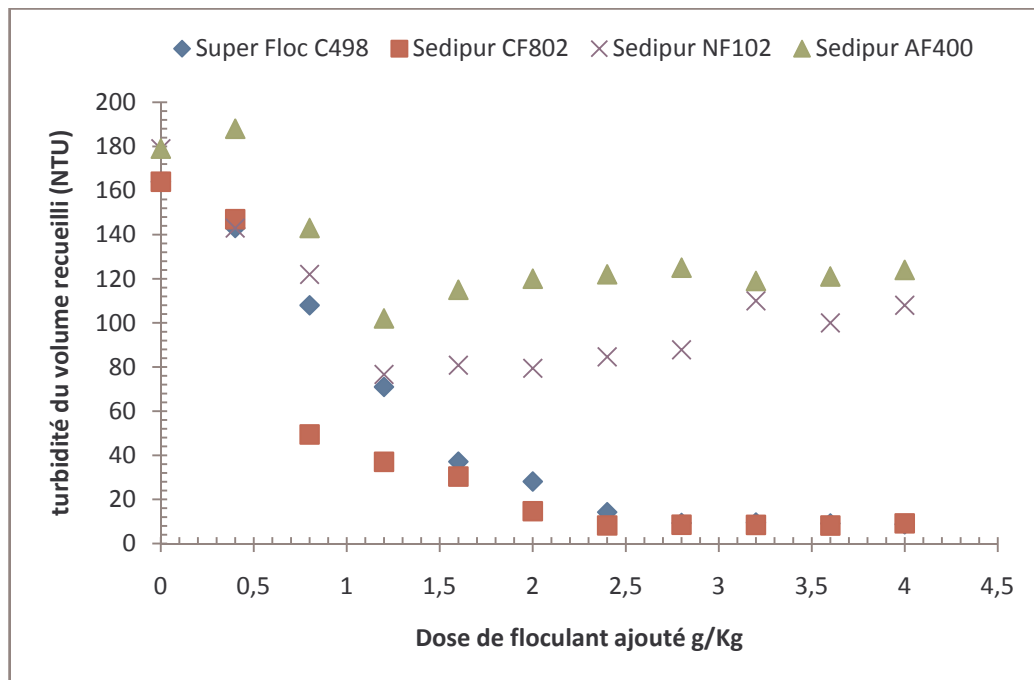


Figure.4.11 : Influence de la dose des flocculants sur la turbidité du filtrat

On remarque d'après la figure N°4.11 qu'il y a une différence entre les deux polymères cationiques (Sedipur CF802 et le Super Floc C498) par rapport aux deux autres polymères (Sedipur AF400 et Sedipur NF102), la courbe du Sedipur CF802 montre clairement que l'ajout de faible dose 0.8 g/kg, diminue la turbidité

d'une manière très rapide avec un taux d'abattement de 68.81%, et avec le Super Flocc C498 il atteint 32.5% avec la même concentration, et il atteint 90.87% avec la dose de 2 g/kg, tandis qu'avec la même concentration du Super Flocc C498 le taux d'abattement de la turbidité est de 82.43%.

On peut conclure que le Sedipur CF802 présente les meilleures valeurs d'enlèvement de la turbidité.

Dans le cas du Sedipur NF102, la turbidité diminue en augmentant la dose du flocculant, le taux d'abattement atteint 57.44% pour une dose de 1.2 g/kg, au-delà, la turbidité remonte, cela est dû à la restabilisation des floccs formés par le surdosage du polymère.

Le Sedipur AF400 a pu enlever la turbidité (seulement à des faibles doses) avec un taux de 43.33% avec une dose de 1.2 g/kg, mais cette turbidité remonte en augmentant la dose du polymère pour atteindre 120 NTU.

4.2.1.3. Variation de la résistance spécifique à la filtration(RSF)

La figure N°4.12 représente l'évolution de la résistance spécifique à la filtration en fonction de la dose du polymère pour les quatre flocculants étudiés.

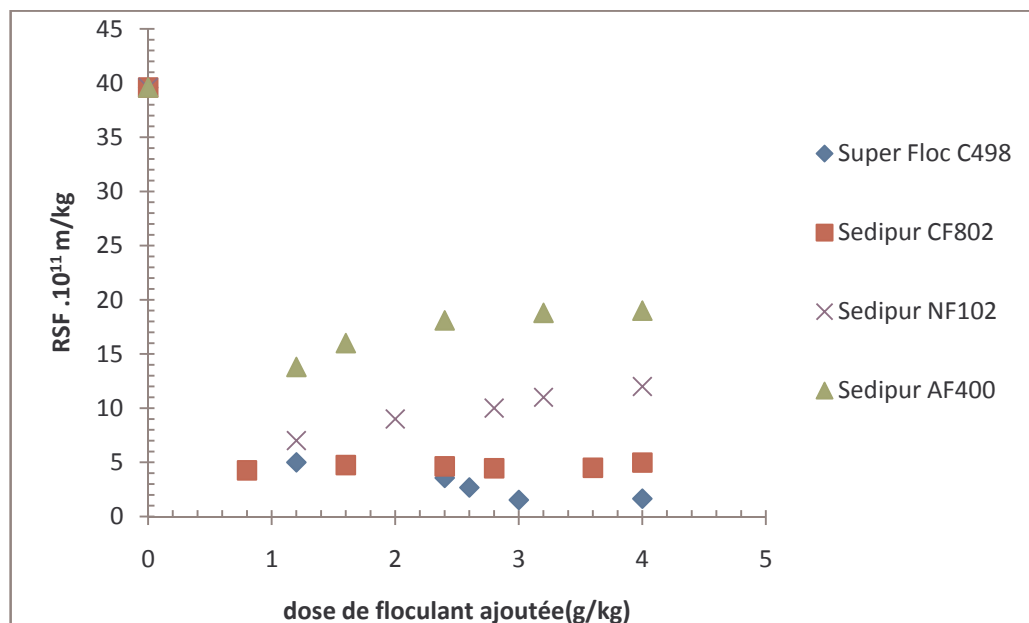


Figure.4.12 : Variation de la RSF en fonction de la dose des polymères étudiés

Pour les quatre flocculants étudiés, dans une première phase de 0 à 1 g/l, la RSF diminue très rapidement, et une deuxième phase de 1 à 4 g/kg, ou on remarque une variation plus lente.

Les deux flocculants cationique (Sedipur CF 802 et Super Floc C498) présente les meilleurs RSF, la RSF diminue d'une façon rapide avec l'augmentation de la dose du polyelectrolyte dans la boue, la résistance passe de $3.9.10^{12}$ m/kg à $0.4.10^{12}$ m/kg avec un dosage de 1.6 g/kg pour les deux polymères, la RSF continue à diminuer pour le Super Floc alors qu'elle reste presque constante pour le Sedipur CF, il est important à noter que les floccs obtenues par le flocculant Sedipur CF sont plus volumineux que celles obtenues par le Super Floc, Lors du test de la déshydratation par le filtre presse de la boue conditionnée par le Sedipur CF, la filtration se faisait très rapidement.

La RSF du Super Floc C498 diminue de plus en plus qu'on augmente le volume de polyélectrolyte, contrairement aux autres flocculant, on constate que après une chute de la RSF de $3.9.10^{12}$ m/kg à la valeur de $1.13.10^{12}$ m/kg (avec $D= 1.2$ g/kg), la résistance diminue lentement jusqu'à la dose 2.4g/kg (dose optimale pour la siccité), au-delà, la RSF diminue encore une fois pour atteindre $0.15.10^{12}$ m/kg (la plus petite RSF correspondante à la dose 3 g/kg).

La RSF diminue par le flocculant Sedipur NF102 mais à partir de la dose 2 g/kg la résistance remonte légèrement, cela est dû, à un surdosage du flocculant qui mène à la restabilisation des floccs formés.

Le Sedipur AF400 diminue la RSF jusqu'à la valeur de $1.29.10^{12}$ m/kg (avec $D=1.6$ g/kg dose optimale à la siccité), au-delà, la RSF remonte légèrement cela est du à la mauvaise filtration comme on a expliqué précédemment (probabilité de formation d'une couche qui ralentie la filtration le milieu devient plus résistant même en présence d'une pression appliquée).

e. Conditionnement par le biofloculant Jus de Cactus :

Le jus de cactus est obtenu par filtration des branches broyées. La méthode d'extraction est décrite dans le chapitre 3 de matériels et méthodes

Le jus de cactus possède les caractéristiques suivantes (Tableau 4.8).

Tableau 4.8 : Caractéristiques du jus de cactus brut.

Caractéristiques	pH	DO à $\lambda=300$ nm [82]	MS g/l	Viscosité mPa.s
Valeurs	4.71	4	29.04	29.26

Des essais de conditionnement de la boue ont été effectués par l'utilisation du jus de cactus comme un biofloculant. On prépare des dilutions du jus brut afin de déterminer la meilleure concentration pour la déshydratation de la boue, la figure 4.13 présente la viscosité en fonction des dilutions effectuées (5, 10, 15, 20 et 25%) Figure 4.13.

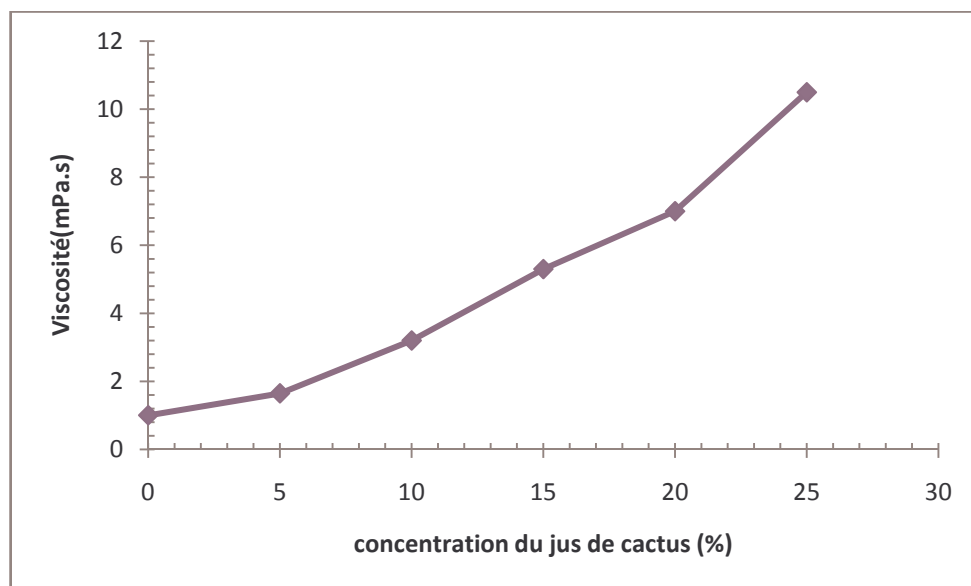


Figure 4.13 : Viscosité des dilutions du jus de Cactus

On remarque qu'une augmentation de la concentration du Jus de Cactus entraîne une augmentation de la viscosité.

