



## Département De Génie De L'Environnement

Présenté par:

MERABET Hamza

En vue de l'obtention du diplôme D'Ingénieur D'Etat en Génie de L'Environnement

### Utilisation du Chitosane dans le Conditionnement des Boues



Soutenu Publiquement le 25 Juin 2008 devant le jury suivant:

président:	N.Mammeri	Professeur	ENP
Rapporteurs:	H.Lounici	Professeur	U.Tizi Ouzou
	N.Abdi	Maitre de conférences	ENP
Examineurs:	M.Derrouiche	Maitre de conférences	ENP
	H.Ghrib	Maitre de conférences	ENP

Promotion juin 2008

ENP, 10, Avenue Hacén Badi, El-Harach, Alger.

## *Dédicaces*

*La longueur des discours atténuée parfois la portée qu'on veut leur donner. Nul besoin d'un long monologue pour exprimer ma reconnaissance envers mes chers parents qui m'ont appris le respect, l'amour et la reconnaissance. Je leur dois tout ce que je suis.*

*Mes chers frères et sœurs qui sont une part de moi, et sans eux la vie n'aurait pas eu de sens.*

*Ma famille de Bougie et d'Alger*

*Mes beaux frères et belles sœurs*

*Mes neveux et nièces.*

*Mes oncles et tentes.*

*Mes cousins et cousines, spécialement Boubkkeur pour tout ce qu'il a fait pour moi.*

*Mes amis avec qui j'ai passé des moments inoubliables.*

*Mon groupe de cinquième année Génie de l'environnement qui était très gentil, généreux, leur sens de l'humour était le remède contre tout problème rencontré.*

*Tous les enseignants qui ont participé à ma formation depuis le cycle primaire.*

# Remerciements

*Dernière touche au manuscrit, les remerciements n'en sont pas moins importants :*

*En général, c'est par là que commence la lecture. Importants peut – être aussi parce qu'il s'agit de la seule partie non scientifique avant 71 pages de texte, déséquilibre flagrant quand on sait ce qu'impliquent ces cinq années sur le plan humain.*

*Ce travail a été effectué au sein du Laboratoire de biotechnologies de Génie de l'Environnement à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, dirigé par Monsieur LOUNICI.H. Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU et Madame ABDI.N. Maitre de conférences à l'ENP.*

*Je tiens à leur adresser mes plus vifs remerciements de m'avoir accordé leur confiance et d'avoir dirigé mon travail. Ma gratitude s'adresse à Madame TEGAR.H. Qui m'a soutenu depuis le début et m'a orienté avec ses conseils, je lui exprime ma reconnaissance.*

*Je remercie vivement le professeur MAMMERI.N. de m'avoir honoré en présidant le jury.*

*J'aimerais également remercier Monsieur DEROUICHE.M. et Monsieur Ghrib.H. Maitre de conférences à L'ENP, d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Mes remerciements reviennent à Monsieur AHMED ZAID. Maitre de conférence à l'ENP et chef de département de Génie chimique, pour son aide précieuse.*

*Mes chaleureux remerciements sont adressés aux agents de sécurité spécialement à l'équipe de Monsieur SMATI, pour leur patience, compréhension et leur aide inoubliable.*

*Ma gratitude à ma famille qui est avec moi à chaque fois que j'ai besoin d'une aide morale ou matérielle.*

*Merci enfin à tous ceux qui ont côtoyé mes expérimentations odorantes en gardant le sourire.*

## SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Chitine et chitosane .....	05
Introduction .....	05
I-1. Historique .....	05
I.2. Chitine: Source et structure .....	06
I.2.1. Obtention de la chitine .....	08
a. Méthode chimique .....	09
b. Méthode biologique.....	09
I.2.2. Propriétés de la chitine .....	09
a. Poids moléculaire .....	09
b. Solubilisation.....	10
c. Cristallinité .....	10
d. Biodégradabilité .....	10
I.3. Chitosane: Source et structure .....	10
I.3.1. Préparation du chitosane .....	11
I.3.2. Caractérisation du chitosane .....	11
a. Degré de Désacétylation (DD) .....	12
b. Viscosité .....	12
c. Poids moléculaire .....	13
d. Solubilité .....	13
I.3.3. Propriétés physico-chimiques .....	14
a. Pouvoir flocculant .....	14
b. Pouvoir chélatant.....	14
c. Biodégradabilité. ....	15
I.3.4. Application de la chitine et du chitosane .....	15
Conclusion.....	16
Chapitre II: Traitement des boues .....	18
Introduction .....	17
II.1.Origine des boues .....	18

II.2. Caractérisation et classification des boues .....	19
II.3. Traitement des boues urbaines .....	23
II.3.1. Traitement d'épaississement et concentration.....	25
a. Epaississement gravitaire .....	25
b. Epaississement par flottation.....	26
c. Epaississement par centrifugation .....	26
d. Epaississement par drainage.....	27
e. Epaississement par élutriation .....	27
II.3.2. Traitement de stabilisation.....	28
a. Stabilisation ou digestion aérobie.....	28
b. Digestion anaérobie.....	29
c. Stabilisation chimique .....	28
d. Pasteurisation .....	29
II.4. Conditionnement et déshydratation .....	29
II.5. Destination finale des boues .....	29
Conclusion.....	29
Chapitre III : Conditionnement et déshydratation des boues .....	30
Introduction .....	30
III.1. Conditionnement chimique .....	32
III.1.1. Réactifs minéraux.....	33
a. Doses de réactifs minéraux à employer .....	34
b. Mise en œuvre des réactifs minéraux .....	34
III.1.2. Polyélectrolytes .....	35
a. Mise en œuvre des polyélectrolytes .....	36
III.2. Conditionnement thermique .....	36
III.3. Conditionnements divers .....	37
III.3.1. Congélation .....	37
III.3.2. Conditionnement par charges.....	38
III.3.3. Conditionnement électro-acoustique.....	39
III.3.4. Conditionnement par solvants ou huiles .....	39
III.3.5. Agents de solidification.....	39
III.4. Techniques de déshydratation .....	40
III.4.1. Déshydratation naturelle .....	40

III.4.2. Déshydratation mécanique .....	41
a. Centrifugation.....	41
b.2. Filtration sous vide .....	41
c.3. Filtration sous pression.....	42
Conclusion.....	42
Chapitre IV : Matériel et méthodes .....	42
Introduction .....	42
IV.1. Matériel .....	42
IV.2. Echantillonnage.....	43
IV.3. Caractérisation de la boue au laboratoire .....	44
a. Mesure de l'indice de Mohlman .....	44
b. Etude de la décantabilité de la boue .....	45
c. Mesure du pH des boues.....	45
d. Mesure de la température de la boue.....	45
e. Résidus secs et matière sèche à 105°C .....	45
f. Matière en suspension.....	46
g. Résidus calcinés à 550°C et matière volatile .....	47
h. La turbidité de l'eau filtrée .....	47
IV.4. Traitement de la boue au laboratoire.....	47
a. Le conditionnement de la boue.....	47
b. Préparation des solutions.....	48
IV.5. Méthodes d'analyse .....	50
a. Le temps de succion capillaire .....	50
b. Résistance spécifique à la filtration.....	51
IV.6. Conception du filtre-presse .....	53
Conclusion.....	55
Chapitre V : Résultats et interprétation .....	56
Introduction .....	56
V.1. Caractérisation de la boue au laboratoire .....	56
V.2. La RSF de la boue .....	57
V.3. La CST de la boue .....	63
V.4. Comparaison entre les différents flocculants .....	65

V.4.1. Volume de filtration sous vide .....	65
V.4.2. Temps de filtration .....	66
V.4.3. Masse du gâteau .....	67
V.4.4. Turbidité. ....	68
Conclusion.....	69
Conclusion générale. ....	70
Bibliographie .....	72

## *Liste des figures :*

Figure I-1: Structure chimique de la chitine.....	07
Figure I-2: Préparation de la chitine et du chitosane.....	08
Figure I-3: Structure chimique du chitosane .....	10
Figure II-4: Représentation schématique d'une filière de traitement des boues.....	24
Figure IV-5:CST (Capillary Suction Time) .....	53
Figure IV-6: Schéma représentatif du filtre presse .....	57
Figure V-7: La RSF de la boue après conditionnement avec le FeCl <sub>3</sub> .....	62
Figure V-8: La RSF de la boue après conditionnement avec le Sedipur CF 802 .....	63
Figure V-9: La RSF de la boue après conditionnement avec le chitosane 99 % .....	64
Figure V-10: La RSF de la boue après conditionnement avec le Sedipur AF 400 .....	65
Figure V-11: La RSF de la boue après conditionnement avec le chitosane 85 % .....	66
Figure V-12: La CST de la boue après conditionnement avec le FeCl <sub>3</sub> .....	67
Figure V-13: La CST de la boue après conditionnement avec le chitosane 85 % .....	68
Figure V-14: La CST de la boue après conditionnement avec le Sedipure CF 802 .....	69
Figure V-15: comparaison entre les différents coagulant-floculants .....	69

## *Liste des tableaux:*

Tableau I-1: Les différentes applications de la chitine et du chitosane.....	15
Tableau II-2: Classification des boues .....	21
Tableau VI-4: Résultats de la caractérisation de la boue au laboratoire .....	60

## *Liste des abréviations*

**DMAc** : N,N-DiMéthylaCétamide

**DA** : Le Degré de N – Acétylation

**NMP** : N-MéthylPyrrolidone

**DD** : Degré de Désacétylation

**IR** : Infra-Rouge

**UV-VIS** : Ultraviolet -Visible

**RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire

**HPLC** : Chromatographie en Phase Liquide à Haute Performance

**DP** : Déprotéinisation

**DM** : Déminéralisation

**tMS** : Tonne de Matière Sèche

**MES** : Matières en Suspension

**MS** : Matières Sèches

**FV** : Fraction Volatile

**MV** : Matières Volatiles

**MO** : Matière Organique

**SVI** : Indice de Volume des Boues

**TSC** : Temps de Succion Capillaire

**CST** : Capillary Suction Time

**Rs** : Résistance Spécifique

**ERU** : Eau Résiduaire Urbaine

**ER** : Eaux Résiduaires

**ERI** : Eaux Résiduaires Industrielles

**EP** : Eaux Potables

**EI** : Eaux Industrielles

**GDE** : Epaissement par Drainage Gravitaire

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**DBO** : Demande Biologique en Oxygène

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biologique en Oxygène après 5 jours

**KN** : Kilo Newton

**IM** : Indice de Mohlman

**NTU** : Unité de Nombre de Turbidité

**t** : Temps (s)

**v** : Volume du filtrat au bout du temps t (en m<sup>3</sup>)

**μ** : Viscosité Dynamique de la boue (Pa.s)

**r** : Résistance Spécifique à la Filtration (m.kg<sup>-1</sup>)

**w** : Masse déposée par unité de volume du filtrat (kg.m<sup>-3</sup>)

**S** : Surface de filtration (m<sup>2</sup>)

**P** : Pression en Pascal (Pa)

**R<sub>m</sub>** : Résistance de la membrane

**V<sub>x</sub>** : Volume filtré au temps **X**

**X %** : Le pourcentage du coagulant-floculant par rapport aux matières sèches **X**

**V<sub>0</sub>** : Volume de filtration sous vide

**Sc** : Siccité

**I<sub>d</sub>** : Indice de décantabilité

**RSF** : Résistance Spécifique à la Filtration

# *Introduction générale*

## *Introduction Générale*

---

Depuis toujours l'eau est indissociable de l'activité humaine. La révolution industrielle du 19ème siècle, en valorisant la vapeur d'eau, a permis le développement de la capacité de production : L'eau est devenue une matière indispensable au fonctionnement des usines.

Parallèlement à cette situation, les phénomènes qui contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau et par suite à la perturbation de tout l'écosystème se multiplient et s'intensifient. Le rejet des eaux usées chargées en substances polluantes, dans le milieu récepteur sans aucun traitement préalable est un motif de préoccupation croissant compte tenu des effets indésirables qu'elles peuvent engendrer sur l'environnement et sur la santé.

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.

Quant on parle d'épuration des eaux, on parle donc de production de boues. Ces dernières sont considérées comme un élément contribuant à l'impacte environnemental d'une station d'épuration.

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 (**Degrément, 1989, Tome 2**). Le traitement des boues s'effectue en deux étapes principales, la déshydratation, qui se fait sur la station d'épuration, et l'élimination ou la valorisation des boues concentrées.

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)

## *Introduction Générale*

---

Pour rendre exploitables les différents équipements de déshydratation, 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 aux procédés de nature chimique (ajout de réactifs minéraux et/ou polymères de synthèse ou polyélectrolytes). La coagulation est l'étape de liaisons spécifiques d'ions à la surface de la particule par ajout d'un réactif appelé coagulant. La floculation est l'étape d'agglomération des particules. Elle peut être améliorée par addition d'un flocculant.

Parmi les éléments minéraux utilisés fréquemment dans la coagulation-floculation, les sels métalliques à cations polyvalents : sulfate d'aluminium ( $Al_3^+$ ) ou chlorure ferrique ( $Fe_3^+$ ), leur hydrolyse libère les cations polyvalents qui neutralisent les colloïdes. Ils sont efficaces, peu coûteux, mais modifient les caractéristiques physico-chimiques de l'effluent, surtout le pH, et génèrent de grande quantité de boues. Les polyélectrolytes (polymères cationiques) de synthèse, sont efficaces, chers, organiques ou minéraux (PCBA : polychlorure basique d'aluminium). Dans certaines conditions, les sels d'aluminium peuvent se condenser pour former des polymères dont les propriétés coagulantes et flocculantes sont exceptionnelles.

On obtient alors des chaînes polymériques :  $Al_6(OH)_{126}^+$  à  $Al_{54}(OH)_{1448}^+$ . Ces dernières présentent, cependant, de véritables menaces pour l'environnement (**Li, Q, et Kegley, L, 2005**).

Les polymères organiques, appelés également polyélectrolytes, ont acquis une grande part de marché au cours des dernières décennies. Elles peuvent utiliser en quantités beaucoup plus faibles que les flocculants minéraux, tels que la chaux et chlorure de fer. En outre, les polyélectrolytes organiques sont facilement biodégradables et sont disponibles dans de nombreuses combinaisons de la composition chimique, poids moléculaire et densité de charges.

En règle générale, les différences entre les performances de déshydratation des boues sont attribuées à une combinaison des caractéristiques des boues et des compositions des polyélectrolytes. Mise à part les caractéristiques des boues, celles des polyélectrolytes permettront également de déterminer la performance de la déshydratation. Les caractéristiques les plus importantes des polyélectrolytes sont le poids moléculaire et la densité de charges ou cationicité **Parker al.** a montré que la structure chimique du polymère influence trop l'efficacité

des interactions et donc le conditionnement des boues. (**Mansoura , K, 2007 et Mekahlia, S, 2007**).

Le chitosane, un polyélectrolyte de nature polysaccharidrique. Il est issu de la chitine par désacétylation (traitement alcalin). Cette dernière est le deuxième polymère naturel très abondant dans la nature après la cellulose (**Plouffe, B, 1997**). Dans les milieux acides, le chitosane acquies une propriété cationique qui lui confère un pouvoir flocculant remarquable (**Suyatma, N, 2006**).

Dans ce travail, une vaste étude a été réalisée sur le conditionnement chimique de la boue provenant de la station d'épuration d'eaux usées l'oued de Beni-Messous. Le mécanisme et la performance de déshydratation ont été examinés, en appliquant des coagulants de différentes natures, à savoir le chitosane, le chlorure ferreux et les polymères synthétiques (Sedipur NF 102, AF 400 et CF 802).

Notre travail expérimental est fondé sur les mesures de la résistance spécifique à la filtration (RSF) et le temps de la succession capillaire (CST). Pour la mesure de la RSF, une conception expérimentale d'un filtre presse, a été réalisée. En outre, nous avons effectué une caractérisation physico-chimique des boues sujettes d'étude. Le manuscrit qui en découle est organisé en cinq chapitres.

Dans le premier chapitre, nous définissons la chitine et son dérivé, le chitosane. Les sources, structures, les propriétés physico-chimiques, et les méthodes d'extractions de ces deux biopolymères y sont présentées. Nous exposons également la caractérisation du chitosane ainsi que les différentes applications de la chitine et du chitosane.

Le second chapitre est consacré au contexte général des boues de stations d'épuration. Nous sommes focalisés plus particulièrement à présenter les origines de ces boues, leur caractérisation physico-chimique, ainsi que les possibles filières de leur élimination et valorisation, tout en soulignant l'importance du conditionnement dans la chaîne du traitement.

Le processus de conditionnement des boues est évoqué dans le troisième chapitre. Il s'agit d'une énumération des différentes techniques les plus utilisées de ce processus, en particulier le conditionnement chimique.

## *Introduction Générale*

---

L'ensemble des dispositifs expérimentaux et des méthodes utilisés au long de ce travail sont décrits dans le quatrième chapitre. Le principal dispositif est la cellule de filtration sous pression, que nous avons conçue spécialement pour ce travail. Par ailleurs, les méthodes concernent la caractérisation des boues, le conditionnement chimique des boues et l'utilisation du Jar test. L'analyse par les mesures de la résistance spécifique à la filtration (RSF), et du temps de la succession capillaire (CST) y est également décrite.

Le cinquième et dernier chapitre présente les résultats relatifs à la caractérisation physico-chimique de la boue prélevée de la steppe de Beni-Messous, la performance de la cellule du filtre presse, conçue spécialement pour tester le pouvoir flocculant des différents polyélectrolytes, et au conditionnement de cette boue en utilisant les différents polyélectrolytes, y sont présentés et interprétés. Une comparaison de la performance du chitosane en tant que flocculant adéquat au conditionnement chimique des boues, à celle des autres polyélectrolytes y est finalement effectuée.

Nous terminons par une conclusion générale représentant une synthèse globale de notre travail, ouvrant la discussion sur les perspectives de cet axe de recherche.

# *Chapitre I : chitine et chitosane*

## **Introduction**

Les polymères sont des molécules composées d'un très grand nombre de maillons élémentaires (motifs) appelés monomères. Lorsque ces monomères sont chargés, on parle de polyélectrolytes. Un polyélectrolyte est un polymère soluble dans l'eau qui, en solution, porte des charges électrostatiques. Une des propriétés les plus importantes des polyélectrolytes est leur solubilité dans l'eau, ce qui permet d'accéder à une large gamme de formulations non toxiques, compatibles avec l'environnement. L'existence de charges électrostatiques le long de la chaîne macromoléculaire induit des interactions électrostatiques fortes ce qui confère aux polyélectrolytes des propriétés physico – chimiques remarquables. En solution aqueuse, les polymères et les polyélectrolytes sont utilisés pour leurs propriétés rhéologiques en tant qu'agents épaississants ou gélifiants.

Le chitosane est un polyélectrolyte de nature polysaccharidrique. Il est apte à porter un nombre important de groupes amine sur sa chaîne, peut former des complexes multiples. Aux pH acides, sous sa forme protonée, il peut s'associer à des polyanions pour former des complexes polyanions-polycations. Dans ce chapitre nous allons présenter une synthèse bibliographique sur ce polymère.

