

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE Saad DAHLAB - BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière :Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'Eau

Thème :

Utilisation d'un biofloculant (extrait du cactus) dans le conditionnement chimique des boues d'une station d'épuration des eaux usées urbaines : cas de la station d'épuration de Béni-Messous (W. Alger)

Présenté par : DIAF Khadîdja.

Promotrice : Mme ANSER M.

Président : M. GUENDOUZ A.

Examineur : M. BENSALIA D.

Examineur :

M. BESSENASSE M.

Promotion 2015/2016

DIDICACE

Je tiens à exprimer mes sentiments les plus respectueux à mes très chers parents Souhila et Saddek, à

Mes sœurs Roumaïssa, Sara et Manel pour les encouragements

Durant tout l'année de recherche.

Surtout ma nièce Amina Khaldi et ma cousine Nourhane, Aicha

Des remercies spécial à Oussama pour être tout le temps présent pour me supporter et m'encourager.

Je voudrai remercie tous les professeurs et les cadres de département des sciences de l'eau.

Enfin, pour être sure de n'oublier personne, je remercie tout le monde.



REMERCIEMENT

Avant d'exposer mon modeste travail je remercie le bon dieu de tout puissant, qui ma donnée la patience et le courage pour finir mon travail.

Ce travail a été réalisé au niveau de laboratoire du traitement des eaux de département de science de l'eau et l'environnement.

J'exprime mes sincères remerciements. A ma promotrice Mme ANSER qui a bien voulu diriger mon travail

Je tiens à remercier,

Je remercie également Monsieur bensafia le chef département de Science de l'eau et l'environnement de science de l'eau et l'environnement.

Tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Je remercie évidemment tous les membres du jury qui ont assuré un suivi régulier à ce travail.

Enfin un grand merci tout spécial à ma famille, à mes parents qui m'ont permis de poursuivre mes études, mes sœurs ainsi qu'a tous mes amis.



ملخص

يتناول هذا العمل التكييف الكيميائي لدى الوحل المستقر في محطات معالجة مياه الصرف لبني مسوس (ولاية الجزائر). عملية التعبئة وصلاحيتها تكون باستعمال طريقة التخثر وذلك بإضافة مواد كيميائية ككلوريد الحديد وسلفات الألمنيوم مع إضافة مروب طبيعي محضر محليا متوفر قابل للتحلل وهو مسحوق الصبار.

أعدت ثلاث مساحيق مختلفة للصبار وفقا لبروتوكولات غير متشابهة (التجفيف الطبيعي). في 100 درجة مئوية و60 درجة مئوية). تم اختيار المساحيق التي تم الحصول عليها في تكييف الوحل لمعرفة الأنشطة المتعلقة بالترويب. تم فحصها وتقييمها بوسيلتين. الأولى تعتمد على المقاومة المحددة للترشيح والثانية نسبة جفاف الكعكة. يتم قياس هذا الأخير باستخدام جهاز الترشيح يظل فراغ مع ضغط 0.5 بار.

زيادة في جفاف 14.34% القيمة 25.24% و 24.1% عند تركيز 10% كلوريد الحديد و 7% كبريتات الألومنيوم معلالتوالي

كلوريد الحديد مقترنة مع التجفيف الطبيعي لمسحوق الصبار يزيد في جفاف الكعكة من 14.34% إلى 27.37% بالمئة مع تراكيز مثلى 100 غ/كغ لكلوريد الحديد و 2 غ/كغ لمسحوق الصبار المجفف طبيعيا. زيادة على ذلك نقص في مقاومة المحددة للترشيح من $30 \cdot 10^{12}$ م/كغ إلى قيمة $0.92 \cdot 10^{12}$ م/كغ. وتحصلنا أيضا على فعالية في نسبة العكارة ب 94.96 بالمئة عن تصفية الطين. سمحت هذه النتائج بالحصول على كعكة صلبة

الكلمات الرئيسية

التكييف الكيميائي. الوحل المستقر. مواد كيميائية ككلوريد الحديد وسلفات الألمنيوم. مسحوق الصبار.

Le résumé :

Ce travail porte sur l'étude de conditionnement chimique des boues stabilisées de la Station d'épuration de Béni-Messous (Wilaya d'Alger). Le mécanisme et la performance de la déshydratation ont été examinés en appliquant des coagulant de nature chimique ; à savoir le chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium, et l'ajout d'un bio flocculant préparé localement, disponible et biodégradable à savoir la poudre de cactus « Opuntia Ficus Indica ».

Trois différentes poudres de cactus ont été préparées suivant des protocoles différents (séchage naturel, à 100°C, et à 60°C). Les poudres obtenues ont été testée dans le conditionnement des boues pour connaître leurs activités flocculantes.

Deux mesures ont été utilisées dans ce travail ; la siccité du gâteau et la résistance spécifique à la filtration, cette dernière est mesurée à l'aide d'un dispositif de filtration sous vide à 0.5 bar.

Une augmentation de siccité de 14.34% jusqu'à une valeur de 25.24% et de 24.1% pour une concentration de 10% de $FeCl_3$ et 7% de Al_2SO_4 respectivement.

Le chlorure ferrique couplé avec la poudre naturelle de cactus (OFI) entraîne une augmentation de la siccité de 14,34% à 27,37% MS avec des concentrations de 100g/kg de $FeCl_3$, $6H_2O$ et 2g/kg pour la poudre préparée au soleil. Et fait passer de la résistance spécifique de $30 \cdot 10^{12}$ m/kg à $0,92 \cdot 10^{12}$ m/kg. Nous avons obtenu aussi une efficacité en turbidité de filtrat final de 94,96%. Ces résultats ont permis d'obtenir une boue solide.

Mots clés :

Conditionnement chimique ; boues stabilisées ; coagulant ; poudre de cactus opuntia ficus indica ; floculantes ; siccité du gâteau.

Abstract

This work deals with the chemical conditioning study of stabilized sludge from the wastewater treatment plant Beni Messous (Wilaya of Algiers). The mechanism and the performance of dehydration were examined by applying coagulant chemical nature; namely ferric sulfate and aluminum chloride and adding an organic flocculant prepared locally available and biodegradable namely cactus powder "Opuntia Ficus Indica".

Three different cactus powders were prepared under different protocols (natural drying at 100C °, and 60C °). The obtained powders were tested in the sludge conditioning to know their flocculent activities.

Two measures were used in this work; the dryness of the cake and the specific filtration resistance, the latter is measured using a filtration device under vacuum at 0.5 bar.

An increase in dryness of 14.34% to a value of 25.24% and 24.1% at a concentration of 10% ferric chloride and 7% aluminum sulphate respectively.

Ferric coupled with natural cactus chloride powder (OFI) causes an increase in the dryness of 14,34% to 27,37% MS with concentrations of 100 g / kg FeCl₃, 6H₂O and 2g / kg for the powder prepared in the Sun. And passed the specific resistance of 30.1012 m / m⁰, 92.1012kg / kg. We also got an efficiency in final filtrate turbidity of 94.96%. These results yielded a solid ball.

Keywords:

Chemical conditioning; coagulant chemical; organic flocculant; cactus powders; specific resistance; filtrate turbidity.

Liste des symboles et des abréviations

Symbole	désignation
DBO ₅	demande biochimique en oxygène pendant 5 jours en (mg/l)
DCO	demande chimique en oxygène en (mg/l)
MES	Matière en suspension en (g/l)
MVS	Matières volatiles sèches en (g/l)
MS	Matières sèches en (g/l)
MO	Matières organiques en (g/l)
NTU	Unité Néphélométrique de turbidité
P	Pression en Pa
pH	potentiel d'hydrogène
RSF	résistance spécifique à la filtration en (m/kg)
S	surface filtrante en (m ²)
STEP	station d'épuration des eaux usées
PNC	poudre naturelle de cactus
OFI	Opuntia Ficus Indica
T	temps en (s)
tr	tours
V	Volume en (ml)
V _E	Volume d'égouttage en (ml)
W	teneur en matière en suspension en (kg.m ⁻³)
R _m	résistance de la membrane
μ	Viscosité dynamique du filtrat en (Pa. S)
a	la pente de la droite de CARMAN
M0	masse du capsule vide
M1	masse du capsule et du gâteau humide
M2	masse du capsule et du gâteau sèche après séchage à 105C° en (g)

Mf masse du capsule et du gâteau sèche après séchage à 550C° en (g)

Liste des figures

Figure.I.1: schéma des opérations rencontrées dans une station d'épuration.....	1
Figure.I.2: schéma de la filière de traitement boues.....	11
Figure.II.1: Distribution ionique autour d'un colloïde.....	21
Figure.II.2 : adsorption et pontage à l'aide de polymères.....	22
Figure.II.3 : diagramme d'équilibre de l'aluminium dissous.....	24
Figure.II.4 : diagramme d'équilibre du fer dissous.....	24
Figure.II.5 : emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation...25	
Figure.II.6 : technique de la coagulation-floculation.....	26
Figure.II.7 : schéma des origines des coagulants.....	27
Figure.III.1 : détail de l'Opuntia (Nopal).....	32
Figure.IV.1 : photographie de la station d'épuration des eaux usées résiduaire de Béni Messous.....	37
Figure.IV.3 : Echantillonnage des boues utilisées.....	39
Figure.IV.4 : Photographie de la masse du gâteau sec (après calcination à 550 C°).41	
Figure.IV.5 : les réactifs minéraux utilisés dans le conditionnement.....	42
Figure : mélange de 500 ml de boue brute avec une concentration de chlorure ferrique.....	43
Figure.IV.6 : photographie d'un Jar test.....	44
Figure.IV.7 : la cellule de filtration.....	44
Figure.IV.8 : schéma représentatif du dispositif de la filtration sous pression.....	45
Figure.IV.9 : échantillon de boue conditionnée dans un bécher de 100 ml.....	46
Figure.IV.10: Opuntia ficus indica.....	47
Figure.IV.11 : Découpage de la cladode en dés.....	47
Figure.IV.13 : Broyeur mécanique.....	48

Figure.IV.14 : poudre naturelle de cactus.....	48
Figure.IV.15 : Les morceaux de cactus après déshydratation à l'étuve.....	49
Figure.IV.17 : La poudre finale après séchage à 60 C° à l'étuve.....	49
Figure.IV.18 : poudre de cactus séchée à 100C° à l'étuve.....	49
Figure.VI.1 : préparation de la solution mère de la poudre de cactus séchée au soleil.....	50
Figure.VI.2 : influence de la dose de $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$ Sur le volume du filtrat.....	53
Figure.VI.3 : influence de la concentration de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ sur le volume recueilli.....	55
Figure.VI.4 : évolution du taux de filtration en fonction de la dose du (Al_2SO_4)	56
Figure.VI.6 : influence de la concentration de la poudre séchée au soleil sur le volume filtré.....	56
Figure.VI.7 : évolution du taux de filtration en fonction de la poudre naturelle de cactus...57	57
Figure.VI.8 : influence de la concentration de la poudre de cactus préparée à 60C° sur le volume filtré.....	58
Figure.VI.9 : évaluation du taux de filtration en fonction de la poudre de cactus préparée à 60 C°.....	58
Figure.VI.10 : influence de la concentration de la poudre de cactus préparée à 100C° sur le volume filtré.....	59
Figure.VI.11 : évaluation du taux de filtration en fonction de la poudre de cactus préparée à 100 C°.....	60
Figure.VI.12 : évolution du taux de filtration en fonction de différentes poudres préparées de cactus.....	60
Figure.VI.13 : préparation de la solution basique d'hydroxyde de sodium (NaOH)....	61
Figure.VI.14 :préparation de la solution d'acide sulfurique.....	61
Figure.VI.15 : l'influence de l'ajustement du pH sur le volume d'eau recueilli pour les concentrations optimales des coagulants.....	62

Figure.VI.16 : variation du taux de filtration en fonction du pH pour les concentrations optimales de coagulants utilisés.....	63
Figure.VI.18 : une boue conditionnée à une concentration de 10% et 9% MS de FeCl ₃ , 6H ₂ O au pH=12.....	64
Figure.VI.19 : a, b, c, d, e) influence du double dosage (sel+ poudre naturelle de cactus (OFI)) sur le volume d'eau recueilli.....	64
Figure.VI.20 : évolution du taux de filtration en fonction des concentrations des deux sels métalliques mise en contact avec la concentration optimale de la poudre naturelle de cactus (OFI) à t=60min.....	68
Figure.VI.21 : variation de la siccité en fonction des concentrations des flocculant ajoutés ; (a) avec la poudre séchée au soleil, séchée à 100 C°, (b) avec la poudre séchée à 60 C°.....	69
Figure.VI.22 : influence de la concentration de coagulant sur la siccité du gâteau.....	70
Figure.VI.23 : influence du pH sur la siccité du gâteau.....	71
Figure.VI.24 : a, b) boue conditionnée au pH=2 ; c) boue conditionnée au pH=12.....	72
Figure.VI.25 : le gâteau obtenu après filtration sous vide au pH acide.....	72
Figure.VI.26 : variation de la siccité du gâteau de différentes concentrations de sel de fer en fonction de bioflocculant (OFI).....	72
Figure.VI.27 : L'influence de différentes concentrations de sel d'aluminium (Al ₂ (SO ₄) ₃ ,18H ₂ O) et l'ajout de la poudre naturelle de cactus sur la siccité du gâteau.....	73
Figure.VI.28 : photographies des gâteaux récupérés après filtration sous vide pour les doses optimales des coagulants.....	74
Figure.VI.29 : évolution de la RSF en fonction des concentrations des flocculants ajoutées ; poudre séchée au soleil, séchée à 100C° et poudre séchée à 60C°.....	75
Figure.VI.30 : évolution de la RSF des différentes concentrations des flocculants.....	76
Figure.VI.31 : influence du double dosage (Al/poudre naturelle de cactus) sur la RSF du gâteau.....	78

Figure.VI.32 : influence du double dosage (Fe/poudre naturelle de cactus) sur la RSF du gâteau.....	78
Figure.VI.33 : la variation de la turbidité du filtrat en fonction des concentrations des biofloculants ajoutées ; (a) poudre naturelle, séchée à 100C°, (b) poudre séchée à 60C°	79
Figure.VI.34 : caractérisation de la poudre séchée au soleil par E.M.E.B.....	80
Figure.VI.35 : le filtrat obtenu avec l'ajout de la poudre séchée au soleil.....	81
Figure.VI.36 : la variation de la turbidité du filtrat en fonction des concentrations des coagulants utilisés (FeCl ₃ , Al ₂ (SO ₄) ₃).....	81
Figure.VI.37 : Filtrat obtenu pour 10% Fecl3.....	82
Figure.VI.38 : Filtrat obtenu pour 7% Al ₂ SO ₄	82
Figure.VI.39 : influence du double dosage (Fe/PNC) sur la turbidité du filtrat final.....	82
Figure.VI.40 : influence du double dosage (Al/PNC) sur la turbidité du filtrat.....	83
Figure : évolution du taux d'abattement de la turbidité du filtrat après la filtration sous vide.....	83
Figure.VI.41 : variation du pH final en fonction de la concentration des coagulants, FeCl ₃ , Al ₂ (SO ₄) ₃ utilisés.....	84
Figure.VI.42 : la variation de la conductivité finale en fonction de la concentration des coagulants utilisés.....	85
Figure.VI.43 : performance des sels métalliques.a1), a2), a3) une boue conditionnée avec une concentration de 10% MS de Fecl3B1), b2) une boue conditionnée avec une concentration de 7% MS de Al ₂ SO ₄	86
Figure.VI.97 : quelques matériels fournis par le laboratoire de traitement des eaux.....	97
Figure.VI.98 :préparation de la solution mère de FeCl3.....	98
Figure.VI.100 : dessiccateur.....	100

Liste des tableaux

Tableau. II.1 : inconvénients des coagulants minéraux et des polymères	
Synthétiques.....	19
Tableau II.2 : dérivés des sels d'aluminium et de fer.....	23
Tableau (III.1) : la composition chimique des raquettes d'Opuntia	
Ficus Indica.....	33
Tableau (III.2) : composition de mucilage des raquettes d'opuntia.....	33

Tableau.VI.1 : caractéristiques physico-chimique de la boue stabilisée.....	51
Tableau.VI.2 : caractérisation physico-chimique des poudres de cactus.....	52
Tableau 1 Annexe 04 : les volumes prélevés des solutions des poudres de cactus en fonction de la concentration choisi.....	102
Tableau 1 annexe 05 : variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les floculants.....	103
Tableau 1 annexe 06 : variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les biofloculants.....	106
Tableau1 annexe 07 : la siccité et la RSF de la boue après conditionnement par différents coagulants.....	108
Tableau 1 annexe 08 : influence de la variation du pH sur la variation des caractéristiques de la boue.....	111
Tableau 1 annexe 09 : taux de filtration de la boue conditionnée par le chlorure ferrique.....	112
Tableau 2 annexe 09 : taux de filtration de la boue conditionnée par le sulfate d'aluminium.....	112
Tableau 3 annexe 09 : taux de la filtration de la boue conditionnée par la poudre de cactus.....	113
Tableau 4 annexe 09 : taux de la filtration de la boue conditionnée par le double dosage (Fe/ Poudre naturelle de cactus).....	114
Tableau 1 annexe 10 : influence de la concentration de $\text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$ sur le volume filtré.....	115
Tableau 2 annexe 10 : influence de la concentration de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$	116
Tableau 3 annexe 10 : influence de la variation du pH sur le volume filtré (10%. FeCl_3).....	117
Tableau 4 annexe 10 : influence de la variation du pH sur le volume filtré (9%. FeCl_3).....	117
Tableau 5 annexe 10 : influence de la variation du pH sur le volume filtré	