Elle varie de 1.64 à 10.53 mPa.s pour les dilutions 5% et 25% qui correspondent aux concentrations 0.072 et 0.72 g/l respectivement.

Les dilutions préparées sont employées pour tester la déshydratation de la même boue étudiée précédemment, les résultats de la filtration sous pression sont illustrés sur les figures 4.14 à 4.22 :

1. Conditionnement avec le bioflocculant Jus de Cactus 5% :

La figure 4.14 représente le volume d'eau recueilli de la boue conditionnée par le jus de cactus préparé à 5% en fonction du temps de filtration

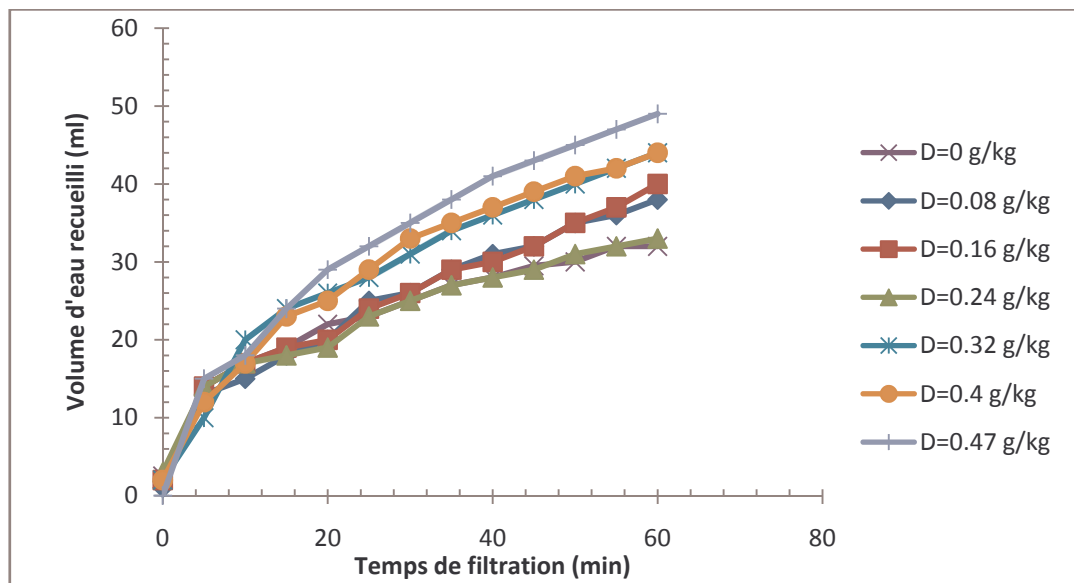


Figure 4.14 : Influence de la dose du jus de cactus (5%) sur le volume filtré

D'après la figure 4.14, on remarque que le volume d'eau recueilli augmente avec l'augmentation du temps pour tous les volumes de jus de cactus à 5%.

Contrairement aux polyélectrolytes (Sedipur CF802 et Super Floc C498), on n'atteint pas l'état quasi-stationnaire.

Les meilleurs résultats sont obtenus pour la dose de 0.08 et 0.16 g/kg où on atteint des volumes recueillis proche de 35 ml à t=50 min, on remarque aussi que pour les doses supérieures à 0.16 g/kg les volumes d'eau recueilli varient lentement et sont assimilables aux volumes d'eau recueilli par une boue brute.

2. Conditionnement avec le biofloculant Jus de Cactus 10%

Les résultats de la filtration des boues flocculés par le jus de cactus préparé à 10% (dilution correspondante à la concentration 0.29 g/l), sont donnés sur la figure 4.15.

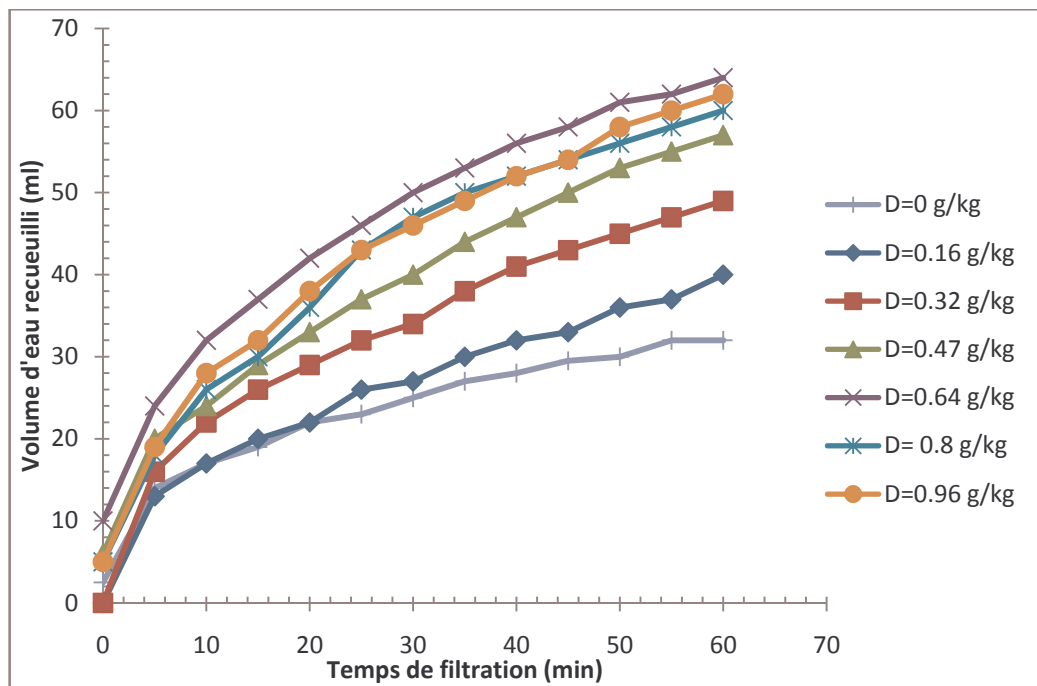


Figure 4.15 : Influence de la dose du jus de cactus (10%) sur le volume filtré

Contrairement aux résultats obtenus par le Jus de Cactus préparé à 5%, le Jus de Cactus à 10% montre une efficacité remarquable vis-à-vis le volume filtré, les volumes d'eau recueilli augmentent en augmentant la dose du biofloculant.

On remarque qu'avec la dose 0.64 g/kg le volume recueilli à t=0 min est de 10% du volume initial de la boue. On constate aussi qu'à partir la dose 0.32 g/kg, la filtration devient plus rapide et le taux de filtration atteint 66.66% par la dose 0.64 g/kg, après un temps de 60min.

La figure 4.16 montre clairement que lorsque on augmente la dose du biofloculant les volumes d'eau recueilli augmentent en fonction du temps, et que un meilleur résultat est constaté avec la dose de 0.64 g/kg, au delà, les volumes recueilli sont moindre, mais restent toujours supérieurs aux volumes recueillis par une boue sans conditionnement.

3. Conditionnement avec le biofloculant Jus de Cactus 15%

Les résultats de la filtration des boues floculées par le jus de cactus préparé à 15%(qui correspond à la concentration de 0.43 g/l) sont portés sur la figure 4.16.

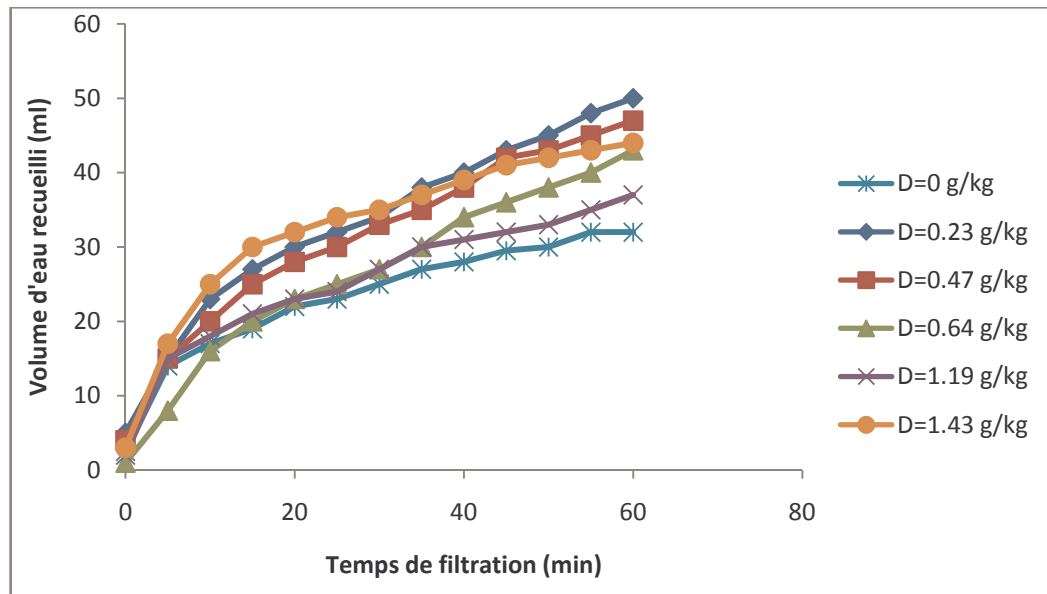


Figure 4.16 : Influence de la dose du jus de cactus (15%) sur le volume filtré.

D'après la figure 4.16 on constate que les volumes d'eau recueillie augmentent en fonction du temps de filtration. Et lorsqu'on augmente la concentration du biofloculants, les volumes recueillis augmentent.