## **I. 1. Historique**

La découverte de la chitine et du chitosane date du 18ème siècle par le professeur Français spécialisé en Histoire de la nature, H.Braconnot. **(Li, Q et Kegley, L, 2005)**. Les premiers brevets d'invention en Chitine furent obtenus en 1935 par Ricardo A. Muzzarelli sous le titre, « Chitine » **(Li, Q et Kegley, L, 2005)**. Ce n'est que dans les années 1970 que ces polymères ont suscité un réel intérêt. En effet, les conserveries de crustacés produisaient de grandes quantités de déchets. Les gouvernements (américain et japonais) ont cherché à valoriser ces déchets et ont lancé les premiers programmes de recherches. Durant les années 1970, l'intérêt de ces biomacromolécules a été vivement renouvelé en découvrant ses propriétés adsorbantes envers les métaux et en organisant la première conférence Chitine-Chitosane au Etats-Unis en 1977 **(Mékahlia, S, 2007)**.

Actuellement, il est connu que la chitine et le chitosane (collectivement appelés les substances chitineuses), sont des sources renouvelables que l'on peut trouver en abondance

dans la nature. Ce fait a attiré plus d'intérêt pour le développement de nouvelles applications de ces simples substances. La chitine et le chitosane sont deux biopolymères produits par certains animaux. Ils sont donc biodégradables et biorésorbables, deux propriétés primordiales à notre époque où la protection de l'environnement joue un rôle important.

Le chitosane a suscité un intérêt plus vif que la chitine, étant donné le nombre plus important de groupes amine présents sur sa chaîne. Les premières applications ont été développées dans les domaines où le chitosane présentait un intérêt notoire notamment en pharmacologie, cosmétologie et surtout en médecine. Ce n'est que plus tard, avec la prise de conscience des pays qu'il était nécessaire de maîtriser les rejets polluants que les premières études concernant les propriétés du chitosane à fixer les métaux lourds ont été entreprises.

### **I. 2. Chitine : Source et Structure**

Après la cellulose, la chitine est, le polysaccharide linéaire le plus répandu dans la nature. Elle a une structure cristalline et constitue un réseau de fibres organisées. Elle confère la rigidité et la résistance aux organiques qui en contiennent.

La chitine est un copolymère constitué d'unités de répétition D-glucosamine et N-acétyl D-glucosamine liées  $\beta$ -(1,4), dont les structure chimique sont représentées ci-dessous, avec un degré d'acétylation, DA, généralement supérieur à 70% (DA étant le pourcentage en nombre de résidu N-acétyle glucosamine dans le polymère) (**Poirier, B, 1997**).

La chitine se retrouve naturellement dans les téguments d'insectes, de nématodes et d'invertébrés marins. On en retrouve également dans les parois cellulaires de certaines algues et dans celles des champignons. La chitine est présente aussi dans certaines levures et bactéries. En plus de son rôle dans le maintien de la rigidité de la cellule, elle contribue au contrôle de la pression osmotique (**Poirier, B, 1997, Suyatma, N, 2006**).

La cuticule des arthropodes contient de la chitine, des protéines, des lipides et des carbonates de calcium. La chitine ne se situe pas uniquement au niveau de la cuticule des invertébrés, elle est également présente en quantité moindre au niveau de la paroi intestinale, des trachées, des tendons musculaires et du squelette interne.

## Chapitre I : Chitine Et Chitosane

La chitine est présente naturellement sous forme cristalline ou sous forme de complexes chitino-protéiques. Après mise en évidence de la chitine, la quantité contenue dans l'échantillon étudié, est estimée par des méthodes histochimiques associées à l'utilisation des rayons X avec des techniques enzymatiques à la base de chitinases purifiées.

Les champignons utilisés par l'industrie des fermentations sont une deuxième source de chitine exploitée commercialement. Elle est extraite des parois des microorganismes après leur utilisation en fermenteur. Il s'agit donc d'un autre exemple de revalorisation de la biomasse (Mékahlia, S, 2007).

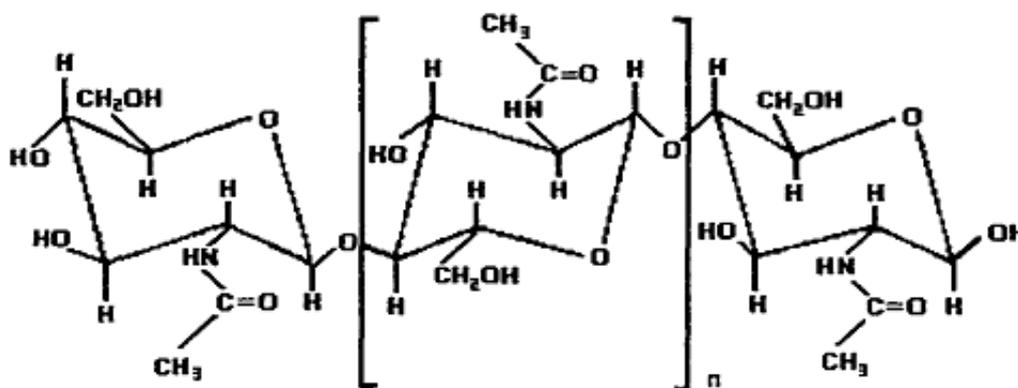


Figure I-1 : Structure chimique de la chitine (poirier, M,1999).

Les champignons utilisés par l'industrie des fermentations sont une deuxième source de chitine exploitée commercialement. Elle est extraite des parois des microorganismes après leur utilisation en fermenteur. Il s'agit donc d'un autre exemple de revalorisation de la biomasse (Mékahlia, S, 2007).

### I.2. 1. Obtention de la chitine

De nombreuses méthodes ont été développées afin de préparer la chitine à partir des exosquelettes. De manière générale, elles consistent à éliminer les éléments minéraux (démminéralisation), les protéines (déprotéinisation) et la couleur (blanchiment) Figure 2.

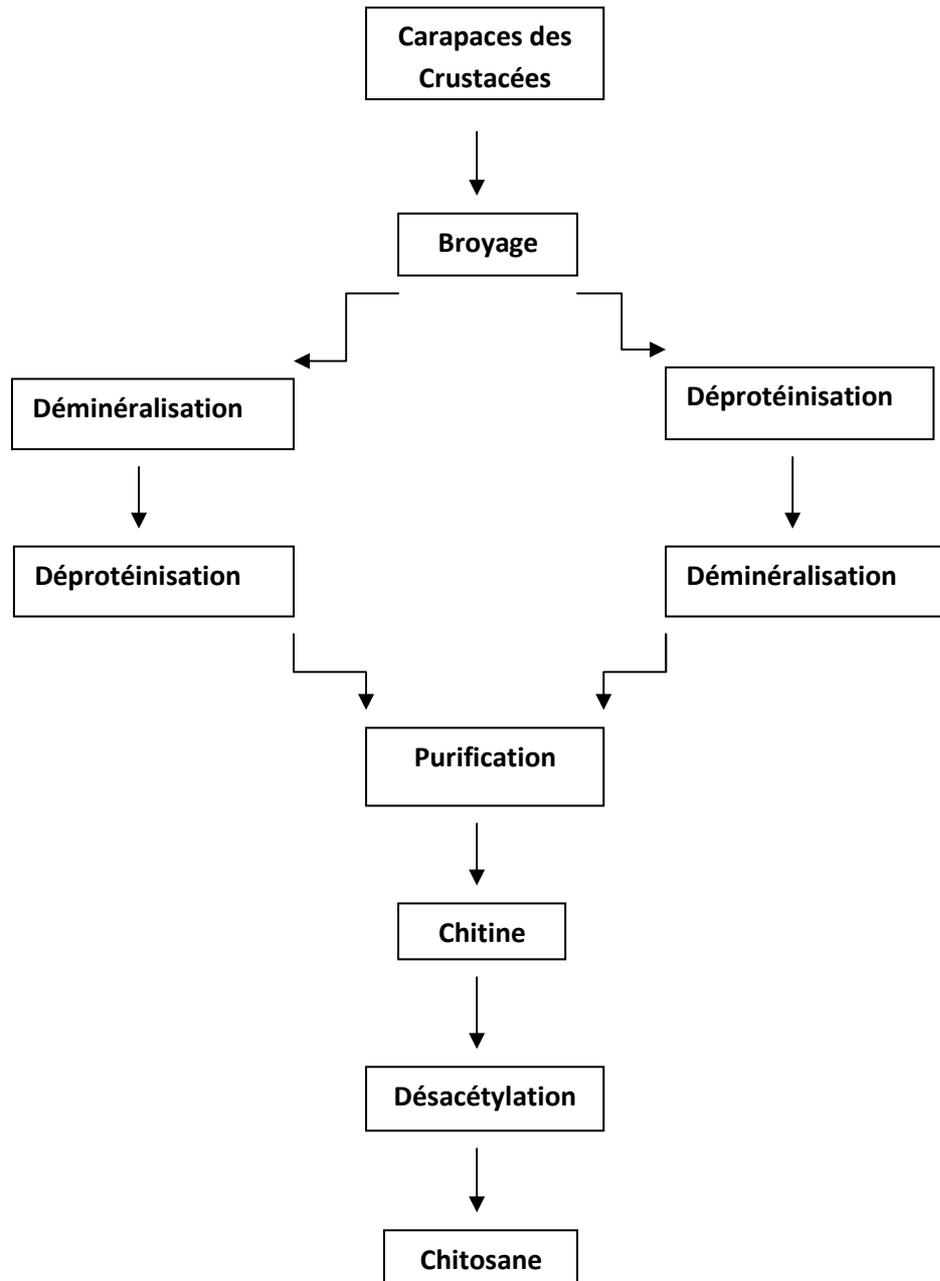


Figure I-2 : préparation de la chitine et du chitosane (Degrément, 1989, Tome 2).

Quelque soit la source de la chitine, la matière première doit être traitée dès que possible après son obtention pour limiter la dégradation microbologique et enzymatique qui réduit le rendement en chitine.

### *a. Méthode chimique*

La première étape est de broyer finement les carapaces des crevettes ou des crabes, la source principale de la chitine.

Dans la deuxième étape, les carapaces finement broyées sont traitées par une solution aqueuse de NaOH 3-5% pour éviter la contamination de la chitine par les protéines en les éliminant, c'est la déprotéinisation (DP).

Les carapaces déprotéinisées sont par la suite déminéralisées, c'est l'étape de la déminéralisation.

Le calcium est éliminé en traitant les carapaces déprotéinisées par une solution aqueuse d'HCl 3-5%. Le produit légèrement rose obtenu est la chitine. Les pigments caroténoïdes sont extraits par certains solvants tels que l'huile comestible à 60°C, l'acétone ou le propanol (Mékahlia, S, 2007).

### *b. Méthode biologique*

D'autres méthodes biologiques pour extraire la chitine ont été mises au point. Ces méthodes produisent une chitine dans des conditions opératoires plus douces et avec des caractéristiques plus compatibles que ceux de la chitine produite par la méthode chimique. Ces méthodes sont réalisées par voie enzymatique en cultivant des bactéries protéolytiques sur les surfaces des carapaces pour la dégradation des protéines. [(Rao et al, 2000), Arbia W, 2007]

## **I. 2. 2. Propriétés de la Chitine**

**a. Poids moléculaire :** La chitine a une longue chaîne ayant une masse moléculaire, entre  $1.03 \times 10^6$  et  $2.5 \times 10^6$  Da (Mékahlia, S, 2007).

**b. Solubilisation :** La chitine est insoluble dans les solvants usuellement utilisés pour la cellulose (solutions aqueuses d'hydroxyde de cuprammonium, de cupriethylenediamine et de cadoxen). Quelques autres systèmes de solvants furent ainsi mis en place afin de contourner cette situation. On peut regrouper ces systèmes en trois catégories : les solutions aqueuses de

## *Chapitre I : Chitine Et Chitosane*

---

sels neutres, les solvants acides, et les solvants organiques neutres. Elle est soluble dans les mélanges de N,N-diméthylacétamide (DMAc) / chlorure de lithium (LiCl) et de N-méthylpyrrolidone (NMP) 1 LiCl (**Poirier, M, 1999**).

**c. Cristallinité :** L'origine de la chitine influe sur l'arrangement de la chaîne du polymère. Trois types de polymorphes de chitine ont été identifiés. Ce sont  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  – chitine, elles correspondent aux arrangements des chaînes, respectivement, parallèles, antiparallèles et alternatives (**Mékahlia, S, 2007**).

- **Chitine  $\alpha$  :** Fut proposée par Carlstrom, qui suppose que les chaînes sont associées d'une manière antiparallèle, ce qui lui confère une rigidité et stabilité comparativement aux autres formes. Elle est la plus abondante dans la nature et se retrouve dans la paroi des crustacées, insectes et champignons, elle se retrouve à l'état lié à des protéines ou des composés inorganiques (**Mansoura, K, 2007**).
- **Chitine  $\beta$  :** Supposée être moins stable que la chitine  $\alpha$ , formée de chaînes posées en parallèle, flexible et résistante, se retrouve dans les crochets de calmars et les parois des diatomées et les tubes des pogonophores (**Mansoura, K, 2007**).
- **Chitine  $\gamma$  :** Elle est la plus rare, formée de chaînes parallèles et antiparallèle. Elle est flexible et résistante, retrouvée dans les cocons des insectes et la paroi intestinale des calmars (**Mansoura, K, 2007**).

**d. Biodégradabilité :** La chitine est biodégradable et non toxique, elle est hydrolysée progressivement par des glycosidases, comme des lysozymes et des chitinases (**Suyatma, N, 2006**). Sa dégradation est une hydrolyse des chaînes glycosidiques reliant les oligomères N-acétyl glucosamine, et cela favorise la formation de monomères nécessaires à la chaîne alimentaire (**Mansoura, K, 2007**).

### **I. 3. Chitosane : Source et structure**

Le chitosane, est un copolymère linéaire  $\beta$  (1-4) de N-acétyl D-glucosamines et de D-glucosamines. Il se trouve plus rarement dans la nature : il n'est présent que dans la paroi d'une

classe particulière de champignons, les zygomycètes, et chez quelques insectes (Poirier, M, 1999). La chitine est ainsi la source la plus intéressante du chitosane.

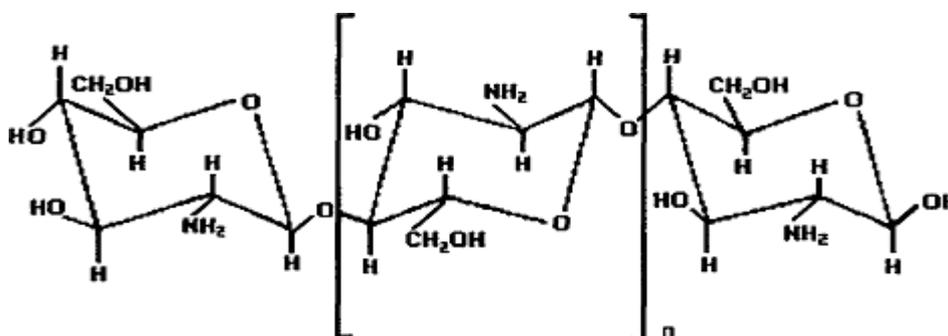


Figure I-3 : Structure chimique du chitosane (poirier, M,1999).

### I. 3. 1. Préparation du Chitosane

Ainsi, il est nécessaire de bien choisir le traitement pour désacétyler le polymère d'origine, à savoir la chitine, afin de minimiser au maximum la dégradation de la chaîne du polysaccharide tout en obtenant une désacétylation régulière le long des chaînes des polymères.

Le chitosane et la chitine sont tous les deux des copolymères de même structure chimique globale et ne se distinguent que par la proportion relative des unités N-acétyl glucosamine et glucosamine les constituant, c'est à dire leur degré d'acétylation. Ce paramètre influe sur toutes leurs propriétés physico-chimiques (masse moléculaire en poids, viscosité, solubilité...) et apparaît donc comme le plus important. Plusieurs techniques ont été testées pour tenter de déterminer le degré de désacétylation avec une plus grande précision.

La technique qui semble la plus adaptée pour une caractérisation rapide est la spectroscopie infrarouge. Elle permet en outre de travailler sur des échantillons solides, les résultats étant toutefois plus précis avec des films.

### I. 3. 2. Caractérisation du chitosane

#### *a. Degré de désacétylation (DD)*

Le chitosane et la chitine sont tous deux des copolymères de même structure chimique globale qui ne se distinguent que par la proportion molaire relative des unités N – acétyl glucosamine et glucosamine qui les constituent, c'est leur degré d'acétylation (**Mékahlia, S, 2007**).

Le degré de N-désacétylation (DD) est le pourcentage molaire d'élimination des groupements N-acétyl, en général, le degré de désacétylation de la chitine doit être au moins de 50% pour que l'on considère que l'on ait du chitosane. Ce paramètre (DD) influe sur toutes leurs propriétés physico – chimiques (masse moléculaire en poids, viscosité, solubilité...) et apparaît donc comme le plus important. Le degré de désacétylation peut être augmenté en utilisant des additifs ou en opérant sous azote ou argon (**Mékahlia, S, 2007**).

La détermination du DD est devenue l'une des analyses de routine lors de l'extraction de la chitine et la préparation du chitosane. Plusieurs méthodes ont été proposées tel que le titrage potentiométrique (ou volumétrique), la spectrométrie infrarouge (IR), la spectrophotométrie ultraviolet -visible (UV-VIS), l'analyse élémentaire, et la résonance magnétique nucléaire (RMN).

La méthode qui est considérée comme étant la plus précises est la RMN du proton (**Mékahlia, S, 2007**). La technique qui semble la plus adaptée pour une caractérisation rapide est la spectroscopie infrarouge. Elle permet en outre de travailler sur des échantillons solides, les résultats étant toutefois plus précis avec des films.

#### *b. Viscosité*

Pour connaître la viscosité, il existe différentes méthodes. La plus employée étant la viscosimétrie qui nécessite de connaître les paramètres K et a de la relation de Mark-Houwink et Sakurada :

$$[\eta] = K.M^a \quad (1)$$

Les méthodes permettant la mesure de la viscosité du chitosane présentent certains problèmes. En effet, la présence possible de microgels ou d'agrégats favorisés par les liaisons hydrogène,

## *Chapitre I : Chitine Et Chitosane*

---

l'influence du vieillissement des solutions et des effets électrostatiques (dus aux charges des groupes amines amine protonée) induisent des erreurs. Dans le cas de la viscosimétrie, elles sont attribuées à des variations de la force ionique. Selon les solvants, K et a ont différentes valeurs et on se réfère en général à la loi de Roberts pour laquelle les valeurs des constantes et a sont les suivantes :

$$K = 1,81.10^{-3} \text{ (ml.g}^{-1}\text{)} \text{ et } a = 0,93$$

La viscosité du chitosane dépend de :

- Son degré d'acétylation : plus il est désacétylé, plus il y a de groupements amine libre, plus le chitosane est soluble et plus sa viscosité est importante ;
- Sa concentration : la viscosité augmente en fonction de la concentration ;
- La température : comme pour les autres polysaccharides, la viscosité chute lorsque la température augmente ;
- Le pH : plus il est bas plus la viscosité est forte.

### **c. poids moléculaire**

Les distributions en poids moléculaire d'un échantillon peuvent être déterminées par HPLC. La détermination de la masse molaire nécessite la mise en solution du polymère.

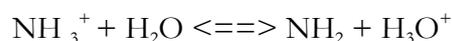
La masse molaire moyenne en poids peut être déterminée par diffusion de la lumière, mais la viscosimétrie demeure une méthode simple et rapide pour connaître le poids moléculaire **(Onesippe, C, 2005)**.

En utilisant la formule **(1)** ;  $[\eta] = K M^a$ , dans une solution d'acide acétique à 0,2 M et d'acétate de sodium à 0,3 M on peut déterminer le poids moléculaire **(Mansoura, K, 2007)**.

