

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT
M. Sc. A.

PAR
Sabah SAHAL

OPTIMISATION DU DOSAGE DE FLOCCULANT CATIONIQUE DANS LA
DÉSHYDRATATION DES BOUES DE LA STATION D'ÉPURATION

MONTREAL, LE 18 Août 2016

© Sabah SAHAL, 2016

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Robert HAUSLER, ing, Ph.D., directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'école de technologie supérieure

M. Glauss Mathias, ing, Ph.D , président du jury
Département de génie de la construction à l'école de technologie supérieure

M. Monette Frédéric, ing, Ph.D , membre du jury
Département de génie de la construction à l'école de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY

LE 20 Juillet 2016

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas pu voir le jour sans les orientations et les conseils prodigués par Monsieur Robert Hausler qui malgré ses responsabilités, était disponible pour me guider. Ses observations, dans son domaine d'expertise du « traitement des eaux », m'ont été d'un grand apport. À ce titre, je tiens à lui exprimer ma grande reconnaissance.

Mes remerciements vont également aux personnels de la station d'épuration , dont je tairai les noms pour des raisons de confidentialité, pour toutes les informations fournies ainsi que les équipements mis à ma disposition.

Je dédie ce mémoire à mon défunt père « Ahcène », à ma mère « Aicha », à ma sœur « Nora» et à mon frère « Rafik » pour leurs soutiens et encouragements.

À mon mari «Kamel» qui tout au long de mes études, sa patience a été mise à rude épreuve. Sans oublier mes adorables enfants «Adam» et «Zakaria » qui dans les moments difficiles m'apportaient un grand réconfort par leurs beaux sourires et câlins.

À tout ce beau monde, je leur dis grand merci.

OPTIMISATION DU DOSAGE DE FLOCCULANT CATIONIQUE DANS LA DÉSHYDRATATION DES BOUES DE LA STATION D'ÉPURATION

SABAH SAHAL

RÉSUMÉ

L'optimisation du conditionnement des boues au cours de sa déshydratation est un défi permanent pour les stations d'épurations. Cette étude a porté sur la caractérisation des résidus de traitement des eaux et l'utilisation d'un analyseur de charges électrocinétiques pour optimiser la dose de polymère pendant la déshydratation des boues. L'étude a établi une relation entre la dose optimum du polymère et la demande cationique dans le filtrat à l'aide des mesures de Streaming current. Les expériences ont été effectuées avec un polymère cationique.

La concentration optimale de polymère a été déterminée en se basant sur le temps de succion capillaire (TSC) et la turbidité par des essais de filtration sous pression. Une relation a été établie entre le Streaming Current du filtrat et la dose optimale de polymère. Cette dernière correspond au point isoélectrique du courant avec une bonne qualité du filtrat en termes de MES.

Les résultats obtenus indiquent que l'optimisation en temps réel de la concentration de polymère peut éventuellement être réalisée à des stations d'épuration des eaux usées à l'aide d'un analyseur de charges électrocinétiques surtout lorsque la déshydratation des boues se fait de façon discontinue cela permettra un nettoyage périodique de la sonde afin d'éviter son colmatage provoquant ainsi des résultats erronés.

Mots clés : Traitements des boues, Optimisation, Filtration, Flocculation.

OPTIMIZATION IN ASSAY FLOCCULANT CATIONICALLY DEHYDRATION OF SLUDGE TREATMENT PLANT

SABAH SAHAL

ABSTRACT

Optimization of sludge conditioning during dehydration is a constant challenge for wastewater treatment plants. This study focused on the characterization of water treatment residues and the use of an electrokinetic analyzer loads for optimum polymer dose for sludge dewatering. The study established a relationship between the optimum dose of the polymer and the cationic demand in the filtrate using the Streaming current measures. The experiments were performed with a cationic polymer.

The optimum polymer dose was determined based on the capillary suction time (CST) and the turbidity by pressure filtration tests. A relationship was established between the Streaming Current filtrate and the optimum polymer dose. The latter corresponds to the isoelectric point of the current with a good quality of the filtrate in terms of MES.

The results indicate that the real-time optimization of the polymer dose may eventually be performed at treatment plants sewage with an analyzer of electrokinetic charges primarily as sludge dewatering is done so discontinuous allowing periodic cleaning of the probe to prevent its clogging and give erroneous results.

Keywords: sludge treatment, optimization, filtration, flocculation.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA DOCUMENTATION SCIENTIFIQUE.....	5
1.1 Généralités	5
1.2 Mécanismes impliqués.....	7
CHAPITRE 2 ÉTAT DE CONNAISSANCE.....	11
2.1 Brève description de la station d'épuration.....	11
2.1.1 Filière Eaux usées	11
2.1.2 Filière Boues	12
2.2 Procédé de déshydratation des boues.....	13
2.2.1 Description de l'équipement de déshydratation des boues.....	14
2.2.2 Principe de fonctionnement d'un filtre presse.....	14
2.3 Conditionnement et déshydratation des boues.....	16
2.3.1 Conditionnement chimique des boues	16
2.3.2 Préparation de la mise en solution du polymère cationique	17
2.4 Point d'injection du polymère et mélange avec la boue à déshydrater	18
2.5 Contrôle des paramètres de procédé	19
2.6 Comment concentrer les boues : mécanismes de coagulation-floculation	19
2.6.1 Principe	19
2.6.2 Théorie de la coagulation.....	20
2.6.3 Demande cationique.....	22
2.6.4 Théorie de la floculation	22
2.6.5 Floculation lestée	23
2.6.6 Influence de l'agitation	23
2.6.7 Les polymères	24
2.6.8 Streaming current et la double couche.....	28
CHAPITRE 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	31
3.1 Généralités	31
3.2 Conditionnement et filtration de la boue	31
3.2.1 Préparation des solutions de polymère	32
3.2.2 Conditionnement des boues	33
3.2.3 Description de la cellule de filtration.....	33
3.2.4 Mode opératoire	35
3.3 Méthodes analytiques et tests.....	35
3.3.1 Test dose-réponse par l'analyseur de charges électrocinétiques (Streaming current).....	37
3.3.2 Temps de Succion Capillaire (TSC).....	38
CHAPITRE 4 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	41
4.1 Caractérisation des boues.....	41

4.2	Essais de filtration sous pression	43
4.3	Utilisation de l'ACE pour le contrôle et le suivi de la dose du polymère.	50
4.4	Algorithme de contrôle	57
CONCLUSION.....		61
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		65
Tableau 3 1	Liste des méthodes, matériels et équipements utilisés.....	36
Tableau 4 1	Caractéristiques des boues extraites des bassins d'homogénéisations.....	44

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 2.1	Représentation schématique des opérations de la filière Eaux usées12
Figure 2.2	Schéma du procédé de traitement des boues13
Figure 2.3	Filtre presse à membrane.....15
Figure 2.4	Phases d'inversion et de dissolution du polymère sous forme d'émulsion. .18
Figure 2.5	Illustration des couches autour21
Figure 2.6	Isolement d'une particule d'un polymère.25
Figure 2.7	Pontage entre deux particules.26
Figure 2.8	Floc dur en double floculation.....28
Figure 3.1	Montage expérimental pour la déshydratation des boues.....41
Figure 3.2	Analyseur de charges électrocinétiques CEA2100. Tirée de CHEMTRAC (2005).41
Figure 3.3	Appareil de mesure du Temps de Succion Capillaire.....41
Figure 4.1	RT boue Vs RTV gâteau.42
Figure 4.2	RT boue en fonction de RTV gâteau42
Figure 4.3	Temps de succion capillaire (TSC) en fonction des différentes.....45
Figure 4.4	Résistance spécifique à la filtration et RT gâteaux produits en fonction des différentes concentrations du conditionneur.....48
Figure 4.5	Matières en suspension dans le filtrat et RT gâteaux produits en fonction de différentes concentrations du conditionneur.....48
Figure 4.6	Les minimums du SC et TSC dans les boues conditionnées et les filtrats aux mêmes doses de polymère cationique.....50
Figure 4.7	Turbidité pour différentes concentrations de polymère cationique.52
Figure 4.8	SC pour différentes concentrations de polymère cationique.52
Figure 4.9	Influence du gradient de vitesse sur la floculation.54

Figure 4.10	RT gâteaux et Taux de captures en fonction des concentrations du conditionneur	55
Figure 4.11	Évolution du temps de filtration.....	56
Figure 4.12	Paramètres de contrôle.....	58

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ACE	Analyseur de Charges Électrocinétiques
GES	Gaz à Effet de Serre
MES	Matières En Suspension
MO	Matières Organiques
POR	Potentiel d'Oxydo-Réduction
RSF	Résistance Spécifique à la Filtration
RT	Résidus Totaux
RTV	Résidus Totaux Volatils
SC	Streaming Current : Courant de diffusion
STEP	Station d'épuration
TSC	Temps de Succion Capillaire
Vs	Versus

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

$^{\circ}\text{C}$	Degré Celsius
g	Gramme
g/L	Gramme par litre
h	Heure
kg/an	Kilogramme par an
m/kg	Mètre par kilogramme
m^3/s	Mètre cube par litre
mg/L	Milligramme par litre
mV	Millivolt
Psi	<i>Pound per square inch</i> : livre par pouce carré
s	Secondes
$\mu\text{g}/\text{L}$	Microgramme par litre

INTRODUCTION

Le traitement des eaux usées se traduit par la production de boues qui ne cessent d'augmenter en raison de l'amélioration des rendements des STEP. Ces boues subissent à leur tour un traitement pour réduire leur nocivité, leurs nuisances olfactives et leur volume.

Le devenir des boues d'épuration urbaines et industrielles demeure un sujet d'actualité dans l'ensemble des pays. Les difficultés générées par les boues devraient aller en s'accroissant du fait, d'une part, de l'augmentation prévisible des quantités de boues et d'autre part, des restrictions d'utilisation.

Dans cette optique, et à la suite de multiples consultations, en 2011, le gouvernement du Québec a établi sa Politique de gestion des matières résiduelles. Les orientations politiques prévoient « pour 2020 le bannissement de la mise en décharge des matières organiques, ainsi que les formes d'incinération à faible performance énergétique ou sujettes à émettre des quantités significatives de GES» (Hébert, 2012). Déjà, depuis plusieurs années, l'incinération des résidus urbains et la mise en décharge sont soumis à une redevance de l'ordre de 20 \$ la tonne.

Tant la difficulté de la gestion des boues et le coût sont directement liés à la quantité d'eau restante dans les résidus de traitement des eaux usées après déshydratation, la production de la boue plus sèche est un objectif important dans la gestion des résidus. La réalisation de cet objectif n'est pas une tâche facile. En effet, les flux de résidus et leurs caractéristiques changent dans le temps, ainsi les seuls moyens d'améliorer le fonctionnement de la déshydratation seraient la sélection appropriée du conditionneur chimique (polymère) avec une meilleure utilisation de celui-ci et le contrôle. Toutefois, le choix d'un produit efficace (en termes de prix et de performance) peut être un processus complexe car il n'existe pas un algorithme qui relie les propriétés du polymère à l'optimalité du produit à traiter.

Annuellement, une STEP, peut produire jusqu'à 2 500 000 tonnes de boues liquides. Un polymère cationique est utilisé pour le conditionnement des boues.. La composition de la boue formant les gâteaux, n'est pas stable dans le temps. Ces variations entraînent des perturbations au niveau du rendement des filtres presses. Le suivi rigoureux du dosage de polymère et la modification des paramètres spécifiques permettent de réduire les impacts néfastes de ses variations sur l'efficacité d'un filtre-presse à produire un gâteau de qualité optimale pour l'incinération.

Dans la pratique traditionnelle des stations d'épurations, la réponse à la variabilité dans les propriétés de résidus est conditionnée par un surdosage de routine, car les dommages engendrés par un surdosage du produit de conditionnement sont moindre par rapport a ceux observés lors d'un sous dosage. Cependant, l'impact économique et environnemental de cette pratique peut être significatif s'il est souvent réalisé.

Actuellement, sur le terrain, pour caractériser plus aisément la consistance des boues, le principal critère utilisé à ce jour est la siccité. Néanmoins, il a été démontré que la fraction solide est un critère insuffisant (Spinosa et Wichman, 2004) : d'autres paramètres doivent être pris en considération en plus de la teneur en eau. Un test de temps de succion capillaire et l'aspect visuel de la suspension par les opérateurs sont les seuls moyens de contrôle de la déshydratation.

L'apport essentiel de cette étude comprend une approche expérimentale à l'échelle laboratoire transposable à grande échelle, permettant de caractériser suffisamment les résidus de traitement des eaux et l'élaboration d'une méthode d'interprétation des résultats d'essais. L'utilisation de filtrat, à partir d'un système de déshydratation des boues (filtre presse) comme un indicateur de l'efficacité de la déshydratation des solides, permet l'établissement d'une méthode de mesure de la concentration optimale de polymère par l'emploi de l'analyseur de charge électrocinétique. Implicitement, la réalisation de ce projet engendra une réduction des coûts relatifs à l'achat de produits chimiques nécessaires au traitement des boues municipales.

Pour répondre à cette problématique, les sous objectifs suivants sont traités:

- mettre en place des indicateurs de caractérisation de boues;
- optimiser le dosage de polymère cationique par l'analyseur de charges électrocinétiques;
- développer des algorithmes de contrôle de la déshydratation.

Ce mémoire est divisé en plusieurs chapitres à commencer par l'Introduction qui présente le contexte général de l'étude, avec la problématique spécifique, l'hypothèse initiale de travail ainsi que les sous objectifs. La Revue de la documentation scientifique a été abordée au second chapitre, suivie de la Méthodologie de l'étude, la Synthèse des résultats et Discussions. Finalement, ce mémoire se termine par une Conclusion qui inclura, notamment, la formulation de recommandations et perspectives.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA DOCUMENTATION SCIENTIFIQUE

1.1 Généralités

L'utilisation de polymères joue un rôle important dans le processus de déshydratation des boues d'une station d'épuration. De grandes quantités de polymères solubles dans l'eau sont utilisées dans des stations d'épuration dans le monde entier (Chang *et al.* 2002). Les polymères sont nécessaires dans le traitement des eaux usées afin d'améliorer l'efficacité de l'épaississement et la déshydratation des boues, et en traitement d'eau potable comme flocculant pour éliminer les matières en suspension (Chadik et Amy 1983; Bolto, 1995).

Les polymères peuvent représenter la plus grande partie du coût de fonctionnement et d'entretien dans la gestion des bios solides (Chitikela et Dentel, 1998), et en tant que tel, il est important d'utiliser des polymères de la manière la plus rentable. En plus du coût inutile d'utiliser le polymère en excès au cours de la déshydratation des boues, à la fois le sur dosage ou le sous-dosage avec le polymère conduira à une boue déshydratée moins-que-optimale, ce qui augmente le coût de l'élimination des boues traitées. Par conséquent, il est important d'utiliser des polymères à leur concentration optimale. Cela nécessite idéalement la capacité de mesurer et d'ajuster la dose de polymère en ligne et en temps réel. Alors qu'il est facile de déterminer la dose optimale pour une boue digérée en utilisant un appareil comme le jar test, ce test prend du temps à être réalisé, et la dose de polymère optimale peut changer sur une base horaire en fonction des caractéristiques de la station d'épuration des eaux usées (STEP) (Abu Orf et al. 2003).

Les méthodes d'analyses pour la mesure de polymères sont complexes et nécessitent des instruments de recherche de pointe, de personnel qualifié et de traitement d'échantillons qui peuvent prendre plusieurs jours. Des méthodes plus simples, tels que celles qui reposent sur des méthodes colorimétriques, la turbidité et la viscosité manquent de spécificité et de sensibilité en particulier à de faibles concentrations de polymère. Par conséquent, les

méthodes ni les plus avancées ni les plus simples ne sont adaptées pour des usages pratiques dans le domaine de l'optimisation du processus. Il n'y a pas aussi de méthodes disponibles qui peuvent être utilisées en ligne et qui peuvent renseigner en temps réel sur les concentrations mesurées de polymère, ce qui serait utile pour les applications industrielles. En outre, dans certains cas, il est également nécessaire de mesurer la concentration de polymère résiduel dans les effluents avant leur rejet dans l'environnement, et cela constitue un défi majeur en particulier pour les effluents contenant de faibles concentrations de polymère (0-10 mg/L).

Un outil simple pour détecter des concentrations de polymère résiduel dans le centrât ou le filtrat fait actuellement défaut. Un tel outil peut être utilisé de préférence en ligne, de sorte que les opérateurs soient en mesure de déterminer facilement quand il y a un excès de polymère dans le centrât ou le filtrat à partir du système de déshydratation des boues. Chang et al. (2002) ont utilisé la résonance magnétique nucléaire (RMN) pour mesurer les concentrations de polymère dans des échantillons de filtrat, et ont rapporté que la concentration en polymère résiduel était d'environ 8 mg/L dans un échantillon de filtrat de filtre presse. Le même filtrat a également été analysé en utilisant la mesure de la viscosité et la concentration de polymère résiduelle était de 1,18 mg/L. La récupération par la méthode RMN est élevée par rapport à l'autre méthode. Bien que robuste, la procédure de RMN n'est pas pratique pour une utilisation en ligne dans une station d'épuration; c'est une technique très spécialisée nécessitant un équipement particulier qui n'est pas pratique pour une utilisation en dehors du domaine de la recherche.