(7%.Al ₂ SO ₄).....	118
Tableau 6 annexe 10 : influence du double dosage (sel de fer+ la poudre naturelle de cactus sur le volume du filtrat).....	118
Tableau 10 annexe 10 : influence du double dosage (sel de d'alum+ la poudre naturelle de cactus sur le volume du filtrat).....	121
Tableau 11 annexe 10 : influence du double dosage (sel de d'alum+ la poudre naturelle de cactus sur le volume du filtrat).....	122
Tableau 2 annexe 11 : variation du volume filtré en fonction de la concentration du biofloculant utilisé.....	125
Tableau 3 annexe 11 : variation du volume filtré en fonction de la concentration du biofloculant utilisé.....	126

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I : Épuration des eaux usées urbaines

I. Introduction.....	2
I.1 Description d'une station d'épuration.....	2
I.1.2.Organisation de la station d'épuration des eaux usées.....	3
I.1.2.1. Le prétraitement.....	3
a) Le dégrillage.....	3
b) Le dessablage.....	3
c) Le déshuilage (dégraissage).....	3
I.1.2.2. Les traitements primaires.....	4
I.1.2.3. Les traitements secondaires.....	4
a. la voie anaérobie.....	4
b. la voie aérobie.....	4
3.1 Boues activées.....	4
Traitement biologique par boues activées (culture libre).....	6
3.2 Lit bactérien.....	6
3.3 Le lagunage.....	6
• Le lagunage naturel.....	6
• Le lagunage aéré.....	7
• Le lagunage anaérobie.....	7
3.4. Disques biologiques.....	7
I.1.2.4. traitement tertiaires ou complémentaires.....	7
La désinfection.....	8
I.1.3. Paramètres d'appréciation de la pollution organique.....	8
a) La demande biochimique en oxygène (DBO5).....	8
b) La demande chimique en oxygène (DCO).....	8
c) Le pH.....	8
I.2.Caractérisation des boues résiduaire.....	9
I.2.1.Définition de la boue.....	9

I.2.2. Origine et composition des boues.....	9
1.2.3. La consistance des boues.....	9
I.2.4. caractéristiques physico-chimique des boues.....	10
4.1. Matière sèche MS et siccité S.....	10
4.2. Matière en suspension (MES).....	10
4.3. Matières volatiles en suspension.....	10
4.4. Détermination de la résistance spécifique à la filtration (RSF).....	10
I.2.4. les filières de traitement de boues.....	12
1.2.4.1. L'épaississement.....	12
1) Epaississement par décantation.....	12
Épaississement par flottation.....	13
Épaississement par centrifugation.....	13
Épaississement par drainage.....	13
I.2.4.2. Stabilisation des boues.....	13
1. digestion anaérobie.....	13
2. stabilisation aérobie.....	14
I.2.4.3. Le conditionnement.....	14
I.2.4.4. Déshydratation.....	15
I.2.4.5. séchage.....	15
I.2.4.6. finales.....	15
Destinations	
Conclusion.....	16
Chapitre II : Conditionnement et déshydratation	
II. Introduction.....	17
II.1. Conditionnement des boues.....	17
II.1.1. Conditionnement thermique.....	17
II.1.2. conditionnement chimique.....	18
1.1. Réactifs minéraux.....	18

1.2. La mise en œuvre des réactifs.....	18
1.3. Le conditionnement avec les flocculants de type polymères (poly électrolytes) synthétiques.....	18
II.2. Coagulation floculation.....	20
II.2.1. Introduction.....	20
II.2.2. Les particules mises en jeu : Les colloïdes.....	21
III.2.2.3. Généralités.....	21
II.2.2.3. Matières colloïdales.....	21
II.2.2. 4. Structure des colloïdes.....	21
II.2.2.5. Phénomène de la coagulation.....	22
II.2.2.6. Adsorption et neutralisation des charges.....	23
II.2.2.6. Adsorption et pontage entre les particules.....	23
II.2.2.7. Coagulants utilisés.....	23
1) Sels de fer et d'aluminium.....	23
II.2.2.8. Réaction et équilibres des sels aluminiums.....	25
II.2.2.9. Réaction et équilibres des sels ferriques.....	25
II.2.3. Théorie de la floculation.....	26
II.2.3.1. Technologie de la coagulation –floculation.....	26
II.2.3.2. Doses de réactifs minéraux à employer.....	27
II.2.3.3. Les coagulants d'origine naturelle.....	27
II.3. Autres procédés de conditionnement.....	28
II.3.1. Par congélation.....	28
II.4. La déshydratation naturelle.....	29

II.4.1. Les lits de séchage.....	29
II.4.1.2. Mise en œuvre des lits de séchage.....	29
II.4.2. La déshydratation mécanique.....	30
II.4.2.1. Intérêt des procédés artificiels de déshydratation.....	30
Les mécanismes principaux de la déshydratation mécanique sont	
II.4.2.2. la filtration.....	30
II.4.3. la filtration sous vide.....	30
II.4.4. Filtration sous pression.....	30
II.4.5. Le filtre- presse.....	31
II.4.6. La centrifugation.....	31
II.5.Valorisation ou élimination des boues.....	31
II.5.1. Valorisation organique.....	31
II.5.2. Epandage des boues.....	31
Conclusion.....	32

Chapitre III : Généralité sur le cactus (Opuntia Ficus Indica)

III. Opuntia Ficus Indica (Figuier de Barbarie).....	33
III.1Aspect général.....	33
III.2 Compositions chimiques des raquettes.....	34
III.3. Utilisation de cactus (OFI) dans le domaine d'épuration et de traitement des eaux.....	35
Conclusion.....	37

Chapitre IV : Matériel et méthode

IV. Introduction.....	38
IV.1. Fonctionnement de la STEP.....	39
IV.2. Matériels et méthodes.....	40
IV.2.1. Matériels.....	40

Appareils.....	..40
Produits chimiques.....	..40
IV.3. Echantillonnage des boues utilisées.....	..40
IV.3.1. Les conservations des échantillons.....41
IV.4. Méthodes d'analyse et de caractérisation de la boue au laboratoire.....	..41
IV.4.1.Teneur en matière sèche (MS).....	..41
IV.4.2. Calcule de la siccité (S).....	..41
IV.4.3. Teneur en matières volatiles sèches (MVS).....	..42
IV.4.4. Mesure de la matière en suspension (MES).....	..42
IV.4.5.Mesure de la turbidité.....	..43
IV.5. Conditionnement des boues.....	..43
IV.6.La floculation.....	..44
IV.6.1. Le jar test.....	..44
IV.7. Méthodologie de déshydratation de la boue.....	..45
IV.7.1. La filtration sous-vire.....	..45
IV.8. Préparation du bio-floculant (la poudre de cactus).....	..47
IV.8.1. Préparation des poudres de cactus.....	..49
IV.8.1.1.Poudre préparée avec un séchage au soleil (poudre naturelle).....	..49
IV.8.1.2.Poudre préparée à C°.....	..49
IV.8.1.3. Poudre préparée à 100 C°.....	..50
IV.2.Dosage de biofloculant.....	..51
Conclusion.....	..51
Chapitre VI : Résultats et discussion	
VI. Introduction.....	..52
VI.1.Caractérisation physico-chimique de la boue stabilisée (par voie aérobie) avant conditionnement au laboratoire.....	...52

VI.2. Caractérisation physico-chimique des poudres de cactus.....	53
VI.3.2. Conditionnement minéral de la boue avec le coagulant Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O....	54
VI.3.3. Conditionnement de la boue avec le biofloculant poudre de cactus (OFI)...	57
VI.3.4 L'influence de la variation du pH de la boue sur le volume du filtrat pour les deux meilleures concentrations des sels métalliques utilisés.....	62
VI.5. Le double dosage (Fe/poudre naturelle de cactus) et (Al/poudre naturelle de cactus).....	65
VI.6. Influence de la dose des coagulants utilisés sur la siccité du gâteau.....	69
VI.6.1. Influence de la dose de différentes poudres de cactus (OFI) préparées sur la siccité du gâteau.....	69
VI.6.1. influence de la dose de sel de fer et d'aluminium sur la siccité du gâteau.....	71
VI.6.2. influence de la variation du pH sur la siccité du gâteau.....	72
VI.6.3. Influence de double dosage (Fe/poudre naturelle de cactus) et (Al/poudre naturelle de cactus) sur la siccité du gâteau.....	73
VI.7. Influence de la concentration du coagulant sur la RSF du gâteau.....	76
VI.7.1. Influence de la concentration de différentes poudres de cactus sur la résistance spécifique de la filtration.....	76
VI.7.2. Influence de la concentration des flocculants utilisés (FeCl ₃ , Al ₂ (SO ₄) ₃) sur la RSF du gâteau.....	76
VI.7.3. Influence du double dosage sur la RSF du gâteau.....	79
VI.8. Influence de la concentration du coagulant utilisé sur la turbidité du filtrat de la boue conditionnée.....	80
VI.8.2. Influence de la concentration des sels métalliques (sel de fer et sel d'aluminium) sur la turbidité du filtrat.....	82

VI.8.3. Influence du double dosage (Fe/PNC) et (Al/PNC) sur la turbidité du filtrat final.....	83
VI.9. Impacte du traitement en utilisant le FeCl ₃ , 6H ₂ O et le Al ₂ (SO ₄) ₃ ,18H ₂ O sur le pH final du filtrat des boues conditionnées.....	85
VI.10. Impacte du traitement en utilisant le FeCl ₃ , 6H ₂ O et l'Al ₂ (SO ₄) ₃ ,18H ₂ O sur la conductivité finale du filtrat des boues conditionnées.....	86
VI.11. MVS et MES de la boue après conditionnement.....	87
Conclusion.....	89
Conclusion général.....	90
Bibliographies.....	92
Les annexes.....	98

Introduction générale

Introduction générale

Dans le contexte actuel de protection de l'environnement, l'élimination des boues d'épuration constitue un des enjeux majeurs pour notre pays.

L'accroissement du nombre de STEP en Algérie s'accompagne de production de quantités non négligeables de boues d'épuration.

En épuration des eaux usées, le conditionnement des boues constitue une étape essentielle dans la filière boue. En effet, les boues d'épuration, chargées en eau, sont volumineuses (plus de 97% d'eau), donc coûteuse à éliminer. La réduction des eaux est essentiellement liée à l'élimination de l'eau contenue dans les boues. Donc, il faut procéder à la coagulation-floculation de la boue pour casser la stabilité colloïdale et augmenter la taille des particules pour faciliter l'agglomération des floccs produites.

Divers coagulants et floculants sont employés dans ce procédé, dont les coagulants minéraux ; très utilisés dans les procédés physico-chimiques d'épuration et permettent une bonne décantation des boues, parmi les éléments minéraux les plus utilisés dans la coagulation-floculation, les sels métalliques à cation polyvalents : sulfate d'aluminium (Al^{+3}) ou chlorure ferrique (Fe^{+3}), ils sont efficaces et peu coûteux. Et les polymères organiques (polymères de synthèse) ; produisant de gros floccs, moins solides que ceux produits par les coagulant précédents et coûteuses, mais tout autant efficace. Néanmoins, leur utilisation présente beaucoup d'inconvénients : génération des boues toxiques avec un volume très grand, coûts élevés, une grande consommation de produits chimiques... c'est pour quoi un nouveau type de floculants, biofloculants, qui sont d'origine naturelles, recyclables, disponibles, moins toxiques et moins onéreuses, sont de plus en plus utilisés depuis quelques années.

Dans ce travail, une vaste étude a été réalisée sur le conditionnement chimique de la boue issue de la station d'épuration des eaux usées de Béni-Messous. En appliquant d'une part des coagulants d'origine minérale, à savoir, le chlorure ferrique, et le sulfate d'aluminium. D'autre part, en utilisant un bio floculant poudre de cactus algérien seul et combinée avec les sels métalliques.

Dans ce travail, nous avons préparé trois différentes poudres de cactus « Opuntia Ficus Indica » ; la première poudre a été séchée au soleil, la seconde déshydratée à $60C^{\circ}$ à l'étuve, et la troisième déshydratée à $100C^{\circ}$ à l'étuve.

Notre travail expérimental est basé sur : la caractérisation du gâteau obtenu après une filtration sous vide qui fournit des informations sur la performance de la déshydratation (siccité). D'autre part, l'analyse des données de filtration qui permet de déterminer la résistance spécifique à la filtration (RSF), et la turbidité du filtrat de boue.

Nos objectifs scientifiques sont d'augmenter la siccité du gâteau (la boue obtenu après une déshydratation), et de diminuer la résistance spécifique à la filtration.

Le mémoire comporte cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la description des divers procédés d'épuration des eaux usées pour les deux filières eaux/boues, ainsi les origines de ces boues, leur caractérisation physico-chimique.

Le processus de conditionnement des boues et de déshydratation sont portés dans le deuxième chapitre. Ce chapitre expose aussi la théorie de coagulation-floculation et les différents coagulants les plus utilisés.

Le troisième chapitre est consacré à une revue bibliographique portant sur le cactus *Opuntia Ficus Indica*, nous exposons leur origine, et sa composition chimique.

La présentation de la station d'épuration des eaux usées de Béni-Messous (Wilaya d'Alger) d'où les échantillons de la boue étudiée ont été prélevés, et l'ensemble de dispositifs expérimentaux (méthodologie, le matériel et les produits utilisés dans les différents essais au laboratoire) ont été présenté dans le quatrième chapitre.

Le cinquième chapitre et le dernier englobe les résultats obtenus ainsi que les interprétations et les discussions relatives à ceux-ci.

Le travail est achevé par une conclusion générale présentant une synthèse des résultats issus de cette recherche.

Chapitre I

Épuration des eaux usées urbaines

I. Introduction :

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée [1].

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible [2].

I.1. Description d'une station d'épuration :

Une station d'épuration (STEP) est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.

Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs principes, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus est biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter (voir la figure. I.1) [3].

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitements sont définis [4].

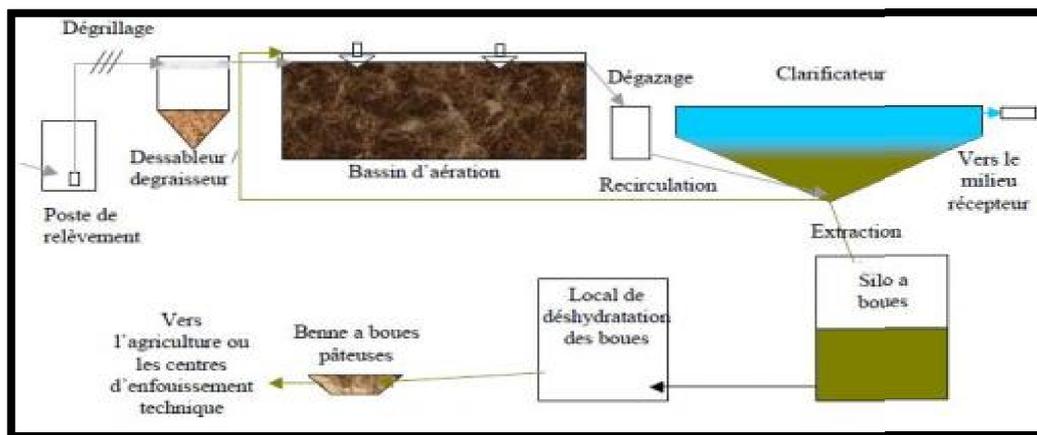


Figure I.1 : schéma des opérations rencontrées dans une station d'épuration [4].

I.1.2. Organisation de la station d'épuration des eaux usées :

Une station d'épuration est une usine de traitement des eaux usées de telle sorte à être rejetées sans inconvénients majeurs dans le milieu naturel.

En générale, elles comprennent les étapes suivantes :

- Le prétraitement.
- Le traitement primaire.
- Le traitement secondaire.
- Les traitements complémentaires (tertiaires).
- Le traitement des boues résiduelles [5].

I.1.2.1. Le prétraitement :

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements. Il s'agit des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des graisses (dégraissage-déshuilage).

La chaîne de prétraitement est composée :

- Un dégrillage ;
- Un dessablage ;
- Un déshuilage [6].

a) Le dégrillage :

L'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60° à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 6 à 100mm.