### **d. Solubilité**

Le chitosane sous forme amine libre est insoluble dans l'eau, les acides concentrés, les bases et les solvants organiques. Ce sont ses propriétés acido-basiques qui permettent une dissolution facile.

En effet, il est soluble dans les acides dilués grâce à la protonisation de ses groupes amine suivant l'équilibre :



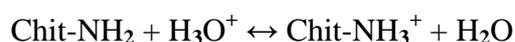
Comme pour tout polyélectrolyte, le pKa du chitosane dépend plus particulièrement du degré de neutralisation des groupes  $\text{NH}_3^+$  auquel il est déterminé.

La viscosité du chitosane augmente avec le degré de déacétylation (plus il est désacétylé, plus il y a de groupements amine libres, plus le chitosane est soluble et visqueux. Elle dépende aussi de la température, elle est proportionnelle avec la concentration du chitosane et inversement proportionnelle avec le pH du milieu (Mékahlia, S, 2007).

### I. 3. 3. Propriétés physico-chimique

#### *a. Pouvoir flocculant*

En solution dans un acide dilué, le chitosane se comporte comme un polyélectrolyte cationique de forte densité de charge en raison de la protonation des groupements  $-\text{NH}_2$ . On a alors l'équilibre de réaction suivant :



Le chitosane est considéré comme une polyamine et ses propriétés dépendent fortement du pH du milieu et de la présence ou non de sel; en l'absence de sel, le  $\text{pK}_0$  (pKa intrinsèque) de la fonction amine dans ce polymère est de 6.5, ce qui signifie qu'en dessous de ce pH, le chitosane est cationique et soluble.

Le polymère peut alors s'associer sélectivement avec des espèces anioniques et être ainsi un excellent agent de floculation et former des complexes polyanion – polycation (Mékahlia, S, 2007).

#### *b. Pouvoir chélatant*

Au - delà d'un pH de 6,5 environ, le chitosane précipite et la chaîne macromoléculaire ne comporte plus de groupements ionisés. Il possède alors de bonnes propriétés chélatantes dues, en particulier, au doublet électronique libre de l'atome d'azote.

Une caractéristique générale des polysaccharides est la flexibilité limitée de la chaîne macromoléculaire due à l'empêchement stérique imposé par les liaisons glycosidiques. En particulier pour les polysaccharides ioniques, ce problème devient crucial car l'apparition d'interactions électrostatiques répulsives augmente nettement leur rigidité.

En dessous d'une valeur de 20%, le degré de désacétylation n'a que peu d'importance sur la rigidité de la chaîne et au-delà de 25%, celle-ci augmente. La présence d'interactions liées aux liaisons hydrogène et d'interactions hydrophobes (liées à la présence des groupements acétyle) conduit à ce que les solutions de chitosane, dans des conditions particulières de DA et de concentration du polymère, présentent un comportement de type gel (Mékahlia, S, 2007).

### *c. Biodégradable*

Le chitosane nous offre l'avantage d'être biodégradable par les microorganismes possédant des enzymes qu'on appelle chitosanase. La réaction de désacétylation est responsable de la réduction du poids moléculaire du chitosane par hydrolyse des chaînes glycosidiques [(Mansoura, K, 2007), (Mékahlia, S, 2007)].

### **I. 3. 4. Application de la chitine et du chitosane**

La nature  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) des liaisons glycosidiques confère à la chitine et au chitosane des propriétés filmogènes. Compte tenu de sa structure chimique, le chitosane présente l'avantage, contrairement à la majorité des polysaccharides, de posséder un caractère polycationique dû aux groupements amine qui en solution et en milieu acide sont chargés. De ce fait, les molécules chargées négativement peuvent interagir avec la chaîne macromoléculaire du chitosane.

Ainsi le chitosane trouve des applications importantes dans plusieurs domaines (agriculture, santé...) en mettant à profit ses diverses propriétés spécifiques. C'est ainsi que son utilisation dans les secteurs économiquement porteurs comme les industries alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques ou agricoles, a fait l'objet de nombreux brevets (Onesippe, C, 2005). Plusieurs applications sont citées dans le tableau n° 2 :

## *Chapitre I : Chitine Et Chitosane*

*Tableau n° 1 : Les différentes applications de la chitine et du chitosane (Poirier, M, 1999).*

Polymère	Chitine	Chitosane
Application	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fabrication de peau artificielle</li> <li>✓ Fibre pour sutures biodégradables</li> <li>✓ Supplément alimentaire (favorise l'absorption de protéines)</li> <li>✓ Substrat pour l'immobilisation de cellules microbiennes ou d'enzymes</li> <li>✓ Membranes pour la dialyse</li> <li>✓ Fongicide</li> <li>✓ Fertilisant</li> <li>✓ Contrôleur de mobilité de pesticides</li> <li>✓ Fabrication de papier</li> <li>✓ Fibre fortifiante pour la fabrication de papier</li> <li>✓ Fibre textile (augmente l'affinité des tissus pour certains pigments)</li> <li>✓ Fabrication de vibreur pour enceinte acoustiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Support pour la libération contrôlée de médicaments</li> <li>✓ Supplément alimentaire (favorise l'absorption de protéines)</li> <li>✓ Agent hypocholestérolémiant</li> <li>✓ Agent hémostatique (favorise la coagulation)</li> <li>✓ Fibre textile</li> <li>✓ Fongicide et bactéricide pour la conservation alimentaire et l'enrobage de semences</li> <li>✓ Agent clarifiant</li> <li>✓ Substrat pour l'immobilisation de cellules microbiennes ou fertilisant</li> <li>✓ Agent flocculant pour le traitement des eaux</li> <li>✓ Fabrication de lentilles cornéennes</li> <li>✓ Ingrédient pour produits capillaires et dermatologiques</li> <li>✓ Guide d'ondes optiques</li> </ul>

### **Conclusion**

L'intérêt principal du chitosane réside de sa nature cationique dans les solutions d'acides dilués, ce qui lui offre des propriétés uniques par rapport aux autres polysaccharides qui sont habituellement neutres ou négativement chargés.

## *Chapitre I : Chitine Et Chitosane*

---

En plus de sa charge positive, sa non-toxicité, biocompatibilité et biodégradabilité, le chitosane est un produit de viscosité différente et facilement modifiable chimiquement (**Mékahlia, S, 2007**).

L'étude de ses caractéristiques nous mène à mieux exploiter et optimiser ses capacités dans le domaine des traitements des boues et plus précisément, le conditionnement.

Le prochain chapitre concernera une rappelle sur les boues et leurs traitements.

## *Chapitre II : Traitement des boues*

## **Chapitre II : Traitement des boues**

---

### **Introduction**

La plupart des procédés de traitement utilisés normalement dans la maîtrise de la pollution de l'eau produisent des boues. Elles proviennent d'un procédé de séparation solide- liquide (décantation, flottation, etc.) ou résultent d'une réaction chimique (coagulation) ou biologique. Ces matières subiront dans la filière de traitement un épaissement, une déshydratation et une évacuation finale **(Eckenfelder, Vandevenne, L)**.

### **II.1. Origines des boues**

Les éléments polluants et leurs produits de transformation, retirés de l'eau usée au cours du traitement d'épuration, se trouvent rassemblés, dans la grande majorité des cas, dans des suspensions, plus ou moins concentrées, dénommées « boues » **(Boeglin, J, Technique de l'ingénieur)**.

On distingue :

- ✓ Les boues primaires provenant du traitement de l'effluent par décantation et que l'on appelle également « boues fraîches »,
- ✓ Les boues secondaires issues des traitements biologiques,
- ✓ Les boues chimiques provenant d'une décantation après un traitement chimique **(Eckenfelder, Vandevenne, L)**.

Le caractère commun à toutes ces boues est de constituer un déchet volumineux liquide (contenant entre 90 et 95% d'eau). C'est un véritable « concentré » de pollution et, plus particulièrement, de pollutions organiques fermentescibles. Les boues peuvent renfermer des substances toxiques génératrices de nuisances. Leur composition dépend à la fois de la nature de la pollution initiale de l'eau et des procédés de traitement auxquels elle a été soumise dans la station d'épuration. De ce fait, elles doivent être traitées avant d'être recyclées ou replacées dans le milieu naturel **(Boeglin, J, Technique de l'ingénieur)**.

Le choix de la filière de traitement est fonction de la nature, de la composition et de la traitabilité des boues, d'où la nécessité de l'analyse des boues. Cette dernière est d'extrême diversité et d'hétérogénéité de leur composition en fonction de leur origine **(Boeglin, J, Technique de l'ingénieur)**.

## **Chapitre II : Traitement des boues**

---

### **II.2. Caractérisation et Classification des boues**

La caractérisation d'une boue est fondamentale pour le choix de la méthode de traitement qui lui est applicable, ainsi que pour la prévision des performances des appareils à employer.

#### **Caractéristiques physico-chimiques**

##### **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. Rapporté à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité.

Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement. Pour un traitement purement physique, sans dégradation et en faisant abstraction des matières dissoutes, il est invariant au rendement de capture près (quotient du flux de matière sèche sortant, concentré, sur le flux de matière sèche entrant, dilué), la tonne de matière sèche **tMS** est donc une unité couramment employée (**Guibelin, Technique de l'ingénieur, G1450**).

##### **Matières en suspension MES**

Si les MS sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées (surverses, filtrats, concentrats...) où la procédure de mesure des MES par filtration sur membrane est plus appropriée.

Afin d'écrire un bilan matière rigoureux soit en MS, soit en MES sur une opération de séparation de phase (qui ne sépare que les MES), on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante : (**Guibelin, Technique de l'ingénieur, G1450**).

$$\text{MES} = \text{MS} - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}] \quad (2)$$

##### **Fraction volatile FV (en % des MS)**

C'est le rapport des matières volatiles MV (en g/L) sur les matières sèches MS (en g/L). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...). Plus elle est faible, meilleure est l'aptitude de la boue à épaissir ou à se déshydrater, mais moins bonne est son exothermicité en incinération. En première approximation, on

## **Chapitre II : Traitement des boues**

---

considère que MV (matière volatile) = MO (matière organique), les MV étant classiquement appréciées par perte au feu à 550 °C (**Guibelin, Technique de l'ingénieur, G1450**).

### **Indice de boue SVI (Sludge Volume Index)**

Il caractérise l'aptitude à la décantation, et donc ultérieurement à l'épaississement puis à la déshydratation d'une boue issue d'un traitement biologique. Il est à relier indirectement aux MS et MV. Plus il est faible, meilleure est l'aptitude de la boue à épaissir (**Guibelin, Technique de l'ingénieur, G1450**).

### **Aptitude à la déshydratation**

#### **Temps de succion capillaire TSC**

Il renseigne sur la capacité d'une boue à se déshydrater. Ce critère n'a cependant rien d'absolu même si on le relie facilement à la résistance spécifique pour une boue donnée. Sa facilité et sa rapidité de mise en œuvre permettent cependant un test rapide de dosage de polymère dans les opérations d'épaississement mécanique et de déshydratation. Une boue non conditionnée donne un TSC de quelques centaines de secondes, temps réduit à quelques secondes après conditionnement (**Guibelin, Technique de l'ingénieur, G1450**).

#### **Résistance spécifique Rs**

C'est un critère fiable de dimensionnement d'un filtre presse établi à partir de la loi de Kozeny. On réalise généralement au laboratoire trois résistances spécifiques (0.5, 2 et 5 bar) permettant de connaître en suite l'indice de compressibilité  $I_c$  et d'optimiser ainsi le couple (pression sur le filtre – durée de la filtration) représentant un compromis entre énergie et temps.  $R_s$  n'est cependant d'aucune utilité pour prédire les performances d'une centrifugation (**Guibelin, Technique de l'ingénieur, G1450**).

Le tableau ci-après propose d'une part une classification des différentes boues en fonction de leur origine, d'une autre part, et de leur teneur en matière colloïdale hydrophile, qui joue un grand rôle dans leur comportement au cours de la déshydratation, d'autre part (**Degrément, 1978, 8<sup>e</sup> Edition**).

## Chapitre II : Traitement des boues

**Tableau n° 2 : Classification des boues (Degrément, 1978, 8° Edition).**

Caractéristiques principales de la boue Organique hydrophile	Origine-Industrie	Traitement d'eau Prétraitement de la boue	Eléments de composition de la boue
	<p>-Stations d'épuration d'eaux résiduaires urbaines (E.R.U)</p>	<p>-Décantation primaire (primaire fraîche)</p> <p>Décantation primaire + digestion anaérobie (primaire digérée)</p> <p>Décantation primaire + biologique (primaire + secondaire activée fraîche)</p> <p>Décantation primaire + biologique + digestion anaérobie (primaire. activée digérée. anaérobie)</p> <p>Aération prolongée et stabilisation aérobie.</p> <p>Physico-chimique (floculation- décantation)</p>	<p>Matières organiques prédominantes :</p> <p>M.O/M.S : 30 à 90 %</p> <p>-Matières protéiniques souvent très fermentescibles :</p> <p>-Déchets végétaux ou animaux.</p> <p>-Huiles et graisses animales et parois minérales.</p> <p>-Hydroxydes hydrophiles (Al, Fe) en traitement physico-chimique.</p> <p>-Hydrocarbures (pétrochimie).</p>
	<p>-E.R.Industries agricultures et alimentaires :</p> <p>Brasseries, Abattoirs, transformation de la pomme de terre, laiteries, conserveries, élevage (lisier de porcherie).</p> <p>-E.R.Industries textiles et chimie organique (dont petrochimie)</p>	<p>-Décantation biologique dont : aération prolongée stabilisation aérobie ou digestion anaérobie.</p> <p>-Physico-chimique (floculation-décantation).</p> <p>-Biologique.</p>	

## Chapitre II : Traitement des boues

	-Tout traitement biologique de finition.		
Huileuse hydrophile	-E.R.Raffineries  -E.R.Ateliers mécaniques (huiles solubles)  -E.R.Laminage à froid métallurgie	-Déshuilage  -Floculation-décantation/ Flottation  -Biologique raffinerie	-Huiles et graisses minérales  -Hydrocarbures  -Hydroxydes (AL/Fe)  -M.O Biologiques (Eventuellement).
Huileuse hydrophobe	E.R de Laminaires sidérurgiques.	Décantation	-M.S. Dense et bien décantable (battitures, oxydes Fe)  -Huiles et graisses minérales en forte teneur.
Minérale hydrophile	-Eau potable et appoint industriel (Eaux de rivière ou forage) :  Clarification, décarbonatation partielle, éluats de déminéralisation.  -E.R. de traitement de surfaces de métaux :  Décapage, anodisation, galvanoplastie, peinture.	-Physico-chimique (floculation décantation). Neutralisation (Eluats).  -Neutralisation + floculation décantation.  Détoxification (Cyanure $Cr^{6+}$ )  + floculation décantation  - biologique éventuel	Prédominance d'hydroxydes métalliques hydrophiles (Al, Fe, Cr...) + matières organiques (<30 % sur M.S) + $CaCO_3$ (Décarbonatation) ou $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (Neutralisation. $H_2SO_4$ )  -Minéral + Organique  -Graisse animale et matières organiques

## **Chapitre II : Traitement des boues**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>-E.R.I. chimie minérale</li> <li>- E.R.I. colorants teintureriers</li> <li>-E.R. Tannerie.</li> <li>-Traitement final global E.R.I pour recyclage.</li> </ul>	- Filtration	
Minérale hydrophobe	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Appoint industriel-décarbonatation (Eaux de rivière ou de forage)</li> <li>-Sidérurgie, Acierie, Fonderie, Lavage de gaz.</li> <li>-Lavoir à charbon</li> <li>-Incinération ordures</li> <li>Lavage de gaz de fumées.</li> </ul>	Neutralisation-Floculation-Décantation.	Matières minérales denses  Faible teneur d'hydroxydes hydrophiles (Fe, Al, Mg < 5 % sur M.S)
Fibreuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>-E.R. Papeterie</li> <li>-E.R. Pate à papier</li> <li>-E.R. Cartonnerie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Décantation/ Flottation (Récupération de fibres)</li> <li>-Floculation-Décantation</li> <li>-Biologie (éventuel)</li> </ul>	Fibres cellulosiques + éventuellement sciure, copeaux + hydroxydes hydrophiles (teneur plus ou moins importante) + matière organique biologique éventuellement

E.R.I : Eaux Résiduaires Industrielles ; M.O : Matières Organiques ; M.S : Matières Sèches

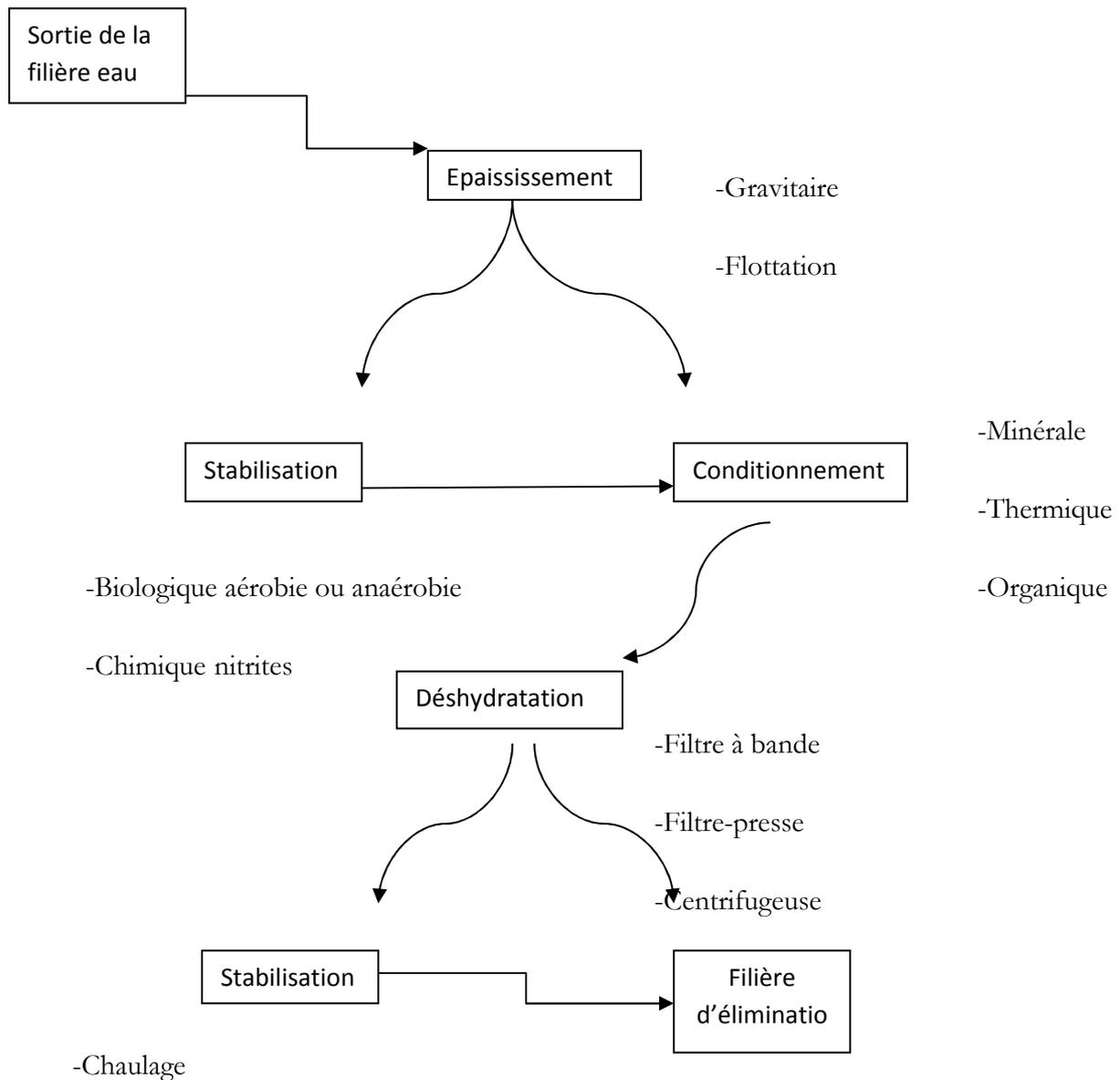
E.R.U : Eaux Résiduaires Urbaines ; E.R : Eaux Résiduaires.