On remarque que pour les deux doses 0.23 et 0.47 g/kg les volumes d'eau recueillis sont considérables par rapport aux volumes recueillis par la boue sans conditionnement, le taux de filtration est de 43% à un temps de 45 min.

4. Conditionnement avec le biofloculant Jus de Cactus 20% :

Les résultats de la filtration en utilisant le jus de cactus préparé à 20%(dilution correspondante à la concentration de 0.58 g/l) sont illustrés sur la figure 4.17.

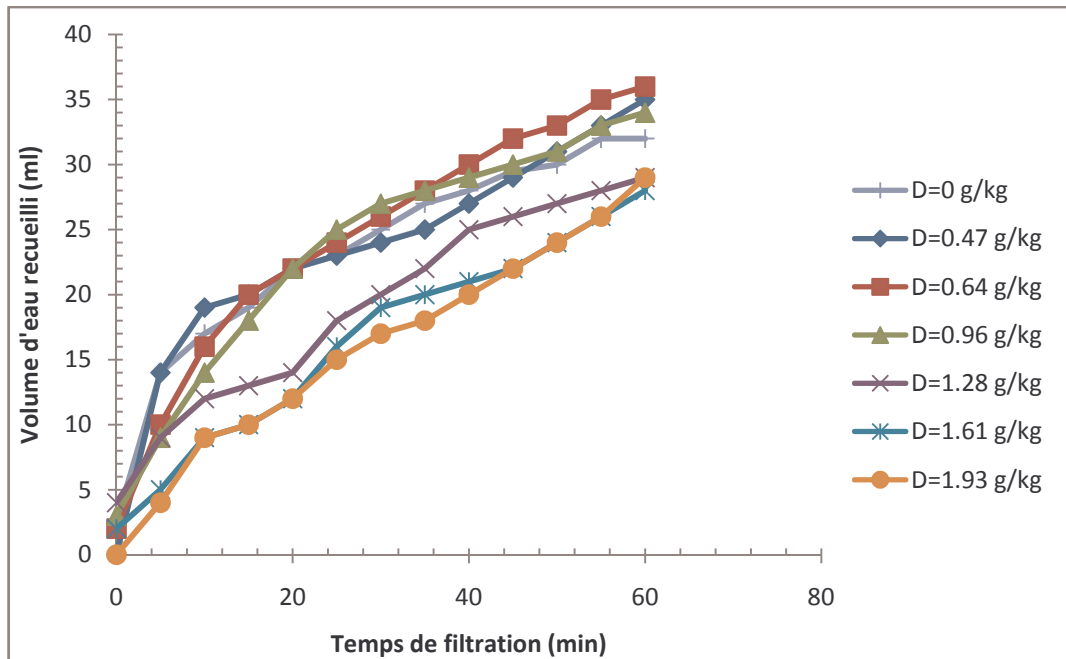


Figure 4.17 : Influence de la dose du jus de cactus (20%) sur le volume filtré

D'après la figure 4.18, on remarque que le volume d'eau recueilli varie lentement en augmentant la dose du biofloculant.

Les volumes d'eau recueillis par les doses 0.32, 0.64 et 0.96 g/kg sont légèrement supérieurs aux volumes recueillis par la boue sans conditionnement. On remarque que lorsqu'on augmente la dose du biofloculant la filtration devient très lente et les volumes d'eau recueillis sont très modestes par rapport aux volumes recueillis par le Jus de Cactus 10%.

On remarque aussi que pour une dose de 0.64 g/kg le taux de filtration est de 33% à $t=50$ min, et il est de 38% par le Jus de Cactus 15%, alors que pour la même dose du Jus de Cactus 10% le taux de filtration dépasse 60%.

5. Conditionnement avec le biofloculant Jus de Cactus 25% :

Les résultats de la filtration des boues conditionnées par le jus de cactus préparé à 25% (dilution correspondante à la concentration de 0.72 g/l) sont illustrés sur la figure 4.18.

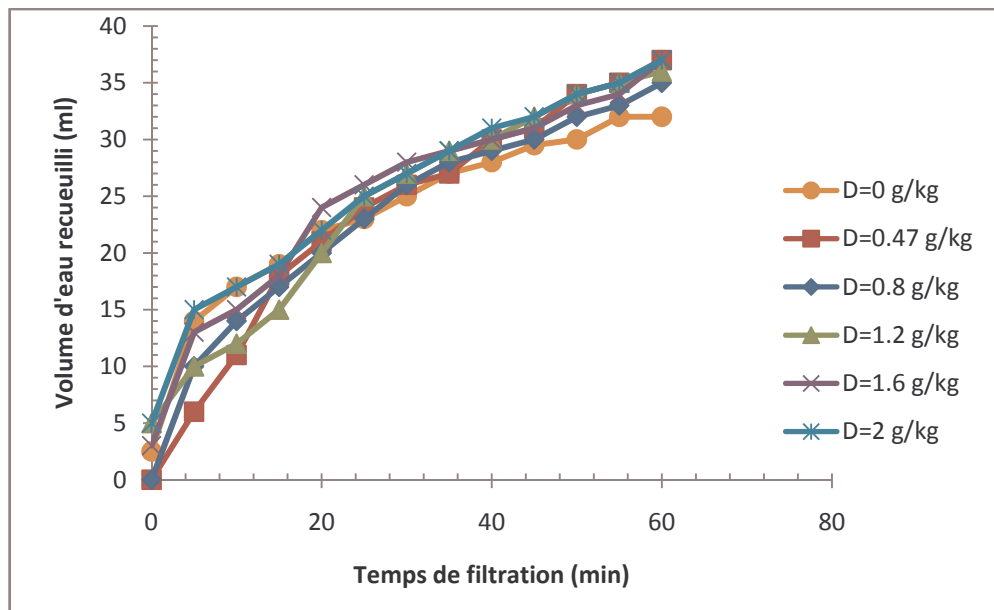


Figure 4.18 : Influence de la dose de jus de cactus (25%) sur le volume filtré

La figure 4.18 montre des allures assimilables pour toutes les doses étudiées. On constate que toutes les courbes ont la même évolution, et que les volumes d'eaux recueillies sont presque identiques.

Le volume d'eau recueilli à $t=60$ min par la dose de 0.4 g/kg est de 37 ml, alors qu'à la même dose le volume recueilli est de 57 ml avec le Jus de Cactus 10%.

Il est à noter que le Jus de Cactus préparé à 25% est très visqueux difficile à être mélanger avec la boue ($\mu=10.5$ mPa.s), cela peut être le facteur principal qui ralenti la filtration à travers le milieu filtrant.

Pour mettre en évidence l'influence de la viscosité des dilutions de Jus de Cactus sur la filtration des boues, nous avons calculé les taux de filtration de chaque dilution pour une dose commune et à un temps fixe (figure 4.19).

Par exemple, pour le Jus de Cactus 5% : le taux de filtration est de 43% à $t=45$ min, et il est de 41% à $t=45$ min pour le Jus de Cactus 15%.

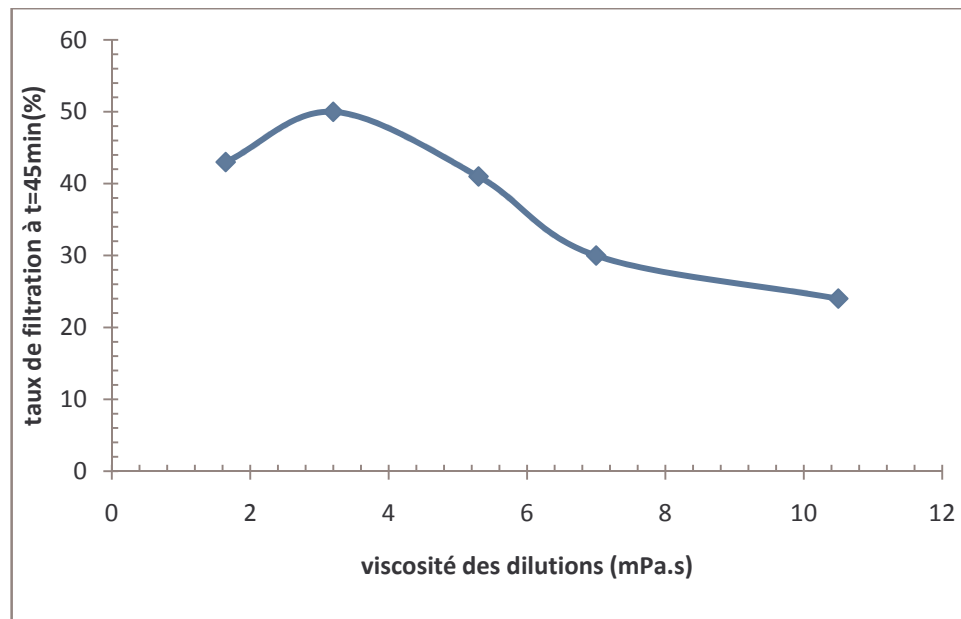


Figure 4.19 : Influence de la viscosité des dilutions de Jus de Cactus sur le taux de filtration.

La figure N°4.19 donne les taux de filtration en % à t= 45 min en fonction de la viscosité des dilutions pour une dose de 0.47 g/kg.

La figure montre clairement que la filtration diminue en fonction de la viscosité du milieu.

On remarque que le volume d'eau recueilli par une dose de 0.47 g/kg du Jus de Cactus 15%, n'est pas le même recueilli par la même dose pour le Jus de Cactus 5%. Le taux de filtration marqué par la dilution 10% est deux fois plus que celui de la dilution 25%, cela ne peut être expliqué que par la différence de la viscosité entre les deux concentrations du Jus de Cactus comme la montre la figure 4.19.

Le Jus de Cactus 15% à une viscosité de 5.3 mPa.s, valeur supérieur cinq fois plus que celle du Jus de Cactus 5%.

4.2.1.4. Variation de la siccité du gâteau

La variation de la siccité du gâteau obtenu après une heure de filtration sous pression est illustrée sur la figure 4.20.