Plusieurs chercheurs ont utilisé la Chromatographie d'identification de polymère résiduel dans les échantillons d'eau potable. Keenan et al. (1998) et Becker et coll. (2004) ont utilisé la Chromatographie d'exclusion stérique (SEC) pour mesurer le polymère résiduel dans différents échantillons d'eau potable. Les concentrations de 0-10 mg/L ont été trouvées avec des concentrations croissantes de polymère dans une boue d'alun. La limite de détection de la méthode SEC de polymère dans de l'eau nano pure était d'environ 20 µg/L, tandis qu'elle s'établissait à environ 66 µg/L (Keenan et al. 1998). En utilisant la fluorescence et le marquage de polyélectrolytes, Becker et al. (2004) ont atteint une limite de détection d'environ 10 µg/L de polymère dans de l'eau purifiée après le marquage; toutefois, la limite

de détection pour les polyélectrolytes a été d'environ 100 µg/L pour l'eau provenant d'un réservoir d'eau potable. Dentel et al. (2000) ont utilisé la chromatographie par perméation de gel (GPC) pour mesurer le polymère résiduel dans les applications de traitement des eaux usées, et ils ont démontré que les résultats étaient difficiles à reproduire et la méthode ne convenait pas à des échantillons environnementaux complexes sans autre travail.

Gehr et al. (1983) ont utilisé des méthodes de titrage et de test de la suspension colloïdales pour mesurer le polymère résiduel dans le filtrat d'un filtre à bande dans une station d'épuration. Les concentrations obtenues, pour le même polymère, ont été respectivement de 0,6 mg/L et 0,1 mg/L.

Chang et al. (2002) ont évalué les deux méthodes mentionnés précédemment versus la méthode RMN et ont constaté que les méthodes de titrage et le test de la suspension colloïdales ont enregistré des résultats, de polymère résiduel présent dans l'échantillon d'eau, inférieurs à ceux trouvés par Gehr et al. (1983).

Plusieurs méthodes indirectes de détection de polymère résiduel ont également été utilisées, y compris le "*streaming current detection*" (SCD) (Abu-Orf et Dentel, 1997), la viscosité (Abu-Orf et al., 2003), et le potentiel d'écoulement (Byun et al., 2007). Dans certains cas, l'équipement nécessaire pour fournir une analyse telle que les mesures de viscosité sur centrifugeât n'a pas encore été fabriqué pour être utilisé dans des stations d'épuration, et les défis existent en termes de mise en œuvre de ces technologies à grande échelle (Abu-Orf et al., 2003).

1.2 Mécanismes impliqués

Différents mécanismes impliqués dans le processus de floculation ont été mis en évidence depuis plusieurs années. Les polymères possèdent des mécanismes d'adsorption qui diffèrent en fonction des groupes fonctionnels qui y sont attachés (Xiang, Yu, Somasundarans, 1993). Une concentration élevée de particules en solution produit une plus grande fréquence de collision due à une augmentation de la probabilité de rencontre entre les particules. Ceci permet de croire que l'efficacité de la floculation est supérieure dans le cas des suspensions

concentrées. De plus, le niveau d'agitation pourrait également être une variable importante pour l'efficacité de la floculation. Une agitation excessive favorise la rupture des flocons nouvellement formés, diminuant ainsi l'efficacité de la floculation.

Lorsque les polyélectrolytes sont mélangés à basses vitesses, la concentration nécessaire de polymère ne tient pas compte de la teneur en solides dans le cas d'une boue activée. Ceci s'explique par le fait que le polymère cationique entre en réaction en premier lieu avec les colloïdes anioniques qui ne sont pas adsorbés (Novak et Haugan, 1980). Lorsque la siccité de la boue liquide est élevée et que la quantité de bio solides est considérable, plus le mélange est turbulent, plus la demande en polymère cationique sera grande (Novak et Haugan, 1980). Pour cette raison des économies peuvent être réalisées en procédant à une faible agitation du mélange dans le cas où la filtration vient juste après le conditionnement (Novak et Haugan, 1980).

Une méthode d'agitation adéquate permet donc d'augmenter la probabilité de rencontre entre les particules en suspension et le polymère, et ainsi, d'améliorer la séparation solide-liquide. (Bajpai et al. 1996), ont obtenu des résultats révélant que l'efficacité de la floculation augmente avec l'augmentation du dosage du polymère jusqu'à une dose optimale. Ce dernier est observé lorsqu'une turbidité minimale est obtenue lors d'une séparation solide-liquide par floculation. L'efficacité maximale de la floculation est atteinte quand le dosage optimal est observé. La valeur optimale du dosage du polymère est définie (Biggs et al. 2000), comme la concentration de polymères à laquelle la surface de recouvrement des solides, par le polymère adsorbé, correspond à 50 % de la surface disponible. Le dosage est donc une variable importante à considérer pour atteindre l'efficacité maximale d'un flocculant.

Les caractéristiques de la filtration des boues sont, rendues meilleures par l'utilisation des produits de conditionnement chimiques, dues à un changement dans la disposition des colloïdes dans les boues. Toutefois, d'autres paramètres peuvent avoir une incidence sur les propriétés des résidus comme la rigidité de la structure des colloïdes (Karr et Keinath, 1978). La concentration optimale des poly électrolytes ne devrait jamais être établit visuellement car une dose élevée de produit de conditionnement entraine une boue hautement agglomérée et le

gâteau produit aura une texture humide par conséquent, il sera difficile à manipuler (Novak et Haugan, 1980).

CHAPITRE 2

ÉTAT DE CONNAISSANCE

2.1 Brève description de la station d'épuration

2.1.1 Filière Eaux usées

La Figure 2.1 représente schématiquement les opérations de la filière Eaux usées rencontrées dans une station d'épuration physico-chimique. Le prétraitement comporte un dégrillage, un dessablage et un déshuilage.

La grande partie des particules en suspension et la quantité de phosphore qui se trouvent dans l'eau sont réduites par le traitement physico-chimique. Sans intervention chimique, le phosphore et les matières en suspension ne décantent pas rapidement. Un coagulant tel que le chlorure ferrique ou l'alun est ajouté pour déstabiliser les fines particules, qui cherchent alors à s'agglomérer et à s'alourdir. Pour accélérer ce processus d'agglomération, un polymère anionique est injecté. Les floes se déposent au fond des décanteurs et forment les boues. En surface des décanteurs, les matières flottantes forment les écumes. Ces boues et écumes sont envoyées vers le bâtiment des boues pour y être traitées.

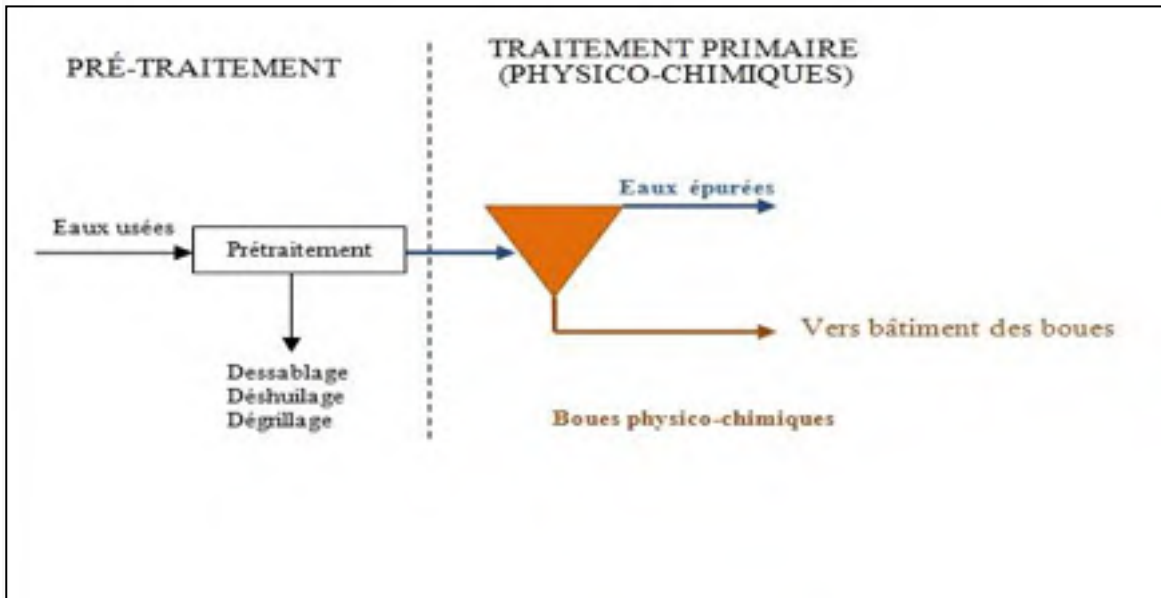


Figure 2.1 Représentation schématique des opérations de la filière Eaux usées

2.1.2 Filière Boues

Les opérations qui concernent les boues ont été reprises dans cette filière. Au fond des décanteurs, ces boues liquides primaires sont composées majoritairement d'eau, (près de 97%). Elles sont stockées dans des bassins d'emménagement.

Les boues doivent subir un traitement de déshydratation avec des filtres presses afin d'en éliminer l'eau. Pour faciliter leur traitement, un polymère cationique est ajouté. Son rôle est d'aider à séparer les solides du liquide et ainsi éliminer le plus d'eau possible contenue dans les boues. Elles prennent alors l'aspect de galettes nommées « gâteaux » ayant une concentration moyenne en solides de 30 % contrairement à 3 % à leur arrivée. Les gâteaux sont incinérés et leurs cendres sont enfouies dans un dépotoir. L'eau extraite des boues est appelée « filtrat » est encore trop chargée pour être retournée au fleuve. Elle doit retourner en tête de station pour subir le traitement de nouveau.

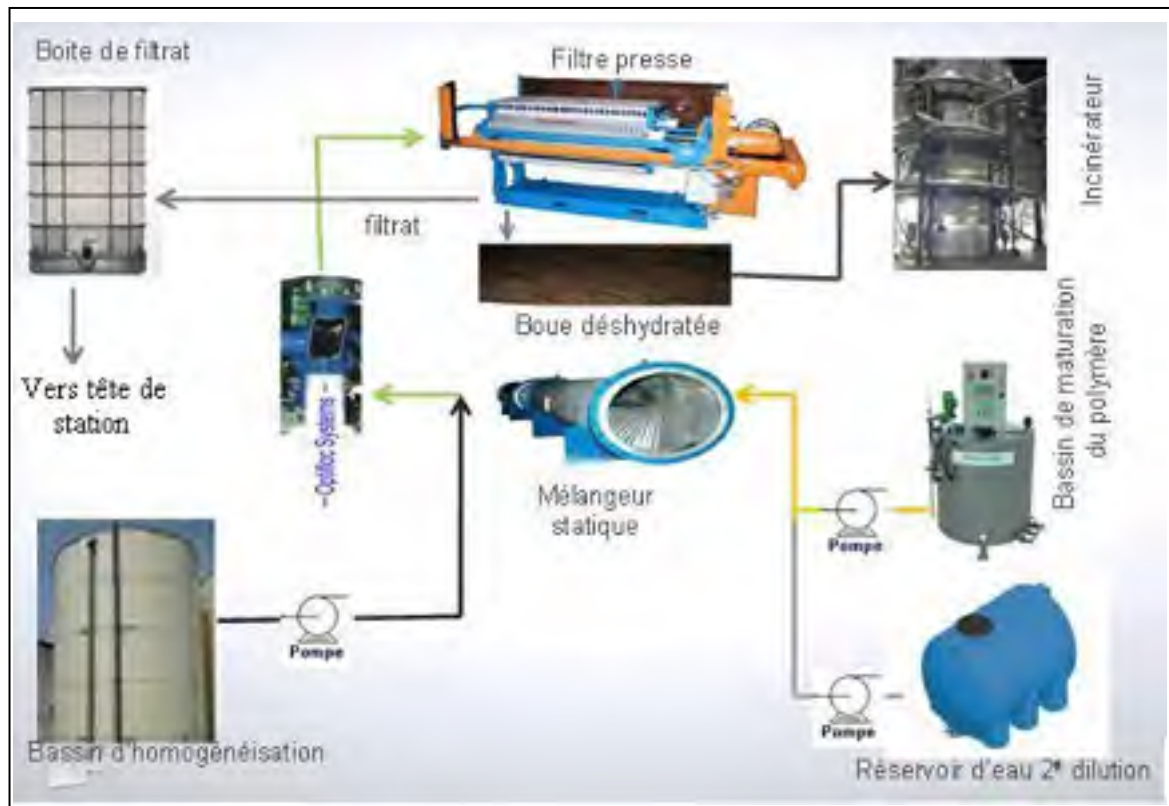


Figure 2.2 Schéma du procédé de traitement des boues

Dans le but de stabiliser et concentrer les boues par déshydratation, leur traitement passe par différentes phases. Ces opérations se trouvent en amont de l'incinération et sont essentielles pour la détermination des propriétés des boues (consistance, teneur en résidus totaux,...). Il faut augmenter la siccité à la sortie des filtres presses car les boues déshydratées sont ensuite incinérées; dans cette configuration une baisse de la siccité entraîne automatiquement une augmentation de la consommation en fuel lors de l'incinération; ce que l'exploitant ne souhaite pas.

2.2 Procédé de déshydratation des boues

La déshydratation des boues a pour objectif de séparer au mieux la matière solide du liquide (l'eau) que contiennent les boues. Dans la station d'épuration, cette séparation est mécanique, c'est à dire qu'elle est obtenue par filtration. Les boues primaires sont constituées de diverses matières solides provenant de l'eau chargée de matières solubles et de colloïdes. Les matières

solides ont tendance à former des floccs dans le milieu aqueux. (Vesilind, 1994) a défini plusieurs états pour l'eau qui entoure les floccs :

- l'eau libre qui n'est pas associée aux floccs et elle sera facilement éliminée de la boue par simple gravité;
- l'eau interstitielle qui est piégée dans la structure des floccs;
- l'eau liée chimiquement aux matières solides par des liaisons hydrogènes et qui ne pourra être éliminée que par séchage de la boue;

La déshydratation des boues a donc pour but d'éliminer l'eau interstitielle. Cette eau étant contenue dans les floccs, elle sera éliminée lorsque les floccs seront déstructurés rendant cette eau libre. La déstructuration des floccs est obtenue par reformation des floccs existants en floccs volumineux lors du conditionnement chimique puis par déformation dans les équipements de déshydratation. La chaîne de traitement des boues comporte donc un conditionnement chimique et une étape de déshydratation.

2.2.1 Description de l'équipement de déshydratation des boues

La principale technologie utilisée pour la déshydratation des boues à cette STEP est le filtre presse à membrane. Le filtre presse met en jeu une filtration sous pression entre deux plateaux. La pression exercée est importante (de 14 à 16 bars) et le fonctionnement est discontinu.

2.2.2 Principe de fonctionnement d'un filtre presse

Le filtre presse à membrane est constitué d'une batterie de plaques évidées verticales dotées de toiles filtrantes qui sont serrées les unes contre les autres sous l'action d'un vérin. Les plaques forment alors des chambres de filtration. Les plaques de filtre presses alternent entre

une plaque filtre et une plaque à membrane. Les plaques à membranes sont revêtus d'une membrane en élastomère sur les deux faces. Cette membrane est gonflée avec de l'air comprimé. Elle exerce la même pression sur l'étendue du gâteau, ce qui améliore la siccité finale obtenue.