### **II.3. Le traitement des boues urbaines**

Les boues d'épuration sont le résultat inévitable du processus d'élimination des matières polluantes contenues dans l'eau usée. Elles sont constituées de tous les éléments extraits des eaux usées. Ces éléments polluants, qui peuvent être de nature très variées selon les étapes de traitement pratiquées, sont ensuite traités ensemble dans une filière spécifique.

## Chapitre II : Traitement des boues

Les objectifs principaux d'une filière boue sont la réduction des volumes et des nuisances. Le passage en revue des différentes étapes susceptibles de composer la filière boue va nous permettre de mieux cerner le matériau qui nous intéresse. La figure II-5 résume le principe général d'une filière boue, avec toutes les étapes possibles.



**Figure II-4 :** Représentation schématique d'une filière de traitement des boues (Degrément, 1989, Tome 2).

## **Chapitre II : Traitement des boues**

---

### **II.3.1. Traitement d'épaississement et concentration**

C'est la première étape du traitement. A l'entrée de la filière, la boue étant extrêmement liquide, pour réduire les volumes à traiter, on élimine l'eau libre. L'épaississement est avantageux pour les raisons suivantes :

- Il améliore le rendement de digestion si celle-ci est prévue et en réduit le coût 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.) **(Eckenfelder, Vandevenne, L).**

L'épaississement peut être statique, gravitaire ou dynamique par flottation, selon le type de boue à traiter. Ainsi, pour une boue activée, on préfère l'épaississement dynamique par flottation car les particules en suspension sont de gros diamètres et de faibles densités. Par contre, pour les boues primaires, l'épaississement gravitaire permet de concentrer la boue de deux à huit fois, en l'amenant de quelques grammes par litre à 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 où l'eau est éliminée.

#### **a. 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 **(Boeglin, J, Technique de l'ingénieur)**. 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 **(Degrément, 1989, Tome 2)**.

Jusqu'à 5 m de diamètre, on peut utiliser le type statique, simple cuve cylindrique à fond conique (45 à 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'où elles sont extraites ;

## **Chapitre II : Traitement des boues**

---

- ✓ Permettre le dégagement de l'eau interstitielle et des gaz occlus 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 entraînement central avec double bras diamétral. Ce système est constitué d'une série de racleurs montés « en jalousie » afin d'éviter le blocage de la boue au cours de son transfert vers la fosse centrale d'extraction.

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 (**Boeglin, J, Technique de l'ingénieur**).

### **b. Epaissement par flottation**

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

Dans l'épaissement 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 (**Eckenfelder, Vandevenne, L**).

### **c. Epaissement par centrifugation**

L'épaissement 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 m<sup>3</sup> de boue (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### d. Epaissement 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 qui allie à la fois simplicité d'emploi et fiabilité reste la grille GDE. Cet appareil, est placé d'une façon continue directement au refoulement de la pompe d'alimentation en boues fraîches. La boue, préalablement floculée, est épandue sur un champ horizontal de grilles fines, raclée en permanence par des lames en caoutchouc.

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

- ✓ Soutirage directe de la boue en excès peu concentrées 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 coût de transport des boues (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### e.5. Epaissement par Elutriation

L'Elutriation consiste en un lavage de la boue par de l'eau claire, de façon à améliorer les caractéristiques physiques ou chimiques de la suspension boueuse :

- Elimination des matières colloïdales et fines ;
- Réduction de l'alcalinité (boue digérée anaérobie urbaine)

L'élimination des matières fines a pour effet d'accélérer l'épaississement de la boue et d'accroître la production des systèmes d'essorage mécanique (filtre sous vide, filtre presse, centrifugeuse).

La réduction de l'alcalinité permet de réduire la consommation des réactifs de conditionnement de la boue, tels que chlorure ferrique et chaux, particulièrement en cas de filtration sous vide et filtration sous pression.

## Chapitre II : Traitement des boues

---

Dans le cas de boues très fermentescibles, l'élutriation au moyen d'eau épurée bien aérée réduit également les risques de fermentation septique (**Degrément, 1978, 8<sup>e</sup> Edition**).

### II.3.2. Traitement de stabilisation

La stabilisation consiste à réduire la quantité de matières organiques pour limiter les risques de fermentation et donc d'odeurs nauséabondes. Une stabilisation n'est évidemment mise en œuvre que sur des boues dont la teneur en matières rapidement biodégradables est importante, c'est-à-dire :

- ✓ Boues de simple décantation d'eaux résiduaires urbaines, ou « boues primaires » ;
- ✓ Boues de traitement biologique aérobie à moyenne et forte charge (boues activées en excès, boues de lits bactérien, boues provenant du lavage de biofiltres à lit granulaire), appelées souvent « boues biologiques » ;
- ✓ Mélange des deux types de boues précédents « boues mixtes » (**Degrément, 1989, Tome 2**).

La stabilisation s'appuie sur des processus microbiens, qui se produisent naturellement et que l'on peut retrouver au cours du stockage

#### a. Stabilisation ou digestion aérobie

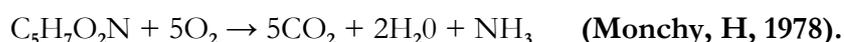
C'est une transformation de la matière organique par oxydation en milieu aérobie, avec dégagement de chaleur et production de dioxyde de carbone. Ce procédé consiste à aérer les boues pendant une période prolongée, au cours de laquelle les microorganismes aérobies, placés en phase de respiration endogène, dégradent les matières organiques libres ou stockées dans la masse bactérienne. La disparition de la masse active suit une loi exponentielle :

$$M = M_0 \exp^{(-bt)} \quad (3)$$

Avec  $b \approx 0,18$  si  $t$  est exprimée en jours (**Boeglin, J, Technique de l'ingénieur**).

Comme tout processus biologique, la stabilisation est fortement influencée par la température.

Le mécanisme de respiration endogène est schématisé dans cette réaction :



La durée d'aération des boues est au minimum de 10 jours à 20 C° et 14 jours à 12 C°.

## Chapitre II : Traitement des boues

---

### b. Digestion anaérobie

La stabilisation anaérobie des boues permet de fermenter une partie des matières organiques en dioxyde de carbone et méthane (65 à 70 % de CH<sub>4</sub> et 25 à 30 % de CO<sub>2</sub>) (**Degrément, 1989, Tome 2**), avec une production relativement faible de biomasse cellulaire. Le processus implique plusieurs populations microbiennes distinctes qui sont continuellement en interactions, et dont la majorité ne produit pas directement du méthane. La stabilisation dépend principalement de deux facteurs :

- ✓ La température ;
- ✓ Le temps de séjour.

A la mise en service d'un digesteur, la fermentation a d'abord une tendance acide : le pH tombe entre 6,5 et 5,5 ; les gaz dégagés dans cette étape sont en majorité le gaz carbonique et l'hydrogène ; la boue extraite au cours de cette période a une couleur jaunâtre ou grise et répand des odeurs nauséabondes (**Eckenfelder, Vandevenne, L**).

La seconde phase est une digestion basique qui débute d'autant plus vite que la température est plus élevée ; le pH remonte entre 6.8 et 7.3 ; le dégagement gazeux est constitué par de l'azote, du gaz carbonique et surtout du méthane. La majeure partie de la boue s'alourdit et descend au fond du digesteur ; cette boue est homogène, épaisse tout en étant fluide, de couleur noir, sans odeur ou ayant une légère odeur de goudron (**Eckenfelder, Vandevenne, L**).

Le rendement d'un digesteur est caractérisé par le pourcentage de réduction des matières volatiles contenues dans la boue (**Eckenfelder, Vandevenne, L, Boeglin, J, Technique de l'ingénieur**).

### c. Stabilisation chimique

Elle est obtenue par adjonction massive de chaux aux boues. L'élévation de pH a pour effet de bloquer les fermentations et d'éviter ainsi le dégagement de mauvaises odeurs. On procède généralement à l'adjonction de chaux éteinte (sous forme de lait de chaux) soit en amont d'un épaisseur de boues pour y stopper les fermentations, soit sur les boues liquides épaissies avant valorisation agricole. Même avec des fortes doses de chaux allant jusqu'à 30 % en masse de la matière sèche, il ne s'agit en réalité que d'une stabilisation temporaire, qui n'autorise pas un stockage de longue durée (**Degrément, 1989, Tome 2**).

## **Chapitre II : Traitement des boues**

---

### **d. Pasteurisation**

La pasteurisation n'est pas, à vrais dire, un procédé de stabilisation. Elle a pour but d'obtenir une aseptisation de la boue. Un critère de pasteurisation est l'absence d'entérobactéries sur un échantillon de 10 grammes. Il est sûrement atteint si toutes les particules de suspension boueuse sont maintenues à 70 °C pendant 30 min. La boue est refroidie par la suite (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **II.4. Conditionnement et déshydratation**

Le conditionnement des boues est la disposition d'une énergie de floculation. Cette dernière modifie les forces de cohésion interne de la boue, casse la stabilité colloïdale et augmente artificiellement la taille des particules. Ce processus permet de maîtriser le départ de l'eau libre et favoriser celui de l'eau d'adhésion et capillaire (**Degrément, 1978, 8<sup>o</sup> Edition**).

### **II.5. Destinations finales des boues**

#### **Epannage :**

La décharge sur terrain des boues humides peut être effectuée de plusieurs manières : Par lagunage ou épandage de boues liquides sur terrain par un système d'aspersion ou par des canalisations jusqu'à des terrains agricoles ou vers des lagunes (**Eckenfelder, Vandevenne, L**).

#### **Conclusion :**

La maîtrise du traitement des boues reste très difficile, à cause des interférence des différentes pollutions qui la constituent, pour cela un savoir des traitements physico chimiques et biologiques est obligatoire.

Nous avons vu dans ce chapitre la caractérisation de la boue, et les techniques de traitement des boues du traitement primaire de décantation ou épaissement jusqu'au dernier maillon qui est l'incinération, le compostage ou la valorisation en passant par le conditionnement et la déshydratation.

Dans le chapitre suivant nous détaillons le conditionnement des boues qui est leur introduction vers la déshydratation.

## *Chapitre III : Conditionnement et déshydratation des boues*

### **Introduction**

Pour rendre exploitables les différents équipements de déshydratation, il faut procéder à la floculation de la boue 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 synthèse). Parmi les différents procédés utilisés, le conditionnement thermique est, de loin, le plus efficace pour diminuer l'hydrophilie particulaire (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **L'eau dans les boues**

Les boues résiduaires, 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 (**Baudez, J, 2001**).

### **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. **Smollen, (1988)**, 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 (**Baudez, J, 2001**).

### **L'eau interstitielle**

C'est l'eau prisonnière des enchevêtrements des polymères ou enfermée dans les pores des floes suite à l'agglomération des particules, (**Laubenberger et Hartmann, 1971**). Elle serait libérée par déstructuration du floe. 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, **Wuart 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 (**Baudez, J, 2001**).

### **L'eau vicinale**

Cette fraction est liée à la surface des particules solides par des liaisons hydrogènes fortes, (**Deschamps et al., 1971**). 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 (**Baudez, J, 2001**).

### **L'eau d'hydratation**

C'est la fraction d'eau chimiquement liée aux particules, (**Forster, 1972**). Par exemple, l'eau d'hydratation est l'eau qui forme la chaux éteinte  $[Ca(OH)_2]$  à partir de chaux vive  $[CaO]$ . Elle ne peut être éliminée que par des dépenses très importantes d'énergie thermique (**Baudez, J, 2001**).

### **III.1. Conditionnement chimique**

Le conditionnement chimique consiste en une floculation de la boue permettant de casser la stabilité colloïdale et d'augmenter artificiellement la taille des particules. Le conditionnement rend donc exploitable les différents équipements de déshydratation. 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 synthèse. La floculation qui fait appel à des électrolytes minéraux (sels métalliques et chaux notamment) réduit l'hydrophilie particulière. La mise en oeuvre des polyélectrolytes ne provoque, quant 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 floccs formés : grenus avec les réactifs minéraux et volumineux avec les polyélectrolytes.

Si l'on considère un volume de 1m<sup>3</sup> de boues initialement à 5% de matières sèches, les 950 litres d'eau se partagent comme suit, (**Gas et Pescher, 1998**) :

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

- 100 litres d'eau adsorbée.

Maîtriser 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 %. De telles performances sont atteintes en modifiant les interactions électrostatiques entre les constituants des floccs et l'eau environnante.

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, (**Mémento Technique de l'Eau, 1989**). En fonction du réactif employé, pour une même boue, les siccités obtenues avec un même appareil diffèrent (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **III.1. 1. Réactifs minéraux**

Ils sont mieux adaptés si l'on veut procéder à une déshydratation par filtres-presses ou filtres sous vide possédant des mailles fines généralement inférieures à 100-200  $\mu\text{m}$ . Ces réactifs minéraux conduisent, en effet, à la formation de floccs fins mais mécaniquement stables.

Pour des raisons d'économie et d'efficacité, on emploie le plus souvent des sels métalliques tels que les sels de fer et, à un degré moindre, les sels d'aluminium. Sur les boues organiques, l'ion  $\text{Fe}^{3+}$  est de loin le plus efficace et le plus utilisé. Le choix entre  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{FeSO}_4\text{Cl}$  est généralement d'ordre économique. L'action de ces électrolytes est double (**Degrément, 1989, Tome 2**).

- **action coagulante** : leur charge est souvent opposée à celle des particules boueuses,
- **action floculante** : formation d'hydroxydes complexes hydratés qui jouent le rôle d'un polymère minéral.

Afin d'améliorer la filtrabilité, il est intéressant d'introduire de la chaux après l'électrolyte, et ceci pour plusieurs raisons :

- augmentation du pH ( $> 10$ ), ce qui correspond à un pH de floculation correct,
- diminution du taux d'eau liée, c'est-à-dire qu'on obtient un gâteau plus sec et plus consistant,
- précipitation d'un certain nombre de sels de calcium favorables à la filtration,
- apport d'une charge minérale dense (déstabilisation de la structure colloïdale).

Avec les boues organiques, le double dosage sel de fer/chaux est d'ailleurs souvent obligatoire. En revanche, avec les boues d'hydroxydes hydrophiles, une simple addition de chaux suffit généralement à améliorer la filtrabilité de la boue.

### *a. Doses de réactifs minéraux à employer*

Elles dépendent bien sûr de la nature des boues à filtrer, mais également de l'efficacité désirée. Pour l'exploitation correcte des filtres, les surdosages sont inutiles, n'améliorant que peu les résultats. Mais, il est nécessaire de respecter un dosage minimal pour obtenir une filtrabilité suffisante. Pour cela, on peut déterminer par des essais simples de laboratoire les doses correctes nécessaires.

### *b. Mise en oeuvre des réactifs minéraux*

Un excellent mélange des réactifs avec la boue doit être recherché. Un apport d'eau de dilution (pour la solution concentrée de  $\text{FeCl}_3$ ) et l'utilisation d'un lait de chaux à 50-80 g/l facilitent la diffusion des réactifs dans toute la masse.

La floculation des boues s'effectue dans des bacs agités en série (le premier pour le sel métallique, le deuxième pour la chaux). Les temps de séjour sont de l'ordre de 5 à 10 minutes, ce qui est suffisant pour le grossissement du floc. Un temps supplémentaire de mûrissement du floc est souvent profitable, mais une agitation prolongée et trop forte peut, dans certains cas, détériorer la filtrabilité de la boue épaissie.

Un stockage prolongé avant filtration peut également avoir cet effet défavorable. En outre, le transfert de la boue floculée ne doit pas provoquer la destruction du floc. On doit donc éviter la pompe centrifuge (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **III.1. 2. Polyélectrolytes**

On utilise très peu les polymères naturels (amidons, polysaccharides, alginates, ...) dans l'épaississement des boues, du fait de la floculation médiocre obtenue. En revanche, les polyélectrolytes (polymères de synthèse) sont beaucoup plus efficaces. Ils forment des floccs volumineux (plusieurs millimètres), bien différenciés dans une eau interstitielle clarifiée. Les polyélectrolytes ont pour effet :

- ❖ une floculation très marquée, par formation de ponts entre particules, grâce aux longues chaînes ramifiées. Cette floculation est renforcée par une action coagulante dans le cas de polymères cationiques.
- ❖ une très forte diminution de la résistance spécifique de la boue, l'eau libre interstitielle libérée étant très rapidement drainable. En revanche, les floccs, souvent spongieux et assez hydrophiles, entraînent dans la plupart des cas une augmentation du facteur de compressibilité de la boue.

Un nombre important de polyélectrolytes est à disposition, et il faut généralement faire appel à des tests simples de floculation, de drainage et de pressage, en laboratoire puis industriels, pour choisir le produit le mieux adapté. Il y a le choix entre plusieurs types de polyélectrolytes, suivant les boues épaissies que l'on veut obtenir :

- ❖ ***Les polyélectrolytes cationiques*** : sont surtout efficaces pour le conditionnement de boues à teneur élevée en matières organiques colloïdales ou à teneur élevée en fibres cellulosiques. Les doses utilisées sont de l'ordre de 1 à 10 kg/tonne de matières en suspension.
- ❖ ***Les polyélectrolytes anioniques*** : trouvent une large application dans les suspensions boueuses à caractères minéral prépondérant (boues denses hydrophobes, boues d'hydroxydes métalliques).

Les doses employées avec ces polymères sont souvent plus modestes, de l'ordre de 0.3 à 2 kg/tonne de matières en suspension (**Degrément, 1989, Tome 2**).

- ❖ ***L'association de deux polyélectrolytes anioniques et cationiques***: utilisés généralement, pour un mélange de boues organiques et de boues minérales. L'ionité du polyélectrolyte peut varier en fonction du rapport de coprésence. L'injection séparée de ce type de polyélectrolytes permet, sur certaines boues, de réduire le coût global de l'épaississement ou d'obtenir une floculation plus efficace.

En outre, pour certaines applications (déshydratation sur filtre-presse par exemple), le polyélectrolyte peut être associé à un sel métallique. On obtient ainsi une précipitation au sel ferrique et, ensuite, la constitution d'un floc moins hydrophile à l'aide du polyélectrolyte (Degrément, 1989, Tome 2).

### ***a. Mise en oeuvre des polyélectrolytes***

En traitement des boues, les polyélectrolytes utilisés sont souvent livrés en poudre, notamment dans les moyennes et grandes stations d'épuration. La gamme est très étendue, ce qui est un avantage important du fait de la diversité de qualité des boues. Pour des installations plus petites, il est possible de prendre des polyélectrolytes en sirop visqueux, plus faciles à mettre en oeuvre.

La solution mère (4 à 6 g/l) est généralement diluée avant introduction dans la boue, mais il n'y a pas de règle précise. Tout dépend des viscosités respectives de la boue et de la solution de polyélectrolyte. Le mélange boue-polyélectrolyte s'effectue de façon très simple, car la floculation est quasi immédiate, mais les floes formés sont souvent fragiles. Dans la mise en oeuvre de tout procédé de déshydratation employant les floes comme réactifs, il faut donc éviter des cuves à agitation trop violente, des temps de floculation trop longs et des pompes destructrices de la boue préalablement floculée.