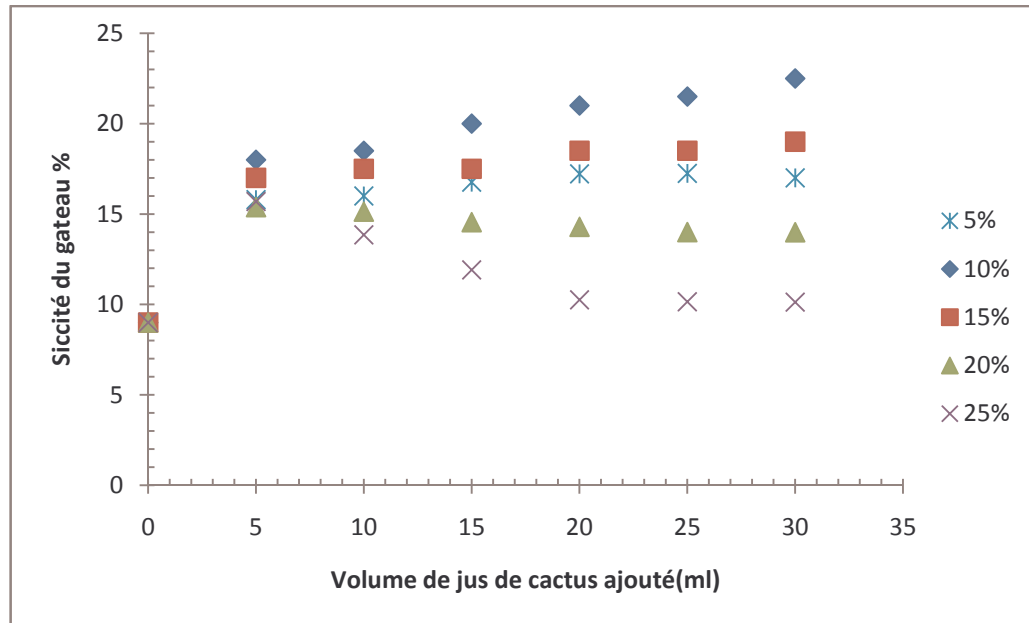


Figure 4.20 : Influence de la dose du jus de cactus sur la siccité du gâteau

La figure donne l'influence du volume du jus de cactus préparé à différents dilutions sur la siccité du gâteau.

Contrairement aux polymères cationiques étudiés précédemment (Super Flocc C498 et Sedipur CF802), les siccités trouvées par les différentes dilutions du bioflocculant sont faibles par rapport à celles trouvées par les polymères de synthèse.

On remarque que la siccité augmente en augmentant la concentration du bioflocculant, sauf pour les dilutions de 20 et 25% qui sont marquées d'une diminution de siccité lorsqu'on augmente la concentration du bioflocculant, mais ces siccités restent toujours supérieures à celle trouvée par la boue non conditionnée.

Les meilleurs résultats sont obtenus par la dilution de 10%, où la siccité atteint 21%.

4.2.1.5. Variation de la turbidité

La variation de la turbidité du volume d'eau recueilli en fonction des volumes du biofloculant préparé à de différentes concentrations est présentée sur la figure 4.21.

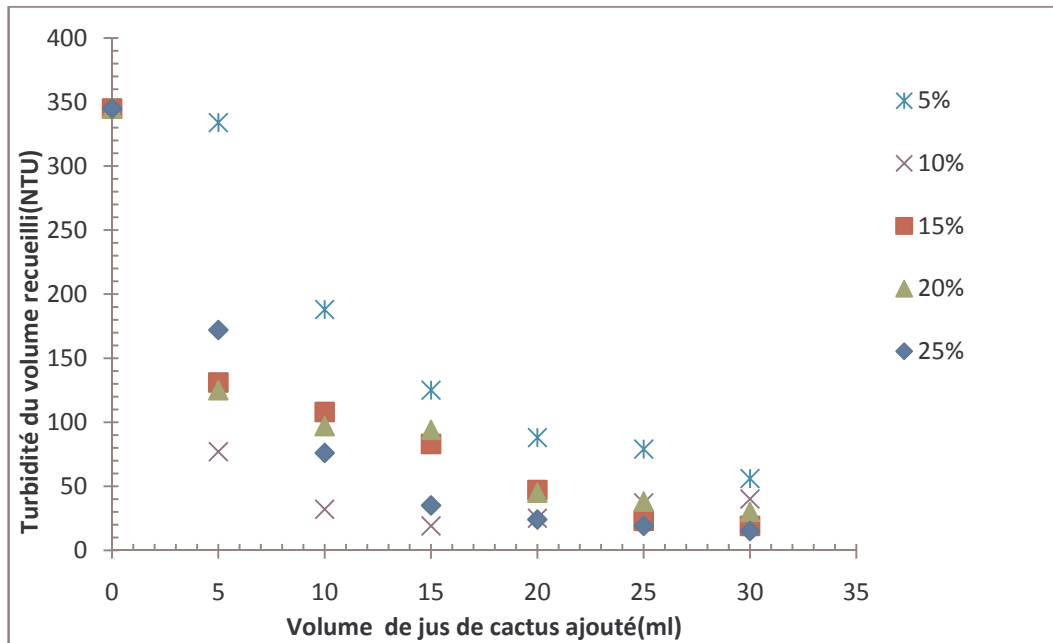


Figure 4.21 : Influence de la dose du jus de cactus sur la turbidité du filtrat

La figure N°4.21 montre clairement que pour toutes les dilutions étudiées, la turbidité passe d'une valeur élevée à des valeurs proches de celles trouvées par les polymères cationiques. Une augmentation de la dose du biofloculant entraîne une augmentation du taux d'abattement de turbidité.

Le jus de Cactus 10% atteint 96.42% d'abattement par une concentration de 0.48 g/kg, par contre le Jus de Cactus 15% atteint 69% par la même dose, alors que 50% est abattu par le Jus de Cactus 25%.

Le Jus de Cactus est un bon flocculant vis-à-vis de turbidité, il permet de bien éliminer les particules colloïdales stables de la boue sans pour autant former une boue compacte et avec une siccité élevée.

4.2.1.6. Variation de la résistance spécifique à la filtration RSF

La variation de la résistance spécifique à la filtration en fonction du volume ajouté est présentée sur la figure 4.22.

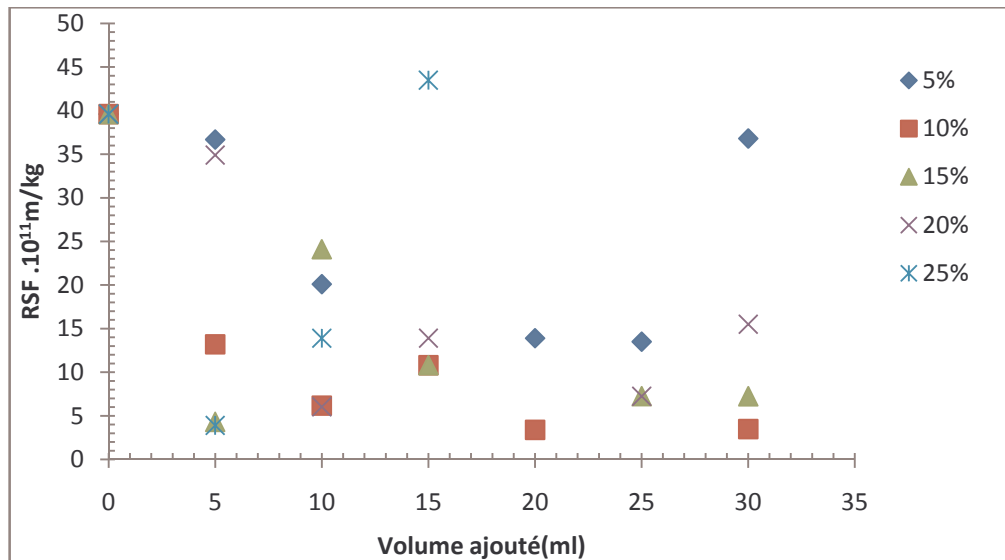


Figure 4.22: Evolution de la RSF des différentes doses du biofloculant

On constate que pour les trois courbes (10, 15 et 25%) la RSF diminue pour un volume de 5 ml ($1.3 \cdot 10^{12}$, $0.3 \cdot 10^{12}$ et $0.3 \cdot 10^{12}$ m/kg respectivement). Au-delà de 5 ml, on remarque que la RSF de la courbe qui représente la dilution de 25% augmente pour atteindre des valeurs supérieures à celles obtenues par une boue non conditionnée, cela est dû à la mauvaise filtration.

La courbe qui représente la dilution de 10%, continue à diminuer jusqu'à des valeurs proches de celles trouvées par le floculant cationique « Super Floc C498 » ($RSF = 0.15 \cdot 10^{12}$ m/kg), ces valeurs sont aussi meilleures que celle trouvée par le Sedipur CF802 ($0.4 \cdot 10^{12}$ m/kg).

La courbe qui représente la dilution de 20% donne une RSF de $0.6 \cdot 10^{12}$ m/kg pour un volume de 10 ml, cette valeur est proche de celle enregistrée par le floculant cationique « Sedipur CF802 ».

Les résultats lors de la filtration sous pression obtenus, sont résumés dans le tableau 4.9.

Tableau 4.9 : Résultats obtenus de la filtration sous pression

Floculants utilisés	Dose optimale g/kg	Siccité %	Abattement de turbidité %	RSF m/kg
Sedipur CF802	2.8	34	94	$0.44 \cdot 10^{12}$
Super Floc C498	2.4	31.64	92.11	$0.35 \cdot 10^{12}$
Sedipur NF102	1.2	21.89	57.44	$0.38 \cdot 10^{12}$
Sedipur AF400	1.6	14.92	43.33	$1.6 \cdot 10^{12}$
Jus de Cactus 10%	0.96	21.06	95.85	$0.33 \cdot 10^{12}$

Il en ressort les résultats suivants :

- Les floculants cationique sont les mieux adaptés au conditionnement des boues de la station de Baraki, le floculant Sedipur CF802 paraît le plus efficace en terme de siccité avec une dose un peu plus supérieur que celle trouvé par le Super Floc C498, l'abattement de la turbidité est meilleur avec ces deux derniers.
- Le floculant non ionique Sedipur NF102 à donné un résultat uniquement à la dose optimale, on rappelle que le floculant non ionique agit sur les particules colloïdales en formant des ponts (phénomène de réticulation).
- Le floculant anionique Sedipur AF400 a donné des résultats médiocre, une très faible siccité est marquée.
- Le biofloculant Jus de Cactus à 10%, a donné un résultat encourageant vis-à-vis l'abattement de la turbidité ainsi que la résistance spécifique à la filtration, il pourrait être mieux utilisé en traitement des eaux qu'au traitement des boues.