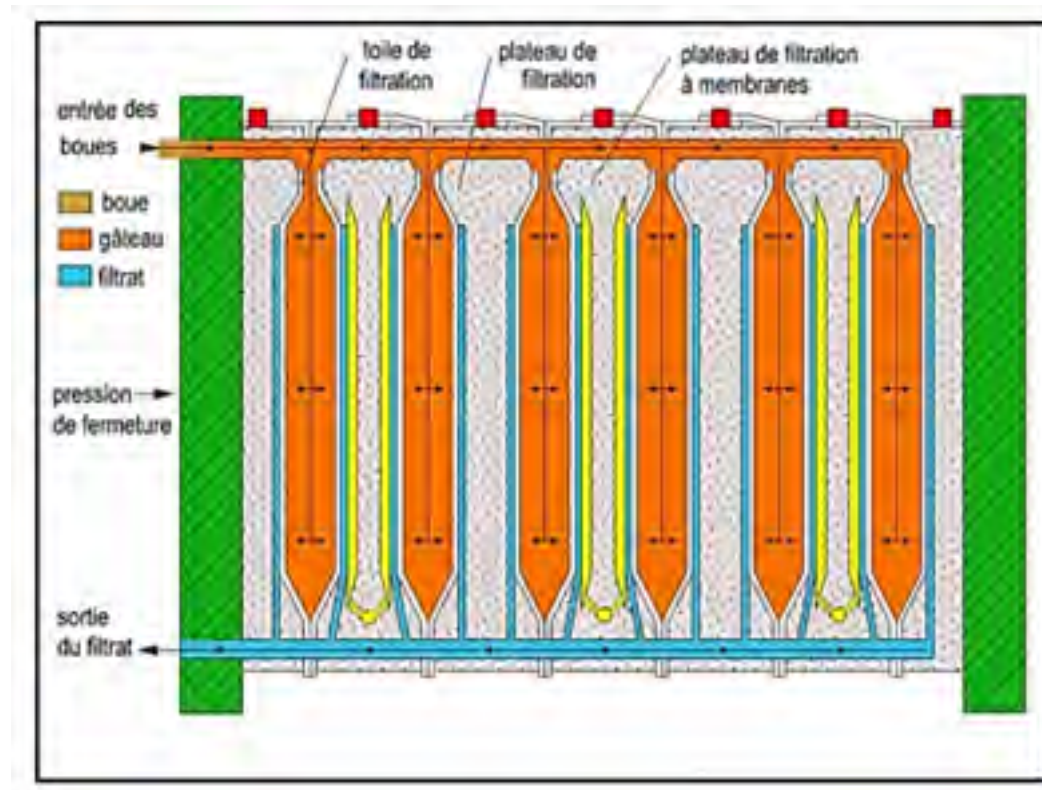


Figure 2.3 Filtre presse à membrane
Tirée de Dafim (2006)

La boue à filtrer est injectée sous pression dans les chambres de filtration où elle s'accumule progressivement jusqu'à former un gâteau compact. Le filtrat est alors recueilli dans les cannelures situées à l'arrière du support filtrant, et il est évacué au moyen de conduits internes. Lorsque la pompe est arrêtée et la pressée terminée, la conduite centrale, encore remplie de boue liquide, est purgée à l'air comprimé. Le vérin dégage la première chambre de filtration et le gâteau tombe, entraîné par son propre poids. Un système mécanique dégage ensuite les plateaux un à un c'est la phase de débâtissage. Cette étape permet l'élimination des gâteaux prisonniers des chambres de compression pour être en mesure de débiter un

nouveau cycle. L'opération est complétée par une phase de nettoyage qui s'effectue toutes les 50 à 100 pressées, par injection d'eau à haute pression (environ 90 bars).

2.3 Conditionnement et déshydratation des boues

Les résidus de traitement des eaux récupérés du fond de décanteurs sont soumis à une opération de déshydratation. L'étape de filtration mécanique par des filtres presses permet de concentrer la boue jusqu'à l'obtention des siccités allant de 20 à 30 % et plus... Pour améliorer son traitement, le résidu de traitement des eaux doit être conditionné afin de faciliter sa filtration. Avec le caractère hydrophile des MO qui forment la boue, l'eau interstitielle est fortement liée; ceci est dû à la structure colloïdale stable de la boue. En effet, il est impératif de briser cette structure colloïdale afin de libérer l'eau interstitielle et améliorer le processus de filtration par les filtres presses. Le mot «conditionnement» renferme toutes les étapes qui rentrent dans la destruction de la stabilité colloïdale. Les conditionnements les plus usuels sont thermiques et chimique.

Il est à rappeler que le premier conditionnement n'est cité qu'à titre indicatif, où les boues subissent une transformation irréversible de leur structure lors de leur cuisson à une température située entre 160°C et 210°C libérant ainsi une majeure partie de l'eau liée. Par contre, le conditionnement chimique ciblé par la présente étude est détaillé ci-après.

2.3.1 Conditionnement chimique des boues

Le conditionnement chimique constitue une étape clef dans la déshydratation des boues. La taille et la répartition des particules d'une suspension est une propriété fondamentale pour l'efficacité de la déshydratation (Knocke et Douglas, 1982). Le premier objectif du conditionnement est d'augmenter la taille des particules en combinant les petites particules en particules plus grosses. Le conditionnement chimique met en jeu les phénomènes de coagulation-floculation. La surface des particules des boues est chargée négativement. La coagulation est la déstabilisation de ces particules. L'ajout d'un conditionneur permet de

neutraliser les forces qui maintiennent les colloïdes séparés, généralement un polymère cationique. La floculation est l'agglomération des particules ou du micro floccs formés par coagulation, en floccs volumineux par l'addition de polymères (Tripathy et Ranjan De, 2006). Les polymères sont caractérisés par la nature de leur charge (cationique, anionique, ou non ionique) et la densité de charge, la structure et le poids moléculaire (linéaire, réticulé), et le type de monomères dont ils sont faits. Le choix du polymère a une importance toute particulière puisqu'il contrôle la taille du flocc et ses propriétés mécaniques. Les facteurs affectant sa sélection sont nombreux; ils sont liés aux caractéristiques des boues et aux technologies de déshydratation. Le choix du poids moléculaire et de la structure va en général dépendre du type d'équipement de déshydratation, c'est à dire des contraintes de compression et de cisaillement appliquées sur la boue. La nature et la densité de charge doivent être choisies selon la qualité de la boue à traiter, en particulier des teneurs en matières minérales et organiques, de la charge de surface des particules, etc. En plus du choix du polymère, le dosage est un facteur important qui impacte de façon significative les performances des équipements de déshydratation.

2.3.2 Préparation de la mise en solution du polymère cationique

Pour les polymères préparés sous forme d'émulsion, une simple dilution dans l'eau est théoriquement impossible, car il faut respecter trois phases de préparation :

- 1- La phase d'inversion, où le flocculant va passer d'une phase majoritaire en huile à une phase majoritaire en eau.
- 2- La phase de dissolution, plus rapide, qui se réalise grâce à l'agitation de la solution (ces deux étapes sont présentées à la Figure 3.4).

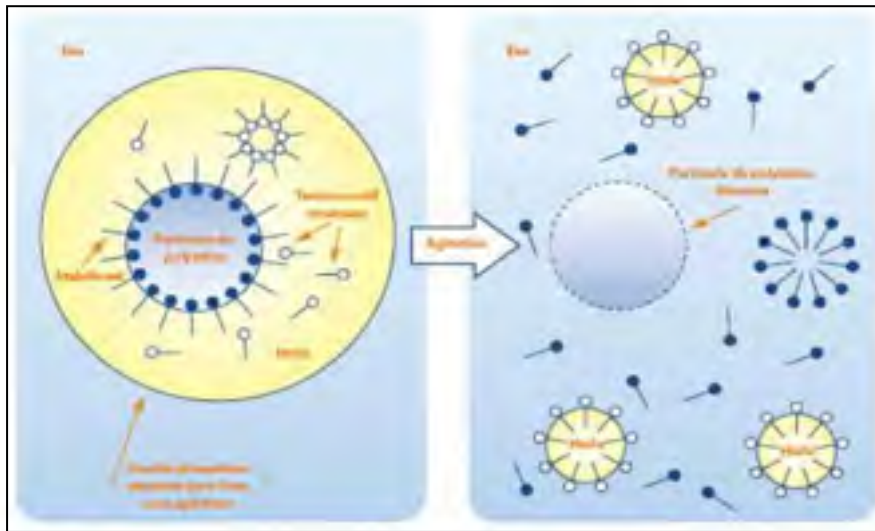


Figure 2.4 Phases d'inversion et de dissolution du polymère sous forme d'émulsion.

Tirée de SNF (2006)

- 3- La phase de maturation : cette étape, importante elle-aussi, permet à la chaîne de polymère de se dérouler complètement et de se déployer. Elle dure environ 20 à 30 minutes pour les molécules de polymère les plus complexes (soit les chaînes réticulées).

Pour permettre le bon déroulement de ces trois étapes, et ainsi obtenir le meilleur rendement de la solution de polymère, il est important de mélanger le polymère et l'eau en provoquant une forte agitation, puis de le laisser reposer pour favoriser la maturation. Dans la pratique, il n'est pas toujours possible de préparer la solution dans de bonnes conditions et respecter ainsi toutes les phases de préparation de la solution.

2.4 Point d'injection du polymère et mélange avec la boue à déshydrater

Le point d'injection du polymère joue un rôle important dans l'optimisation de son utilisation. Il est nécessaire d'injecter la solution de polymère en amont de la pompe d'injection des boues. Par ailleurs, il est fondamental que l'injection ne soit pas trop distante de l'entrée du filtre presse, pour s'assurer de la bonne tenue du floc avant la déshydratation.

Pour tirer le meilleur parti de la solution de polymère, son mélange avec la boue doit se faire en présence d'une certaine agitation : plus les floccs se forment tôt, plus le polymère sera efficace. Un mélangeur statique de type OPTIFLOC est utilisé à l'endroit du mélange.

2.5 Contrôle des paramètres de procédé

La composition de la boue formant les gâteaux n'est pas stable dans le temps. Ces variations entraînent des perturbations au niveau du rendement des filtres presses. Le suivi rigoureux de la concentration de polymère et la modification de paramètres spécifiques permettent de réduire les impacts néfastes de ses variations sur l'efficacité d'un filtre presse à produire un gâteau de qualité optimale pour l'incinération. Ces paramètres sont la siccité de la boue à l'entrée du filtre presse, le temps de succion capillaire et les résidus totaux de la solution du polymère cationique.

2.6 Comment concentrer les boues : mécanismes de coagulation-floculation

2.6.1 Principe

Le phénomène de coagulation-floculation est fondamental dans le procédé de déshydratation des boues, en vue de leur transport ou de leur traitement *in situ*. La faculté de décanter des particules en suspension, présentes dans les boues d'épuration et produites par le procédé de traitement des eaux usées, est principalement fonction de leur taille (décrite par leur diamètre). Le problème qui se pose est de faire décanter les particules colloïdales, qui ne peuvent le faire naturellement en raison de leur petite taille et de leur faible densité. En effet, la vitesse de sédimentation (décantation) d'une particule est donnée par l'équation (1).

$$V_s = \frac{D^2 \Delta \rho g}{18 \eta} \quad (1)$$

où :

V_s : la vitesse de sédimentation

D : diamètre de la particule

$\Delta \rho$: différence de densité entre l'eau et la particule

η : viscosité du liquide

g : l'accélération de la pesanteur

Les procédés de coagulation et de floculation aident donc à la réduction des MES en les rassemblant sous forme de floes dont la séparation est ensuite effectuée par des procédés d'épaississement et de déshydratation, de décantation, de flottation ou de filtration. Le procédé de formation de ces floes se déroule en fait en trois étapes: la déstabilisation des colloïdes et matières en suspension (coagulation), leur agglomération (floculation) et finalement la décantation proprement dite.

2.6.2 Théorie de la coagulation

Des charges électrocinétiques sont formées à l'interface entre les particules et le liquide quand des colloïdes ou des substances chimiques sont mises en solution. Selon la nature des particules, la charge peut être positive ou négative. En solution aqueuse, généralement, les particules sont chargées négativement. Une première couche d'eau très dense s'est formée autour de la particule, et possède une charge électrique, nommée couche de Stern. Une deuxième couche d'eau plus diffuse nommée couche de Gouy-Chapman recouvre la première (Figure 2.5). Le potentiel zêta désigne la différence entre les charges des deux couches de Stern et de Gouy-Chapman. La charge de la particule est importante quand l'épaisseur des couches d'eau de Gouy-Chapman et de Stern est grande.

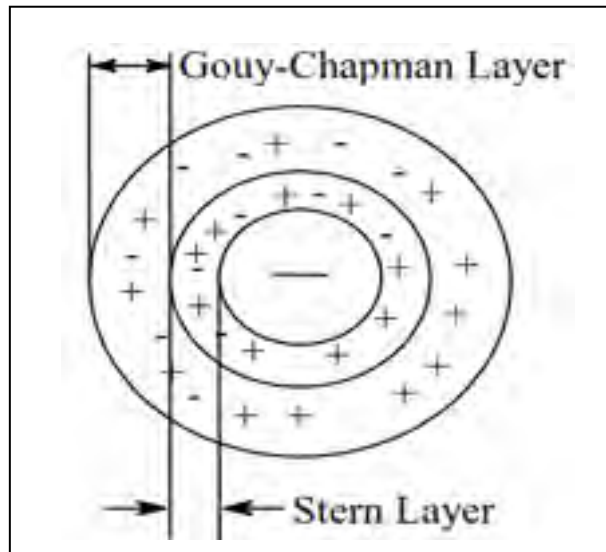


Figure 2.5 Illustration des couches autour d'une particule négative en solution.
Tirée d'Aquavex (2007)

La coagulation est le processus qui permet à deux particules de s'agglomérer, lorsque les forces répulsives sont inférieures aux forces attractives ces deux particules s'attirent entre elles. L'épaisseur des couches et le potentiel zêta ont une grande incidence sur la capacité à coaguler les colloïdes du moment que les forces attractives ne sont réalisables qu'à très courte distance (inférieur à 10^{-6} m). Quand le potentiel zêta est proche de zéro, la coagulation atteint pratiquement son point culminant d'efficacité. En le dépassant, soit du côté négatif ou côté positif, l'efficacité de la coagulation diminue. De petits agglomérats appelés «*pin flocs*» se forment dans la solution lorsqu'il y a coagulation.

Le processus de coagulation est très important. Les particules, en se regroupant entre elles, diminuent leur surface de contact avec la solution ainsi que leur énergie de surface. La circulation du liquide entre les colloïdes est d'autant plus facile quand l'énergie de surface est faible.

L'exemple ci après, permet de représenter le mécanisme. Une terre est dite de nature imperméable lorsqu'elle est constituée de très petits gravats (1 mm^3 et moins). En raison de

l'énergie de surface, l'eau n'arrive pas à circuler entre les gravillons. Alors que la terre qui draine bien est formée de gravats de tailles plus importantes (10 mm³ et plus).

Dans une solution, la clarification et le nettoyage des substances indésirables sont facilement réalisés si la demande cationique est faible.

2.6.3 Demande cationique

La demande cationique désigne la quantité de coagulant cationique (de charges positives) nécessaire pour neutraliser les anions qui se trouvent à la surface des colloïdes dans une solution donnée. La solution est d'autant plus facile à coaguler lorsque la demande en cations est faible et inversement si la demande est importante. Il est facile de filtrer la solution et d'enlever les substances indésirables si la coagulation est facile. Un appareil nommé analyseur de charges électrocinétiques peut mesurer la demande cationique.

2.6.4 Théorie de la floculation

La floculation se définit comme l'étape du traitement de l'eau au cours de la quelle l'agglomération des particules déstabilisées lors de la coagulation est favorisée afin d'aboutir à des particules suffisamment grosses (les flocs) qui pourront être enlevées par sédimentation ou par filtration (Crittenden, 2005). Les principaux mécanismes de floculation sont : la turbulence, la sédimentation différentielle (Amirtharajahet O'Melia cité dans American Water Works Association-AWWA, 1990) et le pontage établi par le floculant (Hendricks, 2005).

Des agglomérats nommés flocs se sont formés à partir de l'accroissement de "pin floc" c'est la floculation ou macro-coagulation. La séparation de ces colloïdes du milieu aqueux est sensiblement favorisée par l'accroissement de la taille du «*pin floc*». Les floculants sont des substances utilisées pour obtenir une floculation. Plusieurs floculants existent: anioniques, cationiques et neutres. Les polymères (ou macromolécules) sont en réalité des floculants qui par leur charge, leur taille et leur particularité chimique aident à rassembler le "pin floc" pour

en faire un floc, qui peut être gros, moyen ou petit selon l'efficacité du polymère et les conditions en solution.

2.6.5 Flocculation lestée

La flocculation lestée consiste en l'association d'un lest-le sable-, du polymère et de particules déstabilisées. Lors de cette opération, le lest est mis en contact avec les particules déstabilisées grâce au mouvement de l'eau, favorisé par la rotation de la pale. La fréquence de collisions entre le lest et les floccs est augmentée avec la vitesse de rotation de la pale. Le lest se heurte aux floccs et s'y accroche. L'accrochage est possible grâce aux forces d'inertie mais aussi grâce à la présence de polymère qui sert de liant entre ces deux corps (Ghanem et al. 2007).

2.6.6 Influence de l'agitation

La flocculation est favorisée par la collision entre particules déstabilisées. Le mélange de l'eau favorise ces collisions. L'efficacité du mélange dépend de son intensité, de la forme du bassin, de la forme et de la taille du dispositif de mélange, les pales et de la température de l'eau. L'intensité du mélange correspond à l'énergie transmise à l'eau par les pales (Greville, 1997). Pour mesurer l'intensité du mélange, Camp et Stein (cité dans Crittenden, 2005), ont introduit le gradient de vitesse G qui est défini par l'équation (2) :

$$G = (P/\mu V)^{1/2} \quad (2)$$

G : le gradient de vitesse (s^{-1})

P : la puissance appliquée par l'agitateur (J/s)

μ : la viscosité dynamique de l'eau ($N.s/m^2$)

V : le volume du bassin de flocculation (m^3)

Dans un système de floculation, le gradient de vitesse G varie habituellement de 20 à 100 s^{-1} (American Water Works Association, 2005).