Objectif :

- ✓ Protéger la station contre l'arrivée de gros objet et d'éviter d'engendrer des colmatages dans les différentes unités de l'installation.
- ✓ Séparer et évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants [7].

b) Le dessablage :

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation. Le dessablage porte généralement sur des particules de granulométrie égale ou supérieure à 200µm [8].

c) Le déshuilage (dégraissage) :

Le déshuilage vise à éliminer la présence de graisses dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. Le déshuilage s'effectue par flottation.

L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les graisses sont raclées à la surface, puis stockées avant d'être éliminées.

Le plus souvent, les fonctions de dessablage et de déshuilage sont combinées dans un même ouvrage qui met en œuvre les principes de fonctionnement cités précédemment [8].

1.1.2. Les traitements primaires :

La principale opération effectuée dans le traitement primaire est la décantation. Ces traitements permettent d'éliminer 50 à 60 % des matières en suspension, mais ne suffisent généralement plus pour satisfaire les exigences épuratoires de la réglementation actuelle. Avec coagulation et floculation dans des décanteurs lamellaires, on peut éliminer jusqu'à 90% de MES.

Le but de l'étape de décantation est de faire tomber au sol les particules dont la taille est supérieure à 50 µm selon la concentration et la nature des particules (densité et forme).

Les matières décantées, appelées "boues primaires" et composées essentiellement de matières minérales en suspension. Elles sont récupérées en fond de bassin pour être envoyées vers le traitement des boues [9].

1.1.2.3. Les traitements secondaires :

L'épuration des eaux usées urbaines domestiques fait généralement par un processus biologique qu'il s'agisse de procédés par boues activées, par lits bactériens ou par lagunage.

Les procédés d'épuration secondaire comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène).

a. **la voie anaérobie** : si les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, en milieu réducteur. Le carbone organique, après dégradation, se retrouve sous forme de CO₂, méthane et biomasse. Ce type de traitement appelé « digestion anaérobie » n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonées, de type industriel (basserie, sucrerie, conserverie ...).

b. **la voie aérobie** : si l'oxygène est associé aux réactions. Cette voie est celle qui s'instaure spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de CO₂ et de biomasse.

Ceux-ci sont nocifs pour l'environnement puisque leur dégradation implique la consommation de dioxygène dissous dans l'eau nécessaire à la survie des animaux aquatiques. La charge en polluants organiques est mesurée par la DBO₅ (demande biologique (ou biochimique) en Oxygène sur 5 jours) ou la DCO (Demande Chimique en Oxygène).

Les bactéries responsables de la dégradation des composés organiques sont hétérotrophes. Pour accélérer la dégradation des composés organiques, il faut apporter artificiellement de l'oxygène dans les eaux usées [10].

Les différents procédés d'épuration biologique sont les suivants :

- Les boues activées ;
- Les lits bactériens ;
- Le lagunage ;
- Disques biologiques.

3.1 Boues activées :

Il existe deux grandes catégories de procédés biologiques artificiels :

- a) Les installations à cultures libres, dans lesquelles la culture bactérienne est maintenue en suspension dans le courant des eaux usées à traiter.
- b) Les installations à cultures fixées, où la culture bactérienne (appelée aussi "biofilm", "film biologique", ou "biomasse" repose sur un support (caillou, plastique, milieu granulaire).

Traitement biologique par boues activées (culture libre) :

Le procédé de traitement par boues activées est un procédé de traitement à culture en suspension, le mélange de l'eau à épurer et des micro-organismes en suspension assurant l'épuration est appelé liqueur mixte.

La boue activée est composée essentiellement de micro-organismes hétérotrophes qui ont dégradé les matières organiques. L'introduction d'oxygène par aération est donc indispensable à leur action. La boue activée est constituée par le floc, lui-même étant constitué de bactéries agglomérées.

Ce type de filière permet d'éliminer la pollution carbonée et la matière en suspension de l'eau.

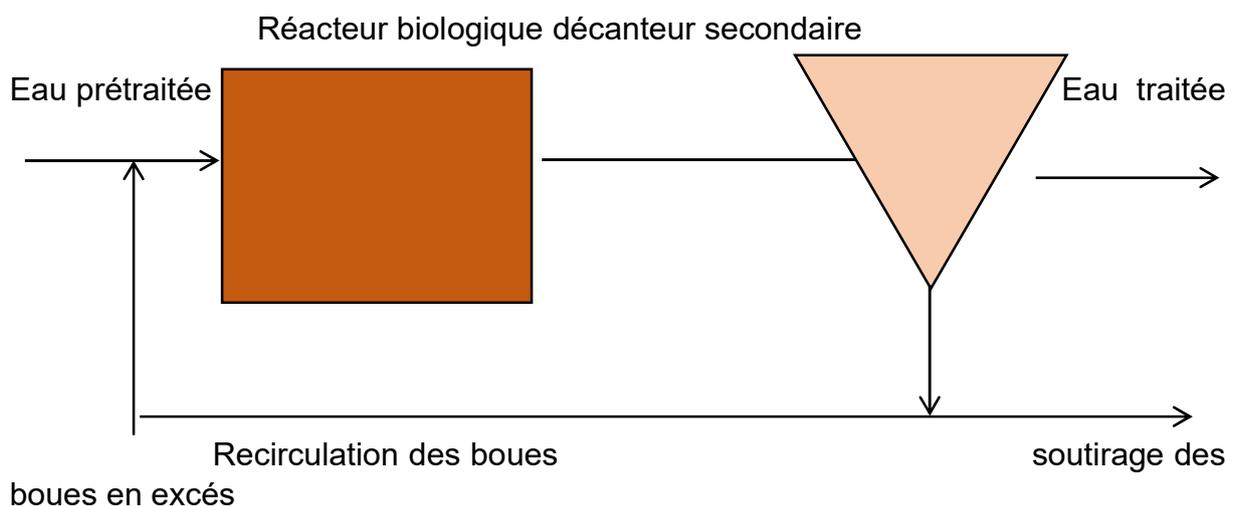


Figure I.2 : bassin d'aération+ décanteur secondaire (clarificateur)

L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de

laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération (voir la figure I.2).

On distingue quatre principales utilisations spécifiques du procédé à boues activées :

- Élimination de la pollution carbonée (matières organiques) ;
- Élimination de la pollution azotée ;
- Élimination biologique du phosphore ;
- Stabilisation des boues : procédé dit d'« aération prolongée » ou « digestion aérobie » [11].

3.2 Lit bactérien :

L'épuration des eaux par **lit bactérien** est une méthode d'épuration biologique par cultures fixées, c'est-à-dire quand la biomasse se développe sous forme de floccs bactériens maintenus en suspension dans le liquide. Ce système est le plus souvent utilisé pour les eaux très chargées.

Ce traitement est basé sur le principe d'infiltration à travers le sol. Un lit bactérien se présente comme une colonne circulaire de 4 à 5 mètres. Ce principe consiste à faire ruisseler les eaux usées sur une masse de matériaux poreux inertes qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Ces organismes absorbent la matière organique de l'effluent s'appauvrissent progressivement au cours de son trajet [11].

3.3 Le lagunage :

Le traitement par lagunage est constitué d'une série de bassins artificiels, ou étangs, formés de digues imperméables, dans lesquels les eaux usées sont déversées et passent successivement et naturellement d'un bassin à l'autre. Le temps de séjour varie de quelques jours à 50 jours ou plus.

Les différents types de lagunages :

✱ Le lagunage naturel :

Le lagunage naturel est un procédé d'épuration naturelle qui a pour principe d'utiliser la lumière, les algues et les bactéries comme agent épurateur des eaux polluées stockées dans des bassins artificiels pendant plus de 60 jours. Les algues, grâce au phénomène de photosynthèse, apportent l'oxygène nécessaire à l'épuration par les bactéries. C'est la raison pour laquelle les bassins sont peu profonds (1,20) mètres. Ce procédé demande beaucoup de surface : une station de 1000 habitants par exemple demande plus d'1 hectare de lagune [11].

✱ Le lagunage aéré :

Un lagunage aéré, un étang aéré ou un bassin aéré est un traitement de l'eau artificiel à travers une aération forcée pour favoriser l'oxydation biologique des eaux usées.

Dans ce type d'installation, l'oxygène est produit artificiellement soit en surface (aérateurs), soit en immersion (insufflation d'air).

La charge biodégradable est détruite essentiellement par des bactéries aérobies. Dans ce cas l'aération est assurée grâce à un apport artificiel d'oxygène par un système d'aération mécanique [11].

✱ **Le lagunage anaérobie :**

Ce système surtout employé en climat tropical, car il nécessite une température élevée (supérieure à 25°C).

Il est caractérisé par :

- une profondeur d'eau importante, pour faciliter les processus anaérobies.
- une charge en matière organique élevée.

La dégradation organique bactérienne se fait par fermentation méthanique, et n'est recommandée que pour les effluents fortement chargés [11].

3.4. Disques biologiques :

L'eau usée, préalablement décanté, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastiques se développe alors un film bactérien. Lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent. Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache vers le décanteur final ou il est séparé de l'eau épurée. [12]

1.1.2.4. traitement tertiaires ou complémentaires :

Les traitements tertiaires viennent en complément des traitements primaires et secondaires. Ils permettent d'obtenir une eau épurée de qualité supérieure et ainsi de protéger davantage le milieu récepteur.

Ces traitements ont pour but :

- L'élimination de l'azote et du phosphore facteurs d'eutrophisation
- L'amélioration générale de la qualité de l'eau épurée DBO₅, DCO, couleur...etc.
- La destruction des germes pathogènes par désinfection.
- Une réutilisation à des fins industrielles ou agricoles.
- La protection du milieu naturel où cette eau est rejetée.
- La protection des prises d'eau situées en aval [13].

1. La désinfection :

La désinfection de l'eau signifie l'élimination ou la désactivation des micro-organismes pathogènes. Les micro-organismes sont détruits ou désactivés, Quand les micro-organismes ne sont pas éliminés de l'eau potable, l'utilisation d'eau potable provoquera des maladies. La stérilisation est un procédé relatif à la désinfection. Cependant, lors du procédé de stérilisation, tous les micro-organismes présents sont tués (les micro-organismes nocifs et non nocifs). La désinfection est réalisée par le chlore ou l'ozone et peut être accomplie par action directe d'un rayonnement ultraviolet. [9].

I.1.3. Paramètres d'appréciation de la pollution organique :

a) La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

Consommée dans les conditions de l'essai (incubation à 20°C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usées avec l'intervention La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène exprimée en mg d'O₂/l est des bactéries aérobies.

(Matière organique+ micro-organismes (aérobies) + O₂ →
CO₂+H₂O+biomasse+énergie)

Pour être complète l'oxydation biologique demande un temps de 21 à 28 jours.

La mesure de la DBO₅ est très importante pour évaluer le degré de pollution.

c) La demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène, ou DCO, est l'un des paramètres de la qualité d'une eau. Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique et minérale contenue dans une eau.

Cette valeur est obtenue en faisant réagir des échantillons d'eau avec un oxydant puissant (le bichromate de potassium) et d'un catalyseur (AgSO₄). Et s'exprime en milligramme d'oxygène par litre d'eau

d) Le pH :

C'est un paramètre très important dans les procédés biologiques, puisqu'il détermine l'alcalinité ou l'acidité de l'eau. Son rôle est capital pour la croissance des microorganismes qui ont généralement un pH optimum variant de 6,5 à 8 (indice de pollution).

Lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8,5, la croissance des microorganismes est directement affectée [14].

I.2. Caractérisation des boues résiduelles :

I.2.1. Définition de la boue :

Boue de station d'épuration désigne l'ensemble des résidus de l'activité biologique des micro-organismes vivant dans les stations d'épuration, qui transforment les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites. Elles sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique. [15]

1.2.2. Origine et composition des boues :

Plusieurs types de boues doivent être différenciés en fonction de leur origine, dans la mesure où leur traitement doit être conçu, on distingue :

- Les boues primaires : Ce sont les dépôts récupérés par une simple décantation des eaux usées (dans les décanteurs-digesteurs par exemple). Elles présentent des concentrations élevées en matières minérales (sable, terre...) mais aussi en matière organique pouvant évoluer.
- Les boues physico-chimiques : elles ressemblent aux boues primaires sauf que durant le traitement de l'eau usée, il a été rajouté un réactif (sels de fer, d'aluminium, et autres agents flocculant) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation.
- Les boues biologiques : elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...). Ces boues, de concentrations médiocres (10 g/l), sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens et de leurs sécrétions.

On distingue aussi :

- Les boues mixtes constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement complètes.
- Les boues d'aération prolongée, obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Les boues sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances [16].

1.2.3. La consistance des boues:

C'est une donnée obligatoire à connaître pour toute manipulation des boues. La consistance est un état physique dépendant de la siccité.

- Boues liquides / siccité de 0 à 10 %
- Boues pâteuses / siccité de 10 à 25 %
- Boues solides / siccité de 25 à 85 %
- Boues sèche / siccité supérieure à 85 % [18].

1.2.4. caractéristiques physico-chimique des boues

Les caractéristiques physiques et chimiques essentielles des boues sont définies ainsi :

4.1. Matière sèche MS et siccité S :

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

Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement [18].

Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.

4.2. Matière en suspension (MES) :

Les matières en suspension désignent l'ensemble des matières insolubles dans l'eau : sable, boues, argile, débris de roches, matière organique...L'intérêt de l'analyse est de caractériser les boues pour optimiser leur manipulations et leur valorisations (filtre presse, épandage...). [19].

4.3. Matières volatiles en suspension :

C'est la quantité de matières organiques contenues dans les matières en suspension, en première approximation on considère que $MV=MO$ [18].

4.4. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH d'une solution est la mesure de la quantité d'ions d'hydrogène donc il est un indicateur d'équilibre entre OH^- et H^+ en solution [18].

4.5. Détermination de la résistance spécifique à la filtration (RSF) :

La résistance spécifique r se définit comme étant la résistance qu'oppose à la filtration (ou cheminement de filtrat) d'une quantité de gâteau 1Kg de produit sec est déposée sur 1 m^2 de surface filtrante.

L'intérêt de la détermination de la RSF est double. Premièrement, la RSF permet d'évaluer l'efficacité du conditionnement. En effet, une filtration est d'autant plus rapide que la résistance spécifique est faible. Une boue brute, non floculée, oppose une résistance élevée, supérieure à 10^{14} - 10^{15} m/kg. La stratégie de conditionnement a pour but la réduction de la résistance spécifique à la filtration en jouant sur le choix du floculant et sur son dosage. En pratique, on considère que, pour des boues qui contiennent au départ entre 3 et 5°/de matières sèches, il est nécessaire d'atteindre des résistances spécifiques inférieures à 10^{13} m/kg (sous 700kPa) pour justifier une filtration sous pression à l'échelle industrielle. Dans le cas d'un simple filtre à tambour rotatif la résistance doit être inférieure à 10^{11} m/kg (sous 50 KPa).

Deuxièmement, la RSF est utilisée lors des calculs de dimensionnement des filtres industriels. Lors d'une filtration à ΔP constante. Il existe une relation linéaire entre le rapport temps de filtration sur le volume de filtrat, (t/v_1) , et le volume de filtrat v_1 .

La partie est classiquement utilisée pour calculer la résistance spécifique à la filtration des boues, selon la loi de darcy.

Loi de Darcy :

Le débit de filtrat $\frac{dV}{dt}$ par unité de surface A est proportionnel à la pression appliquée P et inversement proportionnel à la viscosité dynamique μ du fluide. saida

Méthode de CARMAN :

Dans la théorie de CARMEN a proposé une équation différentielle dont l'intégration à P constante conduit à la relation du type :

$$\frac{t}{V} = a \cdot V + b \dots \dots \dots (I. 1)$$

Avec $a = \frac{\mu \cdot W}{2 P S_f^2} \times r$ $b = \frac{\mu \cdot R_m}{P S_f}$

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot W}{2 P S_f^2} \times r \times V + \frac{\mu \cdot R_m}{P S_f}$$

Ou

t = temps (s)

V = volume du filtrat au bout du temps (m³)

μ = viscosité dynamique du filtrat en Pa.s

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

W = teneur en matière en suspension (kg.m⁻³)

S_f = surface de filtration (m²)

P = pression appliquée (Pa)

R_m = résistance de la membrane (négligeable dans le cas des boues par rapport à la résistance « r » du gâteau).

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

Il existe une relation linéaire entre $\frac{t}{V}$ et V soit (a) la pente de cette droite, on aboutit à [17] :

$$r = \frac{2 \cdot a \cdot P \cdot S_f^2}{\mu \cdot W} \dots \dots \dots (I. 2)$$

I.2.4. LES FILIERES DE TRAITEMENT DE BOUES

Cette partie regroupe les opérations qui permettent de faire passer la boue de l'état liquide, telle qu'elle est extraite de la filière d'épuration de l'eau, à l'état de produit déchet évacuable vers sa destination finale. Les différentes opérations considérées sont d'abord les traitements d'épaississement, de stabilisation, de conditionnement et de déshydratation, permettant d'obtenir un produit solide ou au moins pâteux et ensuite les traitements complémentaires des boues pour pouvoir les évacuer plus facilement : le chaulage, le compostage et le séchage. Deux objectifs sont souvent recherchés :

- réduire la quantité d'eau contenue dans la boue pour en diminuer le volume à traiter
- stabiliser la boue pour en réduire le pouvoir fermentescible [20].