4.2.2. Déshydratation par centrifugation :

La centrifugation est la deuxième méthode de déshydratation testée sur la boue de Baraki, les conditions opératoires et la méthode de déshydratation sont expliquées dans le chapitre 3.

Les résultats des testes de la déshydratation de la boue conditionnée par les polymères synthétique et le bioflocculant « jus de cactus » par la centrifugation sont présentés sur les figures 4.23 à 4.27 :

4.2.2.1. Conditionnement avec les polymères synthétiques

a. Variation de la siccité

Les valeurs de la siccité du culot obtenu par centrifugation sont présentés sur la figure 4.23:

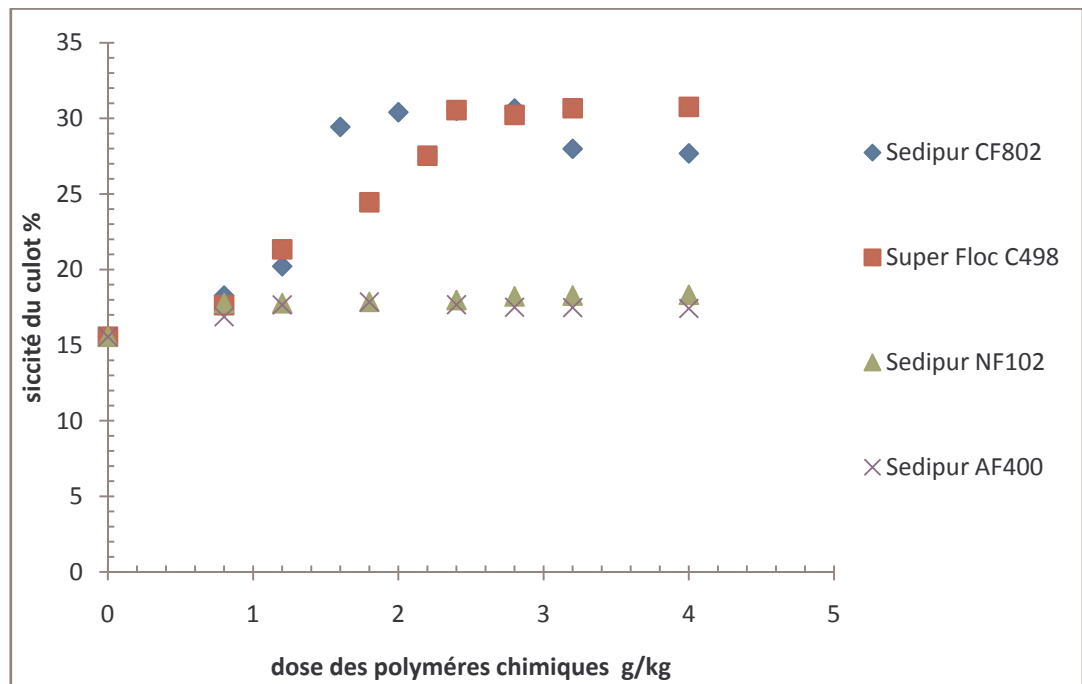


Figure 4.23 : Influence de la dose des polymères chimiques sur la siccité du culot

La figure N°4.23 montre que les polymères cationiques donnent les meilleures siccités par rapport aux deux autres polymères étudiés (Sedipur NF102 et Sedipur AF400).

Les courbes des polymères cationiques présentent deux phase, la première phase ou la siccité augmente rapidement jusqu'à la dose de 1.8 g/kg, et une deuxième phase ou la siccité parait plus stable. Tandis que les deux autres flocculants, le Sedipur NF102 et Sedipur AF400, sont marqués par une très faible siccité, près de 17%, proche à celle trouvé par une boue non conditionnée.

Ces résultats sont assimilables aux résultats trouvés dans la filtration sous pression, on constate que les polymères cationiques sont plus efficace dans le conditionnement des boues urbaines, ces résultats sont confirmés par plusieurs études qui ont étudié le conditionnement des boues [67,70, 72, 73, 74, 78,79].

b. Variation de la turbidité

Les valeurs de la turbidité du surnageant obtenu par centrifugation de la boue conditionnée par les polymères chimiques sont présentés sur la figure 4.24.

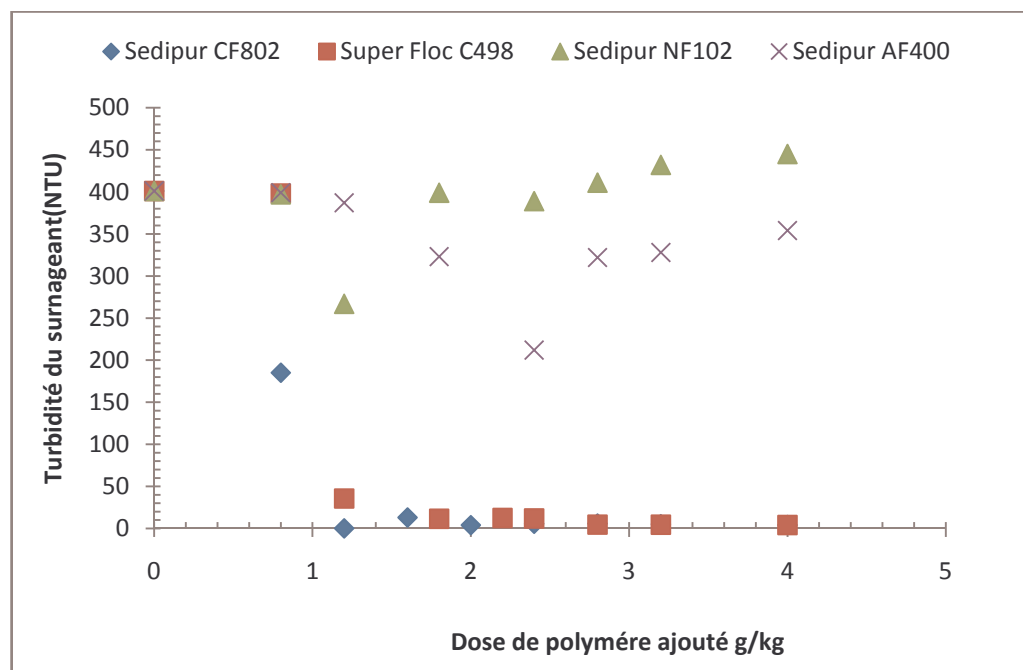


Figure 4.24 : Influence de la dose des polymères chimiques su la turbidité du surnageant

On constate d'après la figure N°4.24, que les meilleurs résultats sont obtenus par les polymères cationique, ils donnent un taux d'abattement de 99.03 et 99% (Sedipur CF802 et le flocculant Super Floc C498 respectivement) par un dosage de 1.2 g/kg de matière sèche.

les polymères Sedipur AF400 et le Sedipur NF102 , ont une allure assimilable dont on distingue deux zone :la première de 0 à 2.4 g/kg et de 0 à 1.2 g/kg la ou la turbidité atteint la valeur de 212 et 276 NTU, avec un taux d'élimination de 47.13 et 33.41% respectivement, ce point correspond à la plus grande siccité, puis une deuxième partie, là ou la courbe remonte pour atteindre les valeurs de 350 et 445 NTU par le Sedipur NF102 et le Sedipur AF400 respectivement.

4.2.2.1. Conditionnement avec le biofloculant Jus de Cactus

a. Variation de la siccité

Les valeurs de la siccité du culot obtenu par centrifugation de la boue conditionnée par le biofloculant « jus de cactus » sont présentées sur la figure 4.25.

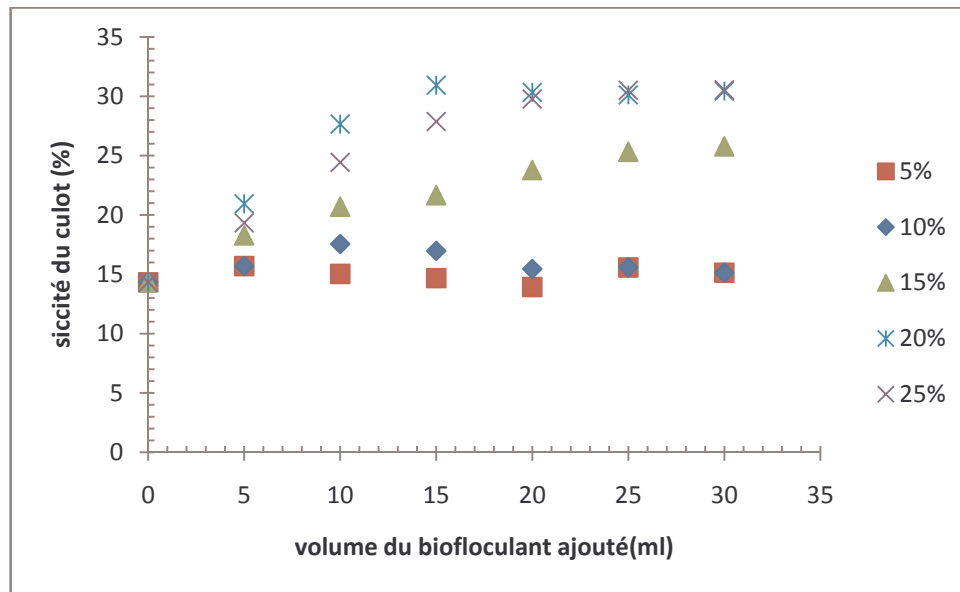


Figure 4.25 : Influence de la dose du biofloculant sur la siccité du culot

Contrairement aux résultats trouvés par le filtre presse, le jus de cactus paraît plus efficace dans la centrifugation, on constate que la siccité augmente lorsque on augmente la concentration du biofloculant, elle atteint sa valeur maximale 31% (siccité correspondante à la dose de 0.96 g/kg du Jus de Cactus 20%). ce résultat trouvé est meilleur que ce lui obtenu par les polymères cationique.