Dans le cas de la floculation lestée, Dianous et Dernaucourt ont montré que le gradient de vitesse peut atteindre $700s^{-1}$ sans qu'il y ait bris des floes (cité dans Imasuen et al. 2004). Cette valeur représente plus de 10 fois la valeur du gradient de vitesse observée lors d'une floculation conventionnelle. Selon Young et Edwards (2003), les facteurs favorisant de grandes vitesses de sédimentation des floes lestés sont la croissance de la densité des floes et la sphéricité élevée des floes, en raison de l'adhésion des agents de lestage à la matrice du floe.

2.6.7 Les polymères

La floculation est la déstabilisation d'une suspension colloïdale hydrophobe par liaison entre les particules colloïdales utilisant de longues chaînes de polymères. Cela nécessite l'utilisation de polymères de poids moléculaire élevé et se déroule en deux principales étapes : l'initiation de floes et la croissance de floes.

1) Initiation de floes

Pour initier les floes, les polymères, avec leur longue chaîne moléculaire, agissent essentiellement par un mécanisme d'adsorption irréversible des colloïdes. Ce mécanisme dépend de la concentration en polymère, de la concentration des colloïdes et leur taille. Si un excès de polymère recouvre la surface de la particule, cette dernière sera de nouveau isolée et la suspension se stabilise une autre fois.

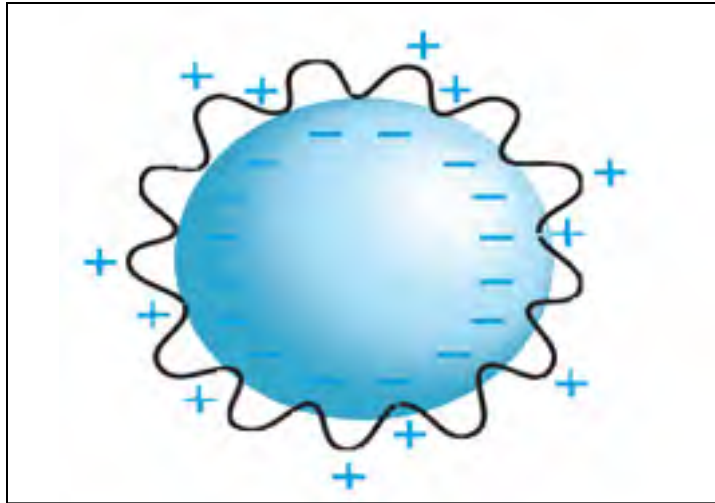


Figure 2.6 Isolement d'une particule d'un polymère.
Tirée de SNF FLOEGER

Dans le cas d'une suspension contenant des particules qui ont une distribution granulométrique large ou plusieurs particules de différentes de tailles, la suspension peut être restabilisée pour les différentes concentrations de polymère correspondant aux différentes tailles des particules. Ainsi, de bons résultats peuvent être obtenus en utilisant un polymère donné pour une taille des particules, mais pas pour un autre. En règle générale, lorsque ce phénomène se produit, relativement une bonne floculation est observée, mais la solution reste très nuageuse. Si la concentration du polymère est telle que ses sites d'adsorption des particules restent libres, la même chaîne de polymère peut être adsorbée sur deux particules différentes.

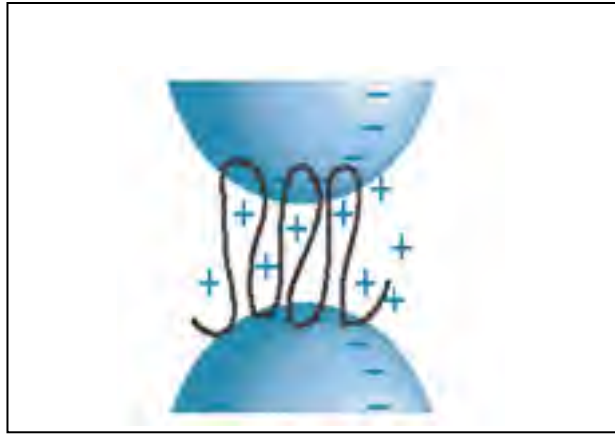


Figure 2.7 Pontage entre deux particules.
Tirée de SNF FLOEGER

Dans ce mécanisme, le polymère permet à une partie de sa chaîne moléculaire de se dérouler dans la solution. L'extrémité libre de la chaîne moléculaire est à son tour adsorbée sur la surface d'une seconde particule créant ainsi un pont entre les deux particules. En général, il est constaté que la concentration optimale de polymère doit être telle que plus de la moitié de l'adsorption des sites restent disponibles sur les particules. Le polymère dépend principalement de deux paramètres: le nombre de sites disponibles sur la surface du colloïde et le taux de collision des particules.

2) Cinétiques de développement de floc

Selon les mécanismes décrits ci-dessus, le développement des floccs se déroule en plusieurs étapes successives :

- dispersion du polymère dans le milieu;
- diffusion du polymère vers l'interface solide-liquide;
- adsorption du conditionneur sur la surface d'une particule;
- collision de particules portant un flocculant adsorbé avec une autre particule;
- adsorption du flocculant sur une deuxième particule afin de former un pont et un micro floc;
- croissance des micro-floccs par collisions successives et adsorptions;
- rupture des floccs formés par cisaillement;

Chaque étape se déroule selon ses propres cinétiques et le résultat final, en termes de floc, dépend des vitesses relatives des différentes étapes. Ainsi, par exemple, si la phase d'adsorption est beaucoup plus rapide que la phase de la croissance, il y aura beaucoup de petits flocons alors que si le taux de croissance est plus élevé, les flocons seront de plus grandes tailles et peu nombreuses.

En général, les réactions d'adsorption sont extrêmement rapides. L'étape limite dans le développement des flocons est principalement due à la fréquence des collisions entre les particules et la collision avec les flocons déjà formés.

3) Consistance des flocons

Les flocons peuvent être de deux types de consistances, à savoir «mou», qui sont réversibles, et «dur», qui sont irréversibles.

Un floc fournit une bonne rétention de fines particules pour de faibles taux de cisaillement dans une zone de repos, quand le taux de cisaillement augmente la rétention des fines particules diminue. De retour aux conditions initiales de cisaillement, si le floc retourne à sa structure initiale, il est appelé un floc doux. Généralement, il est obtenu avec des polymères de faible poids moléculaire.

Un floc dur, est plus résistant, maintient une bonne rétention de plus grand nombres de fines particules. Cependant, quand il est soumis à une forte turbulence pour une durée excessive, la rétention de particules fines diminue et le floc devient alors mou.

Les raisons supposées de ce phénomène proviennent de la configuration des chaînes de polymères à la surface de cette particule. Un floc dur est composé de particules reliées par des ponts de chaînes moléculaires qui s'étalent autour de la particule.

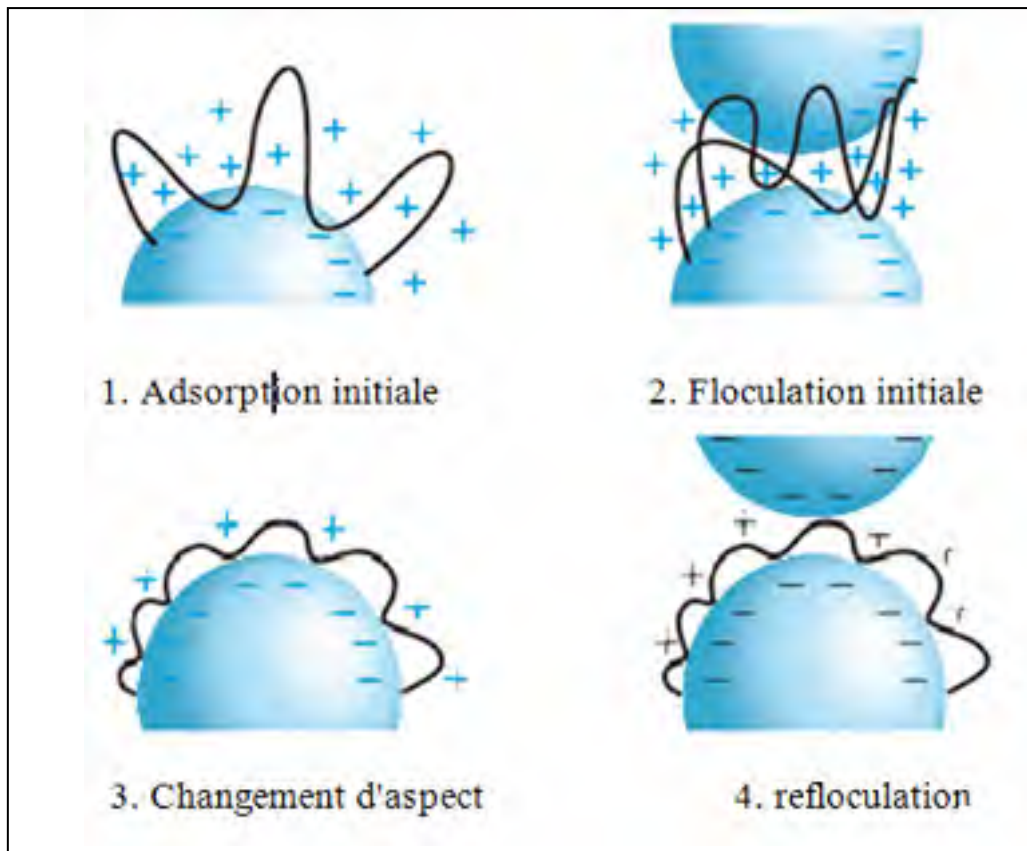


Figure 2.8 Floc dur en double flocculation.
Tirée de SNF FLOEGER

Après cisaillement, les chaînes moléculaires, en raison de l'influence des forces ioniques, ont tendance à couvrir plus de surface de la particule, ce qui donne, par pontage, un floc de consistance molle.

2.6.8 Streaming current et la double couche

La chimie colloïdale est importante dans les traitements des eaux et des boues. Elle étudie la combinaison stable de particules qui sont dissoutes ou mises en suspension dans une seconde substance.

Deux aspects importants de la chimie colloïdale sont les tailles de particules (de l'ordre de micromètre) et la charge nette de ces particules. En raison de leur petite taille, la surface de la particule joue un rôle important dans leur comportement ainsi que la densité de charge associée à chaque particule. Les boues de l'usine de traitement des eaux usées ont des surfaces de charges négatives par conséquent, sont attirés par les composants des additifs cationiques (polymères cationiques). Les particules cationiques sont étroitement liées à la surface du colloïde anionique, formant ainsi la Couche de Stern. Ces particules cationiques sont également connues comme «contre-ions». Les forces électrostatiques à cette couche sont assez fortes pour empêcher le déplacement des contre-ions par les forces de cisaillement. En dehors de la couche de Stern, un regroupement de contre-ions connue comme la couche diffuse, d'où le terme «double couche». Les ions dans la couche diffuse sont plus à part et peuvent être déplacé, lorsqu'une force de cisaillement est appliquée. L'analyseur de charges électrocinétiques effectue le cisaillement des contre-ions, puis mesure le courant généré par le mouvement de ces particules cationiques. C'est ainsi que la valeur de streaming est mesurée par l'analyseur de charges électrocinétiques ACE. Le cisaillement des contre-ions se produit entre la couche de Stern et la couche diffuse.

CHAPITRE 3

MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Généralités

Les tests ont été effectués avec des boues prélevées des bassins d'homogénéisations de la STEP. Les boues ferriques et aluminiques sont produites à partir du traitement chimique des eaux usées avec les coagulants respectifs : le chlorure ferrique (FeCl_3) et l'alun [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$]. Ces derniers sont injectés directement sans dilution préalable, et simultanément avec un flocculant de type anionique. Un conditionneur cationique est employé lors des tests de déshydratation de boues.

3.2 Conditionnement et filtration de la boue

À la STEP, l'approvisionnement régulier en boues était réalisable, mais la reproductibilité de la qualité des boues prélevées demeure problématique car elle est en perpétuels changements selon les propriétés des intrants et le fonctionnement du procédé de filtration. À cet effet, un stock de boue a été constitué pour une série d'essais. La boue conserve ses propriétés physico-chimiques relativement bien à une température de 4°C durant deux semaines.

Pour illustrer les filtres presses, les expériences ont été élaborées dans une cellule de filtration sous pression en PVC conçue pour les tests de filtrabilités des boues (conception maison) sous pression de 12 Psi, un système d'agitation de type mélangeur Triton, un chronomètre de marque CAALAB 620, des seringues et un cylindre de 250 mL sont utilisés.

Un analyseur de charges électrocinétiques CHEMTRAC - CEA2100 a servi pour la détermination de la demande cationique.

3.2.1 Préparation des solutions de polymère

La préparation des solutions de conditionneur est l'élément essentiel de ces analyses. Le floculant utilisé est un polymère cationique. Il se présente sous forme solide de haute densité de charge et de bas poids moléculaire. Un contrôle rigoureux doit être réalisé lors de sa mise en solution.

Quatre phases successives sont impératives pour préparer la solution de conditionneur cationique :

- la dispersion;
- l'hydratation;
- la dissolution;
- la maturation.

Dans la première phase, le conditionneur cationique subit un fort cisaillement afin d'éviter l'apparition de petites masses insolubles de conditionneur. La seconde phase qui est l'hydratation, un gel se forme. Ce dernier se dissout grâce à l'agitation de la solution et c'est l'étape de dissolution. Enfin la dernière phase c'est la maturation où la solution est mise au repos pour que les chaînes de produit se déploient entièrement.

Afin de rendre le mélange facile avec la boue, la solution préparée ne doit pas être trop visqueuse. Sur terrain, la solution est préparée à 5 g/L puis diluée à environ 1 g/L avant de la mélanger avec les boues. Au laboratoire, la même préparation de la solution mère a été réalisée.

Au début, et afin que la dispersion du polymère soit favorable, la vitesse d'agitation du polymère doit être intense pendant 10 min puis elle est réduite. Après 50 min, l'agitation est stoppée et la solution est laissée au repos pendant encore 60 min (temps de maturation). Finalement la solution dite mère est prête à l'emploi. Des solutions filles de polymère sont

alors préparées. Celles-ci sont produites en effectuant des dilutions de la solution mère avec l'eau de robinet.

La solution se conserve pendant 24 heures, dépassé ce délai son efficacité est altérée. La préparation est renouvelée à chaque jour d'essai.

3.2.2 Conditionnement des boues

La boue est prélevée à partir des bassins d'homogénéisations. Sa température avoisinée 8°C (conditions hivernales). Elle est réchauffée jusqu'à 20 +/- 2 °C dans un évier rempli d'eau chaude puis homogénéisée au moyen d'un mélangeur à hélice, pendant 10 minutes. Après ce délai, un nombre nécessaire d'aliquotes de 200 mL est prélevé dans des béciers. Une fois l'injection de polymère est introduite, la boue conditionnée est brassée pendant 30 secondes à l'aide du mélangeur Triton. La boue floculée est transférée sans tarder dans l'entonnoir que contient la toile filtrante (membrane).

3.2.3 Description de la cellule de filtration

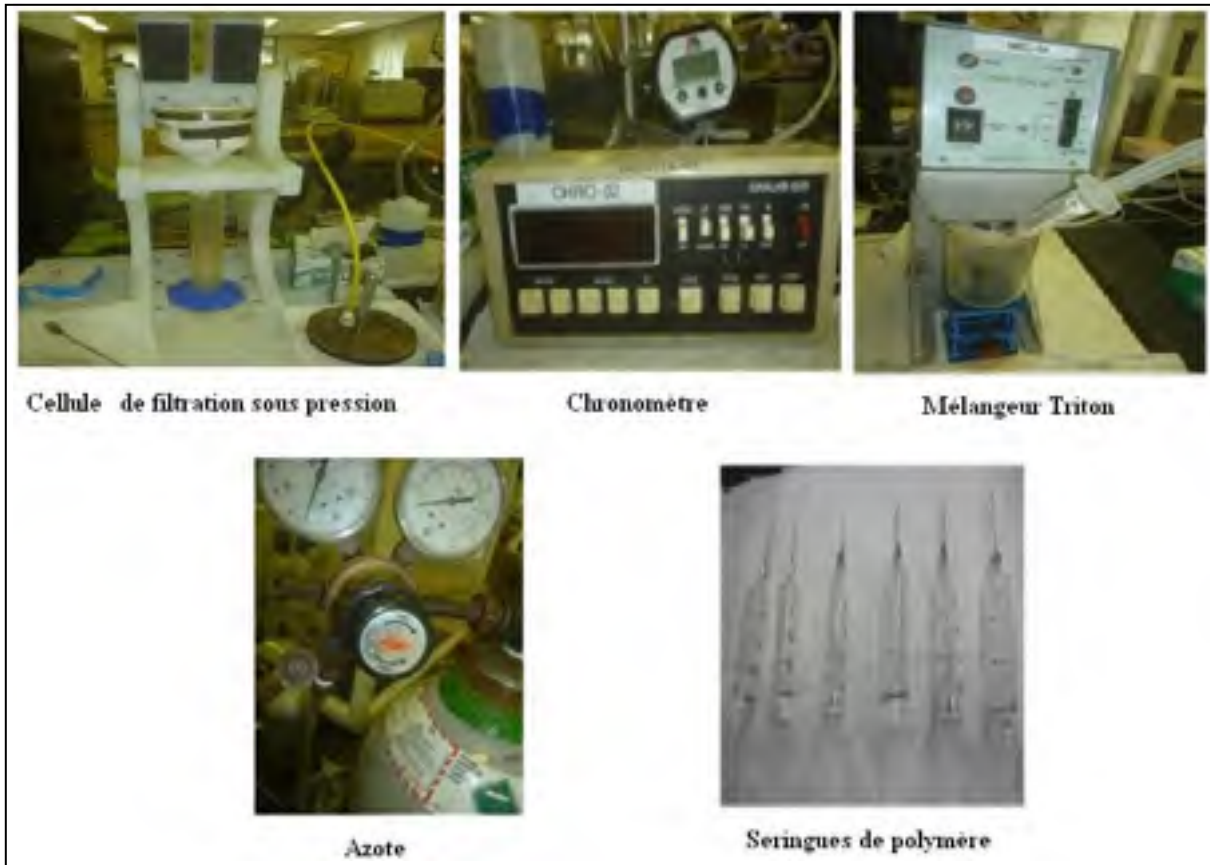


Figure 3.1 Montage expérimental pour la déshydratation des boues.