### **III.2. Conditionnement thermique**

Les liaisons de l'eau et de la matière colloïdale peuvent également être rompues par voie thermique ; la montée à une température suffisante d'une boue, conduit à une transformation irréversible de sa structure physique, surtout si elle contient une forte proportion de matières organiques et colloïdales. La température de cuisson adoptée varie entre 150 et 200 °C et le temps de cuisson entre 30 et 60 minutes, suivant le type de boue et la filtrabilité désirée.

Durant la cuisson, les gels colloïdaux sont détruits et l'hydrophilie particulière régresse fortement. La densité des particules est nettement accrue. On assiste également à deux phénomènes simultanés : Solubilisation de certaines MES (hydrolyse de l'amidon notamment, avec formation de sucre), ammonisation d'azote organique. Selon le type de boue, la cuisson solubilise 20 à 40 % des MO et conduit à la production de liqueurs interstitielles présentant des DBO<sub>5</sub> de l'ordre de 3000 à 6000 mg.l<sup>-1</sup>. Cette solubilisation croît avec la température et le temps de cuisson.

Le conditionnement thermique est particulièrement adapté aux stations importantes équipées de digesteurs. Le gaz produit peut alors être utilisé directement dans les chaudières fournissant la chaleur nécessaire au conditionnement. Les dépenses de fonctionnement sont alors réduites **(Degrément, 1989, Tome 2)**.

D'autres avantages sont ajoutés à ce dernier, il s'agit de:

- ❖ L'Universalité d'application sur toutes les boues à prédominance organique,
- ❖ Stabilité des performances quelles que soient la qualité et la concentration des boues. Le seul réglage de la température de cuisson suffit,
- ❖ Epaissement important et rapide après cuisson : obtention de boues décantées à plus de 120 g.l<sup>-1</sup> en MES voire 200 g.l<sup>-1</sup>,
- ❖ Amélioration de la structure de la boue telle qu'une filtration sans apport de réactifs (filtre-pressé ou filtre sous vide) est toujours possible,
- ❖ Production de boues déshydratées, stérilisées, n'ayant reçu aucun apport de réactifs, et qui peuvent être aisément réintroduites dans les sols,

### **III. 3. Conditionnement divers**

Il existe d'autres procédés de conditionnement, dont les applications sont rares, soit en raison de leurs coûts d'investissement ou d'exploitation, soit du fait de leur efficacité faible ou aléatoire. Parmi ces types : le conditionnement par congélation, par charges, électro-acoustique, par solvants ou huiles et par agents de solidification **(Degrément, 1989, Tome 2)**.

#### **III.3. 1. Congélation**

La solidification totale de la boue par congélation, pendant un temps suffisant, permet de réduire très efficacement la quantité d'eau liée à la matière, et par la-même de regrouper les particules.

Ce regroupement demeure stable après fusion de la glace, et la filtrabilité de la boue est alors nettement améliorée. La congélation s'effectue à des températures de l'ordre de -10 à -20 °C, et pendant une durée de 1 à 4 heures.

Jusqu'à présent la congélation-décongélation (système fréon-glycol le plus connu) a été appliqué principalement aux boues à prédominance minérale, difficiles à déshydrater : cas notamment des boues d'hydroxydes d'aluminium provenant de la production d'eau d'épuration (EP) ou de la préparation d'eau industrielle (EI). Ce conditionnement, qui reste coûteux en énergie, est souvent associé à une filtration sous vide très performante (siccité supérieure à 30 %) (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **III. 3. 2. Conditionnement par charges**

L'apport de matières sèches, généralement inertes, améliore la cohésion de la boue, disperse le milieu colloïdal et, par là-même, agit favorablement sur la filtrabilité. Le facteur  $s$  de compressibilité est, en même temps, nettement amélioré.

Dans le conditionnement des boues liquides, l'ajout minéral de ( $\text{CaCO}_3$ ) gypse, cendres volantes, charbon, etc) permet de diminuer les doses des réactifs habituellement utilisées mais non de les supprimer. L'effet essentiel recherché est l'amélioration de la texture du gâteau, soit pour en faciliter la manutention, soit pour permettre une exploitation correcte des appareils de déshydratation : par exemple, addition de carbonates à des boues biologiques, ou ajout de sciure ou matières fibreuses à des boues huileuses, avant les filtres à bande.

Il est aussi toujours intéressant de combiner la déshydratation des boues difficiles (hydroxydes, biologiques) avec des boues minérales denses (décarbonatation, lavage de gaz, sulfate de calcium, boues de papeterie, etc.).

Les apports de charges, pour être efficaces, sont en général de l'ordre de 20 à 40 % des matières en suspension (MES) initiales de la boue.

L'ajout de charges sur des gâteaux prédéshydratés peut avoir aussi pour but :

- ❖ L'augmentation de la siccité avant décharge ou valorisation (ajout de CaO ou sciure par exemple),
- ❖ La réduction du facteur de compressibilité de la boue avant un deuxième étage de déshydratation : ajout de cendres volantes par exemple, sur un gâteau de filtre à bandes, avant passage dans un filtre à très haute pression (10 voire 40 bars) (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **III.3.3. Conditionnement électro-acoustique**

Il constitue plus une amélioration du conditionnement chimique qu'un procédé de conditionnement en lui-même. Ce procédé assure une synergie entre- Une électro-osmose, qui conduit l'eau en dehors des capillaires vers la surface, et des ultra-sons, qui orientent les particules dans leur position la plus stable, facilitant ainsi le drainage à travers le gâteau.

Ce conditionnement pourrait être adapté à la déshydratation sur filtre-presse et filtre à bandes. En laboratoire, les gains en siccité dépassent 10 points, mais ce procédé est certainement d'une mise en œuvre onéreuse à l'échelle industrielle (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **III.3.4. Conditionnement par solvants ou huiles**

Le mélange de la boue à des solvants ou à des huiles, permet le conditionnement, dans certaines conditions de température, par voie mécanique, les matières sèches, tout en ayant la possibilité de récupérer une bonne partie du solvant. La fiabilité du procédé n'a pas été confirmée.

Certains autres produits chimiques peuvent, en principe, améliorer le degré de déshydratation : formol, glyoxal, amines hydrophobes, etc. Mais, en réalité, le gain en siccité est très aléatoire et les coûts d'utilisation sont élevés (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **III.3.5. Agents de solidification**

Les traitements utilisant ces réactifs ne sont pas, à proprement parler, des procédés de conditionnement : ils sont appliqués aux boues liquides, mais ne sont pas suivis d'une déshydratation mécanique.

Divers réactifs sont utilisés, seuls ou en combinaison : ciment Portland, ciment au laitier, silicate de soude, plâtre, cendres volantes, laitiers, résines organiques... Ils provoquent la prise en masse (solidification) de la boue liquide à traiter.

Suivant les dosages mis en œuvre, un état pâteux, pelletable, ou parfaitement solide, peut être obtenu. La mise en décharge est facilitée et la plupart des métaux peuvent être fixés chimiquement. Mais les contraintes sont grandes : pas de diminution du volume liquide des boues, dosages importants (15 à 35 % du poids de boue liquide), stabilité à long terme incertaine.

De ce fait, ces procédés coûteux ne sont utilisés que dans des centres, spécialisés, de traitement de boues toxiques [13].

### **III.4. 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 (**Eckenfelder, Vandevenne, L**).

#### **III.4.1. Déshydratation naturelle**

La déshydratation naturelle des boues à l'air libre sur des lits de sable drainé reste, en raison essentiellement des frais d'investissement réduits, la technique de dessiccation la plus utilisée dans les stations d'épuration 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 / (m<sup>2</sup>.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 **(Eckenfelder, Vandevenne, L)**.

### **III.4.2. 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 solide et 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 **(Eckenfelder, Vandevenne, L)**.

#### **a. Centrifugation**

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

Dans les applications sur des boues résiduaires, 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 **(Degrément, 1989, Tome 2)**.

### **b. Filtration sous vide :**

La filtration sous vide est une des méthodes les plus courantes de déshydratation des boues d'eaux résiduaires. 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 médiats 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 médium 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 (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **c. 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 médiats 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 (**Degrément, 1989, Tome 2**).

### **Conclusion :**

Le conditionnement est la principale étape qui introduit la boue à la déshydratation, donc un conditionnement adéquat de la boue est la base du bon fonctionnement de la déshydratation. Les divers types de conditionnement des boues qu'on vient de voir nous expliquent la largeur de la gamme de leurs utilisations et leurs spécificités.

La déshydratation de la boue facilite son transport, son épandage et ses traitements.

## *Chapitre IV : Matériel et méthodes*

# Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

## Introduction

L'étude du comportement d'un nouveau coagulant-floculant nécessite une bonne pratique au laboratoire et une variation des divers paramètres (température, pH, viscosité, concentration, ...).

Le comportement du biopolymère (la chitine et ou forme dérivés) sera comparé avec celui d'autres polymères habituellement utilisés qui ont des résultats prévisibles et on relèvera l'efficacité du biopolymère par rapport aux autres.

On présentera dans ce chapitre les différentes manipulations entrant dans le protocole expérimental suivi au laboratoire d'abord pour les essais de caractérisation des matériaux utilisés (boue, chitine, chitosane) et les essais de performances de ces coagulants. De même ; le matériel et la verrerie utilisés seront présentés

## VI.1 Matériel :

- ✓ Agitateurs magnétiques et plaque chauffante de type Stuart SB162.
- ✓ Turbidimètre : HANNA INSTRUMENTS : modèle LP 2000.
- ✓ pH - mètre : 691 METROHM.
- ✓ Balance analytique de marque DENVER INSTRUMENT.
- ✓ Viscosimètre de type Ubbelohde.
- ✓ Floculateur (Jar test) de marque : Janke et Hunkel ; appareil à 5 agitateurs mécaniques à vitesse variable.
- ✓ CST : Capillary suction time de type TRITON GT.Dunmon ESSER. 9VPP3.
- ✓ Cellule de filtration conçue au laboratoire pour la mesure de la RSF.
- ✓ Etuve de Marque Nuve.
- ✓ Four. de marque Nuve
- ✓ Un dessiccateur.
- ✓ Centrifugeuse. De marque TOMA
- ✓ Thermomètre.

## Verrerie :

Des Bêcher de 1L, 100 ml, Erlen de 100 ml, des pipettes de 1, 5 et 25 ml, des verres de montre, éprouvette, des bols en porcelaine.

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

### Produits chimiques :

- ✓ Acide acétique,  $K_2MNO_4$  et le HCl,
- ✓ Polyélectrolytes (Aquaflor, Sédipur CF 802, Sédipur AF 400, Sédipur NF 102,
- ✓ Chitosane de Sigma ® (Chitosan from crab shells) référence : C3646,
- ✓  $FeCl_3$  (coagulant-floculant).

### VI.2 Echantillonnage

Les échantillons de boue ont été prélevés au niveau de la station d'épuration des eaux usées de Beni Messous. Le site d'implantation de la station d'épuration est localisé sur le territoire de la commune d'Ain Benian, dépendant de la wilaya de Tipaza, à environ 15 km à l'Ouest de la ville d'Alger, en bordure de la Méditerranée et à l'embouchure de l'Ouest de Beni Messous.

Le terrain réservé pour la construction de la station est délimité par la mer Méditerranée à l'Ouest, l'Oued Beni Messous au Sud et la RN N° 11 reliant Ain Benian à Staouéli à l'Est. Il représente une superficie totale, hors plage, d'environ 45 ha.

Notre échantillonnage de la boue se fait au niveau du bassin de stabilisation avec un bêcheur en plastique muni d'une tige en bois, la boue est transportée dans un jerrican.

### VI.3 Caractérisation de la boue au laboratoire

#### a. Mesure de l'Indice de Mohlman :

Pour mesurer l'indice de Mohlman qui détermine la décantabilité de la boue, on utilise le cône de Mohlman après l'avoir nettoyé et lavé avec le  $K_2MNO_4$  et le HCl ;

L'I.M. est défini par le volume occupé par 1 g de boue sèche après décantation d'une demi-heure.

#### Mode opératoire :

Introduire dans une éprouvette un litre de boues. Déterminer le volume (en  $cm^3$ ) occupé par les boues après une décantation d'une demi-heure. Déterminer par ailleurs la teneur en matière sèche d'un litre de boue à analyser (en passant à l'étuve à 105 °C). I.M. est représenté par le rapport : **(Lasse, C, Tome 1).**

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

$$\frac{\text{volume décanté (en } \frac{\text{cm}^3}{\text{l}} \text{) en 30 mn}}{\text{résidu sec}} \quad (5)$$

### b. Etude de la décantabilité de la boue :

- ✓ Mettre dans une éprouvette 1 L de boues,
- ✓ Laisser décanter pendant 30 mn,
- ✓ Mesurer le volume de boues décanté.

### c. Mesure du pH des boues :

- ✓ Mettre un volume de boues dans la centrifugeuse,
- ✓ Séparer l'eau flottante,
- ✓ Mesurer le pH de l'eau flottante avec un pH mètre.

### d. Mesure de la température de la boue

- ✓ On prend un échantillon de boue dans un bêcher,
- ✓ On plonge dedans un thermomètre jusqu'à obtention d'une valeur stable,
- ✓ On note la température et on le refait pendant plusieurs reprises.
- ✓ La température de la boue est 25 °C.

### e. Résidus sec, ou matière sèche à 105 C° :

**Définition :** c'est la masse de substance obtenue après séchage à 105 °C rapporté à la masse de la boue ou volume dans le cas d'une boue liquide.

### Mode Opérateur :

- ✓ Peser un échantillon de boues (25 à 100 ml) dans une capsule tarée,
- ✓ Porter la capsule à l'étuve à 105 °C  $\pm$  2 °C jusqu'à évaporation totale,
- ✓ Refroidir au dessiccateur et peser,
- ✓ Renouveler ces opérations jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

Soient  $M_0$  : le poids de la capsule vide (en g),

$M_1$  : le poids de la capsule contenant l'échantillon brut,

$M_2$  : le poids de la capsule contenant l'échantillon sec.

Le taux de matières sèches en pourcentage :

$$MS = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times 100$$

Pour une boue liquide, la matière sèche sera exprimée en g/l. Soit  $V$  : volume de l'échantillon brut (ml) :

$$MS = \frac{M_2 - M_0}{V} \times 1000 \text{ (Lasse, C, Tome 1).}$$

$$MES = MS - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}]$$

### f. Matières en suspension MES

#### Définition

Cette mesure diffère de celle du résidu sec parce qu'elle ne considère pas la teneur en substances dissoutes contenues dans la boue.

Nous avons pris un échantillon de 10 ml de boues, et nous l'avons mis dans l'étuve pendant 24 h à 105 °C.

Nous avons mesuré les masses des bols de porcelaine avant et après l'étuve.

Soit :  $M_0$  : la masse du bol vide

$M_1$  : la masse du bol avec la boue

$M_2$  : la masse du bol après étuve

$$MES = \frac{(M_2 - M_0)}{V_b}$$

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

### g. Résidu calciné à 550 C°, et matière volatile :

Le résidu à 550 C° est porté pendant 2 heures à 550 C° dans un four à moufle, préalablement chauffé, et thermostaté. Des capsules en silice avec environ 10 à 20 g de boue sèche finement broyée sont généralement utilisées.

La teneur en matières volatiles gazéifiées à 550 C° ne doit pas être confondue avec la matière organique ; ceci pour plusieurs raisons :

- ✓ Une partie des matières minérales et sels peuvent se décomposer entre 105 C° et 550 C°.
- ✓ Une partie des matières organiques (notamment certains complexes organo-calciques ou organo-métalliques) peuvent ne pas se gazéifier à 550 C° mais plutôt vers 650-700 C°.

Néanmoins, pour la majorité des boues, la détermination des matières volatiles et une évaluation grossière de la matière organique. Le taux de matières volatiles s'exprime généralement en pour-cent sur matière sèche (% sur MS) (**Boeglin, J, Technique de l'ingénieur**).

### h. La turbidité de l'eau filtrée

Après chaque échantillon de boue filtrée après ajout de coagulant-floculant on récupère l'eau filtrée et mesure la turbidité pour avoir un autre paramètre de comparaison.

- ✓ Remplissage de la cuvette de mesure propre avec 10 ml de l'eau turbide (solution à tester).
- ✓ Vérification qu'aucune bulle d'air ne soit présente dans cette cuvette.
- ✓ Fermeture de la cuvette à l'aide du bouchon et nettoyage de celle-ci à l'aide d'un chiffon propre, pour éviter toute trace de doigt ou de toute autre trace pouvant affecter le passage de rayon émis par la diode électroluminescente.
- ✓ Mise de la cuvette dans son logement.
- ✓ Lecture directe des valeurs de la turbidité en NTU (**Zemmouri, H, 2007**).

## VI.4 Traitement de la boue au laboratoire

### a. Le conditionnement de la boue

La boue comme étant un ensemble de polluants ne peut guère subir un traitement sans pouvoir les séparer, ces polluants se présentent sous diverses formes : dissoute, en suspension et décantée.

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

Les matières décantables ne nécessitent qu'une sédimentation gravitaire, celles en suspension et dissoutes doivent subir une déstabilisation de leur équilibre colloïdale, c'est le conditionnement qui se charge de cette intéressante action.

Dans nos manipulations on a conditionné la boue avec trois sortes de coagulant-floculants :

Un sel métallique ( $\text{FeCl}_3$ ), des polyélectrolytes déjà connus et notre biopolymère (chitosane).

### b. Préparation des solutions

Les coagulant-floculants utilisés dans ce conditionnement représentent 1 à 10 % de la siccité de la boue mesurée auparavant.

Après avoir calculé la siccité qui est de 3,3 %, on prépare une solution de 1,65 g/l de  $\text{FeCl}_3$  en faisant ces calculs :

100 g de boue  $\rightarrow$  3,3 g de matière sèche

X %: Le pourcentage du coagulant-floculant par rapport aux matières sèches X ( $1 \leq X \leq 10$  %).

On a choisi le X = 5, puis on varie les volumes pipetés pour avoir les autres proportions.

M : Masse du coagulant.

Comme on travaille avec 100 ml de boue donc dans chaque manipulation on a 3,3 g de matière sèche.

$$M = \frac{3,3 \times X}{100} = \frac{3,3 \times 5}{100} = 0,165 \text{ g.}$$

### Préparation de la solution du sel ferrique

- ✓ On pèse la 1.65 g de  $\text{FeCl}_3$  qui est sous forme de bille facile à dissoudre et d'une couleur orange,
- ✓ On la dissout dans un Erlen en ajoutant de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de 100 ml.
- ✓ On agite avec un agitateur magnétique jusqu'à obtention d'une solution homogène.

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

### Préparation de la solution des polyélectrolytes ( Sedipur CF 802 et Sedipur AF 400)

- ✓ On prend 1.65 g du polyélectrolyte qui est sous forme de billes très fine qui ressemblent au sucre de cuisine (Saccharose),
- ✓ On dissous cette masse en petit à petit en agitant et en chauffant pour favoriser la dissolution qui dure jusqu'à 24 h,
- ✓ La solution finale est homogène et qui a une forme de gel et une concentration de 16.5 g/l.