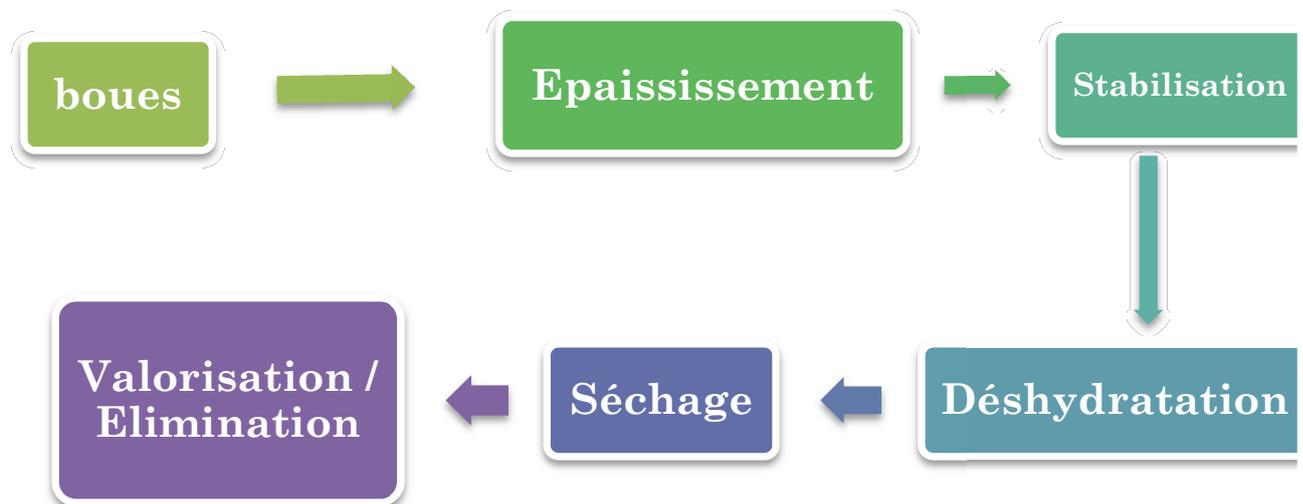


Figure I.2 : schéma de la filière de traitement des boues

1.2.4.1. L'épaississement :

C'est le premier stade de réduction du volume des boues à traiter. Le dimensionnement et le coût d'exploitation de la chaîne de traitement des boues en sont directement dépendants. Le plus souvent on appelle épaississement l'augmentation de concentration des boues collectées dans les décanteurs de clarification [22].

1) Epaississement par décantation :

La suspension boueuse est introduite dans une cuve (épaississeur) où le temps de séjour est élevé, de façon à provoquer le tassement des boues dont l'évacuation se fait par le fond tandis que le liquide surnageant est évacué par le haut.

Les épaisseurs sont toujours de forme circulaire. La cuve cylindrique est exécutée en acier pour les petits diamètres. Elle est équipée d'un ensemble mécanique tournant dont le rôle est double :

- assurer le transfert des boues déposées vers la fosse centrale, au moyen de racleurs disposés immédiatement au-dessus du radier,
- faciliter le dégagement de l'eau interstitielle et des gaz au moyen d'une herse verticale accrochée au dispositif tournant [22].

2) épaissement par flottation :

L'épaissement statique par décantation a des performances très limitées sur les boues fortement organiques très fermentescibles (telle que les boues activées) et sur d'autres boues colloïdales (boues d'hydroxydes). L'épaissement par flottation présente alors des avantages décisifs :

- réduction de la surface et du volume des ouvrages d'épaissement ;
- production des boues épaissies plus concentrées.

3) épaissement par centrifugation :

Des décanteuses continues, de conception particulière (décanteuses cylindriques à buses par exemple) ou à paramètres constructifs adaptés, sont utilisables pour épaissir les boues biologiques en excès. Les siccités des boues épaissies varient de 4 à 8%, mais le rendement d'extraction est généralement inférieur à celui obtenu par flottation [22].

4) épaissement par drainage :

La réduction en volume des boues est devenue aussi un objectif prioritaire dans les petites et moyennes stations. Les techniques d'épaissement précédemment décrites y conduisent souvent à des ensembles trop coûteux et/ou trop exigeants en main-d'œuvre spécialisée. Par ailleurs, un des objectifs recherchés sur les stations d'épuration évacuant, de façon saisonnière, leurs boues en culture, est de disposer de boues, certes épaissies [22].

1.2.4.2. Stabilisation des boues:

Les boues riches en polluants organiques sont instables. Leur stabilisation a pour rôle de réduire le pouvoir fermentescible des boues, de façon à éviter les nuisances, notamment l'apparition de mauvaises odeurs, lors de leur stockage et sur la chaîne de traitement. La destruction des germes pathologiques est parfois aussi recherchée.

Cette stabilisation peut être assurée par injection de réactifs chimiques, en général de la chaux éteinte, soit en amont d'un épaisseur de boues fraîches pour y bloquer les fermentations, soit sur boues liquides épaissies avant valorisation agricole. Même avec des doses allant jusqu'à 30% de la matière sèche, il ne s'agit que d'une stabilisation temporaire, qui n'autorise pas un stockage de longue durée.

C'est pourquoi, on préfère en général employer des méthodes biologiques, qui éliminent la matière organique facilement biodégradable, à l'aide de bactéries spécifiques [22].

1. digestion anaérobie :

La fermentation méthanique a un pouvoir de destruction cellulaire parmi les plus puissants du monde biologique, et permet l'élimination d'une quantité importante de MO. La digestion anaérobie des boues est normalement mise en œuvre sans recyclage de boues digérées épaissies, les boues fraîches présentant par elles-mêmes une concentration initiale suffisante en MO, qui permet ensuite la synthèse de la flore bactérienne [22].

2. stabilisation aérobie :

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

Ces derniers peuvent provoquer, à la longue, une certaine destruction mécanique du floc biologique rendant plus difficile sa déshydratation ultérieure ; ils conduisent aussi à de plus fortes pertes calorifiques. L'insufflation d'air permet également de brasser des boues de plus forte concentration (pouvant dépasser 30 g.L⁻¹) [22].

1.2.4.3. Le conditionnement :

Les boues stabilisées sont sous forme de liquide, les particules sont à l'état colloïdal, ce qui rend la filtration difficile, voire impossible. En vue de faciliter la déshydratation, un traitement destiné à briser la stabilité colloïdale s'impose, c'est le conditionnement. Il s'agit d'une floculation qui rompt cette stabilité colloïdale de la suspension et augmente la taille des particules. Ce conditionnement est effectué par addition d'un poly électrolyte dont la nature et la dose d'emploi dépendent de la boue, ou par injection d'un sel de fer, souvent chlorure ferrique, et de chaux éteinte, ce qui augmente la masse finale de matières sèches. Pour des installations de grande taille est parfois utilisé un conditionnement thermique consistant à « cuire » la boue à environ 200°C pendant 30 à 60 minutes.

Le conditionnement a pour objectif de préparer les boues à la déshydratation.

En conséquence, il en est indissociable. Cette opération permet la floculation des boues en cassant la stabilité colloïdale et facilite ainsi l'évacuation de l'eau libre ainsi que la diminution de la résistance spécifique et l'augmentation du coefficient de compressibilité.

L'efficacité du conditionnement est fonction :

- de la concentration en bio colloïdes et bio polymères anioniques,
- de l'alcalinité et du pH,
- du temps de stockage des boues (septicité),
- de l'augmentation de l'âge des boues,
- du mélange des boues entre-elles et entre boue et réactif [23].

I.2.4.4. Déshydratation :

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues sur les boues épaissies, stabilisées ou non, afin d'obtenir une siccité plus poussée (en moyenne comprise entre 20 et 30% selon la nature des boues) ; elle conditionne le choix de la filière de valorisation ou d'élimination finale.

La déshydratation présente plusieurs avantages : elle facilite le stockage et réduit le coût du transport. Elle améliore par ailleurs la stabilisation des boues et facilite leur utilisation en agriculture [24].

I.2.4.5. séchage :

Après déshydratation, le gâteau récupéré contient encore une fraction importante d'eau (matière sèche de 10 à 70%).

Le séchage peut être nécessaire soit pour faciliter sa valorisation agricole sous forme sèche. On peut atteindre des siccités de 90%.

Dans le sécheur rotatif (comme les fours de cimenterie). Les boues sont mises en contact direct avec des gaz chauds de combustion. Le contact direct est aussi possible dans un lit fluidisé. Le séchage s'effectue aussi par contact indirect entre la boue et des parois chaudes [25].

I.2.4.6. Destinations finales :

Trois destinations ultimes sont possibles et pratiquées à l'échelle industrielle :

- la valorisation quand elle est possible des boues :
 - réutilisation agricole (par épandage des boues liquides, après compostage ou après séchage thermique sous forme de granulés) ;

- recyclage des boues industrielles ;
- la mise en décharge, en respectant les nouvelles directives européennes ;
- l'incinération des boues seules ou éventuellement combinées aux ordures ménagères [25].

Conclusion

On peut affirmer que l'exigence de la qualité et de la fiabilité du traitement de l'eau se répercute directement sur la gestion des boues qui s'avère particulièrement onéreuse et doit être optimisée en tenant compte plus particulièrement des destinations finales possibles pour les boues.

Dans ce chapitre, nous avons vu les différents procédés d'épuration des eaux usées résiduelles, ainsi que la caractérisation et l'origine des boues.

Il existe quatre principales techniques de traitement qui peuvent d'ailleurs être Complémentaires : (1) l'épaississement, (2) la stabilisation, (3) la déshydratation et (4) le séchage.

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

Chapitre II

Conditionnement et déshydratation

II. Introduction

Les boues résiduaires se présentent sous une forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes et posent beaucoup de problèmes techniques pour leur évacuation «quelle que soit la destination », parmi lesquels leur transport et leur stockage qui conduisent souvent à des problèmes de manipulation et des nuisances olfactives. Ceci impose le choix d'une filière de traitement dès l'installation de la STEP.

II.1. Conditionnement des boues :

La majorité des boues organiques doivent subir un prétraitement spécifique, appelé conditionnement, pour permettre le bon fonctionnement des différents appareils de déshydratation mécanique. Le degré de déshydratation dépend avant tout du type de boues à traiter mais aussi du procédé de conditionnement. L'étape de conditionnement est très importante pour éviter des problèmes de montée en charge, de filtrats chargés, de toile colmatée.

Le but du conditionnement est de modifier les forces de cohésion internes de la boue afin de libérer l'eau liée aux particules.

On peut définir, en générale, une boue suivant deux paramètres :

- sa résistance spécifique à la filtration.
- son facteur de compressibilité.

Le conditionnement aura pour le but essentiel de diminuer la valeur de ces deux paramètres et d'augmenter la concentration finale des boues à traiter.

On distingue deux types de conditionnement les plus souvent utilisés :

- le conditionnement thermique.
- le conditionnement chimique [26].

II.1.1. Conditionnement thermique :

Il a pour but de rompre les liaisons entre et les matières colloïdales de la boue à traiter, afin d'en faciliter la déshydratation. Ce procédé consiste à élever la température des boues. Cette idée, de traiter les boues par cuisson pour les rendre filtrables.

La montée à une température suffisante d'une boue, conduit à une transformation irréversible de sa structure physique, surtout si elle contient une forte proportion de matières organiques colloïdales.

La température de cuisson adoptée varie entre 150 et 200C° et le temps de cuisson entre 30 et 60 minutes, suivant le type de boue et la filtrabilité désirée.

Durant la cuisson, les gels colloïdaux sont détruits et d'hydrophile particulière régresse fortement. La densité des particules est nettement accrue. On assiste également à deux phénomènes simultanés :

- solubilisation de certaines MES (hydrolyse de l'amidon notamment, avec formation de sucre), ammonisation d'azote organique.
- précipitation de quelques matières en suspension [22].

II.1.2. conditionnement chimique :

Le conditionnement chimique consiste en une floculation de la boue permettant de casser la stabilité colloïdale et d'augmenter artificiellement la taille des particules. Il a recours à des procédés de nature physique (thermique principalement), mais plus souvent de nature chimique par ajout de réactifs minéraux ou des polymères synthèses [26].

2.1. réactifs minéraux

Ils sont mieux adaptés à la déshydratation par filtre-presse ou filtres sous vide, appareils mettant en œuvre une filtration en surface au travers d'un gâteau en formation, avec un support filtrant à mailles fines (généralement inférieure à 100-200 μ m). Ces réactifs minéraux conduisent, en effet, à la formation de floccs fins mais mécaniquement stables.

De nombreux électrolytes minéraux à cation polyvalent pourraient être utilisés mais, pour des raisons d'économie et d'efficacité.

Les électrolytes minéraux les plus communs sont :(tome ii)

-les sels d'aluminium: sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$), le chlorure d'aluminium ($AlCl_3, 6H_2O$), l'aluminate de soude (AlO_2Na), l'hypochlorite d'aluminium ($AlON_a$).

-les sels de fer : chlorure ferrique ($FeCl_3, 6H_2O$), sulfate ferreux ($FeSO_4, 7H_2O$), sulfate ferrique ($Fe_2(SO_4)_3$).

La dose de réactifs à mettre en œuvre est très variable suivant la nature de la boue à traiter. Elle est déterminée réellement qu'après des essais de laboratoire, effectués sur différents électrolytes [23].

2.2. la mise en œuvre des réactifs.

Le mélange de boues et de flocculant est réalisé dans des bacs, pendant des temps de contact variables entre 5 et 10 mn afin d'obtenir un floc aussi gros que possible [26].

2.3. Le conditionnement avec les flocculants de type polymères (poly électrolytes) synthétiques :

Un poly électrolyte est un polymère soluble dans l'eau, porte des charges électrostatiques. C'est le cas des polymères de synthèses utilisées comme coagulants, ils sont soluble dans l'eau, et portent des charges une fois en solution. Ce sont des composés de haut poids moléculaires 10^4 - 10^6 Da de type anioniques, cationiques ou non ioniques. L'intensité de la charge sur d'un polymère dépend de son degré d'ionisation qui dépend à son tour des charges sur les groupes

fonctionnels, du degré copolymérisation et de la qualité de groupes fonctionnels qui ont été substitués [27].

Le conditionnement constitué un prétraitement spécifique permettant le bon fonctionnement des appareils de déshydratation mécanique et donc de faciliter la déshydratation. Ceux-ci donnent alors aux boues une consistance plus au moins solide, l'ajout des différents réactifs et polymères cités ci-dessus permet alors une diminution de la RSF et une augmentation de la siccité [28].

Les poly électrolytes ont pour effet :

- une floculation extrêmement marquée, par formation de ponts entre particules, grâce aux longues chaînes ramifiées.
Cette floculation est renforcée par une action coagulante dans le cas de polymères cationiques.
- une très forte diminution de la résistance spécifique de la boue, l'eau libre interstitielle libérée étant très rapidement drainable.

Un nombre important de poly électrolytes est à disposition, et il faut généralement faire appel à des tests simples de floculation, de drainage et de pressage, pour choisir le produit le mieux adapté ;

Ces tests permettent :

- de choisir le polymère le plus économique ;
- de trouver le floc le plus différencié ;
- de juger de la résistance mécanique du floc (importante pour la centrifugation).
- d'apprécier la bonne dérivabilité de la boue floculée (importante pour les filtres à bandes et les appareils de drainage) ;
- de tester la compression du floc drainé [17].

Tableau. II.1 : inconvénients des coagulants minéraux et des polymères synthétiques [29].

Coagulants de type sels minéraux	Floculants de type polymères synthétiques
<p>-Il est difficile d'établir les bons Dosages.</p> <p>Beaucoup d'essais à l'échelle laboratoire sont donc nécessaires Pour trouver un traitement optimal. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système ;</p> <p>-Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs,</p> <p>-L'addition de CaO, peut augmenter le volume des boues jusqu'à 50% ;</p> <p>-L'aluminium résiduel peut entrainer des problèmes importants pour la santé comme l'Alzheimer et autres pathologies de ce genre.- En eau froide, le processus est peu efficace ;</p> <p>-Cout élevé</p>	<p>-Les polymères peuvent être toxiques pour faune.</p> <p>-L'utilisation de polymères synthétique coûteuse et donc pratiquement inenvisageable pour les pays en voie de développement.</p>

II.2. Coagulation floculation :

II.2.1. Introduction :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

Donc, L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en

suspension puis formation de floccs par absorption et agrégation. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [30].

II.2.2. Les particules mises en jeu : Les colloïdes

III.2.2.3. Généralités

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivants :

- état de suspension qui regroupe les plus grosses particules.
- état colloïdal.
- état dissous des sels minéraux et des molécules organiques.