La cellule de filtration, comme indiquée à la Figure 3.1, est composée de quatre différentes sections : le corps de la cellule, le socle, le piston et le couvercle.

- le corps de la cellule est de forme cylindrique de diamètre intérieur 90 mm et 60 mm de hauteur.
- le socle est une partie amovible, qui se trouve à la partie inférieure de la cellule. Il a la forme d'un entonnoir, contient un support perforé permettant l'écoulement du filtrat. La membrane (toile) filtrante est placée sur cette partie mobile;
- à la partie supérieure de la cellule se trouve le piston. Ce dernier est doté d'une tige, son extrémité est cylindrique de 90 mm de diamètre et de 40 mm de hauteur. Il est également muni d'une vis qui sert de purge d'air;

- Le couvercle a deux orifices. Le premier est destiné pour l'injection d'azote. Le second, se trouve au centre, sert au guide du piston;

Deux joints en papier maintiennent l'étanchéité entre le corps de la cellule et le couvercle d'une part et le corps et le socle d'autre part. Un manomètre sert à réguler la pression d'Azote à l'entrée de la cellule. Les filtres utilisés sont des toiles filtrantes (les mêmes que celles utilisées sur filtres presses de la station d'épuration).

3.2.4 Mode opératoire

Après avoir transféré la boue flocculée dans le socle que contient la toile filtrante et que le piston soit mis en place, un volume de filtrat, connu sous le nom de volume d'égouttage V_0 , s'écoule sous l'effet de la gravité. Il correspond à la formation de la pré-couche au temps $t=0$ qui sera à soustraire des volumes repérés ultérieurement.

Une fois la pression de 12 Psi est appliquée le chronomètre est déclenché et le volume V_x de filtrat recueillis dans le cylindre gradué est noté toutes les 15 secondes. L'essai est conduit jusqu'à essorage du gâteau. La durée de filtration a été fixée à 180 secondes. Temps jugé nécessaire pour atteindre des RT gâteaux comparables à celles trouvées à la sortie des filtres presses de la station.

3.3 Méthodes analytiques et tests

Toutes les analyses ont été effectuées en accord avec les méthodes du Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association et al. 1995)

Les boues ont été ramenées à la température de laboratoire, soit $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Le tableau 3.1 présente les méthodes, matériels et équipements utilisés lors de l'analyse des paramètres des boues sous-étude.

Tableau 3 1 Liste des méthodes, matériels et équipements utilisés

Paramètre analysé	Méthode	Matériels utilisés
Siccités ou RT	2540E	-Balance électronique Mettler PM 1200 (précision 0,001g) -Étuve DESPATCH Fischer Scientific (105 °C)
MES	Méthode gravimétrique 2540D	-Système de filtration sous vide -Cylindres gradués de capacité de 250 mL et 25 mL -Coupelle à languette en aluminium -Étuve DESPATCH Fischer Scientific (105 °C) -Balance électronique Mettler PM 1200 (précision 0,001g). -Membranes en fibres de verre de type Whatman 934-AH RTU de 90 mm de diamètre et de 1.5 µm de porosité. -Dessiccateur SPEC0009.0, série 901 C
RTV	2540E	-Balance électronique Mettler PM 1200 (précision 0,001g) -Étuve DESPATCH Fischer Scientific (105 °C) -Four à moufle Thermolyne 30400 Furnace (550 °C)
POR	2540B	-Potentiomètre Brinkmann PC800
Oxygène dissous	2540B	-Oxymètre de type Stara3290
Turbidité	Méthode néphélométrique (CEAEQ_ MA .103-Tur.10)	-Turbidimètre de type Turbimax CUE23

Caractériser le processus global très complexe avec des paramètres mesurables de la boue et s'assurer que les résultats soient exploitables, passent par la reproduction des mêmes conditions opératoires au laboratoire afin de s'approcher le plus possible de la réalité du terrain. Pour cela, la méthode suivie s'articule sur deux (02) approches : test de filtrabilité (abordé aux paragraphes 3.2.3 et 3.2.4) et test dose-réponse par l'analyseur de charges électrocinétiques.

3.3.1 Test dose-réponse par l'analyseur de charges électrocinétiques (Streaming current)

Le filtrat est utilisé comme échantillon pour le contrôle de la dose de polymère à l'entrée des filtres presses. Les gradients de vitesse (G) désignés ont été estimés à 100 s^{-1} d'après Metcalf & Eddy, Inc. (2003).

L'analyseur de Charges Électrocinétiques ECA 2100 permet de déterminer la concentration optimale du polymère plus rapidement que les tests de pots classiques (Jar Tests). Il est également employé pour effectuer la «demande de charges» d'un échantillon. La cellule de mesure est constituée d'un piston alternatif dans un ensemble de sondes. Le mouvement de liquide entre deux électrodes en acier inoxydable génère un courant indiquant la charge nette de l'échantillon. Le titrage automatique du produit est utilisé jusqu'à la valeur neutre de charge (isoélectrique). Un affichage graphique permet l'observation en temps réel de la courbe de titrage, et les données sont transférées vers un PC pour la tenue de dossiers.



Figure 3.2 Analyseur de charges électrocinétiques CEA2100
Tirée de CHEMTRAC (2005)

L'analyseur de charges électrocinétiques CEA 2100 détermine la charge ionique et colloïdale de la partie humide en se servant du principe de “*streaming current*” (de charges électrocinétiques) qui équivaut au potentiel Zêta. La demande de charge dans l'échantillon de filtrat récupéré à partir du système de déshydratation, est réalisée par titrage automatique de polyélectrolytes au point isoélectrique.

En général, les boues de la station d'épuration possèdent un potentiel négatif. Au cours du conditionnement avec le polymère, le streaming current augmente jusqu'à une valeur nulle, pour ensuite prendre des valeurs positives.

3.3.2 Temps de Succion Capillaire (TSC)

L'appareil utilisé, de la compagnie Triton Electronics Ltd, est du type 319 CST Unit (capillary Succion Timer) utilisé avec cinq têtes pouvant réaliser cinq tests en même temps. La figure 3.3 illustre l'appareil utilisé. Ce montage simple comprend un chronomètre électrique relié à deux blocs de plastique entre lesquels est déposée la membrane filtrante

(filter CST paper 9CMS) et un cylindre creux (diamètre de 1,8 cm) dans lequel est placé l'échantillon. Trois électrodes sont disposées sur deux cercles concentriques.

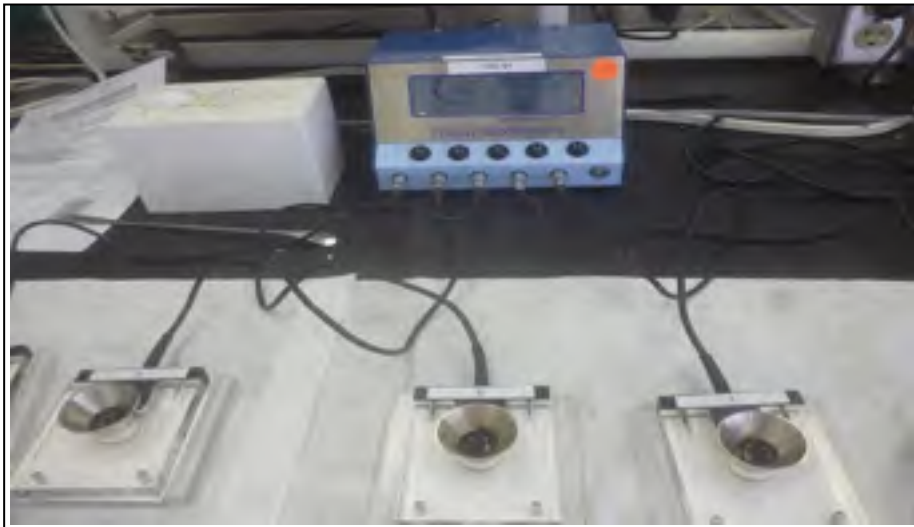


Figure 3. 3 Appareil de mesure du Temps de Succion Capillaire

En exerçant une pression de succion, l'eau contenue dans les boues est absorbée par le papier filtre. La rapidité de pénétration avec laquelle l'eau passe à travers, est fonction des propriétés des boues et de la déshydratation du gâteau obtenu. La mesure de la filtration n'est autre que le temps nécessaire à une eau pour passer de la première électrode à la deuxième qui sont concentriques de l'entonnoir. Une fois le premier capteur est atteint, une minuterie se déclenche et ne s'arrête qu'une fois le deuxième capteur est atteint. Le résultat de l'analyse est indiqué sur l'afficheur numérique.

CHAPITRE 4

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre présente l'ensemble des résultats expérimentaux réalisés sur les boues. Ils comprennent, d'une part, une présentation des premiers résultats obtenus pour la caractérisation de la boue ainsi que les résultats des essais de filtration sous pression effectués à l'aide d'une cellule de filtration, simulant les filtres presses et d'autre part, le contrôle et le suivi de la concentration optimum du polymère cationique avec l'analyseur de charges électrocinétiques.

Pour pouvoir définir l'aptitude d'une suspension boueuse à la filtration on peut se baser sur un certain nombre de critères fondamentaux, définissables en laboratoire, qui permettent de juger des résultats pratiques à l'échelle industrielle. Ces paramètres, répondent spécifiquement du comportement de la boue en filtration —en caractérisant sa structure— sont :

- siccité ou Résidus Totaux (RT);
- résidus Totaux Volatils (RTV);
- résistance Spécifique a la filtration (RSF).

4.1 Caractérisation des boues

La première partie de cette étude a porté sur une analyse des données brutes des boues sur une période de cinq mois.

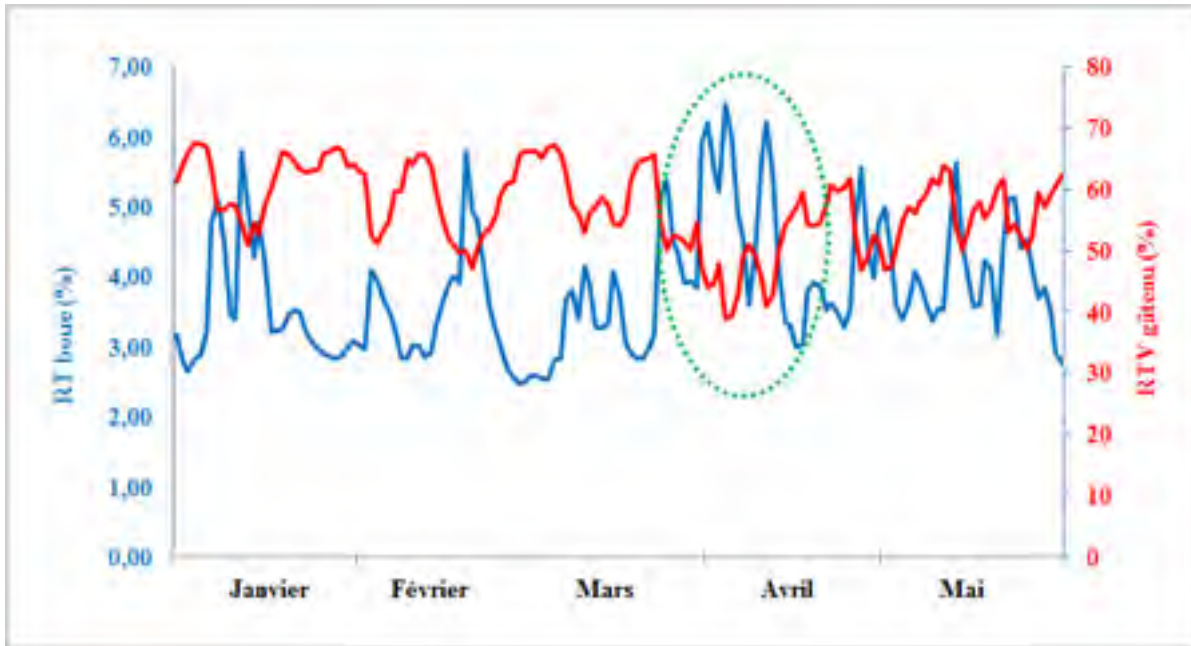


Figure 4.1 RT boue Vs RTV gâteau.

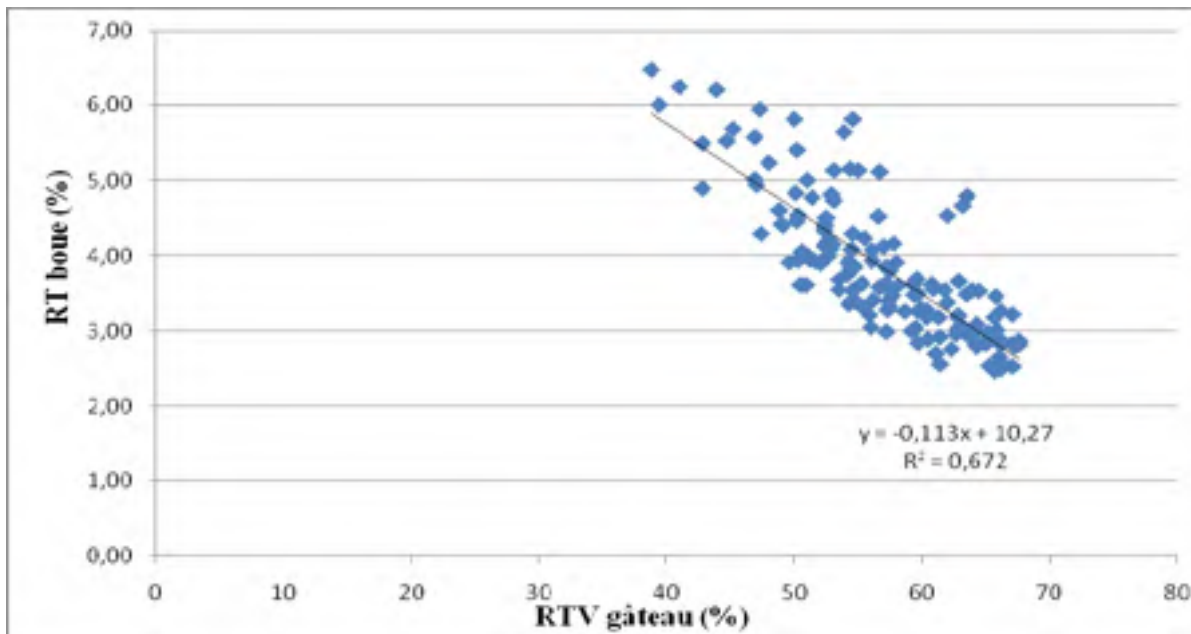


Figure 4. 2 RT boue en fonction de RTV gâteau

L'analyse des boues dans différentes conditions (du mois de janvier au mois de mai) fait ressortir une corrélation entre RT boue et RTV gâteau. La figure 4.2 montre une linéarité dans les résultats. En raison de la complexité des intrants, les boues obtenues au mois d'avril, avec la fonte des neiges, donnent des résultats qui ne sont pas cohérents avec ceux enregistrés précédemment. Étant donné le déversement des neiges usées dans les cours d'eaux est interdit selon le Règlement sur les lieux d'élimination de neige du Québec, le réseau d'égout de la ville et la station d'épuration, sont utilisés pour recevoir cette neige. La présence du sable employé lors du déneigement confirmé par la siccité des boues qui est élevée (7 %) et les RTV qui sont bas (38 %) par contre du point de vue thermique, cela a très peu de valeur puisqu'il y a augmentation de la consommation du fuel lors de l'incinération.

Pour pallier à cette méconnaissance, l'indicateur RTV boue devient alors essentiel dans la caractérisation de la boue en plus de la siccité classiquement déterminée.

La siccité élevée est en réalité due à la présence de sable présent dans la boue. Ce dernier aide à la floculation, il s'agit alors de la floculation lestée.