### Préparation de la solution de chitosane (85 et 99 % désacétylé)

Le chitosane a été dissous dans l'acide acétique sous agitation à la température ambiante. Les proportions adoptées sont les suivantes : 100 mg de chitosane/1 ml d'acide acétique 80 % masse/masse et 99 ml d'eau déminéralisée. [18]

Dans notre cas on a besoin de 1,65 g de chitosane.

0,1 g de chitosane → 1 ml d'acide acétique

Donc 1,65 g de chitosane →  $V_a$  ml d'acétique.

$$V_a = \frac{1,65 \times 1}{0,1} = 16.5 \text{ ml.}$$

Nous avons préparé une solution de 16.5 g/l de chitosane en suivant ces démarches :

- ✓ On a pesé 1,65 g de chitosane qui a une couleur beige et une nature solide qui ressemble aliments de bétail,
- ✓ On le dissous dans 16,5 ml d'acide acétique,
- ✓ La solution est soumise à l'agitation avec l'agitateur magnétique jusqu'à obtention d'une solution homogène pour le 85 %, jaunâtre ressemblant à la solution de lait en poudre dans l'eau, et transparente et gelée pour le 99 %.

### VI.5 METHODES D'ANALYSE

#### a. Le temps de succion capillaire CST (pour Capillary Suction Time)

La mesure de la CST est basée sur un appareil électronique de petite taille qui ces dernières années à connu un succès certain au niveau des traiteurs d'eau, il sert à déterminer le temps nécessaire à la ligne de front d'un filtrat pour parcourir un centimètre de papier filtre par capillarité.

Il s'agit d'un test de filtrabilité par succion capillaire mis au point par GALE et BASKEVILLE (1968).

CST ou temps mis pour parcourir cette distance est donné en secondes. (Les forces de capillarité sont proportionnelles à la tension de la surface, la qualité du papier est donc très importante).

Le temps est d'autant plus court que la boue est filtrable (**Lasse, C, Tome 1**).

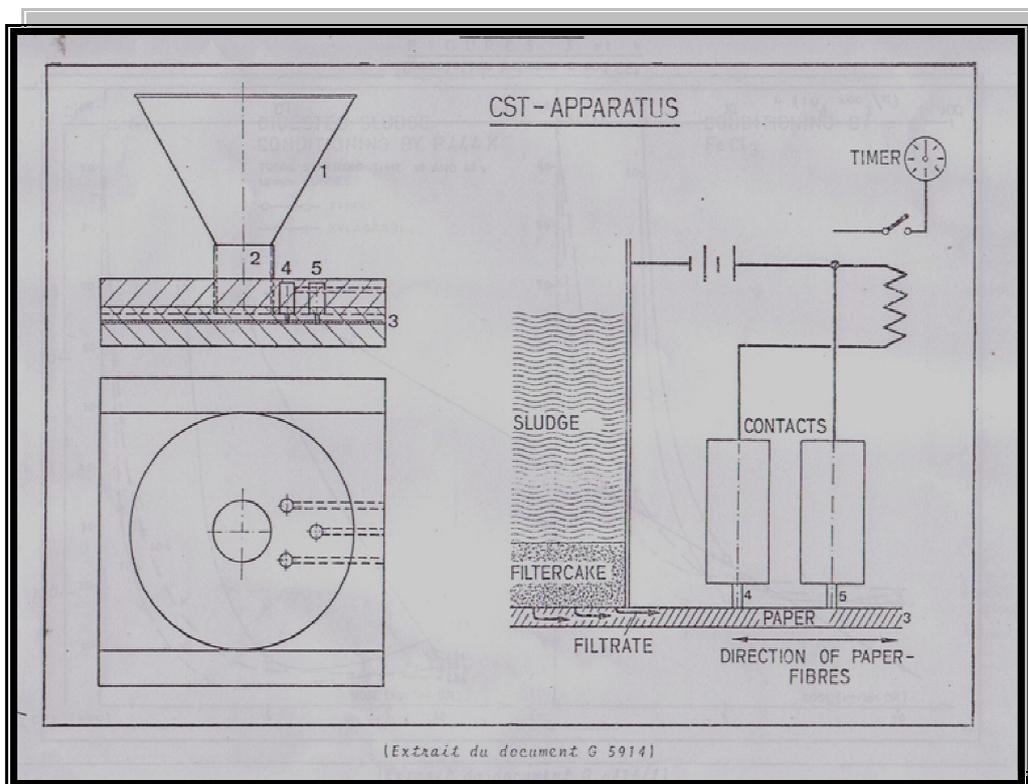


Figure IV-6 : Principe de base de l'appareil de mesure de la CST (**Lasse, C, Tome 1**).

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

L'appareil est constitué de :

- ✓ 1- Entonnoir
- ✓ 2- Tube
- ✓ 3- Papier filtre
- ✓ 4 et 5- Contacts électrique en liaison avec un chronomètre.

### Mode Opérateur

Un échantillon de boue de 10 ml précédemment conditionnée est versé dans un réservoir cylindrique puis dans un autre de forme conique (2). Le front humide progresse sur le filtre (3) de façon radiale. Les fibres de cellulose sont parallèles aux contacts (4) et (5). (**Lasse, C, Tome 1**).

#### b. Résistance Spécifique à la filtration :

##### Définition

La résistance spécifique à la filtration « r » est définie comme étant la résistance qu'oppose à la filtration (ou cheminement du filtrat) une quantité de gâteau déposée sur 1 m<sup>2</sup> de surface filtrante et contenant 1 kg de produit sec.

##### Principe

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

##### La 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  $\mu$  du fluide.

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

### Méthode de CARMAN

Dans sa théorie sur la filtration CARMAN a proposé une équation différentielle dont l'intégration à P constante conduit à la relation du type :

$$\frac{t}{v} = a.v + b$$

$$\text{Avec } a = \frac{\mu.w}{2.P.S^2} \times r \quad b = \frac{\mu.R_m}{P.S}$$

$$\frac{t}{v} = \frac{\mu.w}{2.P.S^2} \times r + \frac{\mu.w.m}{P.S}$$

Où t : temps (s)

v : volume du filtrat au bout du temps t (en m<sup>3</sup>)

$\mu$  : viscosité dynamique de la boue (Pa.s)

r : résistance spécifique à la filtration (m.kg<sup>-1</sup>)

w : masse déposée par unité de volume du filtrat (kg.m<sup>-3</sup>)

S : surface de filtration (m<sup>2</sup>)

P : Pression en Pascal (Pa)

R<sub>m</sub> : résistance de la membrane.

R<sub>m</sub> est négligeable dans le cas des boues, par rapport à la résistance spécifique « r » du gâteau.

Donc  $\frac{\mu.R_m}{P.S}$  est négligé.

Il existe une relation linéaire entre  $\frac{t}{v}$  et v. Soit  $\alpha$  la pente de cette droite, on aboutit à :

$$r = \frac{2.\alpha.P.S^2}{\mu.w}$$

(La pression et la température doivent être maintenues fixe (T = 25 °C, P = 1 bar).

Pour la plupart des boues (sauf pour les suspensions très denses) w peut être remplacée avec une erreur minime par C (Concentration de la suspension boueuse en matière sèche (kg/m<sup>3</sup>)).

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

Elle est déterminée par différentes méthodes : (filtration sous vide sur Büchner, filtration sous vide sur filtre à bande, dans notre travail on a choisi la filtration par cellule de pression Pont-à-Mousson : (**Lasse, C, Tome 1**).

### VI.6 Conception du filtre-presse

Le filtre-presse a été conçu avec des moyens simples :

Nous avons utilisé des matériaux de récupération par exemple un pistolet utilisé dans la tôlerie pour la peinture, nous avons exploité le fait qu'il est constitué d'un cylindre qui a les filetages dans les deux extrémités, donc il forme deux écrous, nous avons mis des joints pour empêcher la sortie de l'air. Au fond du cylindre nous avons mis un filtre en aluminium avec un papier-filtre, le tout suivant le schéma de principe de la figure N° VI. 2.

Dans l'une des extrémités nous avons placé un entonnoir qui rassemble l'eau filtrée, dans l'autre côté il y a un tuyau relié à un manomètre qui mesure la pression relative, et en parallèle à un compresseur qui fournit l'air qui est notre source de pression de la boue.

La boue est conditionnée par ajout du coagulant -floculant, en variant les volumes de ce dernier, on fait une agitation rapide pendant 1 mn, puis 3 mn d'agitation lente.

On verse le mélange dans le cylindre, La pression est réglée par le manomètre à 1.5 bar, lorsqu'on allume l'appareil l'air pousse la boue et la comprime puis l'eau commence à se filtrer.

#### Mode Opérateur :

- ✓ Equiper la cellule de mesure en plaçant successivement sur le fond perforé, le disque de toile filtrante puis le filtre de papier,
- ✓ Humidifier le filtre de papier et appliquer une légère surpression pour assurer l'étanchéité du fond de la cellule et éliminer l'excès d'eau retenu par le filtre,
- ✓ Ajuster l'éprouvette sous l'entonnoir de la cellule,
- ✓ Verser l'échantillon de boue (100 ml) dedans,
- ✓ Laisser reposer avant d'appliquer la pression jusqu'à ce que la filtration sous vide s'arrête afin de faciliter la formation d'une précouche et qu'on ait seulement affaire à une filtration sous pression,
- ✓ Appliquer la pression choisie (1 bar) l'utilisation du piston est déconseillée pour des pressions inférieures à 2 bar,

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

- ✓ Laisser s'écouler le filtrat et noter son volume  $V_0$  (le volume où s'arrête la filtration sous vide,
- ✓ Déclencher le chronomètre et noter le volume  $V$  du filtrat en fonction du temps,
- ✓ Tracer la courbe  $\frac{Tx}{Vx-V0} = f(Vx)$  ( $Vx$  : volume d'eau filtrée au temps  $x$ ).

Mesurer la masse du gâteau obtenu (**Lasse, C, Tome 1**).

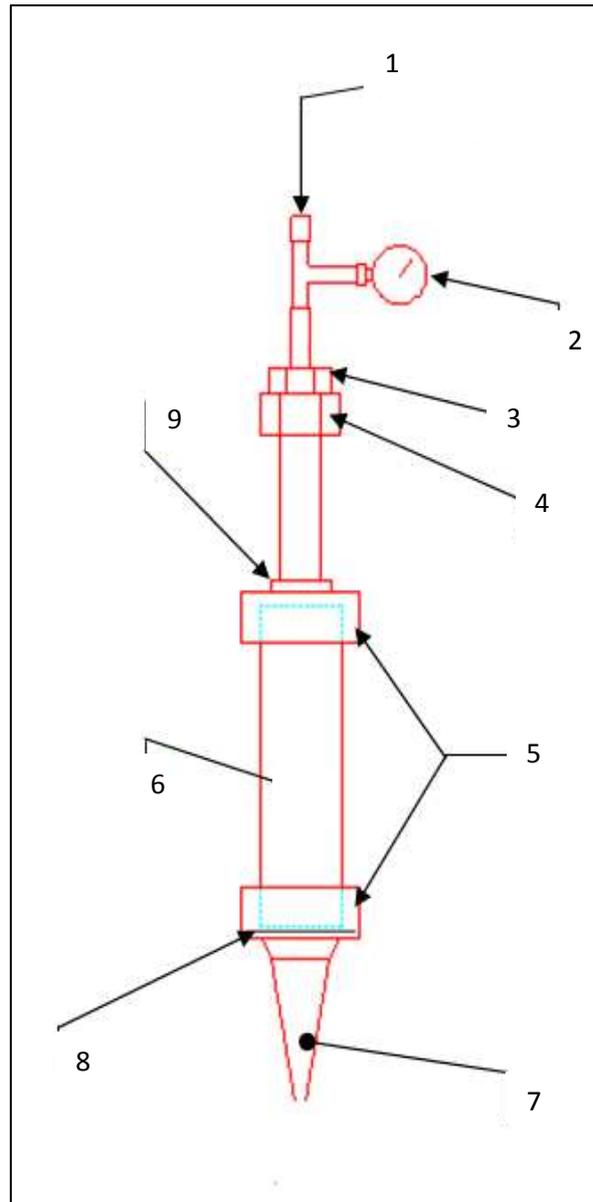


Figure IV-2 : Schéma représentatif d'un filtre presse

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

---

1 : entrée de l'air issu du compresseur, 2 : manomètre, 3 : raccord d'union male, 4 : raccord d'union femelle, 5 : couvercle, 6 : cylindre contenant la boue, 7 : entonnoir, 8 : filtre en aluminium couvert avec un papier filtre, 9 : serre jouin.

### Conclusion

Le travail effectué au laboratoire nous a permis de mieux maîtriser le matériel utilisé et nous a introduit à la recherche et aux interprétations des résultats et aux comportements des solutions et principalement de la boue.

Le fait de travailler avec un appareil d'une grande importance comme la CST et la cellule de filtration nous offrent des aides précieuses quant à l'étude de la performance de notre biomatériau comme agent de coagulation floculation

L'utilisation de ces deux méthodes avec plusieurs coagulant-floculants, me permet de comparer le comportement des boues et d'optimiser son conditionnement et sa déshydratation.

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

## Chapitre V : Résultats et discussions

---

### Introduction

Pour pouvoir comparer notre polymère avec les autres polymères et sels on a affaire à présenter des résultats expérimentaux et voir leurs interprétations.

Dans ce chapitre on va discuter les résultats obtenus avec les deux méthodes avec les différents coagulant-floculants en se basant aux connaissances théoriques et aux thèses soutenues à l'école ou au niveau mondial.

### V-1. Caractérisation de la boue au laboratoire

*Tableau V-4 : Résultats de la caractérisation de la boue au laboratoire.*

T (°C)	pH	I <sub>M</sub>	MES (g/l)	MVS g/l	Sc %	I <sub>d</sub> %
25	8,03	26	33	17	3,28	98%

#### Mesure de l'Indice de Mohlman :

L'indice de Mohlman caractérise la boue du point de vue biologique, lorsque il appartient à l'intervalle [80,150] la boue est bonne c'est la phase exponentielle où les bactéries dégradent la pollution.

Dans le cas de notre boue, indice de Mohlman est très inférieur et cela est justifiable puisque la boue est ramenée après le bassin biologique donc les bactéries sont mortes.

Du point de vue physique l'indice de Mohlman de cette boue est très petit, cela est du au fait que la boue est liquide et on va le justifier lorsque on parle de la siccité.

#### Etude de la décantabilité de la boue

Nous avons enregistré une décantation de 980 ml de boues sur 1 L après 30 mn, donc le taux de sédimentation est de 98 %. La boue sédimente avec un taux très élevé.

Cela veut dire que la boue contient des matières en suspension de poids élevé en plus des matières colloïdales qui ne décante qu'après un conditionnement.

## Chapitre V : Résultats et discussions

---

### Mesure du pH des boues :

Le pH de la boue est de 8,03 donc la boue est un peu basique.

### Mesure de la température de la boue

La température de la boue est 25 °C elle est presque la même au laboratoire.

### Résidus sec, ou matière sèche à 105 C° :

La siccité de la boue est très basse cela veut dire que la boue est très liquide et ca était déjà conclu avec l'indice de Mohlman.

### Matières en suspension MES

MES= 18,75 g/l.

Ce résultat dépasse la moitié de la matière sèche, donc les matières volatiles en suspension et les matières dissoutes ne représentent même pas la moitié des matières sèches.

### Résidu calciné à 550 C°, et matière volatile :

MVS = 17,00 g/l

Nous remarquons bien que les MVS sont très élevées, cela est expliqué par le fait que la boue est d'une nature urbaine donc elle ne contient que des matières organiques en plus des détergents dégagés par les agglomérations entourant l'Oued de Béni Messous.

### V.2. La RSF de la boue

Pour chaque point du graphe de la RSF qui contient un certain taux du flocculant par rapport à la siccité, on a procédé par cette méthode :

- On détermine les temps et volumes de filtration ;
- On trace  $T/(V-V_0) = f(V)$  qui est sous forme d'une droite ;
- Sa pente nous permet de déterminer la RSF en appliquant la formule :

$$r = \frac{2 \cdot \alpha \cdot P \cdot S^2}{\mu \cdot w} \quad \text{où}$$

## Chapitre V : Résultats et discussions

$v$  : volume du filtrat au bout du temps  $t$  (en  $m^3$ )

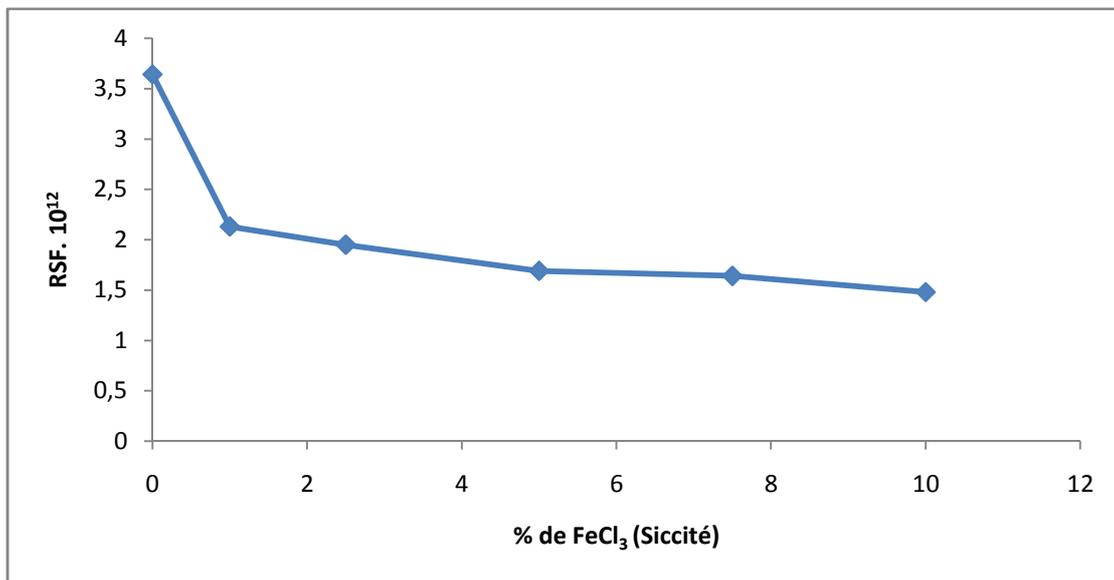
$\mu$  : viscosité dynamique de la boue (Pa.s)

$r$  : résistance spécifique à la filtration ( $m.kg^{-1}$ )

$w$  : masse déposée par unité de volume du filtrat ( $kg.m^{-3}$ )

$S$  : surface de filtration ( $m^2$ )

$P$  : Pression en Pascal (Pa)

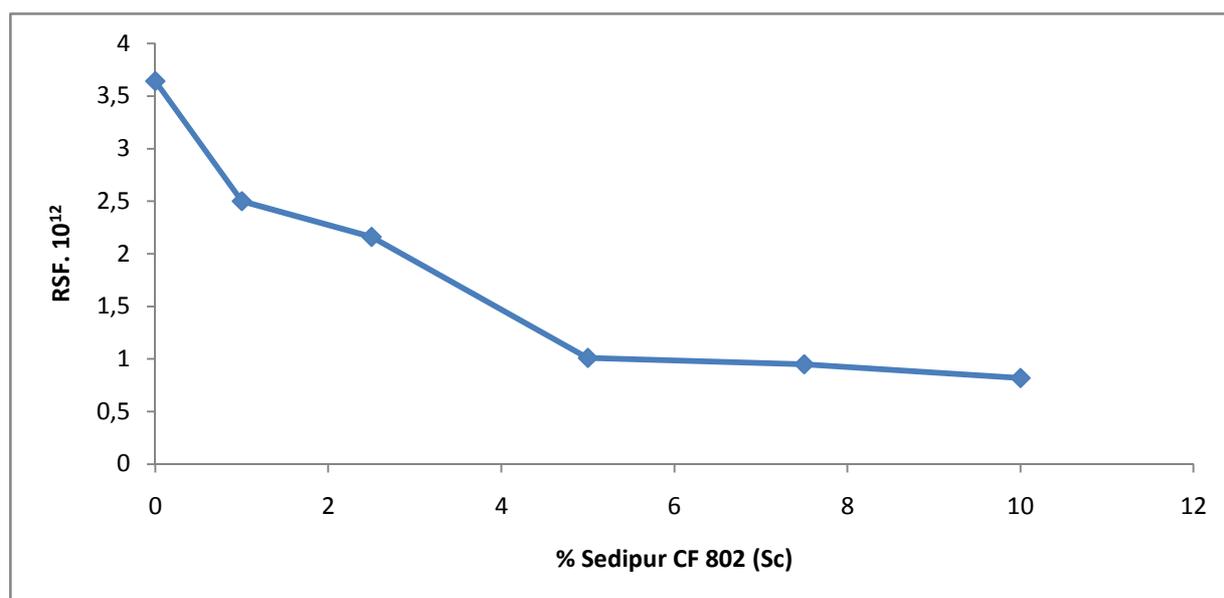


**Figure V-8 :** La RSF de la boue après conditionnement avec le  $FeCl_3$ .

Lorsque nous avons utilisé ce sel ferrique qui est un bon coagulant-floculant, il y a eu formation de floc de diamètres très petits.