Ce résultat est différent à ce trouvé par filtration sous pression, donc la proposition qu'on a établie précédemment est confirmée, la viscosité du biofloculant joue un rôle très important, ainsi que la taille des floccs formés, on peut conclure que la filtration est freinée par la formation d'une pré-couche formé par les petits floccs formé sur le papier filtre lors de la filtration sous pression.

b. Variation de la turbidité

Les valeurs de la turbidité du surnageant obtenu par centrifugation de la boue conditionnée par le biofloculant « jus de cactus » sont présentées sur la figure 4.26.

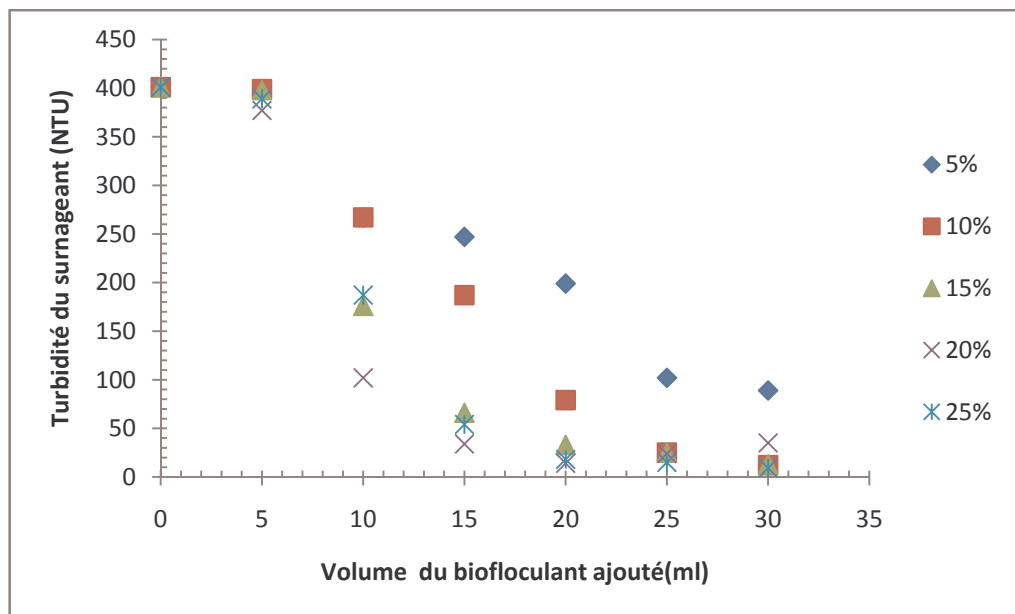


Figure 4.26 : Influence de la dose du biofloculant sur la turbidité du surnageant

D'après la figure N°4.26, on remarque une diminution très intéressante de la turbidité pour toutes les dilutions utilisées.

On remarque aussi que lorsqu'on augmente la concentration du biofloculant, le taux d'abattement de la turbidité augmente.

La figure 4.26 montre clairement qu'un meilleur abattement est trouvé par la dilution 20%, le taux d'abattement est de 90.3% avec la dose de 1.28 g/kg.

Ce résultat est assimilable au résultat trouvé par A. Abid et al (2009), ils ont prouvé que l'utilisation du biofloculant à 10%(condition optimales obtenus) diminue

la turbidité d'une eau usée industrielle de 1000 à des valeurs voisines de 1 NTU (en tenant compte le temps de décantation de 10 à 12 min) [82].

La mise en œuvre de cette étude, a permis de mettre en évidence les effets positifs du jus de cactus dans le traitement des boues.

Les résultats montrent une bonne efficacité de ce jus pour le conditionnement en utilisant le procédé de la centrifugation, les siccités obtenues sont meilleures que celles obtenues avec les flocculants chimiques.

Un abattement de la turbidité supérieur à 96% ce résultat est similaire à celle obtenu avec des procédés qui utilisent le jus de cactus comme coagulant. Les résultats montrent que l'utilisation du bioflocculant préparé à 50 mg/l a diminué la turbidité d'une eau synthétique de 200 NTU à moins de 5 NTU, avec une efficacité d'enlèvement de 94%, une efficacité d'enlèvement de turbidité de 98% pour traiter une eau de mer de turbidité élevée (980 NTU) [81], ainsi que ce résultat est très proche à celui obtenu par l'utilisation de jus de cactus associé à la chaux et un flocculant chimique [82]

4.3. Discussion

Les phénomènes mis en jeu dans le processus du conditionnement sont les suivants :

- Les polymères cationique « Sedipur CF802 et Super Flocc C498 » , par l'intermédiaire de leurs groupements ammoniums quaternaires, provoquent la neutralisation des colloïdes, en venant s'adsorber à l'interface solide/liquide, les groupements amides ensuite assurent l'adsorption d'une fraction de la chaîne à l'interface solide/liquide, et celui des groupes ionisés, à provoquer le déploiement de la macromolécule au sein du liquide, par suite de la répulsion des charges de même nom des groupes dissociés
- Le polymère anionique Sedipur AF400 et non ioniques Sedipur NF102, ne peuvent occasionner la floculation par simple neutralisation. Leur mode d'action ne peut s'expliquer qu'en faisant intervenir un processus d'adsorption d'une fraction de la chaîne polymérique sur un emplacement déterminé de la surface des particules.

L'adsorption, qui s'effectue probablement par l'intermédiaire de liaisons hydrogéné entre un groupement actif de la chaîne macromoléculaire (en l'occurrence un radical amide —CONH₂) et un site électronégatif à la surface des particules, ensuite la phase d'agglomération consistant, par l'intermédiaire de la formation de 'ponts' ou liaisons interarticulaires entre colloïdes, en la création d'un réseau tridimensionnel ou 'floc'.

Le Sedipur AF400 par la présence des chaînes des groupements ionisés, carboxyliques, provoque la neutralisation des éléments cationique.

Cependant, une concentration excessive des flocculants Sedipur AF400 et Sedipur NF102 induit à une restabilisation des floccs formés, ce qui implique une diminution de la siccité du gâteau formé, Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule-molécules de polymère ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdales, ce qui est contraire au but recherché [62].

- Dans le cas du bioflocculant « Jus de Cactus », la filtrabilité de la boue ne dépend pas de l'importance en taille des floccs, mais essentiellement de leur cohésion ou de leur résistance mécanique, fonction des forces de liaison unissant les particules élémentaires qui constituent l'agglomérat formé. La faiblesse de ces liaisons pourra entraîner une modification de la structure du gâteau filtrant, qui en devenant moins poreux, est à l'origine de la diminution de la vitesse de filtration, en effet, une excellente floculation par le 'Jar-Test' donne une bonne décantation mais n'assure pas forcément une bonne filtration de la boue.

Par ailleurs les tests de centrifugation montre que le jus de cactus à un grand intérêt dans le conditionnement des boues municipale, les résultats obtenues lors de la déshydratation met en évidence son excellent pouvoir de floculation, ce qui nous mène à dire que son caractère est cationique, les siccités obtenues par le jus de cactus sont supérieur à celles des polymères synthétiques, dans ce cas on peut les remplacé par ce bioflocculant naturel biodégradable, dans les stations qui procèdent à la centrifugation comme moyen de déshydratation.

CONCLUSION

Ce travail contribue à améliorer le procédé de conditionnement et de déshydratation de boues issues de la station d'épuration de Baraki. Pour ce faire nous avons utilisé d'une part des flocculants de synthèse (Sedipur CF802, Super Floc C498, Sedipur NF102 et Sedipur AF400), et d'autre part un nouveau bioflocculant naturel extrait à partir du Jus de Cactus de la Mitidja.

La caractérisation des boues de la STEP de Baraki ainsi la STEP de Reghaia a montré que ces dernières renferment une importante valeur agronomique tel que :

- Le rapport C/N moyen des boues est inférieur à 10 dans les deux STEP. De ce fait, la minéralisation de la matière organique contenue dans les boues des deux stations devrait débuter peu de temps après leur épandage, rendant ainsi rapidement disponibles de grandes quantités d'azote aux cultures.
- Les éléments fertilisants majeurs tels que l'azote, phosphore et potasse sont quantités appréciables comparés aux différents fumiers naturels.
- Les résultats des éléments traces métalliques des deux stations étudiées répondent d'une manière satisfaisante aux normes décrites par l'OMS. Leur utilisation agricole doit se faire avec beaucoup de prudence en absence de réglementation Algérienne quant à l'épandage de ces derniers en agriculture.

Les résultats obtenus lors du conditionnement ont montré que les polymères cationiques utilisés « Sedipur CF802 et le Super Floc C498 », étaient les mieux adaptés dans le conditionnement des boues municipales par le procédé de la filtration sous pression. En effet le Sedipur CF802 présente les meilleurs résultats avec un taux réduction de la turbidité de 94% et une siccité de 36% pour une dose optimale de 2.4g/kg.

Le Super Floc C498 polymère actuellement utilisé au niveau de la STEP de Baraki, présente un taux de réduction de la turbidité de 94% et une siccité de 34% pour une dose optimale de 2.8g/kg. Ce résultat est important puisque que cela a permis d'augmenter la siccité de 26 % à 34 % ; C'est pourquoi, gagner quelques points de siccité sur la déshydratation des boues entraîne une réduction de leur volume et, par là, de leur coût d'élimination

Le biopolymère naturel présente à l'optimum un taux de réduction de la turbidité de 96% et une siccité de 31% après centrifugation. Néanmoins les résultats obtenus par le filtre-presse sont moins bons à cause la formation d'une pré-couche sur le filtre qui ralentie la filtration.

Ces premiers essais sur le jus de cactus ont montré que ce biofloculant est efficace vis-à-vis de la turbidité. En effet, il agit comme un excellent floculant (traitement des eaux), la boue obtenue n'est pas aussi compact que celle obtenue par les polymères cationique ce qui ne donne pas de bons résultats en filtration sous pression. La centrifugation permet d'avoir de meilleurs résultats compétitifs aux floculants synthétiques.

L'utilisation de Jus de Cactus apparaît intéressante, car elle offre une alternative plus économique en termes de dépollution d'eaux usées et elle est moins toxique.

En perspective :

Orienter le conditionnement des boues vers une technologie propre en utilisant des floculants naturels tel que le Jus de Cactus, dans le cadre de la préservation de l'environnement et la santé publique.