4.2 Essais de filtration sous pression

Le tableau 4.1 regroupe les résultats d'analyses des deux boues, de siccités différentes (l'une organique et l'autre minérale), qui ont été extraites des bassins d'homogénéisations et ont fait l'objet d'une caractérisation.

Tableau 4 1 Caractéristiques des boues extraites des bassins d'homogénéisations

Boue	N° Essai	Siccité de la boue (%)	RTV boue (%)	POR (mV)	Concentration du flocculant cationique (g/L)	RT gâteau (%)	Épaisseur gâteau (mm)	résistance spécifique *10 ¹² (m/kg)	Oxygène dissous moyen (ppm)	MES dans le filtrat (mg/L)
A	1	3.01	66.8	-251	0,0	7,25	*	39,5	8.7	8153
	2				0,5	9,61	*	22,7		498
	3				1,0	18,9	3	17,4		258
	4				1,5	28,2	6	12,5		106
	5				2,0	21,4	4	15,2		322
B	1	5.79	47.2	-165	0,0	8,92	*	26,1	10.2	14680
	2				0,5	10,4	*	21,3		1304
	3				1,0	27,4	4	8,21		376
	4				1,5	32,1	7	3,78		236
	5				2,0	30,4	5	17,8		263

* boue très liquide.

¹ kg de polymère / tonne de résidus totaux.

Lors des essais sur des boues de siccités respectives 3.01 % et 5.79 %, le premier indicateur du caractère oxydant ou réducteur des boues est le pouvoir d'oxydo-réduction. Ce dernier est fonction particulièrement de l'âge des résidus de traitement des eaux. Les résultats obtenus de POR dénotent que le vieillissement des boues, occasionné d'une part par leur emmagasinement et d'autre part par la récupération des boues de l'extérieur de la station d'épuration a intensifié l'activité microbiologique et, par conséquent, les difficultés qui y sont liées. De plus, les valeurs négatives du pouvoir d'oxydo-réduction confirment que les boues ont un caractère réducteur. Ces données trouvent leur explication dans les concentrations résiduelles qui sont assez basses en oxygène dissous. Cette situation pourrait s'amplifier en saison chaude, quand l'activité microbiologique augmente plus.

Pour que la déshydratation de la boue à l'intérieur des filtres-presses soit la plus efficace possible et produise des gâteaux de qualité conforme à l'incinération, il faut atteindre le point d'équilibre dans la rétention d'eau. Ce point se situe autour de 10 secondes (Degrémont, 1989). Il est déterminé par le test de «Temps de Succion Capillaire (TSC)» en analysant les boues avec et sans conditionnement. D'ailleurs, c'est le test qui permet d'apprécier l'aisance avec laquelle des boues conditionnées laissent migrer leur eau, qui est piégée dans la structure des floccs par capillarité sur un filtre.

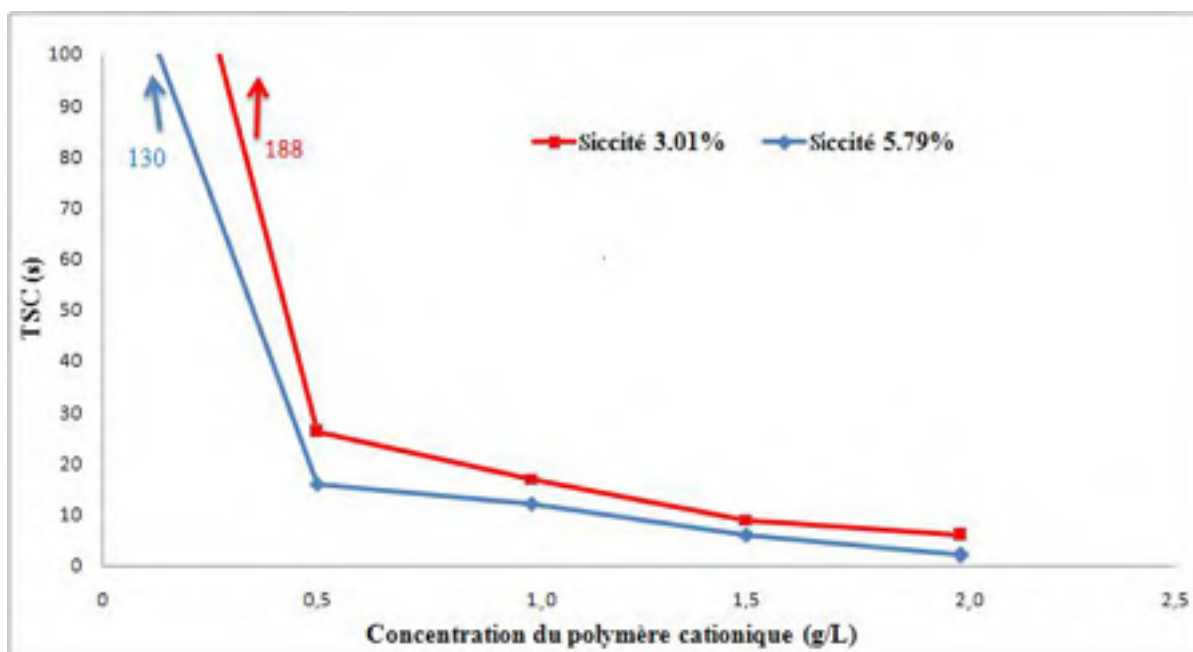


Figure 4.3 Temps de succion capillaire (TSC) en fonction des différentes concentrations de polymère.

Sans conditionnement, les boues brutes ont des TSC assez élevés (188 s et 130 s). Les résultats de temps de succion capillaire indiquent un temps de déshydratation plus élevés pour la boue (3.01 % de siccité) par rapport à l'autre boue (5.79 % de siccité). Ces résultats conduisent à des doses de polymère légèrement supérieures pour la boue à caractère organique.

En théorie, la consommation du conditionneur est tributaire de la présence du nombre de particules colloïdales. Plus le nombre de colloïdes est grand, plus leur surface totale est

importante et par conséquent nécessite une consommation supplémentaire en produit chimique. Cette hypothèse ne peut être retenue car les valeurs obtenues avec le TSC donnent des résultats différents selon la texture de la boue, qu'elle soit perméable (minérale) ou argileuse (organique). C'est une autre preuve que la siccité à elle seule ne peut suffire pour caractériser la boue. La connaissance de l'indicateur de caractérisation telle que les résidus totaux volatils ont un rôle à jouer dans le processus de compression.

À partir de faibles concentrations de flocculant cationique, le TSC reste encore élevé et le mélange boues-polymère n'est pas adéquat. La matière solide n'est pas en mesure de se regrouper de façon appropriée. Il en résulte que la boue reste homogène, que les particules de matières solides auront beaucoup moins tendance à former de beaux floccs et le polymère est en sous dosage.

Par contre, le temps de succion capillaire des boues traitées avec de fortes concentrations de conditionneur sont faibles (quelques secondes), ceci signifie que l'intervalle de temps entre le moment où l'eau captée par le papier filtre atteint le premier capteur et celui où elle atteint le second est court. C'est une indication que les particules solides se regroupent en floccs et expriment le maximum de liquide possible. Bien que le gâteau produit soit de bonne qualité, le dosage de polymère est trop important pour les besoins réels d'opération et le boudin risque de se colmater.

Pour le système de conditionnement défini par le test de filtrabilité, l'évaluation des performances de filtration, ne peut se faire, qu'en procédant à une mesure de la résistance spécifique à la filtration de la boue conditionnée.

Des essais de filtration sous pression de 12Psi (83 kPa) ont été effectués pour mesurer la résistance spécifique « RSF » des boues. Les valeurs, de rapport du volume de filtrat au temps t sur le volume de filtrat à la fin de l'expérience $t/v = f(v)$ obtenues révèlent que les boues sont difficiles à déshydrater.

Rappelons que la résistance spécifique à la filtration, RSF, permet de juger de la perméabilité et de la texture du gâteau et de leur évolution avec les conditions de déshydratation. La Figure 4.3 représente l'évolution de cette RSF pour les différentes concentrations de flocculant cationique. Les valeurs de la résistance pour la boue (A) comme en témoigne les résultats obtenus au tableau 4.1, sont supérieures à celles de la boue (B).

À priori, une corrélation devrait exister entre les résidus totaux des boues, qui sont liés à des particules présentes, et leur résistance spécifique. Dans notre cas, le contraire s'est produit car la texture de la boue est différente. Le résidu de traitement des eaux (B) à caractère sablonneux possède une texture poreuse, des particules de formes irrégulières, et se dessèche facilement. L'ensemble de ces propriétés physiques fait en sorte que cette qualité de boue draine l'eau interstitielle plus facilement que celle à caractère organique de texture uniforme et argileuse. Par conséquent, la concentration optimale du polymère cationique pour la boue (B) serait inférieure à celle de (A).

Ces figures sont représentatives, par leurs tendances, de l'ensemble des autres résultats d'essais.

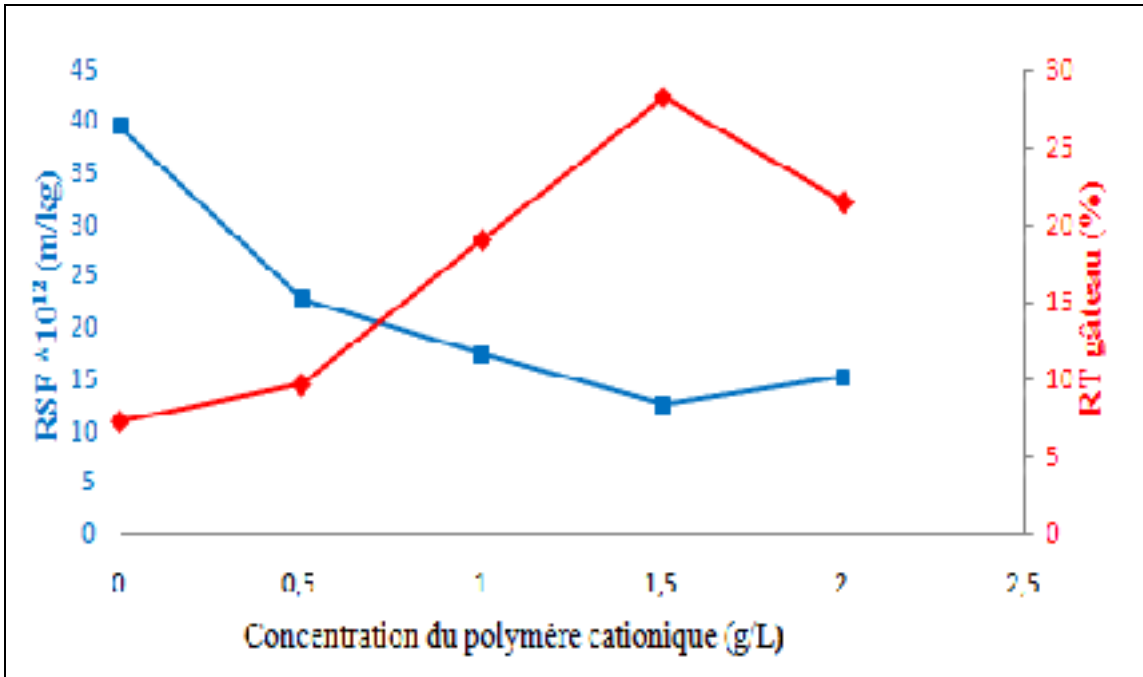


Figure 4.4 Résistance spécifique à la filtration et RT gâteaux produits en fonction des différentes concentrations du conditionneur.

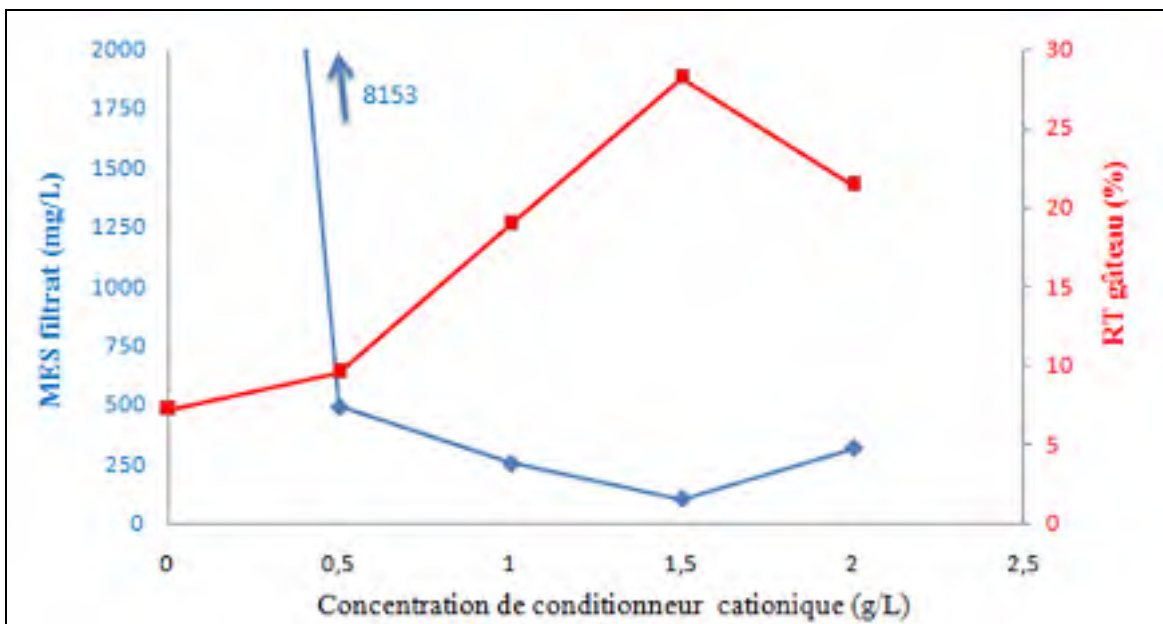


Figure 4.5 Matières en suspension dans le filtrat et RT gâteaux produits en fonction de différentes concentrations du conditionneur.

L'évolution des RT gâteaux produits pour différentes concentrations de polymère cationique montre l'effet qu'un sous dosage est dommageable aux performances de la filtrabilité des boues avec des siccités de gâteaux faibles, une résistance à la filtration plus élevée et des qualités de filtrats mauvaises. Un surdosage est responsable d'une diminution des siccités et d'une augmentation de la résistance à la filtration, par contre, la qualité des filtrats en termes de MES est meilleure.

Les conclusions suivantes découlent des premiers essais pour la caractérisation des boues à déshydrater:

- le conditionnement, qui est étroitement lié à la siccité initiale de la boue et ses RTV, entraîne des résultats de TSC différents.
- la zone de conditionnement admissible techniquement et économiquement se situe entre 1 g/L et 1.5 g/L de polymère cationique.
- à de faible concentration du produit de conditionnement, une dégradation est observée de la qualité du filtrat en terme de MES ainsi que le taux de récupération.
- une perturbation dans les rendements du procédé est notable suite à de fortes concentrations en polymère cationique particulièrement avec la diminution de la siccité des gâteaux produits (Figure 4.9).
- la température de l'eau a un grand impact sur l'uniformité du mélange. En effet, une diminution de la température conduit à une augmentation de la viscosité de l'eau. Pour maintenir une bonne dispersion des réactifs ajoutés, il est alors nécessaire d'augmenter la vitesse de rotation des pales et par conséquent la puissance de mélange.
- pour les boues à caractère organiques (RTV boue élevés) la déshydratation est significative c'est à dire augmentation des matières solides du gâteau et l'efficacité des

captures nécessitent des doses plus élevées de conditionnement par rapport à des boues à prédominance de matières minérales (RTV boue bas).

4.3 Utilisation de l'ACE pour le contrôle et le suivi de la dose du polymère.

Dans cette partie de l'étude, les expériences menées sur les boues ont d'abord consisté en la recherche de la concentration optimale de polymère avec des tests de temps de succion capillaire (TSC) sur la boue, de turbidité et de *streaming current* (SC) sur le filtrat, puis la mise en évidence de l'utilisation de l'analyseur de charges électrocinétiques pour le suivi et le contrôle de la dose du polymère cationique dans le processus de la déshydratation des boues.