Le graphe de la RSF a une forme descendante, plus on ajoute du polymère il y a diminution de la RSF.

Puisque le  $FeCl_3$  est un bon coag-floc, il favorise la formation de micro-flocs qui demandent une force suffisante pour libérer l'eau interstitielle, pour cela on utilise le filtre presse.

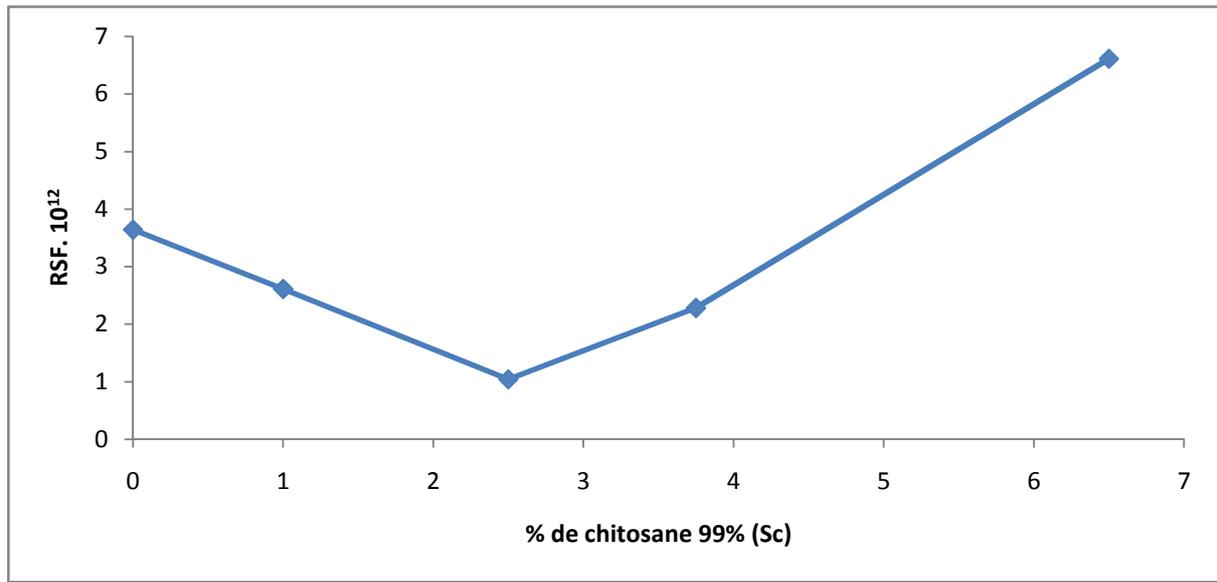


*Figure V-9 : La RSF de la boue après conditionnement avec le Sedipur CF 802.*

Le Sed CF 802 est aussi un bon coagulant-floculant, il donne une floculation rapide avec des floes plus volumineux que ceux du  $\text{FeCl}_3$ .

La RSF diminue d'une façon rapide avec l'augmentation de la teneur du polyélectrolyte dans la boue.

Le départ de l'eau est dû à l'action du polyélectrolyte qui élimine les liaisons entre l'eau et les matières colloïdales et à la pression du filtre-presse. Plus on augmente le taux de Sed CF 802 dans la boue le gâteau contenu dans le filtre-presse devient plus solide résistant à la filtration.

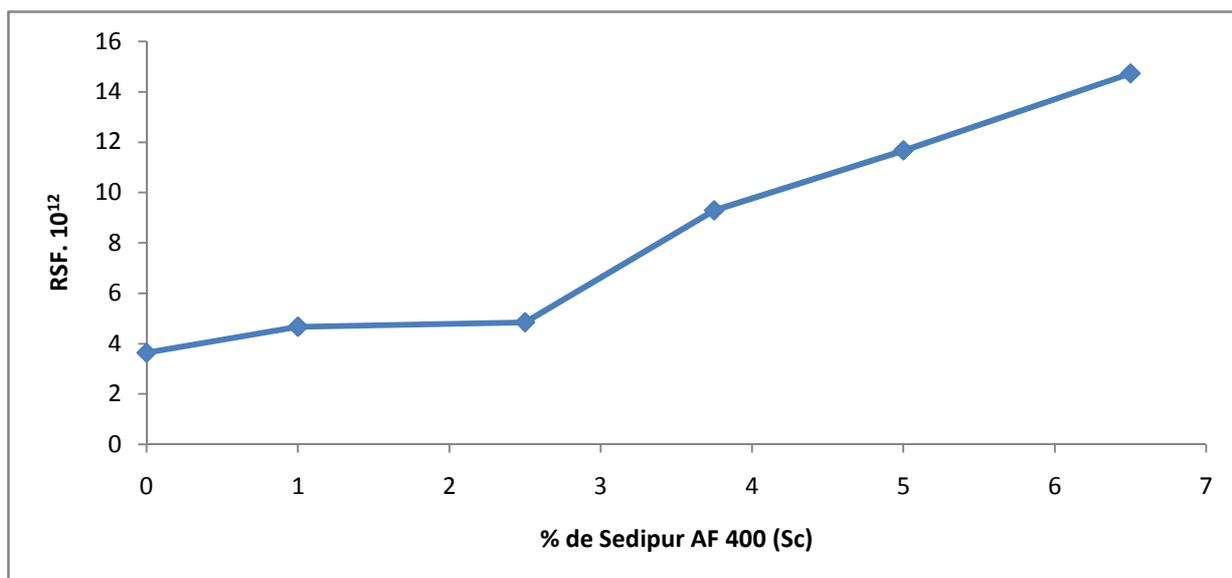


*Figure V-10 : La RSF de la boue après conditionnement avec le chitosane 99%.*

Le chitosane qui a été utilisé dans plusieurs domaines, est utilisé dans notre cas pour conditionner la boue. Lorsqu'on l'a utilisé on a remarqué qu'il suffit de mettre un petit volume dans la boue il y a formation de floccs très volumineux qui contiennent des vides, et l'eau est bien séparée et cela tape à l'œil.

Nous avons remarqué que le volume de filtration sous vide est très important comparativement aux agents précédemment étudiés. Et lorsque la filtration sous pression commence l'eau se filtre et lentement mais la RSF diminue comme les cas précédant, jusqu'au point 2,5 % où elle augmente de plus en plus.

Cela est dû au fait que la boue a été filtrée sans avoir besoin au filtre-pressé. Et l'eau qui y reste subit l'action du filtre-pressé, et à partir du point 2,5 % l'eau est presque dégagée entièrement, donc le gâteau devient de plus en plus solide et cela implique l'augmentation de la RSF.

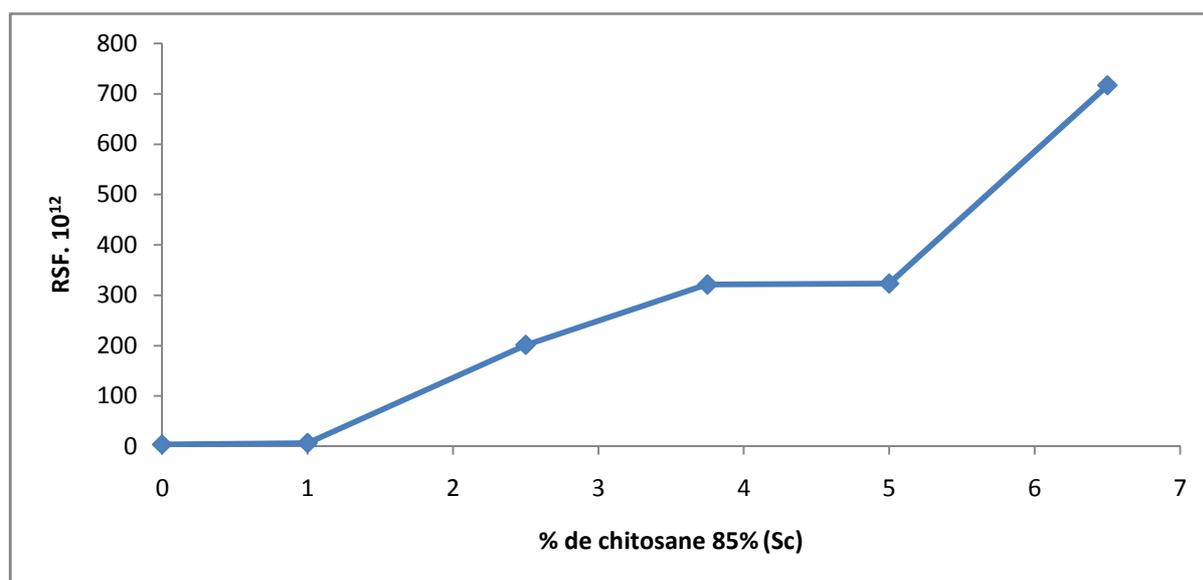


*Figure V-11 : La RSF de la boue après conditionnement avec le Sedipur AF 400.*

Le Sed AF 400 induit un comportement étrange de la boue. Le volume de filtration sous vide est la moitié avec ceux des autres polymères, et la vitesse de filtration est trop lente et s'annule après un volume filtré très inférieur au volume attendu, et lorsque la filtration s'arrête, il n'y a pas de formation de gâteau mais il y a une sorte de gel qui est très visqueux.

La RSF augmente de plus en plus qu'on élève le volume de polyélectrolyte, contrairement aux autres coagulant-floculants.

## Chapitre V : Résultats et discussions



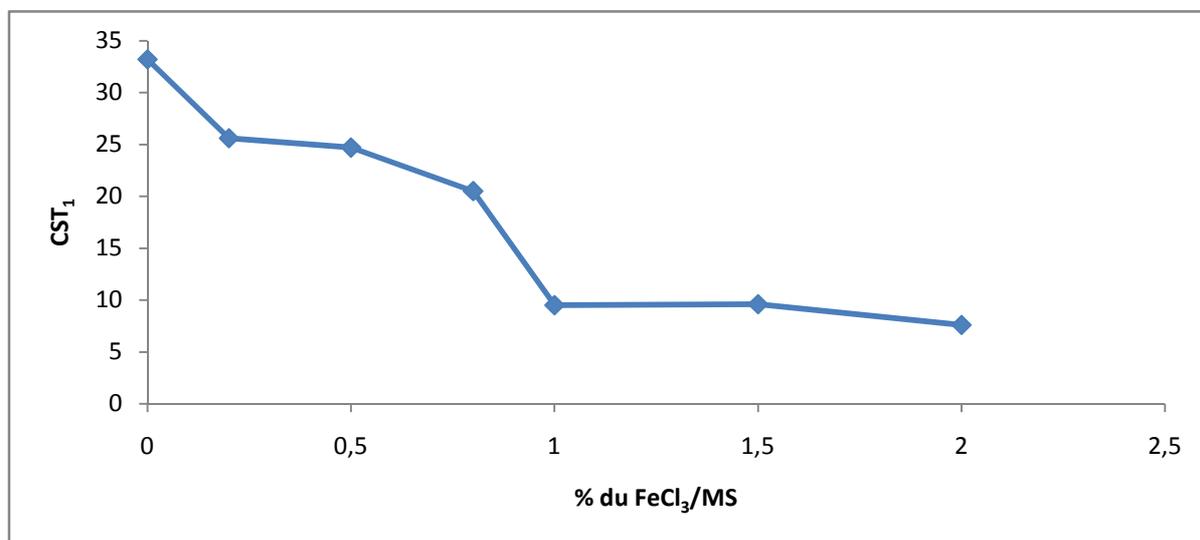
*Figure V-12 : La RSF de la boue après conditionnement avec le chitosane 85%.*

Le chitosane 85 % donne juste après son versement dans la boue une séparation miraculeuse de l'eau avec formation de flocs géants.

Le volume de filtration sous vide est élevé comme dans le cas du 99 %, mais la RSF augmente dès qu'on passe à la filtration sous pression.

L'interprétation de ce résultat est que l'eau contenue dans la boue est presque libérée sous vide et il y a une partie infime qui reste et donc la boue filtrée sous pression est sous forme de gâteau donc il n'y a même pas besoin d'utiliser ce filtre-presse et c'est là le miracle du chitosane 85 %.

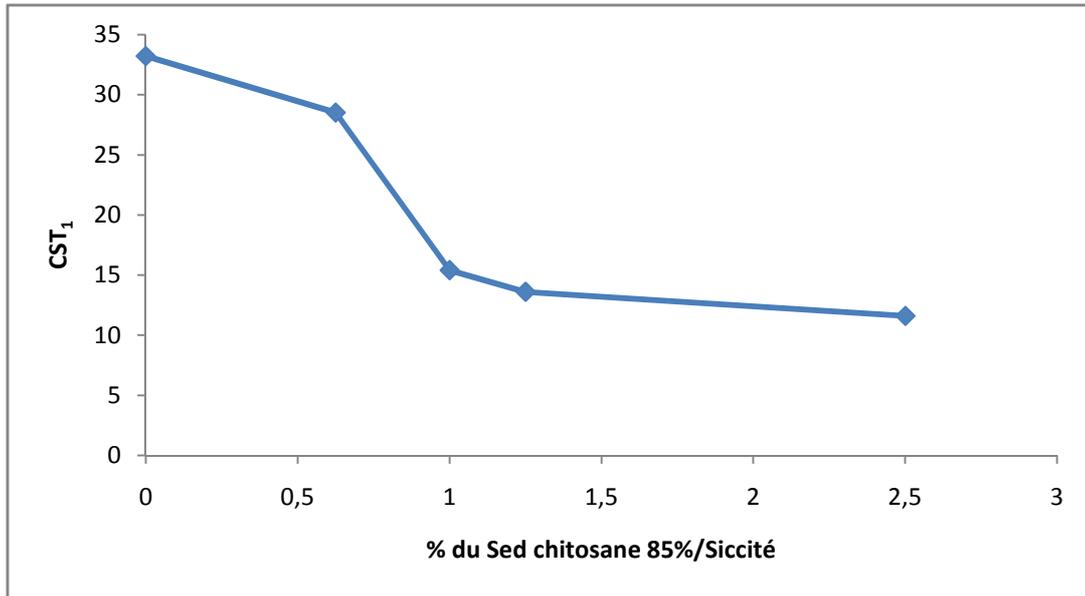
### La CST (Temps de Succion Capillaire)



*Figure V-13 : La CST de la boue après conditionnement avec le FeCl<sub>3</sub>.*

La CST avec le FeCl<sub>3</sub> diminue avec le taux du sels dans la boue, son comportement se ressemble à celui avec la RSF.

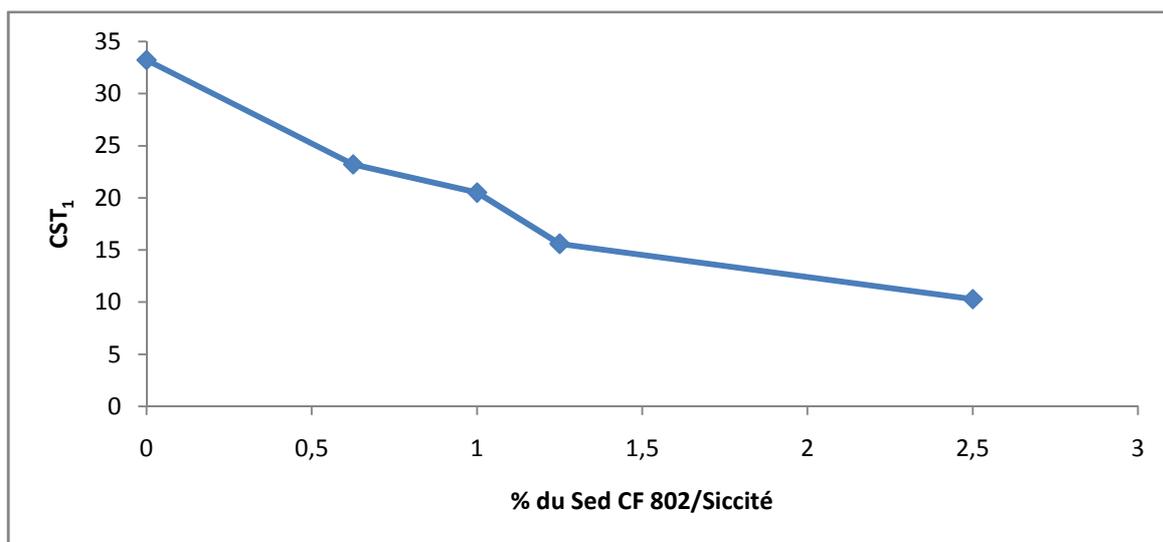
Cela veut dire que ce sel favorise la séparation entre l'eau et les matières solides ce qui diminue le temps de passage de l'eau dans les capillaires du papier filtre.



*Figure V-14 : La CST de la boue après conditionnement avec le chitosane 85 %.*

Le comportement de la CST avec le chitosane 85 % est similaire à celui avec le FeCl<sub>3</sub>. Elle diminue avec le taux du polymère dans la boue.

Cela est expliqué par la bonne séparation citée auparavant de l'eau des matières colloïdales, ce qui augmente la vitesse de pénétration de l'eau dans les capillaires du papier filtre et donc diminue le temps nécessaire.



*Figure V-15 : La CST de la boue après conditionnement avec le Sed CF.*

## Chapitre V : Résultats et discussions

La CST du Sed CF 802 diminue aussi avec le volume du polyélectrolyte.

La bonne coagulation-floculation de la boue avec le Sed CF 802 favorise l'indépendance de l'eau des matières en suspension et augmente la vitesse de traversée du centimètre du papier filtre.