La caractérisation du polymère responsable de la floculation s'avère nécessaire dans la mesure où ces premiers résultats sont encourageants. Aussi pour mieux exploiter les avantages offerts par le jus de cactus, nous proposons son application sur une eau de consommation prélevée à partir d'eau de surface.

L'utilisation du Jus de Cactus comme un biofloculant, et les résultats obtenu par centrifugation nous encourageant à faire des recherches afin d'améliorer ce procédé de déshydratation.

L'utilisation du filtre presse nous a offert des résultats proches a ceux présentes par plusieurs chercheurs dans la spécialité a l'échelle mondiale, et leur interprétation nous mènent vers une recherche plus approfondie, nous proposerons de faire une étude hydrodynamique pour déterminer les paramètres influençant la filtration sous pression dans le cas de l'utilisation du Jus de Cactus comme biofloculant.

REFERENCES

1. Degremont, "Mémento Technique De L'eau", Tome 2, Paris : Lavoisier technique et documentation, (1989),1524 p.
2. Jarde,E., "Composition organique des boues résiduelles de station d'épuration de lorraines et effets de la biodégradation", Nancy : France. Thèse de doctorat : l'université d'HENRI POINCARÉ, (2002), 271p.
3. Ladjel, F., "Exploitation d'une station d'épuration à boues activées", Ed. ONA, (2001), 74p.
4. Crini, G. et Bardot. P-M., "Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaire, bioadsorption et oxydation chimique".,Ed. Presses universitaires de Franche-Comté, (2007), 356p.
5. Bougrier, C., "Optimisation du procédé de méthanisation par mise en place d'un co-traitement physico-chimique : Application au gisement de biogaz représenté par les boues d'épuration des eaux usées", Thèse. Doc.Université de Montpellier II, (2005),276p.
6. Pronost, J., Pronost, R. Deplat, L., Malrieu, J.t, Berland, J.M., "Stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation", Document technique FNDAE N° : 22bis,Office International de l'Eau, Ministère de l'Agriculture et du foret, (2002),86p.
7. Boeglin, J.C., "Traitements physico-chimiques de la pollution insoluble", Technique d'ingénieur, Environnement G 1 270, (2002), Paris.
8. Le Pimpec ,P., Lienard A, Bounard R, Lafont, Cazin M, Bossard B, "Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques", Ed. MAURICE MERLIN, (2002) , 160p.
9. Soumah ,I., "Avenir de l'industrie minière en Guinée", Paris : L'Harmattan-Guinée, (2007), 256p.
10. Branger , A. Richard. M, Roustel S, "Alimentation processus technologiques et contrôles", Ed. EDUCAGRI, (2009) ,199p.
11. Valiron ,F., "Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement: assainissement urbain", Tome II. Paris : Lavoisier technique et documentation, (1994), 208p.

12. Canler, J.P., "Aide au diagnostic des stations d'épuration par observation microscopique des boues activées", Paris : Cemagraf, (1999), 155p.
13. Pelmont, J., " Biodégradations et métabolismes : les bactéries pour les technologies de l'environnement", Ed. Grenoble sciences EDP, (2005), 798p.
14. Tizghadam-Ghazani, M., "Etude des performances et optimisation d'un réacteur cascade à biomasse hybride pour le traitement des eaux usées urbains", Thèse de Doctorat. Ed. Université de LIMOGES, Groupement Recherche Eau- Sol - Environnement (GRESE), (2007), 169p.
15. Amir ,S., "Contribution à la valorisation des boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost", Thèse de doctorat. Toulouse : Institut national polytechnique, sciences agronomiques, (2005), 313p.
16. Urbain ,V., Block ,J.C., Manem, J., "Bioflocculation in activated sludge: an analytic approach", (1993), 829-838.
17. Gomella , C., Guerree, H., "Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées", Edition Eyrolles Paris,(1978), 262p.
18. Grosclaude, G., "L'eau : usage et polluant", Volume I. Tome : II. Paris : INRA, (1999), 210p.
19. Eckenfelder, Traduit De L'américain Par L.Vandevenne, "Gestion Des Eaux Usées Urbaine Et Industrielle".
20. Gamrasni, M., "Utilisation agricole des boues d'épuration d'origine urbaine",Paris, (1981), 128p.
21. Pommelle ,B., "Valorisation des boues résiduares", I.N.R.A France, (1975),70p.
22. Branger.A., Richard ,M.M et Roustel,S., "Microbiochimie et alimentation", Ed. EDUCAGRI, (2007), 343p.
23. Lazarova, V et Manem, J., "Advances in biofilm aerobic reactors ensuring effective biofilm activity control", Ed. Water Science and Technology, (1994), 327p.
24. Jingdong Zhang , Fang Zhang, Yuhong Luo, Hong Yang, "A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment", (2006), 730–733.
25. Boeglin, J., "Technique de l'ingénieur", J3944-1.
26. Degermont , T., "Mémonto technique de l'eau", 8^{eme} édition. Edition technique et documentation Lavoisier, (1978), 1200p.

27. OTV. "Traiter et valoriser les boues", Ouvrage collectif n°2, Editions Lavoisier, Cachan, (1997).
28. Degrement, T., "Mémento technique de l'eau", 10^{ème} édition. Paris : Lavoisier technique et documentation, (2005),1718p.
29. Bechac, J.C., Boutin, P., Mercier, B et Nuer, P., "Traitement des eaux usées", Paris : Eyrolles, (1984), 281p.
30. AFNOR, "Qualité de l'eau", Association Française de la Normalisation, (1994),861p.
32. Lassez, C., "Analyse des boues", Tome N°2, Analyse chimique, Paris, (1985),122p.
33. Werther, J et Ogada, T., "Sewage sludge combustion", Progress in Energy and Combustion Science, (1999),105–116
34. Guibelin, "Technique de l'ingénieur", G1450.
- 35 Gauy ,T., "Sewage sludge characterization and agronomic value ", (2001), 1154-1159.
36. Satin, M et Selmi, B., "Guide technique de l'assainissement ; 2^{ème} édition", Paris: Le moniteur, (1999), 680p.
37. Mustafa ,K. , Hossain, Vladimir Strezov, K., Yin Chan, Peter, F., Nelson , "Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*)", (January 2010), 1167–1171.
38. Igoud, S., "Valorisation des Boues Résiduelles Issues des Stations d'Épuration Urbaines par leur Epandage dans les Plantations Forestières", (2001), 69-74.
39. Vincent Perron, "Caractérisation des boues d'épuration municipales Partie I : Paramètres agronomiques", (2007a), 48-52.
40. Vincent Perron, "Caractérisation des boues d'épurations municipale, Partie II : Eléments traces métalliques", Université du Québec, Montréal, (2007b), 42-46.
41. Panagiotis ,T., Aggeliki ,M., Anthimos ,X., Ioannis ,P., "The use of municipal sewage sludge for the stabilization of soil contaminated by mining activities", (April 2000),177–191.
42. Singh,R.P., Agrawal ,M., "Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: Metal uptake by plant", (March 2010), 969–972.

43. Piccolo, A., Zaccheo, P. et Genevini, P.G., "Chemical characterization of humic substances extracted from organic-waste-amended soils", Ed. Bioresource Technology, (1992), 282p.
44. Navas, A., Bermudez, A. et Machin, J., " Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of gypsisols", (1992), 87-135.
45. Guy Atlan, M., " Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France" , Au nom de la commission Agriculture, environnement, Ruralité Adopté par le CESR, (2003) , 136p.
46. Jean-Christophe Baudez , "Première approche dans l'épuration", Ecole nationale du génie rural, des eaux et forets (Paris), (2001).
47. Smollen, "Traitement des eaux usées par un procédé biologique" , (1988), 123p.
48. Laubenberger et Hartmann, " Réutilisation des eaux épurées dans l'agriculture", (1997), 76-82.
49. Deschamps et al, " Traitement des sols contaminés par les métaux lourds" , (1998), 202p.
50. Keiding, K., Wybrandt, L., Nielsen, " Remember the water a comment on EPS colligative properties", Water Sci. Technol. 43 (6), (2001), 17–23.
51. Mikkelsen ,L.H., Keiding, K., "Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering", Water Res. 36 (10), (2002), 2451-2462.
52. Liu, Y., Fang, H.H.P., "Influences of extracellular polymeric substances (EPS) on flocculation, settling, and dewatering of activated sludge", Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 33 (3), (2003), 237-273.
53. Novak,J.T., Agerbaek, M.L., Sorensen ,B.L., Hansen, J.A.,"Conditioning, filtering, and expressing waste activated sludge", J. Environ. Eng. 125 (9), (1999),816–824.
54. Jean Rodier, "Analyses de l'eau", 8ème édition, (2005),1384 pg.
55. Sorensen ,P.B., Hansen ,J.A., "Extreme solid compressibility in biological sludge dewatering", Water Sci. Technol. 28 (1), (1993),133-143.
56. Bohm ,N. and Kulicke ,W. M., "Optimization of the use of polyelectrolytes for dewatering industrial sludge of various origins" , Colloid Polym. Sci. 275, (1997),73-81.
57. Gregory ,J., "Polymer adsorption and flocculation in sheared suspensions, Colloids and Surfaces", (1988), 231-253.

58. Caskey, J.A., Primus,R.J., "The effect of anionic polyacrylamide molecular configuration and configuration on flocculation effectiveness", *Environmental Progress* , (1986),98–103.
59. Dentel S.K.," Conditioning Sludge into Biosolids", IWA Publishing, London, 2001, 278–314.
60. Gregory, J.,"Polymer adsorption and flocculation in sheared suspensions", *Colloids and Surfaces* 31, (1988), 231-253.
61. Boeglin ,J. C., "Progrès réalisés dans la clarification des eaux résiduaires et le séchage mécanique des boues par l'emploi de polymère organiques de synthèse", (1989), 32p.
62. Albertson .O, and Guidi .N. , "Water and Sewage Works", Ref. N°133 , 1975,114-142.
63. Boeglin ,J. C., " Mécanisme de flocculation des suspensions colloïdales par les hauts polymères synthétiques". These de Doctorat es-Sciences, Nancy (1969).
64. Knocke ,WR., Dishman ,CM., Miller ,GF., " Measurement of chemical sludge floc density and implications related to sludge dewatering ", *Water Environ Res*, (1993),735-43.
65. BASF group, "Specialty chemicals for water treatment" , Sedipur_ types for water treatment.
66. Krishnamurthy .S and Viraraghavan, T., " Chemical Conditioning for Dewatering Municipal Wastewater Sludges", (2005),114-122.
67. Lee ,C.H. and Liu ,J.C. , " Enhanced sludge dewatering by dual Polyelectrolytes conditioning", (2000a), 4430-4436.
68. Lee C.H, Liu,J.C., " Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning", (2000b),129-136.
69. Chang, G.R et al, " Co-conditioning and dewatering of chemical Sludge and waste activated sludge, (2000), 786-794.
70. Lene Haugaard Mikkelsen, Kristian Keiding, " Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering", (2002), 2451-2462.
71. Nguyen Tan Phong, " Flocculation dynamics of synthetic and activated sludge in wastewater treatment", (2009), 74-84.
72. Hans Saveyna, " Effect of polyelectrolyte conditioning on the enhanced

dewatering of activated sludge by application of an electric field during the expression phase”, (2005), 3012-3020.