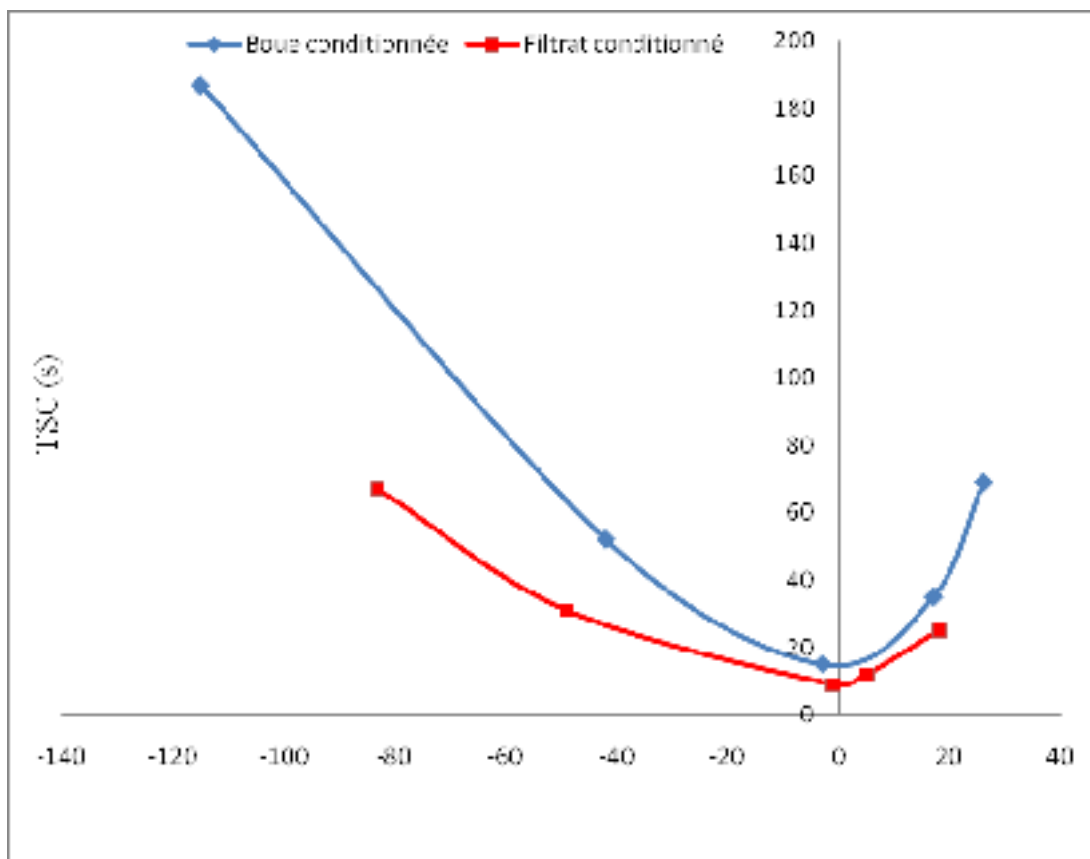


Figure 4.6 Les minimums du SC et TSC dans les boues conditionnées et les filtrats aux mêmes doses de polymère cationique

Pour les mêmes doses de polymère, les valeurs minimales de TSC indiquent des valeurs de SC qui se rapprochent de zéro aussi bien pour les boues conditionnées que pour les filtrats.

L'utilisation de l'analyseur de charges électrocinétiques permet le suivi et le contrôle de la dose du polymère cationique dans le processus de la déshydratation des boues comme le confirme les résultats du TSC et SC pour les boues conditionnées ainsi que pour les filtrats avec les mêmes doses de polymère.

En mesurant la demande cationique d'une boue avant et après l'ajout du conditionneur, une baisse de la demande en cations est observée. Elle atteint son maximum ou le point isoélectrique quand quelques micro-équivalents/litre du flocculant sont ajoutés à la boue. En réalisant régulièrement cette mesure et afin que la floculation soit efficace, les valeurs minimum et maximum sont établis pour une boue donnée, quelque soit la situation qui affectera par la suite la qualité de la boue.

De la même manière, la demande en cations peut être employée pour évaluer s'il y a surdosage ou sous dosage de conditionneur. En déterminant la zone limite (valeurs maximum et minimum) de la demande en cations de la boue traitée, l'évaluation peut être effectuée, dans les moments de changement brusque de la qualité de la boue, en procédant à une mesure avec l'ACE.

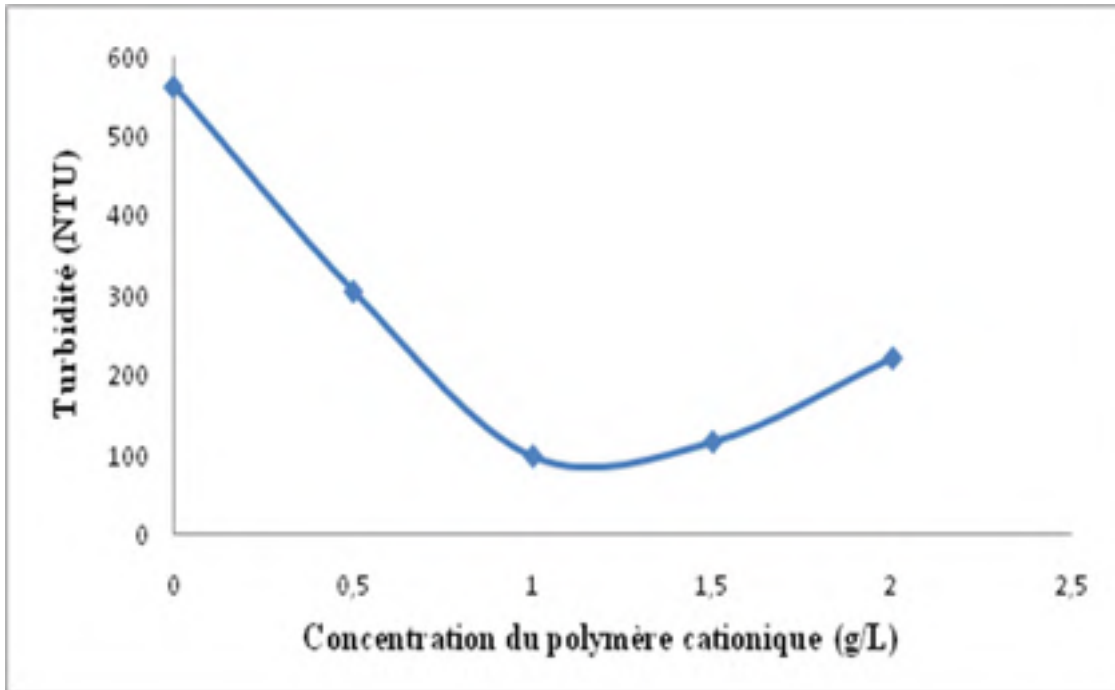


Figure 4.7 Turbidité pour différentes concentrations de polymère cationique.

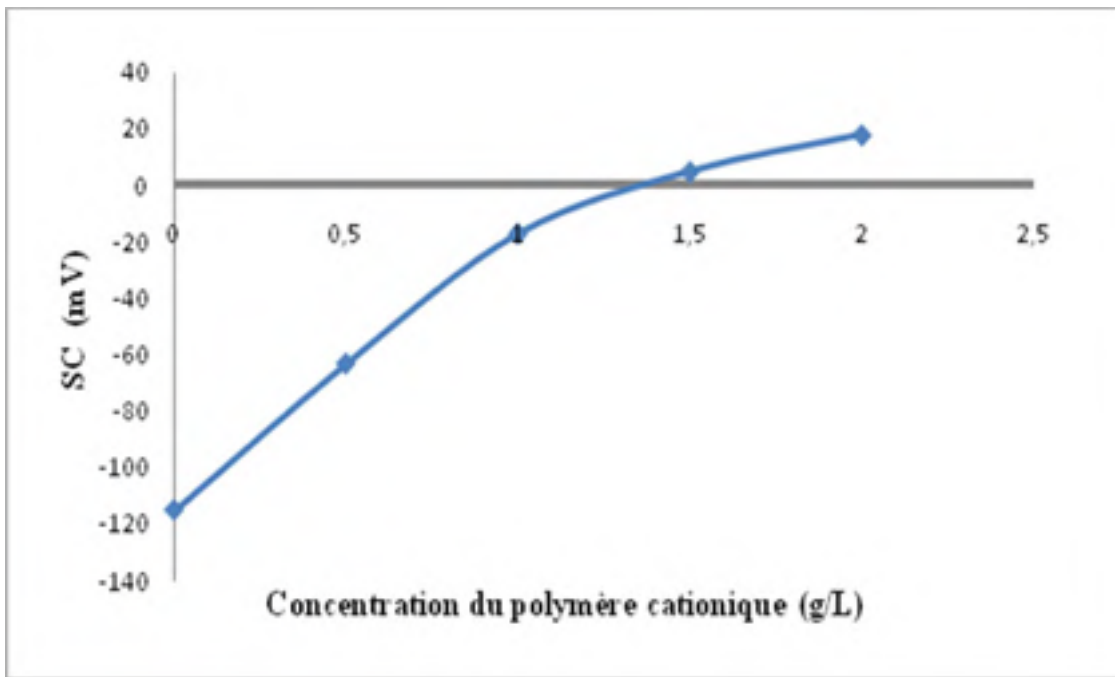


Figure 4.8 SC pour différentes concentrations de polymère cationique.

Les résultats de turbidité montrent que la neutralisation de charges est indicative d'une mesure quasi-optimale de l'attachement du polymère parce que l'amélioration de la floculation particule-particule est due aux polymères attachés et non pas uniquement en raison d'absence de répulsion de charges. En effet, cela a été démontré par des mesures de SC lorsque le polymère cationique flocule avec succès les résidus de traitement de l'eau. Lors de l'utilisation de polymère cationique, la rupture de floc peut être déduite par la modification de charges, avec un retour vers les valeurs de charges négatives d'origine observés en augmentant le temps de mélange ou d'intensité (Figure 4.8 lorsque le gradient de vitesse $G = 200 \text{ s}^{-1}$).

Une corrélation existe entre la turbidité et le streaming current pour les différentes doses de polymère cationique. Plus les valeurs de la turbidité sont élevées, plus la demande en pouvoir cationique est élevée (550 NTU lui correspond -118 mV de SC) et inversement quand celle-ci diminue, la demande en pouvoir cationique diminue également. En outre, le minimum de la turbidité correspond au point isoélectrique indiquant que la dose optimale du polymère à injecter est atteinte. Dépasser ce point, une inversion de charges apparaît et le polymère est en surdose. La dégradation de la qualité des boues déshydratées est causée par le phénomène de répulsion de charges de mêmes signes qui fait augmenter la turbidité dans le filtrat. Donc au point isoélectrique, la solution est considérée comme neutre. Si l'électrolyte supplémentaire est ajouté, le système deviendra cationique net.

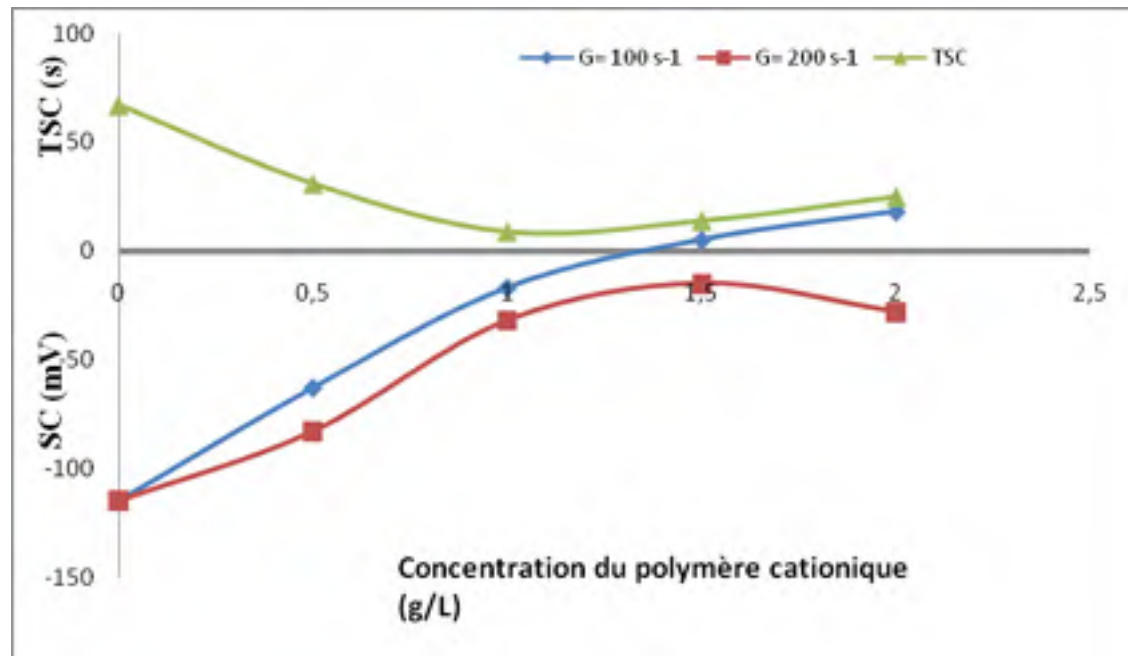


Figure 4.9 Influence du gradient de vitesse sur la floculation.

Avec un mélange moins intense, les mesures d'ACE affichent une transition, les résultats passent par un point de charge nulle, indiquant la floculation des charges peut se produire en raison de la neutralisation. Ce point de charge nulle, qui est la mesure du potentiel zêta, est en corrélation avec la valeur minimum de TSC. Ceci indique que l'ACE peut également être utilisé dans les boues pour le contrôle en ligne des concentrations dans le cas de l'utilisation d'un conditionneur cationique. Pour ce qui est de la force des floes, en augmentant la vitesse d'agitation, le cisaillement se produit à travers les particules elles-mêmes plutôt que par rupture des chaînes de poly-électrolytes. Cela ouvre de nouvelles surfaces de la particule avec sa charge de surface d'origine nécessitant ainsi un autre besoin de neutralisation. Ainsi, la force de floc peut être caractérisée indirectement avec l'analyseur de charges électrocinétiques.

Le polymère a provoqué une transition de charges négatives à charges positives dans les filtrats. Proche de zéro, les lectures d'ACE ont coïncidé avec la déshydratation optimale, comme indiqué par des mesures des solides totaux et par des recouvrements des minima dans la turbidité du filtrat, d'une part et les temps d'aspiration capillaire d'autre part. Ainsi, la

charge de neutralisation est un mécanisme clé de conditionnement de matières solides, et l'analyseur de charges électrocinétique pourrait être adapté à la surveillance de la dose de polymère.

Les premiers résultats des tests obtenus ont révélé que la zone de conditionnement admissible techniquement et économiquement se situe entre 1 et 1.5 g/L de polymère cationique. Les boues ont été traitées avec une concentration de 1 g/L de polymère cationique et déshydratées dans la cellule de filtrabilité sous pression de 12 Psi. Le filtrat récupéré a ensuite été utilisé pour contrôler la concentration optimale du conditionneur avec l'analyseur de charges électrocinétiques.

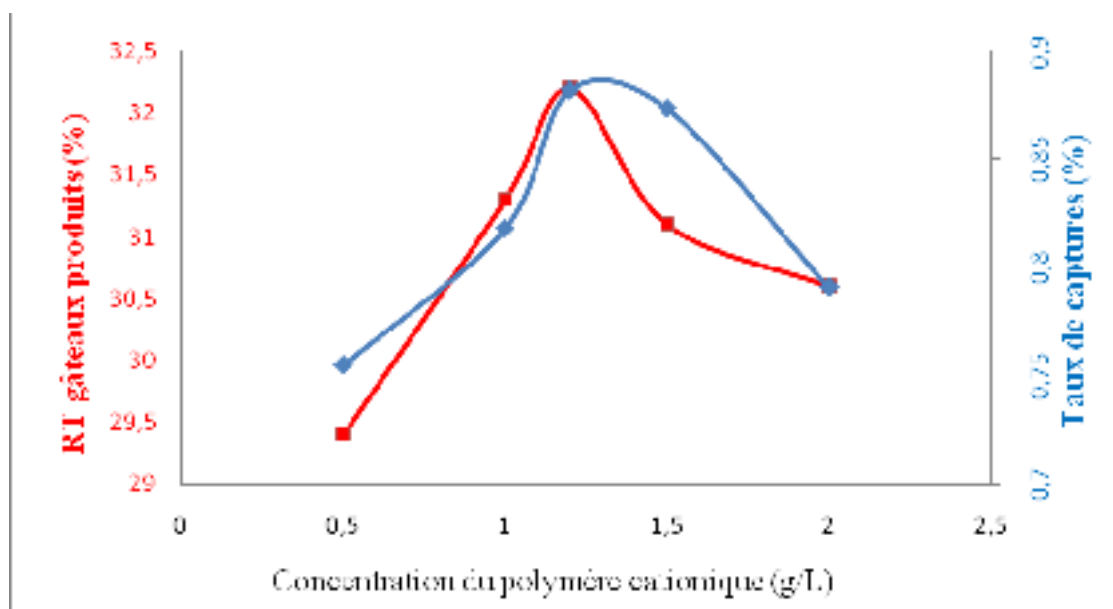


Figure 4.10 RT gâteaux et Taux de captures en fonction des concentrations du conditionneur

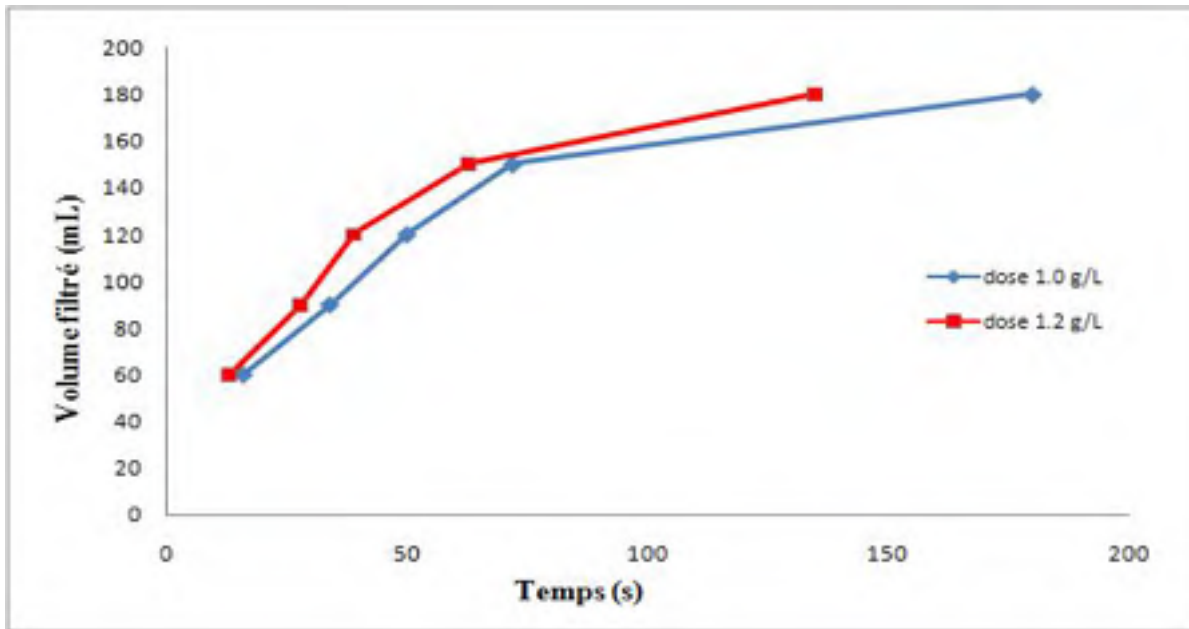


Figure 4.11 Évolution du temps de filtration.