Cette classification résulte de la taille des particules. Les colloïdes présentent un diamètre compris entre $1\mu\text{m}$ et 1nm . Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes/ Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique en partie l'existence de charges électriques à leur surface. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion inter colloïdales. Celles-ci permettent d'expliquer la grande stabilité de ces particules mises en solution. Leur densité, qui peut atteindre 2,5, ne modifie pas la valeur de leur vitesse de décantation [31].

II.2.2.3. Matières colloïdales

Ce sont de très fines particules de matières solide, d'origine minérale ou organique, invisibles à l'œil nu en examen direct, dotées à leur surface de charges électriques qui, se repoussant mutuellement, confèrent à ces particules un mouvement permanent (même lorsque le liquide est au repos) et les maintiennent en suspension.

En l'absence d'une neutralisation de leurs charges électriques, les matières colloïdales ne décantent pas et ne peuvent être retenues que par des filtres très fins (membranes) [31].

II.2.2. 4. Structure des colloïdes

Dans une eau de surface, les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement collés au colloïde et forment la couche liée ou de STERN, qui attire à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité des cations : c'est la couche diffuse ou de GOUY. Il y a donc formation d'une double couche ionique, l'un accompagnant la particule lors de ces déplacements, l'autre se déplaçant indépendamment ou avec un certain retard.

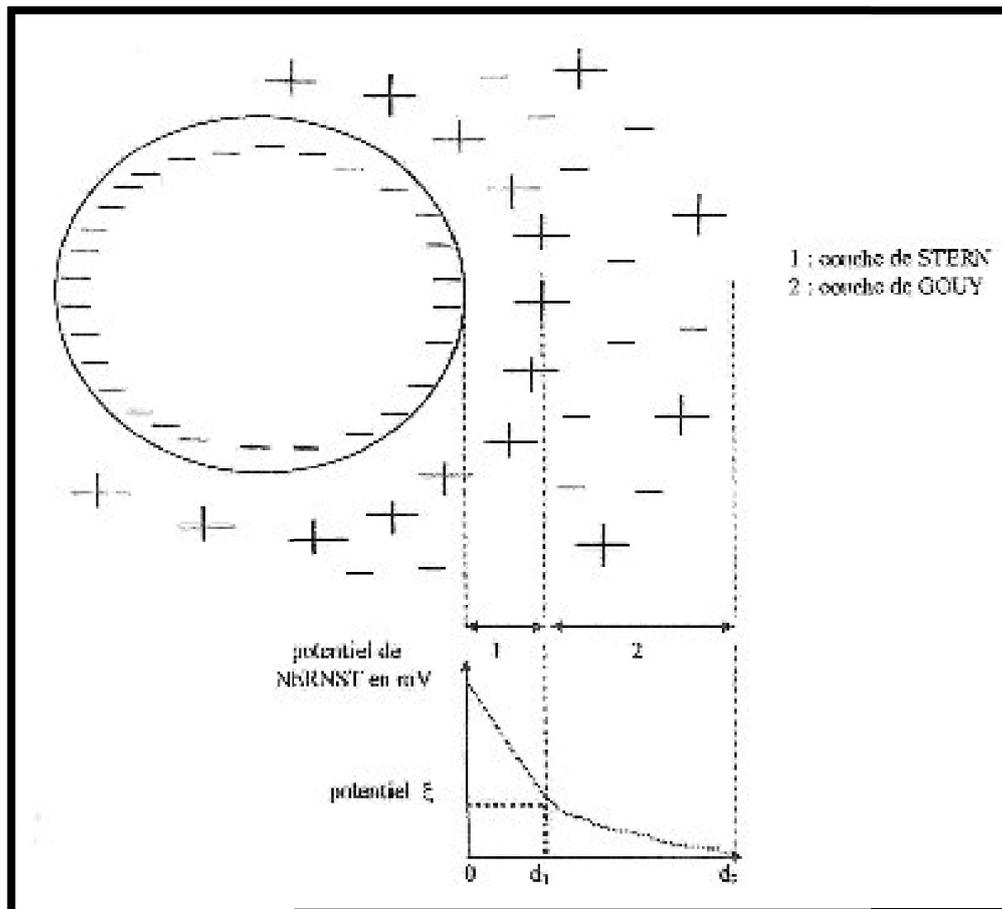


Figure II.1 : Distribution ionique autour d'un colloïde [32].

Il existe entre ces deux couches un potentiel électrostatique ou de NERNST, qui varie en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde.

Dans la couche liée, le potentiel de NERNST décroît linéairement car les cations constitutifs sont empilés uniformément. En revanche, dans la couche de GOUY, le potentiel électrostatique varie de manière non linéaire, étant donné que la répartition ionique résulte d'un mélange aléatoire de cations et d'anions.

La valeur du potentiel à la surface de la couche de NERNST est appelée potentiel zêta. Les colloïdes étant chargés négativement, ce potentiel est négatif.

Dans les eaux naturelles, sa valeur varie de -30 à -35 mV. Les particules de potentiel zêta négatif se repoussent très fortement. C'est pourquoi, les colloïdes sont très stables et inhibent toute agglomération [32].

II.2.2.5. Phénomène de la coagulation

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquence, à les stabiliser dans la solution. Le but principale de coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération. On peut obtenir cette déstabilisation par:

- a) compression de la double couche;
- b) adsorption et neutralisation des charges;
- c) emprisonnement des particules dans un précipité;
- d) adsorption et pontage [33];

II.2.2.6. Adsorption et neutralisation des charges

On peut tout fois expliquer la re-stabilisation des particules colloïdales en

posant l'hypothèse que des charges issues d'un surplus de coagulant sont adsorbées à la surface des particules. Les particules colloïdales ainsi re-stabilisées possèdent alors une charge inversée, ce qui est contraire au but recherché [34].

II.2.2.6. Adsorption et pontage entre les particules :

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, non-anioniques ou anioniques, ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale. Un polymère en présence d'un colloïde l'adsorbe à une de ses extrémités à l'aide d'un de ces groupes fonctionnels. Les autres extrémités demeurent libres et peuvent adsorber un autre colloïde. Ce mécanisme permet donc l'agglomération des particules par pontage des polymères. Par contre, une concentration de polymères trop élevée peut re-stabiliser les colloïdes [35].

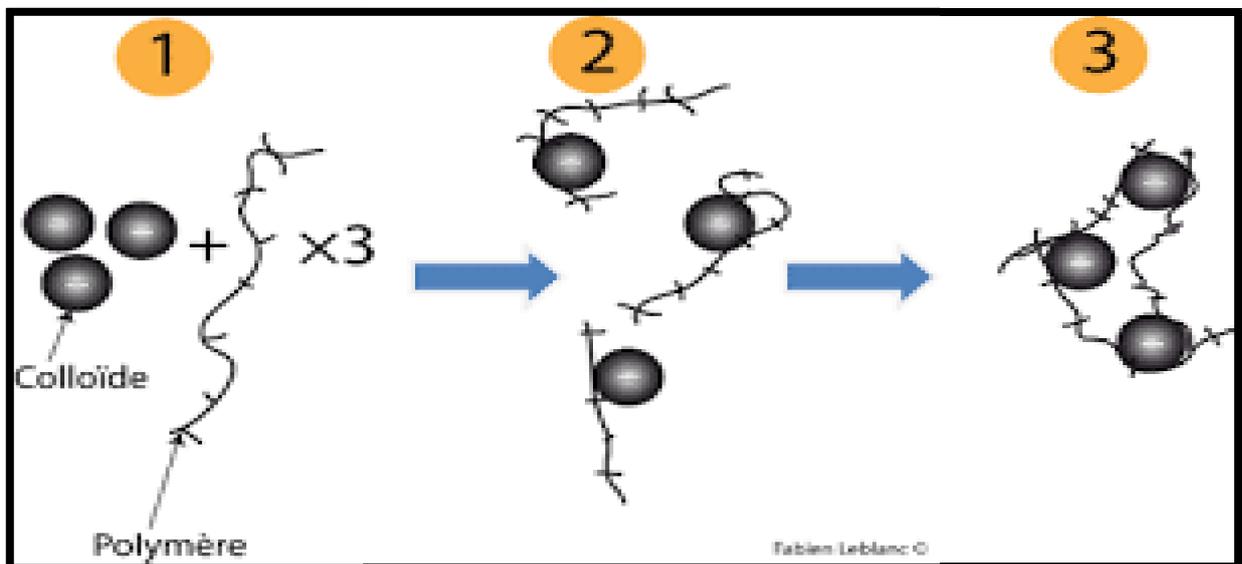


Figure II.2 : adsorption et pontage à l'aide de polymères [35]

II.2.2.7. Coagulants utilisés :

Les réactifs de coagulation et de floculation sont des produits d'origine minérale (sels d'aluminium et de fer), des polymères naturels et des polymères de synthèse. Les polymères peuvent compenser l'écart de prix [36].

1) Sels de fer et d'aluminium :

Les sulfates d'aluminium dont les principaux produits commercialisés sont le chlorure d'aluminium, l'aluminate de sodium, et les sels polymérisés : polychlorure et

polychloro-sulfate d'aluminium. Le sulfate d'aluminium reste le produit le plus utilisé, mais il est peu à peu remplacé par des polymères minéraux plus performants. Dans le monde des coagulants et floculants, il est représentatif du produit de commodité, peu onéreux, mais sans valeur ajoutée particulière [22].

Le seul critère différenciant les produits du marché est la pureté du produit. Les coagulants les plus efficaces sont présentés suivant le tableau.4

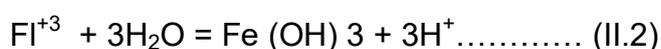
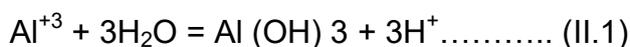
Sels d'aluminium	formule chimique	sels de fer	formules
Sulfate D'aluminium (alun)	$Al_2(SO_4)_3$	chlorure ferrique	$FeCl_3$
Chlorure D'aluminium	$AlCl_3$	sulfate ferrique	$Fe(SO_4)_3$
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	sulfate ferreux	$FeSO_4$

Tableau II.2 : dérivés des sels d'aluminium et de fer [22]

Les polymères d'aluminium ce sont des polychloro-sulfates basique (PACS) de formule générale $Al_nOH_mCl_{(3n-m-2k)}SO_4(k)$.ils agissent à la fois par neutralisation des charge électrostatique et pontage des colloïdes. Certains produits ne contiennent pas de sulfates : ce sont les polychlorures basiques d'aluminium (PAC) plus chers que les sels non polymérisés, leur utilisation conduit à une dose de traitement inférieure et surtout à une excellente qualité de l'eau traitée, une meilleure cohésion des boues et une faible teneur en aluminium résiduel. Ces produits sont particulièrement recommandés pour les traitements des eaux de surface.

Les sels de fer commercialisent en traitement des eaux principalement le chlorure ferrique, le chloro sulfate ferrique et le sulfate ferreux. Ce sont des produits de commodité et contrairement aux sels d'aluminium, il n'existe pas de sels polymérisés à haut degré de basicité. Les sels ferrique, plus chargés, ont un meilleur Pouvoir coagulant que les sels ferreux.

Le pH est un paramètre important car il détermine l'importance des charges des particules et aussi la précipitation des coagulants. Les réactions de base, lors de l'ajout des sels d'aluminium ou de fer dans une eau, est la précipitation de l'hydroxyde d'aluminium ou de fer [17]



II.2.2.8. Réaction et équilibres des sels aluminiums :

On équilibre avec Al(OH)_3 solide, les espèces dissoutes sont essentiellement Al^{3+} , 2Al(OH)^{2+} et Al(OH)_4^- . Ceci est indiqué dans le diagramme d'équilibre de la figure (II.3). Le point isoélectrique de Al(OH)_3 se situe près du pH6.

Dans le procédé de coagulation appliqué lors de la floculation-filtration de faible quantité de sulfate d'aluminium sont employées. Le mécanisme implique est, essentiellement, celui de la coagulation par adsorption agrégative. La région de pH optimum se situe entre 6 et 7 (voir figure II.3) [38].

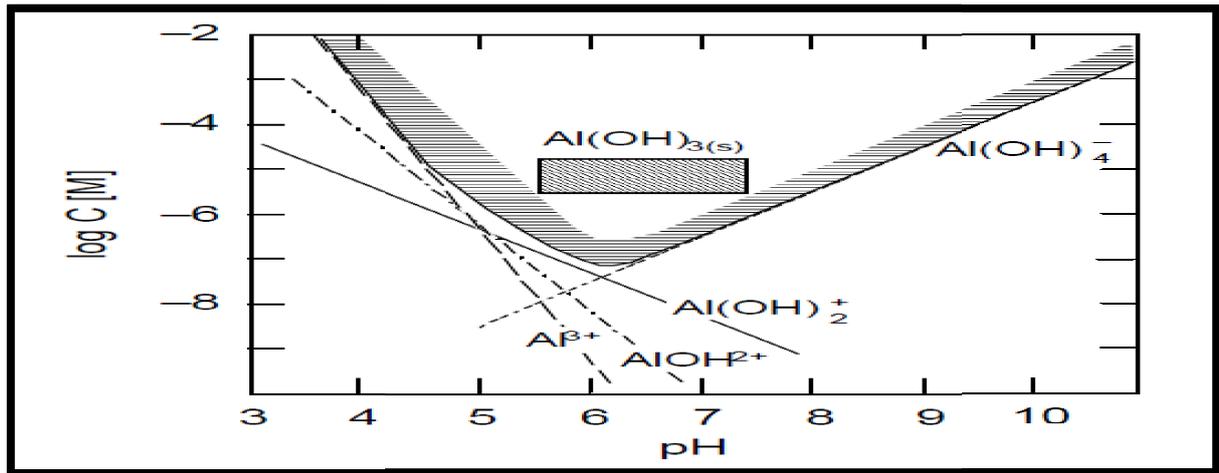


Figure.II.3 : diagramme d'équilibre de l'aluminium dissous [38]

II.2.2.9. Réaction et équilibres des sels ferriques :

Le diagramme d'équilibre donné à la figure met en évidence plusieurs différences entre le fer et l'aluminium. Dans le domaine de pH rencontré dans la pratique, l'ion Fe^{+3} n'est nullement en équilibre avec Fe(OH)_3 présent. Le schéma (figure II.4) indique une zone élargie, favorable à la coagulation par entraînement. Le point isoélectrique de Fe(OH)_3 est situé approximativement à pH 8 [39]

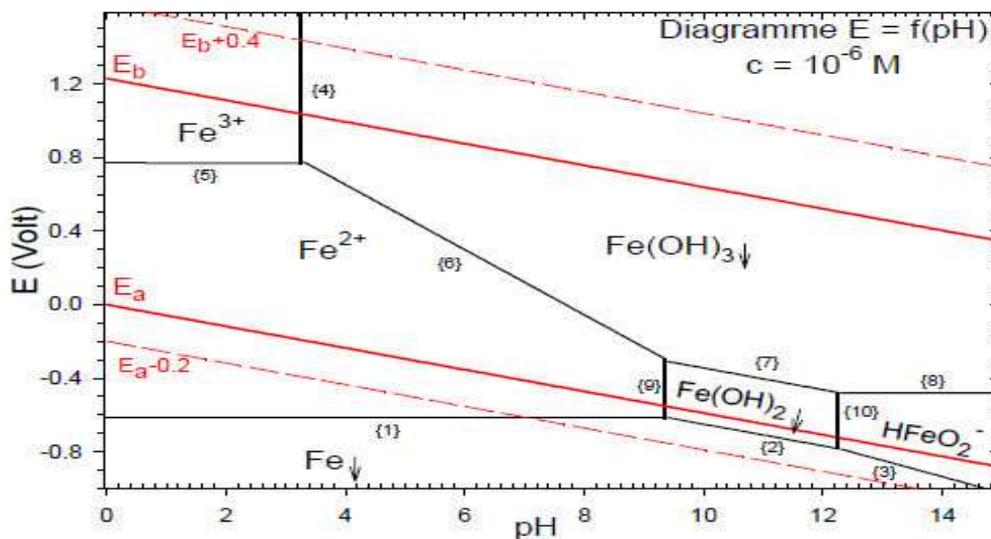


Figure.II.4 : diagramme d'équilibre du fer dissous [38]

II.2.3. Théorie de la floculation :

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, c'est la floculation.

Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts des particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules [40].

II.2.3.1. Technologie de la coagulation –floculation :



Figure.II.5 : emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation [41].

Il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes et incompatibles.

En effet, les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celle de la floculation. On distingue les deux phases suivantes :

1 ère phase : mélange rapide et vigoureux.

2 ème phase: mélange lent.

Dans un premier temps, un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par un mélange mécanique avec des pales ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de floc sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différences de vitesse dans le bassin nécessaires à la rencontre des particules (voir la figure II.6) [42].