### V.4. Comparaison entre les différents flocculants

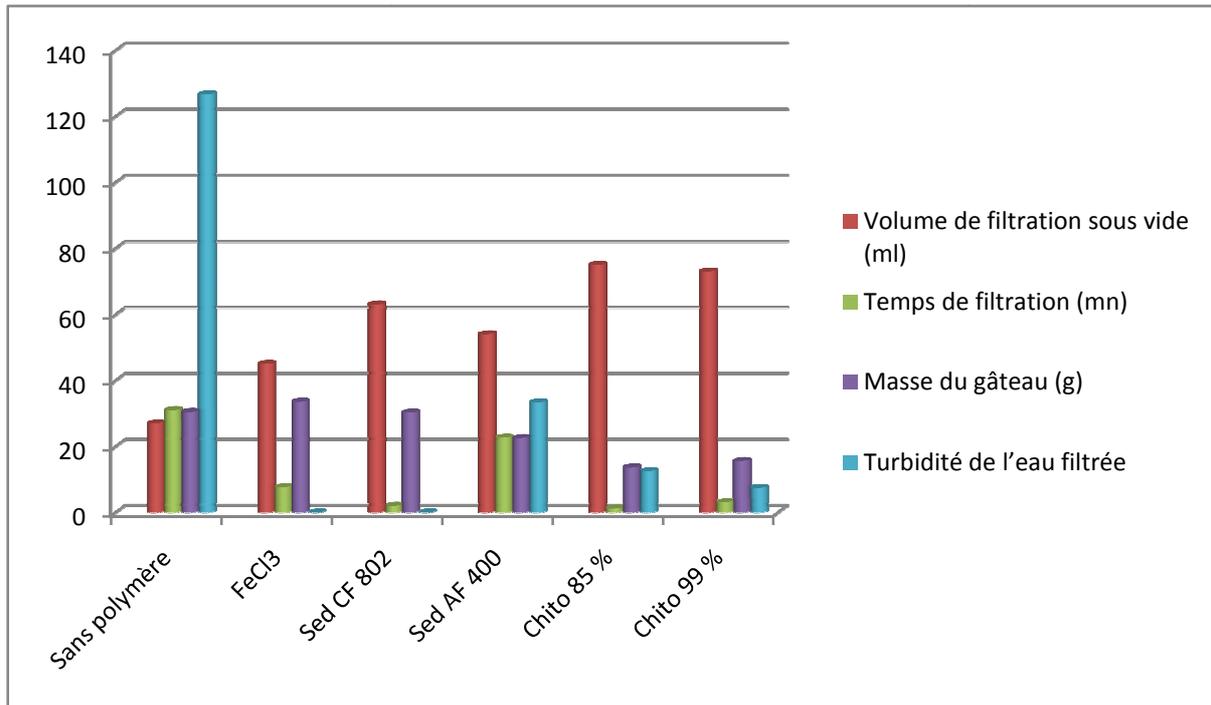


Figure V-16 : comparaison des différents coagulant-flocculants.

#### V.4.1. Volume de filtration sous vide

Le volume de filtration sous vide ( $V_0$ ) est très petit lorsqu'on n'a pas utilisé de conditionnement chimique. Cela veut dire que la couche de gâteau formée avant démarrage du filtre-pressé gêne l'infiltration de l'eau mais cela se passe même en ajoutant les coagulant-flocculants, donc la seule explication est que les matières colloïdales ne laissent pas l'eau pour descendre vers le bas et forcer le gâteau à se déformer pour s'infiltrer.

Le FeCl<sub>3</sub> donne un  $V_0$  un plus grand que celui sous vide. Cela montre que l'efficacité du sel ferrique marche seulement avec la pression, pour cela qu'on utilise la pression avec l'appareil sinon il ne peut pas être utilisé pour la coagulation-floculation dans les bassins de décantation gravitaires.

## **Chapitre V : Résultats et discussions**

---

Le  $V_0$  obtenu avec le Sed CF 802 est plus intéressant devant celui avec le sel ferrique. Cela est dû au fait que ce premier déstabilise l'équilibre colloïdale sous vide mieux que le deuxième. Donc il peut être utilisé dans la coagulation-floculation sous vide.

Le  $V_0$  obtenu avec le Sed AF 400 est meilleur que celui avec le  $\text{FeCl}_3$ , même si on a vu qu'il a une RSF croissante. Cela peut être interprété par l'influence négative de la pression qui détruit ses caractéristiques coagulante-floculantes donc il peut être appliqué dans le conditionnement pour la filtration sous vide.

Le chitosane donne des  $V_0$  très grands et très proches du volume total de l'eau contenue dans la boue, le 85 % donne un résultat meilleur que celui du 99 %.

Cela s'explique par le fait que le chitosane est un bon coagulant-floculant qui n'a pas besoin de pression pour filtrer l'eau, une filtration sous vide avec des filtres à bandes par exemple aurait été suffisante. Et cela justifie la RSF qui a donné des résultats opposés à ceux du Sed CF 802 et le  $\text{FeCl}_3$  qui ont montré que le filtre-pressé est utilisable seulement lorsqu'on a un mauvais coagulant-floculant et ce n'est pas le cas avec le chitosane.

Le 85 % est mieux que le 99 % dans la filtration sous vide. Cela a été déjà expliqué par le pourcentage de groupements acétyls équilibré du 85 % qui favorise le conditionnement et donc la séparation de l'eau qui s'infiltre sans se référer au filtre-pressé. Le taux élevé de groupements acétyls dans le cas du 99 % ne permet pas le conditionnement de la boue à cause de l'encombrement stérique qui gêne la formation de nouvelles liaisons remplaçant celles entre les matières colloïdales et l'eau. C'est pour cela qu'il y a une petite différence du  $V_0$  avec celui du 85 %.

### **V.4.2. Temps de filtration**

Le temps de filtration de la boue à vide est très grand, la même chose avec le Sed AF 400. Il est plus court avec le  $\text{FeCl}_3$ , très court avec le chitosane 99 % et le record est avec le chitosane 85 % et le Sed CF 802. Mais le chitosane 85 % reste le meilleur.

La boue sans coagulant-floculant est difficile à filtrer et demande plus de temps pour éliminer les liaisons entre les matières dissoutes en suspension.

## **Chapitre V : Résultats et discussions**

---

Le Sed AF 400 demande beaucoup de temps pour éliminer le petit volume d'eau qu'il libère, cela peut être expliqué par le mélange visqueux qui forme avec la boue qui gêne l'opération de filtration.

Le  $\text{FeCl}_3$  malgré qu'il donne une résistance de filtration très petite et une turbidité nulle, mais demande un temps de filtration plus grand par rapport au chitosane et au Sed CF 802, l'explication de ce résultats est que le sel ferrique forme des floccs très fins qui enrobent l'eau et pour se débarrasser de cette eau il faut un temps un peu long.

Le temps de filtration du chitosane est plus court et ça s'explique par le fait que le chitosane a libéré la plus grande part de son eau sous vide, et l'eau qui y reste demande peu de temps grâce aux floccs qui ont des volumes grands et cela favorise le départ de l'eau.

Dans le cas du chitosane 85 % la boue nécessite moins de temps pour la filtrer en comparant avec celui de 99 %, ça s'explique au fait que l'arrangement équilibré des groupements acétyls du chitosane 85 % favorise l'attachement des charges négatives sur l'acétyl qui est sous forme de cationique, en laissant l'eau se filtre. Contrairement chitosane 99 % où à cause de l'encombrement stérique, les particules solides ne trouvent pas l'occasion pour s'accrocher aux groupements acétyls chargés positivement, donc l'eau demande plus de temps pour la libérer.

### **V.4.3. Masse du gâteau**

La masse du gâteau après utilisation du  $\text{FeCl}_3$  est très importante et dépasse celle sans polymères, qui est la presque égale à celle avec où on a utilisé le Sed CF 802, les gâteaux était humides. Le gâteau formé avec le Sed AF 400 est plus léger, pour le nouveau polymère chitosane il a donné des gâteaux de poids très petit, on a obtenu un gâteau d'une masse très basse et très compacté et contenant des macro-pores.

Les masses élevées des gâteaux après conditionnement par le  $\text{FeCl}_3$  et le Sed CF 802 sont dues au fait qu'il y a eu élimination de la plus part de la matière en suspension. Mais les gâteaux étaient humide cela est du à l'eau interstitielle qui n'a pas pu être éliminée, ce qui montre que la filtration de ces deux polymères n'est pas efficace à 100 %.

Le Sed AF 400 a donné un gâteau visqueux et la mesure de son poids était très délicate.

## ***Chapitre V : Résultats et discussions***

---

Avec le chitosane on a obtenu des résultats très intéressants, vu la masse du gâteau qui est très inférieure à celle obtenue avec les autres agents, les gâteaux étaient plus secs ce qui montre l'efficacité de ce biopolymère qui favorise la séparation rapide et efficace de l'eau sans utilisation d'énergie. Ces gâteaux contenaient des pores qui sont dus aux macro-flocs que forme ce coagulant-floculant. Le chitosane 85 % offre de meilleurs résultats comparativement au 99 %, cela peut être interpréter par la structure chimique qui est due au pourcentage élevé de groupements acétyls dans le 99 % qui causent un encombrement stérique qui ne favorise pas la formation de macro-flocs.

### ***V.4.4. Turbidité***

L'eau filtrée d'une boue sans utilisation de conditionnement chimique est très turbide et cela est dû aux matières dissoutes en suspension. L'inconvénient de ca réside dans le coût et la difficulté du traitement.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le  $\text{FeCl}_3$  et le Sed CF 802 qui ont donné une eau d'une turbidité nulle. Cela justifie lorsque nous avons cité qu'ils sont de très bons Coagulant-floculants. Contrairement au Sed AF 400 qui a donné une turbidité plus élevée et c'est attendu vu son résultat dans la RSF.

Dans le cas du chitosane on a eu des turbidités moins bonnes que les deux agents précédemment cités, mais quand même c'est une bonne élimination de la turbidité. Nous voyons que celle du chitosane 99 % est mieux que celle du 85 %.

### **Conclusion**

Les résultats obtenus au laboratoire sur la caractérisation de la boue étaient proches à ceux de la station donc on peut dire qu'on a été relativement précis.

L'utilisation du filtre-presse que nous avons conçu nous a offert des résultats proches à ceux présentés par plusieurs docteurs dans la spatialité à l'échelle mondiale, et leur interprétation peut nous mener vers une recherche plus approfondie.

La CST trouvé dans notre manipulation a été similaire à celle trouvée dans les thèses dans le domaine du conditionnement des boues, et leur interprétation nous ont permis d'essayer de comprendre le mécanisme et de proposer des explication, donc c'est une vrai initiation vers la recherche.

La comparaison du chitosane avec les autre polymères nous a donné des résultats impeccables que ça soit dans le coté  $V_0$ , Temps de filtration, Masse du gâteau et plus ou moins l'élimination de la turbidité.

# *Conclusion générale*

## ***Conclusion générale***

---

Dans le contexte de l'épuration des eaux usées, le conditionnement des boues est amené à se développer dans un avenir proche. En effet, le problème de la gestion des boues va devenir, d'ici quelques années, crucial d'après les experts.

Le conditionnement des boues constitue une étape essentielle dans la filière boue. Cependant, il est encore mal maîtrisé et l'empirisme domine.

Ce travail contribue à améliorer ce procédé en utilisant des produits naturels, biodégradables, limitant ainsi les menaces de la pollution dans la filière boue. Un acquis important de ce travail est la mise au point d'un dispositif expérimental qui est une cellule à filtre presse. Cette cellule a été conçue spécialement pour nos essais effectués au laboratoire. Une boue de la station d'épuration de Beni-Messous a été utilisée.

Les essais concernant la procédure de conditionnement sont réalisés grâce à une coagulation-floculation. L'ajout de flocculant à raison de 5% de la siccité trouvée dans notre cas à 3,3%, est suivi d'un test de filtration sous pression en utilisant la cellule à filtre presse, et en appliquant une pression de 1.5 Bar. La mesure du temps de succession capillaire est une autre méthode choisie pour examiner l'efficacité de notre conditionnement. Les polyélectrolytes que nous avons utilisés sont le  $\text{FeCl}_3$ , le Sedipur (NF 102, AF 400 et CF 802) et le chitosane (85% et 99%). La performance du chitosane est comparée à celle des autres polyélectrolytes.

Il ressort des différents résultats expérimentaux recueillis, les principales conclusions suivantes :

- Les essais de conditionnement convectifs réalisés sur des échantillons de boue permettent de mettre en évidence l'influence du dosage de chaque flocculant sur la cinétique de filtration.
- Les caractéristiques de la résistance spécifique à la filtration tendent à montrer que la boue. Ces observations sont sans doute liées à la performance du chitosane comme biopolymère agissant en tant que flocculant adéquat

## ***Conclusion générale***

---

- Le filtre-presse que nous avons conçu a donné des résultats similaires à ceux obtenus avec de vrai filtre-presses.
- L'utilisation du nouveau biopolymère nous a permis de découvrir son efficacité dans le traitement des boues, vu qu'il réduit le volume d'eau sous vide de 86 % environ 10.750 kg/J (pour la station).
- Il donne un gâteau de poids léger représentant 55 % qui est équivalente à 330.000 kg de boues par jour de moins (pour la station) et sec en le comparant à la boue sans polymère.
- Le chitosane diminue la turbidité de 90 % donc il diminue la turbidité de 113 (NTU) pour une eau filtrée de la boue de Beni Messous, et demande un temps de filtration de 96 % plus inférieur par rapport à la boue sans polymère, si le temps de filtration de la boue de la station est d'une journée, avec notre biopolymère on peut le faire dans une heure après.
- En plus des bons résultats obtenus avec le chitosane on peut dire que le chitosane 85 % peut être un bon remplaçant des polymères, polyélectrolytes et sels métalliques utilisés dans le traitement des eaux en général et dans le conditionnement des boues en particulier. Le chitosane qui est biodégradable par la flore bactérienne et sa synthèse est une forme de valorisation de déchets, donc c'est un bénéfice assuré dans le côté économique et dans le développement durable et la protection de l'environnement.

# *Bibliographie*

*Qilin Li et Laura Kegley (2005), Assessing the effectiveness and environmental impacts of using natural flocculants to manage, Département de civile, construction et ingeneering environnementale. Oregon State University, Corvallis, OR 97331 Washington.*

*Mansoura Karim (2007), (utilisation du chitosane comme agent coagulant-floculant) ENP, Alger.*

*Mekahlia Soumia (2007), Faculté des Sciences, Département de Chimie, Universite De Saad Dahlab de BLIDA.*

*Bertrand Plouffe (1997). Faculté des sciences, Université de Sherbrook, Quebec, Canada.*

*Nugraha Edhi SUYATMA (2006), Universite De Reims - Champagne Ardenne, Ecole Doctorale : Sciences Exactes Et Biologie, Reims, France.*

*Martin poirier (1999), faculté des sciences et de génie chimique Université Laval.*

*Cristel Onesippe (2005), Universite Montpellier Ii, Sciences Et Techniques Du Languedoc.*

*Henry Monchy (1978), Mémento d'assainissement, Edition Eyrolles.*

*Jean-Claude Boeglin, Technique De L'ingenieur, Traite Genie Des Procedes, J3944-1.*

*Memento De L'eau (1978), Degrement, Huitieme Edition. Ww.*

*Eckenfelder, Traduit De L'américain Par L.Vandevenne, Gestion Des Eaux Usées Urbaine Et Industrielle.*

*Mémento Technique De L'eau (1989), Tome 2, Degrement.*

*Arrar.D (2007), Cours de traitement physico-chimique des eaux, ENP.*

*C. Lasse, Analyse des boues, Généralités et Analyse Physique, Tome 1.*

**Eric Guibelin**, *Technique de l'ingénieur, G1450.*

**Jean-Christophe Baudez (2001)**, *Ecole Nationale Du Génie Rural, Des Eaux Et Forets (Paris).*

**Zemmouri, Hassiba, 2008**, *Thèse de Magistère (Utilisation du chitosane comme agent flocculant dans le traitement des eaux, ENP, Alger.*

**Arbia, Wassila, (2007)**, *Thèse de magistère (Production de la chitine par voie fermentaire à partir d'une biomasse marine, ENP, Alger).*

**Kitteberger, 1999**, *Concrtuction de la première tranche de la station d'épuration de Beni Messous, Tome 2. (Kitteberger, 1999, Tome 2).*

**(Smollen, 1988, Jean-Christophe Baudez (2001)**, *Ecole Nationale Du Génie Rural, Des Eaux Et Forets (Paris).*

**(Laubenberger et Hartmann, 1971, Jean-Christophe Baudez (2001)**, *Ecole Nationale Du Génie Rural, Des Eaux Et Forets (Paris)).*

**(Deschamps et al., 1971, Jean-Christophe Baudez (2001)**, *Ecole Nationale Du Génie Rural, Des Eaux Et Forets (Paris)).*

**(Forster, 1972, Jean-Christophe Baudez (2001)**, *Ecole Nationale Du Génie Rural, Des Eaux Et Forets (Paris)).*

## **Résumé**

Ce travail, concerne l'étude du conditionnement chimique de la boue provenant de la station d'épuration d'eaux usées de Oued de Beni-Messous. Le mécanisme et la performance de déshydratation ont été examinés, en appliquant des coagulants de différentes natures, à savoir le chitosane, le chlorure ferreux et les polymères synthétiques (Sedipur NF 102, AF 400 et CF 802). Deux mesures ont été utilisées dans ce travail ; la résistance spécifique à la filtration (RSF) et le temps de succion capillaire (CST). Pour la mesure de la RSF, une conception expérimentale d'un filtre presse, a été réalisée. En outre, nous avons effectué une caractérisation physico-chimique des boues étudiées. Les résultats obtenus mettent en évidence une efficacité du biopolymère qui est le chitosane dans le traitement des boues. Le chitosane diminue la turbidité de 90 % pour une eau filtrée de la boue de Beni Messous, et un temps de filtration de 96 % plus inférieur par rapport à la boue filtrée sans polymère.

Mots clés : Boues, chitosane, RSF, CST.

## **Abstract**

This work involves a study packaging chemical sludge from the sewage treatment plant wastewater of wadi-Beni Messous. The mechanism and performance of dehydration were examined by applying coagulants of different kinds, namely chitosan, ferrous chloride and synthetic polymers (Sedipur NF 102, AF 400 and FC 802). Two measures were used in this work; filtration specific resistance (RSF) and the capillary suction time (CST). For the measurement of RSF, an experimental design of a filter press, was carried out. In addition, we conducted a physico-chemical characterization of the. The results highlight the effectiveness biopolymer which is the chitosan in sludge treatment. The chitosan reduces the turbidity of 90% for the filtered water and mud of Beni Messous, and a time filtration of 96% lower than the mud filter without polymer.

Key words: Scudge, chitosan, RSF, CST.

## **ملخص :**

هذا العمل يدخل في إطار دراسة المواد الكيميائية و التعبئة الكيميائية للحماة من محطة معالجة مياه مجاري الصرف الصحي لواد بني مسوس.

عملية التعبئة و صلاحيتها تكون باستعمال طريقة التخثر و ذلك بإضافة مواد طبيعية كالكيروزان، و مواد كيميائية ككلوريد الحديد ، تم فحصها و تقييمها بوسيلتين، الاولى تعتمد على المقاومة المحددة للترشيح، و الثانية عبارة عن تحديد زمن التمدد الشعري لقياس المقاومة النوعية للتصفية فمننا بتصميم تجريبي للمرشح الضاغط، بالإضافة إلى ذلك أجرينا تصنيف للخصائص الكيميائية و الفيزيائية للحمى النتائج تدل على فعالية مادة الكيروزان، هاته المادة تقلل بنسبة 90 % من التعكر لترشيح المياه و الطين، و تقلل أيضا من زمن الترشيح بنسبة 96 % مقارنة بالترشيح دون استعمال المادة المخثرة. الكلمات المفتاحية: الحمى, الكيروزان, RSF, CST.