L'évolution des volumes de filtrat montre une accélération de la filtration avec l'augmentation de la dose du conditionneur à 1.2 g/L. Cette tendance est confirmée par l'évolution de temps de filtration qui a diminué de 25 % par rapport à l'essai réalisé avec 1.0 g/L (figure 4.10), ce qui dénote une amélioration de la qualité de la filtration.

Les rendements obtenus ont été supérieurs avec le supplément d'adjuvant de floculation parce que la taille des floes a aidé au piégeage d'impuretés et a contribué à une amélioration de la qualité du gâteau produit.

La maîtrise des coûts du processus passe impérativement par le contrôle de la dose de polymère. Sachant la demande cationique dans une boue donnée, le surdosage en produits chimiques peut être évité ce qui engendra des économies en produit de conditionnement.

L'interprétation des résultats obtenus lors de la réalisation de tous ces tests et l'utilisation de l'analyseur de charges électrocinétiques ont aidé à dégager les conclusions suivantes:

- le minima de la turbidité correspond au point isoélectrique de SC;
- les valeurs proches de zéro de SC correspondent aux valeurs minimales de TSC indiquant la dose optimale du polymère;
- l'ACE informe sur la concentration du flocculant anionique résiduel dans la boue lors du traitement des eaux usées;
- l'ACE renseigne sur la préparation de la mise en solution du polymère;
- l'efficacité de la coagulation -floculation est atteinte par la mesure de la demande cationique;
- de la même manière, la demande cationique peut être utilisée pour déterminer s'il y a surdosage ou sous dosage du produit de conditionnement;
- une amélioration est observée dans les rendements de la filtrabilité à la concentration désignée par l'analyseur de charges électrocinétiques;

Dans ce dernier point, la déshydratation des résidus obtenus est plus rapide (temps de filtration) et efficace (siccité élevée de gâteaux produits) à la concentration optimale de conditionneur indiquée par l'analyseur ACE.

4.4 Algorithme de contrôle

L'ajout de polymère cationique aux boues représente des frais annuel significatif pour une station d'épuration. En outre, le caractère irrégulier de la production des boues constitue un défi pour les opérateurs. La technologie de l'ACE peut fournir des données sur l'évolution des caractéristiques minimisant le dosage et l'optimisation du processus.

Des indicateurs de qualité de la boue sont nécessaires pour atteindre la finalité d'une constance de la qualité du gâteau produit. Les résidus totaux de la boue seuls ne peuvent être un critère suffisant pour caractériser la consistance d'une boue. Un autre élément doit être pris en compte, soit les résidus totaux volatils de la boue qui renseignent sur les matières organiques et minérales contenues dans les résidus de traitement des eaux.

La demande cationique dans un échantillon de filtrat, comme un indicateur de contrôle de la concentration du polymère, permet de mesurer le SC et donne la possibilité de rétroagir sur l'introduction du polymère et sa préparation.

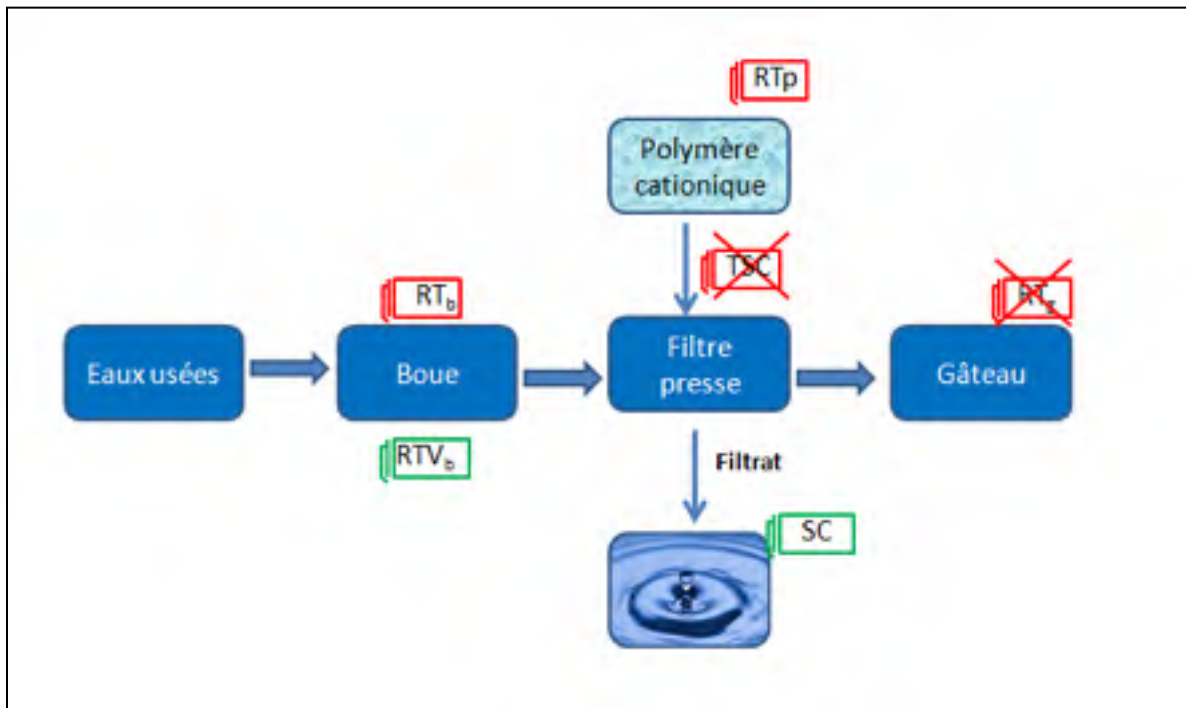


Figure 4.12 Paramètres de contrôle.

Parfois, le paramètre RT gâteau donne une indication erronée comme pour le cas des boues sableuses (bien que sa siccité paraît élevée, elle présente peu de valeur du point de vue thermique). À ce titre, les résidus totaux des gâteaux produits ne peuvent être considérés comme un indicateur fiable de la performance de la déshydratation des boues.

La mise en évidence de l'utilisation de l'ACE, pour le contrôle de la concentration du produit de conditionnement, étant prouvée d'une part et que la déshydratation des boues s'effectue d'une façon discontinue d'autre part, les obstacles pratiques tel que le nettoyage de la sonde peuvent être surmontés par l'application de cette technologie.

CONCLUSION

La complexité des processus de floculation d'une part, et la diversité et la variabilité des boues à traiter d'autre part, expliquent qu'il n'existe pas de traitement ni de produit de conditionnement unique et miracle. En raison de l'absence de méthodologie quantifiée et répétable d'optimisation de la floculation des boues à petite échelle, des essais de faisabilité et d'optimisation sont donc toujours nécessaires pour trouver la nature du ou des réactifs à utiliser parmi les nombreux produits disponibles sur le marché, puis pour déterminer leur dose optimale en fonction de la technique de déshydratation.

Une grande partie des recherches antérieures sur le conditionnement chimique et la déshydratation des boues était basée sur la corrélation d'une première concentration en matières solides, une série de concentrations de polymère et un temps de succion capillaire moyen. Alors que ce sont des paramètres utiles à certains égards, ils sont d'une valeur limitée dans d'autres. Ils ne fournissent pas de données sur les processus et ils ne sont pas faciles à mesurer sur une base continue.

Les présents travaux ont mis en évidence les développements de la recherche en utilisant quelque différentes techniques de caractérisation et de mesure. Ces données fournissent de nouveaux aperçus sur les phénomènes de déstabilisation des particules et permettent également d'élaborer des stratégies scientifiquement fondées pour l'optimisation de ces processus. Les résultats montrent l'importance de la neutralisation de la charge dans le conditionnement des boues lorsque le polymère est de charges opposées aux charges des colloïdes.

La recherche expérimentale menant sur la floculation des boues s'est matérialisée par le développement d'une méthode d'essai associée à l'analyseur de charge électrocinétique dans les échantillons de filtrat.

Les résultats produits par l'analyseur de charges électrocinétiques renseignent l'exploitant sur la juste dose nécessaire de flocculant. Celui-ci peut en temps réel ajuster la dose industrielle en conséquence et supporter les variations de qualité des boues tout en maintenant la siccité des gâteaux et la productivité de la filière des boues à un niveau acceptable, en réduisant la consommation de polymères et en évitant les surdosages.

Les conclusions tirées de cette étude sont les suivantes :

- pour bénéficier de meilleurs taux de récupérations possible, la concentration du coagulant doit tenir en considération, non seulement, les siccités des boues à déshydrater mais également des résidus totaux volatils. Toute déficience entrainera une dégradation de la qualité de la boue traitée;
- l'emploi de filtrat pour le contrôle et le suivi de la concentration optimale du produit de conditionnement;
- l'utilisation de SC pour mesurer la demande cationique dans le filtrat;
- l'utilisation d'une titration simple et une technologie du streaming current. pour la détermination rapide du dosage approprié de polymère cationique;
- l'usage des polyélectrolytes cationiques s'impose pour les boues fortement organiques, mais un excès de ces réactifs au-delà d'une concentration optimale, est préjudiciable;
- les résultats obtenus en laboratoire laissent prévoir des économies du coût d'achat de polymère cationique;

À la lumière des résultats obtenus, et pour répondre à l'hypothèse de travail initialement posée à l'introduction, l'analyseur de charges électrocinétiques peut être utilisé pour optimiser

la dose du polymère cationique. Les résultats obtenus au laboratoire sont prometteurs et suggèrent d'être testés à l'échelle pilote pour une éventuelle confirmation et procéder aux corrections ou ajustements le cas échéant.

La portée des conclusions de cette étude est certes limitée par le choix d'un seul polymère cationique et deux qualités de boues. Néanmoins une telle approche demeure un excellent moyen d'explorer une problématique peu étudiée, dans la mesure où elle pourra fournir des pistes pour des recherches à portée plus générale.

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abu-Orf, MM, et Dentel, SK. 1998. «Contrôle automatique de la dose de polymère en utilisant le détecteur de courant continu». *Eau Environnement Recherche*, 70 (5), de 1005 à 1018.
- Abu-Orf, MM, et Ormeci, B. 2005. «Mesure de la force du réseau de boues par rapport à la rhéologie et de déshydratation, filtration et épaissement des expériences du laboratoire et à grande échelle». *Journal of Environmental Engineering*, 131 (8), 1139-1146.
- Al Momani, F, et Ormeci, B. 2014. «mesure en temps réel de la concentration de polymère dans de l'eau et des eaux usées». *Journal of Chemical Engineering of environment*.
- Al Momani, F, Schaefer, S., & Sievers, M. 2010. «Amélioration de la déshydratation des boues pour le traitement d'ozonation-aérobie séquentiel ozone:..» *Sciences & Engineering*, 32 (4), 252-258.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation). 2005. En l'an Eaton, LS Clesceri, EW Rice et AE Greenberg (Eds.),« *Les méthodes standard d'analyse de l'eau et des eaux usées*». Washington DC: American Public Health Association, de l'American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Bache, DH, et Papavasiliopoulos, FR 2000. *Comportement visqueux des boues centrat en réponse à un polymère de conditionnement*. Water Research, 34 (1), 354-358.
- Bajpai, Â.K., Bajpai, S.K., 1996. «Kinetics of flocculation of iron oxide particles by polyacrylamide,» vol.3 (4), *Indian journal of chemical technology*, p. 219-223.
- Bates, R., & Montoya, M. 2010.«Pour assurer la qualité d'un nouveau produit de biosolides, au Kentucky optimise l'utilisation de polymère avec système de contrôle automatisé». *Eau Environnement et de la technologie*, 25-29.
- Berthouex, PM, et Brown, LC. 2002.« Statistiques pour les ingénieurs en environnement » (2e éd.). Boca Raton en Floride: Lewis Publishers, CRC Press.
- Campbell, HW, et Crescuolo, PJ 1989. «Contrôle de l'addition de polymère pour le conditionnement des boues. Une étude de démonstration». *sciences de l'eau et de la technologie*, 21 (10-11), 1309-1317.

- Dentel, SK, et Abu-Orf, MM. 1995. «Laboratoire et à grande échelle des études de viscosité de flux de liquide et le streaming courant pour la caractérisation et le suivi de la déshydratation». *Water Research*, 29 (12), 2663-2672.
- Environmental Protection Agency des États-Unis. 1987. «Conception Manuel. Déshydratation des eaux usées municipales boues». EPA-652 / 1-87-014, Cincinnati, Ohio.
- Gibbons, MK, et Ormeci, B. 2013. «Quantification de la concentration en polymère dans l'eau en utilisant la spectroscopie UV-vis» *Journal of Approvisionnement en eau:.. La recherche et de la technologie-AQUA*, 62 (4), 205-213.
- Grégoire, J. 1988. «Adsorption de polymère et la floculation des suspensions cisillées». *colloïdes et des surfaces*, 31, 231-253.
- Higgins, MJ, Chen, Y.-C., et Sudhir, NM. 1996. «Comprendre les facteurs qui influent sur la demande de polymère pour le conditionnement et la déshydratation». *Virginie, Etats-Unis: Water Environment Research Foundation*.
- Karr, P.R., and Keinath, T. 1978. «Influence of Particle Size on Sludge Dewaterability». *J. Water Pollut. Control Fed.* 50, 8: 191 1-1930.
- Langer, SJ, Klute, R., et Hahn, HH. 1994. «Mécanismes de formation de floc dans le conditionnement des boues avec des polymères». *Sciences de l'eau et de la technologie*, 30 (8), 129-138.
- Monette, F., Brière, F.G., Létomeau, M., Duchesne, M., et Hausler, R. 1999. «Traitement des eaux usées par coagulation-floculation avec recirculation des boues chimiques»: *Evaluation et validation à grande échelle*. 19 p.
- Novak, J.T., Prendevill, J.F., and Serrard, J.H. 1988. «Mixing Intensity and Polymer Performance in Sludge Dewatering». *J. Environ. Eng.* 114, 1: 190-198.
- Nowak, O. 2006. «Optimiser l'utilisation des installations de traitement des boues à stations d'épuration» *Journal of Environmental Science and Health, Partie A: / Substances toxiques et dangereuses de l'environnement d'ingénierie*, 41 (9), 1807-1817.
- Ormeci, B. 2007. «Optimisation d'une opération de déshydratation à grande échelle sur la base des caractéristiques rhéologiques des boues d'épuration». *Recherche sur les eaux*, 41 (6), 1243-1252.
- Priesing, CP, Wolfe, RV, Sack, WA, et Kelman, S. 1969. «Traitement de polyélectrolyte à l'échelle industrielle des eaux usées en streaming, le contrôle en cours». *Journal de la Fédération de l'eau lutte contre la pollution*, 41, 1524-1532.

- Sievers, M. Schroeder, C., Bormann, H., Onyeche, TI, Schlaefer, O., & Schaefer, S. 2003. «Automatisation dans la déshydratation des boues par roman caractérisation en ligne de floculation». *Sciences de l'eau et de la technologie*, 47 (2), 157-164.
- Xiang, Yu, SomasundaranS P. 1993. Enhanced «floculation with double flocculant, vol. 81, Colloids and surfaces». *A. Physicochemical and engineering aspects*, p. 17-23.