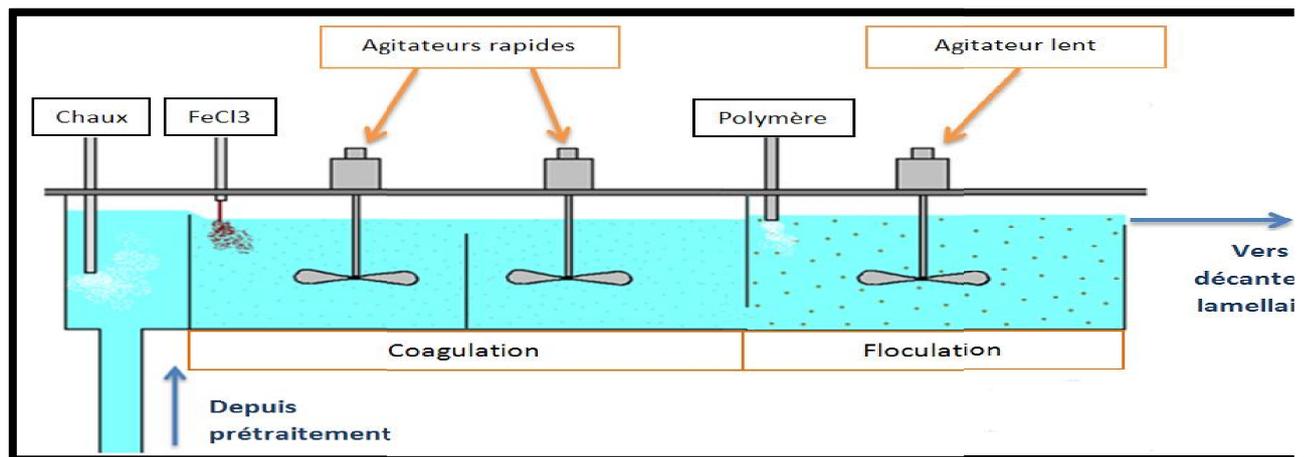


Figure.II.6 : Technique de la coagulation-floculation [43]

II.2.3.2. Doses de réactifs minéraux à employer :

Le type de coagulant et la dose ont influence sur :

- la nature des boues à filtrer ;
- le bon ou le mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration ;
- le cout d'exploitation.

Une dose de coagulant excessive entraine une augmentation du cout d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité de réactifs ne peut pas se déterminer facilement. Des théories ont été élaborées sur les charges électriques nécessaires pour déstabiliser les colloïdes et on a mesuré un potentiel, appelé Zeta [42].

Le dosage pour le conditionnement, se fait en fonction du taux de matières sèches de la boue en présence :

- conditionnement au chlorure ferrique : 1 à 10% MS [43].
- conditionnement au sulfate d'aluminium : 4 à 10% MS [44].
- conditionnement au lait de la chaux :
10-15%MS [45].
25-30% MS [17].

II.2.3.3. Les coagulants d'origine naturelle :

Comme l'ont relevé certaines études, les coagulants à base d'aluminium, le fer et même les polymères synthétiques présentent un inconvénient important : leur toxicité probante pour l'environnement, ajoutons à cela, le cout élevé de leur utilisation et du conditionnement des boues. Cela a donc poussé quelques chercheurs à investiguer la possibilité d'utiliser des composés d'origines naturelle pour réaliser le procédé de coagulation-floculation [45].

On peut regrouper les différents coagulants naturels en deux catégories selon leur origine :

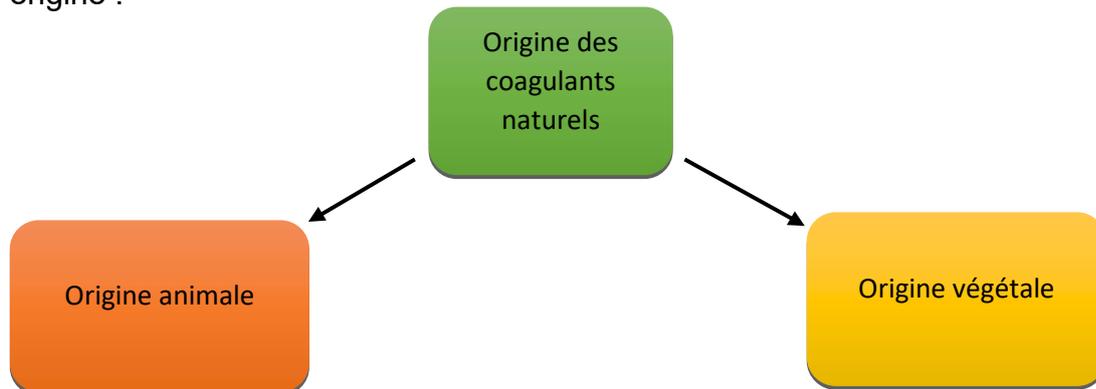


Figure II.7 : schéma des origines des coagulants [29].

Nous allons nous intéresser dans notre travail uniquement aux coagulants naturels d'origine végétale.

Contrairement aux coagulants chimiques, les coagulants naturels à base de plante sont sûrs, ne portent pas atteinte à l'environnement et ne sont pas toxiques. Ils génèrent non seulement un volume de boues beaucoup plus faible, mais aussi les boues ont une valeur nutritionnelle non négligeable. En tant que tel. Le traitement des boues et les coûts sont réduits ce qui en fait une option plus durable. Ces coagulants sont abondants dans la nature, accessibles et se sont des matériaux locaux donc leur coût de préparation ou de production est nettement plus faible que celui d'achat ou de préparation des coagulants chimiques [46].

La plus grande partie des matériaux d'origine végétale a été utilisée dans le traitement de la turbidité des eaux usées, naturelles et synthétiques et la couleur des eaux de teintures. Ils ont été également utilisés dans le traitement des boues. Comme ils ont été aussi utilisés comme adsorbant de métaux lourds, parmi ces matériaux, ceux qui ont été utilisés en traitement des eaux usées soit par adsorption ou processus de coagulation-floculation sont les suivants : Alginate, Des métaux cellulosiques, L'amidon, Le Moringa oleifera, La gomme de guar et pour finir l'Opuntia Ficus Indica.

Citons que le Chitosane est le seul floculant d'origine animale à avoir été testé dans le traitement des eaux et les boues résiduaires [47,48, 49, 50, 51].

II.3. Autres procédés de conditionnement.

II.3.1. Par congélation

Il consiste en un abaissement de la température des boues dessous de -20°C et se traduit par une réduction du volume d'eau associée aux particules de boues et de les regrouper. Le temps de réaction varie 1 et 4 h. La siccité du gâteau obtenu est très bonne et plus élevée que celle d'un conditionnement chimique.

La densité de courant appliquée est 0,3 AMP. Par dizaines de dm^2 de surface anodique pour un potentiel de 4 volts entre les électrodes [14].

II.4. La déshydratation naturelle :

La technique de séchage sur lits de sable reste encore le procédé le plus utilisé de nos jours pour des installations de traitement de faible importance (communes rurales par exemple) en raison de cout d'investissement peu élevé. Son efficacité est subordonnée au respect d'un certain nombre de règles concernant la réalisation et surtout l'exploitation [44].

II.4.1. Les lits de séchage :

Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Ces lits de séchages sont mis sous serre pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire. Une autre variante de ce procédé consiste à mettre les lits de séchage sous couvert végétal (roseaux), ce qui permet de s'affranchir des conditions climatiques. Ce procédé est appelé lits à micropyles. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité d'environ 35 à 40 %. Ce procédé de séchage présente l'intérêt d'être en plus une solution de stockage des boues. Il est particulièrement bien adapté aux stations d'épuration des collectivités de moins de 5.000 EH [44].

II.4.1.2. Mise en œuvre des lits de séchage.

Les lits de séchage sont mis en œuvre en disposant sur la couche supérieure 10 à 20 cm de sable lavé (diamètre 0,1- 0,5 mm), puis une couche de graviers fins (5 – 15 mm) sous laquelle 15 à 20 cm de gros graviers (10 à 40 mm) ou de mâchefers.

L'évacuation de l'eau filtrée est obtenue à l'aide de drains disposés sous la couche support.

L'épaisseur maximale de boues à admettre sur les lits de séchage est de 20 à 25 cm.

Les lits des séchages sont délimités par des murettes préfabriquées amovibles [44].

Un mauvais fonctionnement des lits de séchage se répercute sur l'ensemble de la station. Si les lits ne sèchent pas convenablement les boues, il apparaît aussitôt un excès de boues au niveau du digesteur, des bassins d'aération ou du décanteur.

L'exploitant de la station veillera au bon fonctionnement des lits, et évitera de réaliser des opérations tendant à nuire au processus comme par exemple, alimenter le lit sur des boues sèches, des boues non concentrées ou peu stabilisées.

Signalons que les inconvénients majeurs des lits de séchage sont de nécessiter des surfaces importantes, la possible prolifération d'insectes et mouches, très susceptibles aux conditions climatiques [44].

II.4.2. La déshydratation mécanique :

II.4.2.1. Intérêt des procédés artificiels de déshydratation :

Le séchage artificiel est obtenu par dessiccation mécanique qui accélère la séparation des phases liquides et solides, grâce à un apport d'énergie mécanique. La présence en quantités parfois importantes de colloïdes, conduit à utiliser, simultanément, un conditionnement destiné à briser l'état colloïdal dont la destruction ne peut être raisonnablement obtenu avec la seule énergie mécanique.

C'est ainsi qu'il est fait appel, au préalable aux conditionnements soit chimique soit thermique décrits précédemment [13].

Les mécanismes principaux de la déshydratation mécanique sont :

- la filtration sous vide ;
- la filtration sous pression ;
- la centrifugation [13].

II.4.2.2. la filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension, ainsi retenus par le milieu poreux, s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs [13].

II.4.3. la filtration sous vide :

La filtration sous vide est le procédé de dessiccation mécanique le plus répandu.

Les filtres sous-vides utilisés pour la déshydratation des boues résiduelles sont du type à tambour rotatif, constitué d'un cylindre en acier, partiellement immergé dans une cuve alimentée par la boue à filtrer. Ce tambour recouvert d'une toile filtrante est compartimenté en plusieurs secteurs reliés à un « distributeur » destiné à réaliser le vide ou la surpression [13].

II.4.4. Filtration sous pression :

On distingue

Deux techniques de filtration sous pression :

_le filtre-presse, utilisé depuis peu dans le traitement des boues de station en raison de la discontinuité de son fonctionnement,

_la filtration sous pression progressive qui a eu un essor considérable ces dernières années dans les petites et moyennes stations d'épuration [44].

II.4.5. Le filtre- presse :

Cette technique consiste à introduire sous pression les boues à traiter, au moyen d'une conduite centrale, entre des plateaux verticaux évidés, appliqués les uns contre les autres par des broches à commande manuelle ou des vérins hydrauliques à commande électrique. Sur les deux faces des plaques sont accolées des toiles filtrantes en fibre synthétique associées à une sous-toile au travers desquelles filtre l'eau interstitielle des boues. Le filtrat est recueilli au travers de cannelures aménagées dans les plaques et dirigé à l'extérieur au moyen de conduits d'évacuation situés sur la périphérie du filtre-presse.

II.4.6. La centrifugation :

Cette technique, comparable à la flottation, est en général utilisée pour des boues biologiques ou de traitement tertiaire physico-chimique. Elle est en général utilisée pour des STEP moyennes (20 à 100 000 Eq. Hab) ou dans des STEP compactes. Ce procédé est onéreux en investissement et en exploitation mais assure une excellente maîtrise des nuisances olfactives. Elle est compacte, sans odeur, avec un degré d'épaississement important mais impose une consommation de polymères onéreuse.

La centrifugation relève du principe de la séparation des phases liquide et solide lequel s'opère par le jeu des différences de masses spécifiques dans un champ de force intense créé par rotation dans un appareil dénommé centrifugeuse ou décanteuse continue [13]

La centrifugation est une technique offrant divers avantages :

- rendement d'extraction élevé (50%) variable selon la nature de la boue et son conditionnement.
- siccité maximales obtenues.
- cout d'investissement faible.
- facilité d'exploitation.
- économie de surface au sol.

II.5.Valorisation ou élimination des boues :

II.5.1. Valorisation organique :

Les boues qui étaient considérées comme « déchets » sont devenus des « produits ».En dépit des difficultés au monde agricole à accepter ce changement, la principale voie d'élimination des boues STEP était la valorisation agricole.

II.5.2. Epandage des boues :

L'épandage des boues est la voie la plus répandue de la valorisation agricole. Elle existe depuis plus de 30 ans. De par leur apport agronomique, les boues peuvent être utilisées comme substituts d'engrais en agriculture. L'épandage des boues permet de prévenir la dégradation des sols en améliorant certaines de leurs

propriétés physico- chimiques. Leur forte teneur en matière organique permet de stabiliser le pH. D'augmenter la capacité de rétention d'eau. de diminuer les écoulements de surface et l'érosion du sol, d'améliorer la capacité d'échange ionique et d'augmenter la disponibilité des nutriments.

Cette technique de valorisation agricole apporte des éléments fertilisants qui, en fonction des doses d'apport soit couvrent les besoins des cultures en N, P et éventuellement en Mg, Ca, S, soit corrigent leur carence. En effet, dans les boues liquides la plupart de l'azote est sous forme d'ammonium qui est facilement assimilé par les végétaux. Quant aux boues pâteuses, elles contiennent l'azote organique disponible à long terme [13].

Conclusion :

Le conditionnement des boues vise l'amélioration de leurs caractéristiques de déshydratation. Un bon fonctionnement de déshydratation dépend avant tout de type de boues à traiter mais aussi du procédé de conditionnement.

Le conditionnement chimique par l'ajout des réactifs minéraux parmi les types de conditionnement que nous avons utilisés dans notre travail. Dans le chapitre suivant, nous exposons l'ensemble de dispositifs expérimentaux (méthodologie, le matériel et les produits utilisés dans les différents essais au laboratoire).

Chapitre III

*Généralité sur le cactus
(Opuntia Ficus Indica)*

III. Opuntia Ficus Indica (Figuier de Barbarie) :

Le figuier de barbarie est une espèce de plante de la famille des Cactaceae, une plante arborescente qui peut atteindre de 3 à 5 mètres de haut.

Cette plante est originaire des régions aride et semi-aride du Mexique qui a été introduite par la suite dans l'Afrique du Nord, cette plante est originaire de l'Amérique du sud mais elle été trouvé en Afrique, Australie et le sud d'Europe. Cette hypothèse est appuyée par beaucoup de chercheurs qui ont déclaré que la famille Cactaceae se trouve dans le bassin méditerranéen, dans le Moyen-Orient, Afrique du sud et l'Inde, la plante est maintenant répandue dans le monde entier [52, 53, 54, 55].

III.1 Aspect général :

La tige de l'Opuntia est formée d'articles ovales, charnus et aplatis, de couleur verte, communément appelés « raquettes » dont la surface est parsemée d'alvéoles. Protégées par des poils barbelés regroupés en touffes et armés de redoutables épines (sétules), elles constituent chacune un « point végétatif dormant et polyvalent ». C'est dans ces alvéoles que naissent, sur les articles en formation, les feuilles fragiles, éphémères, caduques. Les bourgeons apparaissent également au creux de ces « cryptes » au sommet des raquettes. Les épines munies de minuscules aiguillons recourbés vers leur base partent également de là. Ce sont ces crochets qui rendent difficile et douloureuse l'extraction d'une épine de Nopal implantée dans la peau [56].

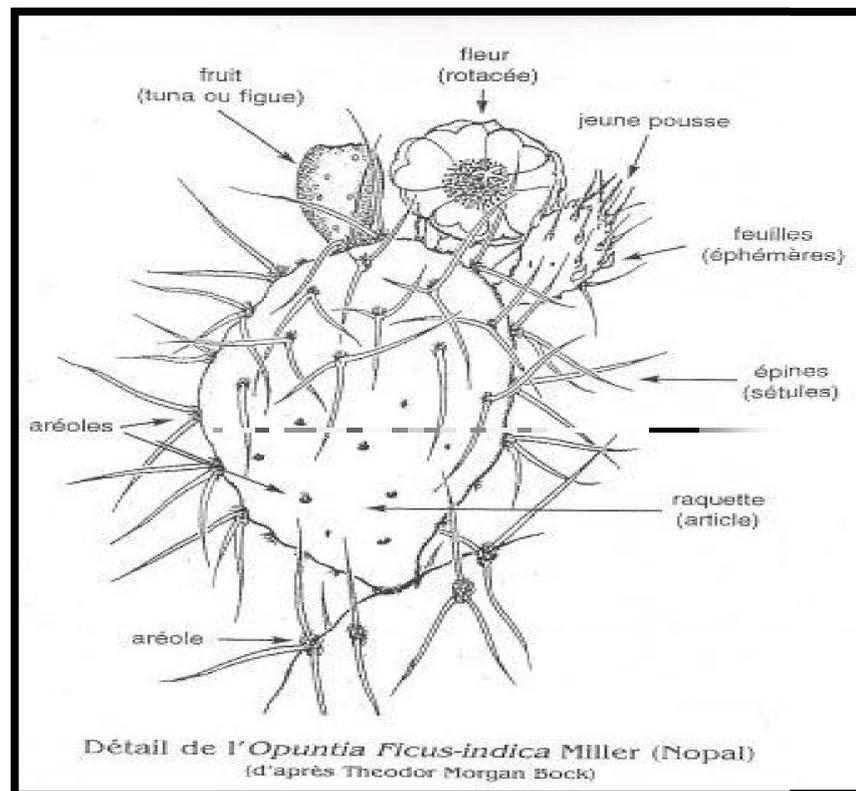


Figure.III.1 : détail de l'Opuntia (Nopal) [56]

III.2 Compositions chimiques des raquettes :

La composition des cladodes change selon les facteurs édaphiques à l'emplacement de la culture, à la saison et à l'âge de la compatibilité de la plante. Pour mieux comprendre leurs activités biologiques il faut étudier leur composition chimique.