73. Tan Phong Nguyena, Nidal Hilala, Nicholas P., Hankinsb, John T. Novak, ” Determination of the effect of cations and cationic polyelectrolytes on the characteristics and final properties of synthetic and activated sludge”, (January 2007), 307-317.

74. Tan Phong Nguyen et al, ” Characterization of synthetic and activated sludge and conditioning with cationic polyelectrolytes” , (2008), 103–110.

75. Zhao,Y.Q., ” Correlations between floc physical properties and optimum polymer dosage in alum sludge conditioning and dewatering”, (2003), 227–235.

76. Thierry Ruiz, Thaniya Kaosol, Christelle Wisniewski, ” Dewatering of urban residual sludges: Filterability and hydro-textural characteristics of conditioned sludge”, (2010), 275–281.

77. Thapa,K.B., Hoadley,Y. Qi., ” Interaction of polyelectrolyte with digested sewage sludge and lignite in sludge Dewatering”, (2009), 66-73.

78. Urbain V., Block J.C., Manem J., ” Bioflocculation in activated sludge: an analytic approach”,(1993), 829-838.

79. Guo ,WY., ” Officinal plant of China. Beijing: Publishing Company of Beijing”, (1989), 74-85.

80. Zhang, J. Z., Fang, L., Yunhong, Hong Yang, ” A Preliminary Study on Cactus as Coagulant in Water Treatment”, Process Biochemistry, Vol. 41, N°3, (2006),730 – 733.

81. Abid, A., Zouhri, A., Ider, A. et Kholtei S., ” Valorisation d'un nouveau bio flocculant (extrait de cactus) dans le traitement physico-chimique des rejets liquides chargés en cuivre, en zinc et en matière en suspension”, (2009), 321-330.

82. Schweizer. M, ” Docteur Nopal le médecin du bon Dieu”, France, (1997), 81p.

83. Aoubed ,A., ” Cours Coagulation-Flocculation”, université de Blida,(2011).

84. document interne de la station.

85. Bennouna, M. et Kehal,S., ” Production de Méthane à Partir des Boues des Stations d’Epuraton des Eaux Usées : Potentiel Existant en Algérie”, (2001) , 29-36.

86. N'Dayegamiye, A., Drapeau, A., Huard, S. et Thibeault Y., " Intégration de boues mixtes et de fumiers dans des rotations agricoles : Réponse des cultures et interactions avec les propriétés du sol " , Agrosol, 15 (2), (2004), 83-90.
87. Estevez, B., Coderre, D. et Pagé, F., " Effet de la fertilisation sur les vers de terre et leur impact sur la porosité et la stabilité structurale du sol " , Agrosol, 5 (2), (1992),26-31.
88. Gay,J., " Lutte contre la pollution des eaux. Valorisation énergétique des boues", (2002), G1455.
89. Bitton,G., "Wastewater microbiology", Wiley-Liss Editor, New York,1994.
90. Murto, M., " Anaerobic Digestion: Microbial ecology, improved operational design and process monitoring", Ph.D. dissertation, Department of Biotechnology, Lund University,Sweden, (2003).
91. Petra Pütz, " Éléments nutritifs, Composés azotés et paramètres de l'azote : Nitrification, dénitrification", (2009),103-114.
92. Bipfubusa, M., N'Dayegamiye ,A. et Antoun ,H., " Évaluation des effets de boues mixtes fraîches et de leurs composts sur les rendements des cultures et leur nutrition minérale " , Agrosolutions, 17 (1), (2006), 65-72.
93. Hébert, M., " Épandage automnal des MRF– risques environnementaux et mesures préventives", Agrosol, 16 (1), (2005), 61-78.
94. Ndabigengesere, A., Narasiah , KS., " Talbot BG. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera", Water Res,(1995), 29(2): 703-710.

APPENDICES

A. Liste des symboles

AGV : Acides gras volatils.

C.TOT : Carbone organique total [g .L⁻¹].

CST : Temps de succion capillaire [s].

C/N : Carbone organique total/Azote total.

DBO : Demande biologique en oxygène [g O₂.L⁻¹].

DCO : Demande chimique en oxygène [g O₂.L⁻¹].

DO : Densité optique.

ENP : Ecole nationale polytechniques.

ETM : Eléments traces métalliques.

FV : Fraction volatile.

kg : Kilogramme.

m: Mètre.

mg : Milligramme.

ml : Millilitre.

min : Minute.

mPa : Millipascal.

MES : Matière en suspension.

MS : Matière sèche [g.L⁻¹]

MVS : Matière volatile (ou organique) en suspension [g.L⁻¹]

N-NH₄⁺ : Concentration en ion ammonium exprimée en gramme d'azote [g N-NH₄⁺.L⁻¹]

NTU : Unité de turbidité (nephelometric turbidity unit)

N.TOT : Azote total [mg.L⁻¹]

nm: Nanomètre.

OMS: Organisation mondiale de santé

P: Phosphore.

pH : potentiel d'Hydrogène.
PDADMAC : Polydiallyldimethyl ammonium chloride.
r : Résistance à la filtration [$m.kg^{-1}$]
RSF : Résistance spécifique à la filtration.
SRG : Station de relevage.
s : Seconde.
S : Siccité [%].
SAA : Spectrophotométrie d'absorption atomique.
STEP : Station d'épuration.
SPE : Substance polymérique extracellulaire.
t : Tonne.
T : Taux de filtration.
TAC : Titre alcalimétrique complet [$mg.L^{-1}$]
tr : tours
TSH : Temps de séjour hydraulique (dans le digesteur) [j]
 μ : Viscosité [$mPa.s$]
 θ_b : âge de boues .
 λ : Longueur d'onde [nm]
°C : Degré Celsius
Ag : Argent
Cd : Cadmium
Cr : Chrome
Cu : Cuivre
Co : Cobalt
Fe : Fer
Mn : Manganèse
Ni : Nickel
Pb : Plomb
Zn : Zinc .

B .Droite de Carman

On considère ici la filtration sur support d'un liquide boueux avec formation d'un gâteau d'épaisseur croissante.

Dans l'expression de la loi de Darcy on admet que R comprend deux résistances en série, d'une part la résistance R_g du gâteau et d'autre part, la résistance initiale R_m de la membrane.

$$R=R_g+R_m$$

$$\text{Avec } R_g = r = \frac{M}{S} = r \frac{Wv}{S}$$

M : masse totale du gâteau déposée,

W : masse de MES déposée par unité de volume du filtrat,

v : volume du filtrat au bout d'un temps t.

S : surface de filtration,

r : résistance spécifique à la filtration du gâteau sous la pression P

$$\text{D'où } V = \frac{1}{s} \frac{dv}{dt} = \frac{P}{\eta(r\frac{Wv}{S}+R_m)}$$

Dont l'intégration conduit à une équation du type

$$t = av^2 + bv \text{ ou } \frac{t}{v} = av + b \quad \text{Avec}$$

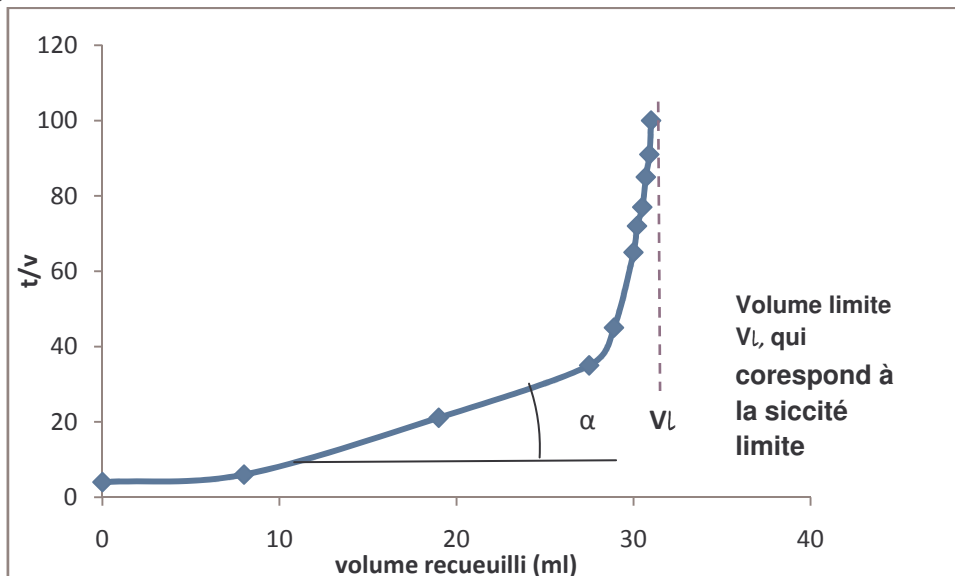
$$a = \frac{\eta r W}{2PS^2} \text{ et } b = \frac{R_m}{PS}$$

$$t/V = \mu \frac{w}{2PS^2} rv + \mu R_m/PS \text{ donc } r = \frac{2\alpha PS^2}{\mu w}$$

0

La représentation graphique de cette équation est une droite qui permet de caractériser la résistance r par la pente a = tangente

Exemple courbe de Carman pour le flocculant Super Floc C498 à la concentration de 1.2 g/kg est la suivante :



La résistance spécifique à la filtration est calculée par la formule précédente

$$\text{Donc } r=0.53 \times 10^{12} \text{ m/kg.}$$