L'opuntia est une plante connue par sa richesse en eau avec un taux d'humidité très élevé de 85% à 90% (donc la matière organique est élevée), et une faible teneur en matière sèche d'environ 6-7% [57]

Les raquettes de cactus sont très riche en matière minérale (tableau III.1), tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le cuivre, mais elles sont pauvres en matières azotées totales, elles ne renferment que 2 à 4.6% de la MS [58]

Tableau (III.1) : la composition chimique des raquettes d'Opuntia Ficus Indica (nefzawi ; 1991) [58].

Eau en % de poids brut	MS en % de poids brut	Constituants en % de MS						
		MM	MO	MOT	Ca	P	K	Na
89.76	10.24	30.29	69.71	6.18	7.94	0.07	2.95	0.03

Les raquettes d'opuntia sont riches aussi en mucilage, le tableau (III.2) montre la composition de mucilage des raquettes en quelques substances.

Tableau (III.2) : composition de mucilage des raquettes d'opuntia [59].

substance	Composition en %	
Sucre réducteurs (en fructos)	1.9	5.10
Sucre totaux (en glucose)	2.45	6.30
furfural	5.32	7.66
Acide polygalacturonique	22.6	32.60

glucomannes	2.22	3.64
-------------	------	------

III.3. Utilisation de cactus (OFI) dans le domaine d'épuration et de traitement des eaux :

Depuis 1999, les différentes espèces d'opuntia ficus Indica, réservées d'habitude à l'alimentation humaine, le fourrage, la médecine et le cosmétique suscitent l'intérêt des chercheurs dans le domaine du traitement des eaux pour leur capacité adsorbante et leur propriété coagulante /floculante [55].

Il existe plusieurs façon d'utiliser les cladodes du cactus dans le traitement des eaux usées à travers le processus de coagulation/ floculation ou la bio sorption. Les cladodes ont été utilisées fraîches ou séchées sous forme de poudre. L'utilisation des cladodes fraîches a été réalisé ou les épines du cactus ont été retiré, les cladodes sont après nettoyées et lavées avec l'eau du robinet suivi d'un rinçage avec de l'eau distillée, après cela elles sont décortiquées et macérées et le produit frais a été conservé au réfrigérateur à une température de 4°C. Une autre méthode a été réalisé [61, 62], les cladodes fraîches ont été coupé en petits morceaux puis mixé pour produire un jus qui été utilisé dans le processus de coagulation floculation [63]. La poudre de cladode a été préparée suivant différentes méthodes de séchage, à températures différentes. Les cladodes ont été nettoyé, lavé puis rincé avec de l'eau distillée et coupé en morceaux, l'une des préparations est le séchage au soleil pendant deux semaines suivi d'une déshydratation dans l'étuve à 60°C pendant 24h [64], pour les autres, les températures et le temps de déshydratation différent.

Après plusieurs recherches et application de la poudre l'opuntia ficus Indica, il s'est avéré qu'elle soit efficace dans la bio sorption des colorants, des ions métalliques et des pesticides, et qu'elle soit efficace également dans l'élimination de la turbidité, de la demande chimique en oxygène ainsi que les métaux lourds [65].

Les capacités de bio sorption et de coagulation-floculation de l'OFI que ça soit des cladodes ou le mucilage été attribués des composés présents dans la plante. Plusieurs chercheurs ont signalé la disponibilité de la littérature qui rend compte de l'existence de l'arabinose, d-galactose, l'hamnose, d-xylose et l'acide galacturonique dans le mucilage [66, 67, 68, 69].

La poudre de cladodes de l'opuntia ficus Indica a été utilisé, sans prétraitement, comme un bio floculant à faible cout pour l'élimination du Bleu de Méthylène, le Noir d'ériochrome T et l'alizarine des solutions aqueuses [56], l'utilisation de la peau du fruit du figuier de barbarie oxydée a été réalisé pour la décolonisation un brillant vert d'une solution. L'oxydation a pour but de convertir les fonctions alcool et aldéhydes des différentes molécules présentes dans le fruit en acides carboxyliques qui éliminera le brillant vert en établissant des liaisons électrostatiques. La température et le pH ont un effet signifiant sur la décolonisation du brillant vert [69].

Le cactus OFI a été testé sous forme séchée et fraîche pour éliminer les pesticides (Aldrine, Dieldrine) des eaux de surfaces par adsorption, le cactus frais a donné un taux d'élimination plus élevé des pesticides. Il atteint 94% pour l'aldrine-dieldrine [61].

L'opuntia Ficus Indica a démontré des capacités d'adsorption de polluants et des pourcentages d'élimination supérieurs comparés à la jacinthe d'eau [70] et une efficacité comparable à celle observée avec les adsorbants conventionnels tels que le Moringa oleifera [71], le charbon actif [72], et les algues [73]. En plus de son utilisation dans la décontamination des eaux usées par le procédé de bio sorption, l'opuntia ficus indica a été utilisé également dans la coagulation floculation de polluants dans les eaux.

Le cactus opuntia a été couplé avec Moringa Oleifera pour l'élimination de la turbidité dans les solutions d'argile synthétique. L'activité de coagulation était observée pour presque toutes les parties du cactus sauf pour la peau de la raquette. Concernant la température, l'activité de coagulation n'était pas présente quand le séchage du cactus ou sa macération s'est fait à une température de 120 C°. Le coagulant naturel a permis de réduire la turbidité jusqu'à 92 à 99% avec une turbidité résiduelle de 5 et 7 dans une eau basique (pH 8-10). L'opuntia est très efficace pour la réduction ou élimination de la turbidité dans les eaux usées, et cette efficacité est due à la présence de l'acide galacturonique et d'autres composés présents dans le cactus [62].

La poudre de l'OFI a été utilisée dans le traitement des eaux usées de tanneries après optimisation du dosage et du pH dans un jar Test. Le dosage optimal et le PH optimal étaient de 0.4 g/L et 5.5 respectivement. La turbidité a été réduite de 75.54% et la DCO de 80.65%, ce sont des résultats remarquables ce qui indique que la poudre peut être utilisée dans le traitement des eaux usées de tannerie [61].

L'utilisation du mucilage de l'OFI comme floculant dans le traitement des eaux usées d'une industrie de textile tunisienne été étudié. Les paramètres étudiés étaient le pH, le dosage de l'OFI, la vitesse du mélange, le temps de contact sur le taux d'élimination de la DCO et la turbidité. Une élimination maximale du polluant de 99.84% était obtenue pour un pH optimal de 7, une dose optimale de 40 mg/l de l'OFI, une vitesse du mélange allant jusqu'à 50tr/min et un temps de mélange de 10 min [74].

L'extraction de la pectine et du mucilage de la cladode fraîche de l'OFI a été réalisé pour ensuite les utiliser pour traiter la turbidité d'une eau synthétique. Le temps et la concentration du biofloculant ont été optimisés pour une élimination maximale de la turbidité. Le PH optimal était 3 pour les deux biofloculants, et les doses optimales sont respectivement de 8ml/l et 6ml/l pour le mucilage et la pectine [75].

L'utilisation de jus de cactus dans le conditionnement des boues urbaines a été étudiée, pour connaître son efficacité, le jus a été comparé avec d'autres polymères synthétiques qui sont :

Chimfloc C4346, sedipur, AF102, et le sedipur, NF400. Les doses spécifiques du floculant sont ajoutées et agités dans un jar Test. L'efficacité du gâteau de filtration et la résistance spécifique de filtration en fonction du floculant. Il a été trouvé qu'à de

faibles doses du jus de l'OFI, la turbidité finale était très basse comparée à celle trouvée avec les flocculants synthétiques. Parmi tous les flocculants utilisés, la meilleure RSF obtenue était celle avec l'utilisation du jus d'OFI, elle était de $0.7 \cdot 10^{12}$ m/kg pour une dose de 0.4g/kg du jus da cactus. Le jus d'OFI s'est avéré être un meilleur conditionneur de boues que les flocculants inorganiques [65].

Plusieurs recherches sont basées sur le mécanisme prédominant dans la coagulation d'eau turbide en utilisant l'opuntia ficus Indica. Ils ont trouvé que le mécanisme est l'adsorption et le pontage des particules.

Pour l'élimination de la turbidité et de la DCO des eaux turbides et l'effluent de peinture, les mécanismes de coagulation floculation proposés sont aussi l'adsorption et pontage et adsorption- neutralisation des charges [75]. D'après les études faites et les recherches menées sur le cactus. Il a été prouvé qu'il soit un flocculent efficace et qu'il peut être une solution alternative aux différents flocculants de synthèses déjà utilisés.

Conclusion :

Ce chapitre présente une généralité sur le cactus opuntia ficus indica, comme il indique la possibilité d'introduire ce nouveau biomatériau dans le processus de traitement des eaux d'épuration des eaux usées.

Chapitre IV

Matériel et méthode

IV. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la description des différents matériels et méthodes d'analyses, et de réaliser le conditionnement chimique des boues stabilisées de la station d'épuration de Béni-Messous à l'aide des sels minéraux ainsi un bio flocculant, qui est de la poudre de cactus *Opuntia Ficus Indica*. Ce conditionnement sera suivi d'une déshydratation (filtration sous-vire à 0,5 bars),

L'objectif principal de telles expériences, est d'obtenir un gâteau présentant une siccité élevée, et une RSF faible.

Station d'épuration de Béni-Messous :

Présentation de la station :

Le site d'implantation de la station d'épuration est situé sur le territoire de la commune de Ain Benian (Wilaya d'Alger), à environ 14Km à l'ouest d'Alger Centre, nichée au bord de la mer méditerranée et à l'embouchure de l'oued Béni-Messous au Sud et la RN N°11 reliant Ain Benian à Staouéli à l'Est. 09

La STEP actuelle de Beni Messous (figure.IV.1) a une capacité épuratoire de 250 000 Eq.Hab. Pour un débit moyen théorique de 50.400 m³/j.

Cette STEP a été mise en service en 2007. Une extension est en cours de réalisation pour doubler sa capacité de traitement et compléter le traitement tertiaire. Deux extensions ultérieures sont prévues, portant la capacité totale de la STEP de Beni Messous à 500 000 Eq.hab en 2015 et 810.000 Eq.hab à l'horizon 2025. Cette station a reçu en moyenne 33.400 m³/jour en 2013 et produit 8.800 tonnes de boues à 22.9 % de siccité. Les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet de 100% sur 2013 et un rendement d'élimination de la pollution de 95% [76].



Figure. IV.1 : photographie de la station d'épuration des eaux usées résiduelles de Béni-Messous. [76]

IV.1. Fonctionnement de la STEP :

La station d'épuration de la ville de Béni-Messous (figure. IV.1) est composée de deux différentes filières, la première est la filière eau (prétraitement mécanique et traitement biologique) et une filière de boue (épaississement, stabilisation, conditionnement et déshydratation).

La STEP englobe plusieurs dispositifs et ouvrages, définis comme suit :

Le prétraitement

- Déversoir d'orage.
- Dégrillage mécanique grossier.
- Dégrillage mécanique fin.
- Dessableur déshuileur.

Venturi de mesure des eaux brutes.

Traitement primaire.

- Deux décanteurs primaires circulaires.
- Local boues primaires.

Traitement secondaire

- Deux bassins d'aération, possédant chacun trois (03) aérateurs.
- Deux décanteurs secondaires circulaires.
- Station de recirculation des boues.
- Station de pompage des eaux trouble.
- Venturi de mesure des eaux traitées.
- Regard de collecte des eaux décantées.

Traitement des bous

- Deux épaisseurs de boues.
- Local boues épaissies.
- Deux bassins de stabilisation des boues, possédant chacun deux (02) aérateurs.
- Deux chines de déshydratation avec deux filtres à bandes.
- Station de lavage des filtres à bandes.
- Station de préparation des polymères et groupe hydrophore pour le conditionnement.
- Local de stockage des boues séchées.

Autres ouvrages

- Fosse de dépôtage.
- Poste de pesage.
- Locale des sur presseurs.
- Poste de livraison électrique.
- Sous- local poste de livraison électrique.

IV.2. Matériels et méthodes :

IV.2.1. Matériels

On a utilisé le matériel suivant :

Verreries :

Béchers de 100 ml et de 1L, pipettes, burettes, éprouvettes graduées, erlenmeyers, pipettes jauges de 1, 5, 10, verres de montres, thermomètre, tamis, capsules.....

Appareils :

- Agitateur magnétique IKAMAG RH.
- Ph- mètre HANA INSTRUMENTS, modèle pH209.
- Multi mètre (Conductimètre et pH mètre) de marque CRISON
- Turbidimètre HACH, modèle 2100A.
- Four de marque Heraeus INSTRUMENTS, modèle M 110.
- Etuve de marque Heraeus INSTRUMENTS, modèle B-6120.
- Balance analytique de marque SARTORIUS.
- Cellule de filtration sous vide conçue au laboratoire pour la mesure de la RSF de marque PHYWE, type DSE2.
- JAR TEST de marque ARMFIELD de type PWT [annexe 01].

Produits chimiques :

- NAOH
- HCL, H₂SO₄
- Coagulants-floculants : (FeCl₃, 6H₂O), (Al₂(SO₄)₃, 18H₂O);
- Eau distillée [annexe 01].

Tous les matériaux sont présentés dans l'annexe [01].

IV.3. Echantillonnage des boues utilisées :

La boue utilisée pour ce travail a été prélevée du bassin de stabilisation de la station d'épuration des eaux usées (voir figure IV.3) de Béni-Messous, à l'aide d'un bêcheur en plastique muni d'une tige en bois. Les échantillons ont été transportés par la suite dans des jerricans de 5 et 10L.



Figure.IV.3 : Echantillonnage des boues utilisées

IV.3.1. Les conservations des échantillons :

Pour éviter l'évolution de la boue entre le prélèvement et l'analyse. Il est conseillé de maintenir les échantillons à une température voisine de 4C° et à l'obscurité pour un maximum de 10 jours, et de les transmettre au laboratoire dans un délai de 24 heures après prélèvement.

IV.4. Méthodes d'analyse et de caractérisation de la boue au laboratoire :

Mesure de pH, de la conductivité, de la température, et du TDS (taux des solides dissouts) :

La mesure de ces paramètres a été faite directement à l'aide d'un multi mètre de marque CRISON [ANNEXE 01].

La mesure est effectuée directement, l'électrode est introduite dans l'échantillon, quand la valeur reste constante, la lecture des résultats est faite.

La conductivité et le taux des solides dissouts sont exprimés en $ms.cm^{-1}$ et en g/l.

La température est exprimée en C°.

IV.4.1. Teneur en matière sèche (MS) :

Concentration en matières sèches (MS): elle s'exprime généralement en grammes par litre ou en pourcentage en poids et est déterminée par séchage à 105°C jusqu'à poids constant (durant 24h). Pour des boues liquides, elle est généralement proche de la teneur en matières en suspension (MES), déterminée par filtration ou centrifugation [77].

$$MS = \frac{M2-M0}{V} \times 1000 \left(\frac{g}{l}\right) \dots\dots\dots (IV.1)$$

V : volume de l'échantillon de boue filtrée (100 ml) ;

M0 : masse du filtre vide ;

M2 : masse du filtre et du gâteau sec (après séchage à 105 C°) ;

IV.4.2. Calcule de la siccité (S) :

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.

Elle s'exprime généralement en pourcentage pondéral. À l'inverse, on parlera de taux d'humidité (teneur en eau) [77].

$$S = \frac{M2-M0}{M1-M0} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (IV.2)$$

Avec :

M0 : masse du filtre vide ;

M1 : masse humide du filtre et du gâteau;

M2 : masse sèche du filtre et du gâteau (après séchage à 105 C° pendant 24h) [77].

IV.4.3. Teneur en matières volatiles sèches (MVS) :

Le résidu ses obtenu lords de la mesure de la matière sèche est porté pendant 2heures dans un four à moufle à550 C°. On calcule par la suite la teneur en matières volatiles rapportées à la matière sèche, à partir de la masse initial et la masse finale.



Figure.IV.4 : Photographie de la masse du gâteau sec (après calcination à 550 C°)

Pour la majorité des boues, la détermination des matières volatiles est une évaluation approchée de la matière organique [77].

On obtient alors :

$$\text{MVS} = \frac{M2 - Mf}{M2 - M0} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (IV.3)$$

Ou :

$$\text{MVS} = \frac{M2 - Mf}{V} \times 1000 \left(\frac{g}{l}\right) \dots\dots\dots (IV.4)$$

Avec :

V : volume de l'échantillon de boue filtrée (100 ml) ;

M0 : masse du filtre vide ;

M2 : masse du filtre et du gâteau sec (après séchage à 105 C°) ;

Mf : masse du filtre et du gâteau sec (après calcination à 550 C°) (figure : IV.4) [77].

IV.4.4. Mesure de la matière en suspension (MES) :

Le même principe que MS :

$$\text{MES} = \frac{M2 - M0}{V} \times 1000 \left(\frac{g}{l}\right) \dots\dots\dots (IV.5)$$

Avec :

V : volume de l'échantillon de boue filtrée (100 ml) ;

M0 : masse du filtre vide ;

M2 : masse du filtre et du gâteau sec (après séchage à 105 C°) [6];

IV.4.5. Mesure de la turbidité :

Elle correspond à la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de particules en suspension ou des matières colloïdales.

On mesure la turbidité en Nephelometric Turbidity Unit (NTU) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau. Les mesures ont été réalisées sur le filtrat après une filtration. La gamme de mesure est comprise entre 0,1 et 1000 NTU.

IV.5. Conditionnement des boues :

La majorité des boues organiques doivent subir un prétraitement spécifique, appelé conditionnement, pour permettre le bon fonctionnement des différents appareils de déshydratation mécanique. L'étape de conditionnement est très importante pour éviter des problèmes de montée en charge, de filtrats chargés, de toile colmatée [78].

Le conditionnement chimique consiste à ajouter des réactifs chimiques dans les boues, afin d'assembler les particules colloïdales dispersées en floc plus gros, ce qui rend la séparation solide-liquide plus facile.

Dans ce travail nous avons conditionné la boue avec des réactifs minéraux pour la formation d'un floc fin mais mécaniquement stable. Le plus souvent, pour des raisons d'économie et d'efficacité, des sels de fer et d'aluminium sont utilisés. Dans notre cas nous avons utilisé du chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$) figure (IV.5.b) ainsi que le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$) (figure : IV.5.a).



a) sulfate d'aluminium

b) chlorure ferrique

Figure.IV.5 : les réactifs minéraux utilisés dans le conditionnement.

La dose des coagulants est calculée par rapport à la matière sèche de la boue utilisée, selon la formule suivante [79] :

$$\text{Doses du sel (g/kg)} = \frac{1000 \times \text{volume de la solution du sel ajouté (ml)} \times \text{concentration de la solution d'emploi} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right)}{\text{volume de l'échantillon (ml)} \times \text{teneur en MS} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right)} \dots (\text{IV.6})$$

IV.6. La floculation :

Le conditionnement des boues a été assuré par la floculation à l'aide d'un Jar Test (floculateur) figure après avoir un mélange de 500 ml de boue avec des solutions de doses croissantes de coagulants (voir figure (IV.6)). Le mélange subit une forte agitation de 140 tr/sec pendant 20 min, suivis d'une agitation lente de 40 tr/min pendant 2 min, pour la formation des floccs [76].



Figure.IV.6 : mélange de 500 ml de boue brute avec une concentration de chlorure ferrique.

IV.6.1. Le jar test :

Le jar test (figure IV.7) consiste en une rangée de béchers alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter à la même vitesse. Les différents béchers ont reçu une dose différente de réactifs et à la fin de l'expérimentation, on détermine quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les floccs les plus gros et les mieux décantés. Concernant les vitesses d'agitation, la seule certitude est que la coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide (afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent) et que la floculation - quant à elle - nécessite une vitesse relativement lente (afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés)... [80].



Figure.IV.7 : photographie d'un Jar test

IV.7. Méthodologie de déshydratation de la boue :

IV.7.1. La filtration sous-vire :



Figure.IV.8 : la cellule de filtration

Ce test est effectué sous vide à 0,5 bar de dépression.

Matériel utilisé :

- 1 erlen Meyer de 2 litre
- 1 Büchner
- 1 éprouvette de 100 ml
- papier filtre de diamètre 9 cm et de porosité de 8 μm .
- 1 pompe à vide.
- 1 manomètre.

Le dispositif de filtration sous pression est schématisé dans la figure

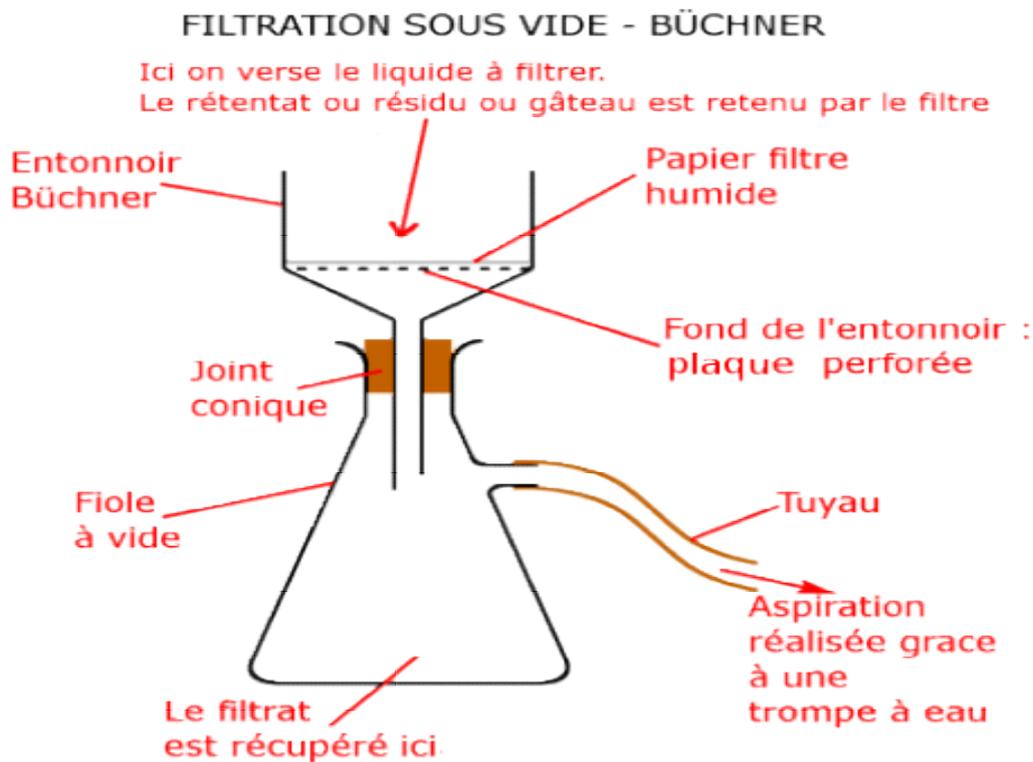


Figure.IV.8 : schéma représentatif du dispositif de la filtration sous pression [82].

Mode opératoire :

Remplir le Büchner de boue à filtrer (préalablement conditionnée) ; 100 ml de boue sont généralement suffisants pour l'obtention d'un gâteau final d'épaisseur 8-10 mm. Le Büchner placé sur une fiole graduée, l'étanchéité est assurée par un joint en caoutchouc. La fiole graduée est raccordée à une pompe à vide et un manomètre qui permet la régulation de la pression d'aspiration de l'air (figure IV.8, IV.9).

Établir le vide et rechercher rapidement la dépression voulue soit 0,5 bar et veiller à ce qu'elle reste constante tout au long de l'essai.

Dès que le vide est atteint, mettre en route le chronomètre et noter le volume de filtrat déjà recueilli : volume V_0 correspondant au temps $t = 0$ qui sera à soustraire des volumes repérés ultérieurement. Noter les volumes du filtrat recueilli au cours de l'essai pour différents temps de filtration : toutes les 10, 15, 20, 30 ou 60 secondes, selon la vitesse d'écoulement du filtrat. L'essai est conduit jusqu'à essorage du gâteau. Le filtrat recueilli est récupéré pour la mesure de la turbidité, ainsi que le gâteau est récupéré pour le calcul de la siccité.



Figure.IV.9 : échantillon de boue conditionnée dans un bécher de 100 ml.

IV.8. Préparation du bio-floculant (la poudre de cactus) :

Dans notre travail nous avons utilisé un nouveau biomatériau (la poudre de cactus *Opuntia Ficus Indica* « OFI ») comme coagulant floculant pour le conditionnement de la boue de la station d'épuration des eaux usée de Béni-Messous. Afin d'évaluer son efficacité les résultats obtenus ont été comparés à ceux obtenus en utilisant des sels minéraux.

Les raquettes de cactus ont été récoltées à Sidi Aissa, située dans la commune de Guerouaou, à environ 6 km au nord-est de Blida figure (IV.10).

La région de Guerouaou bénéficie d'un climat méditerranéen, il se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides



Figure.IV.10: *Opuntia ficus indica*

Les raquettes collectées sont de tailles différentes, leur poids variant de 600 g à 2 kg.

Elles ont été lavées avec l'eau de robinet, nettoyées et débarrassées de leurs épines avant d'être coupées en petits morceaux (1 cm*1 cm) avec un simple couteau de cuisine. Ces derniers ont été rincés avec l'eau distillée pour préparer par la suite nos trois différentes poudres (voir la figure IV.11). [29]



Elimination des épines d'une cladode de cactus



Figure.IV.11 : Découpage de la cladode en dés [94]

IV.8.1. Préparation des poudres de cactus :

IV.8.1.1.Poudre préparée avec un séchage au soleil (poudre naturelle) :

Les morceaux de cactus (1cm* 1cm) ont été pesés puis déposés les uns devant les autres sur des plateaux bien nettoyés et couverts avec du papier cellophane. On a mis ces plateaux sur le toit de la maison figure, pour qu'ils soient exposés au soleil tout le long de la journée.

On vérifiait régulièrement le changement de couleur qui est un bon indicateur sur la déshydratation figure (IV.14).

Le séchage au soleil était supposé durer 15 jours, mais suite à une précipitation durant cette période, la durée de séchage a été prolongée de 09 jours, il a fallu, par conséquent, 24 jours en tout pour avoir des morceaux de cactus bien secs sans aucune trace d'eau. [54, 61, 62, 63]

Après le séchage, les morceaux de cactus ont été pesés, puis broyés avec un broyeur (figure IV.13) de laboratoire et tamisés à 400 μm . à la fin, on a obtenu une poudre très fine, d'une couleur verdâtre



Figure.IV.13. : Broyeur mécanique cactus



Figure.IV.14. : Trois différentes poudres de cactus

IV.8.1.2.Poudre préparée à 60 C° :

Les morceaux de cactus préalablement lavés avec de l'eau distillé ont été pesés, on s'est assuré que la masse ne soit pas inférieure à 1 kg, on les a déposés sur les grilles en inox de l'étuve. Les grilles étaient couvertes de papier aluminium pour permettre une bonne évaporation du liquide visqueux qui sort du cactus lors de la déshydratation.

Le cactus a été mis dans l'étuve à 60 C° pendant 48h.seulement le séchage a demandé plus de temps car le cactus restait humide. On vérifiait la texture de cactus chaque 3 heures. Au final, l'obtention d'une déshydratation complète a demandé 96h en tout (2jours) (voir figure IV.15).

Le cactus séché a été pesé puis broyé avec un broyeur de laboratoire, puis tamisé à 400 μm .

La poudre finale était d'une couleur verdâtre légèrement différente de la poudre Séchée au soleil, et très fine. .

Figure.IV.15. : Les morceaux de cactus après la déshydratation.
Le pourcentage de l'eau contenue dans les raquettes est de 94.8%.

IV.8.1.3. Poudre préparée à 100 C° :

Les morceaux de cactus préalablement lavés avec de l'eau distillé ont été pesés, on s'est assuré que la masse ne soit pas inférieure à 1kg, on les a déposés sur les grilles en inox de l'étuve. Les grilles étaient couvertes de papier aluminium comme pour la poudre préparée à 60C°.

Le cactus a été mis dans l'étuve à 100 C° pendant 2h, mais cette durée n'étant pas suffisante pour avoir des morceaux complètement secs, on la prolongée jusqu'à une durée totale de 13h de déshydratation.

Le cactus séché a été pesé puis broyé avec un broyeur de laboratoire, puis tamisé à 400µm. la poudre finale était d'une couleur brune (figure IV.17). [29].



Figure.IV.17 : poudre de cactus séchée à 100C° à l'étuve

IV.2.Dosage de biofloculant :

Pour déterminer la dose optimale de notre biofloculant, pour l'obtention d'un bon résultat : à savoir, augmentation de la siccité et diminution de la turbidité ainsi que la RSF, nous avons ajouté différentes doses : 0,5 g/kg ; 1 g/kg ; 1,5 g/kg ; 2 g/kg ; 2,5 g/kg ; 3g/kg ;5 g/kg (MS de boues).

Pour ce faire, il a fallu préparer une solution mère à partir de la poudre de cactus en prélevant 6 g de cette dernière et en l'ajoutant à 1L de l'eau distille. La concentration qu'on a obtenue est de 6 g/l (voir la figure IV.18).

Le volume ajouté de la solution mère du biofloculant a été calculé par la formule précédente [79].



Figure.IV.18 : préparation de la solution mère de la poudre de cactus séchée au soleil

Conclusion :

Le travail effectué au niveau de laboratoire de traitement des eaux de département science de l'eau et l'environnement, nous a permis de bien maîtriser le matériel utilisé et nous a introduit à la recherche et aux interprétations et aux comportements des solutions principalement de la boue.

Les résultats obtenus sont présentés dans le chapitre suivant

Chapitre VI

Résultats et discussions

VI. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter et interpréter les principaux résultats d'analyse des boues que nous avons obtenus en utilisant les différentes techniques de caractérisation et d'analyses qu'on a cité dans le chapitre précédant en se basant sur les paramètres suivantes : la turbidité, la siccité et la RSF. En utilisant le chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$), le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}$), et la poudre de cactus (OFI).

VI.1.Caractérisation physico-chimique de la boue stabilisée (par voie aérobie) avant conditionnement au laboratoire :

Nous avons effectué quelques analyses pour la caractérisation physico-chimique de la boue résiduaires stabilisées de Béni-Messous. Il s'agit de la mesure de la matière

sèche, de la matière volatile, des résidus calcinés, des matières en suspension, de la mesure du (pH, conductivité, température), et de la turbidité.

Les caractéristiques physico-chimiques de la boue stabilisée non conditionnée (tableau.VI.1).

Paramètre	Valeur
Siccité (%)	4,15 - 5.86
RSF (m.kg ⁻¹)	30.10 ¹²
MS (g/l)	50 – 58,6
MES (g/l)	50,62 - 53,28
MVS (g/l)	27.28 - 29.47
Ph	7,56 – 7,8
Conductivité (µs/cm)	2,07 – 2,16
TDS (g/l)	1,32 – 1,54
Turbidité (NTU)	159 – 177
Température (C°)	18,7 – 20

Tableau.VI.1 : caractéristiques physico-chimique de la boue stabilisée.

A partir de ce tableau, on peut remarquer que la boue stabilisée qu'on a prélevée au niveau de la STEP de Béni-Messous a :

- Un pH neutre mais tend vers la basicité (7,58 – 7,8) ;
- Une faible quantité de sels minéraux, d'après la mesure de la conductivité ;
- Une faible siccité, indiquant que cette boue a une texture très liquide ;
- Les matières en suspension sont plus en moins élevées comparées aux matières volatiles, donc il existe une prédominance de la matière organique, cela signifie que la boue est d'une nature urbaine ;
- Une turbidité du filtrat très élevée ;
- Une résistance spécifique à la filtration est élevée, par ce que la boue est non conditionnée.

VI.2. Caractérisation physico-chimique des poudres de cactus :

Les résultats de la caractérisation physico-chimique des poudres de cactus sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètre	Poudre Naturelle	Poudre 60 C°	Poudre 100 C°
Turbidité (NTU)	612	500	690
Ph	5,8	5,5	5,4
Conductivité (ms/cm)	1,512	1,250	1,610
TDS (mg/l)	960	802	746

Tableau.VI.2. : caractérisation physico-chimique des poudres de cactus.

Remarque :

La mesure de la turbidité des poudres a été réalisée sur des solutions préparées à partir des poudres à une concentration de 6 g/l.

D'après les résultats obtenus, on peut observer que :

- La turbidité des solutions est très élevée, elle atteint les 612 NTU pour la poudre naturelle (séchage au soleil) ;
- La turbidité atteint 500 NTU et 620 NTU pour la poudre préparée à 60C° et la poudre préparée à 100C° respectivement.

Cette élévation de la turbidité est due d'une part aux particules colloïdales des poudres et d'une part de la couleur verdâtre des poudres.

- Le pH des différentes poudres est variable. Nous remarquons que les trois préparations des poudre :(naturelle, 60C°, 100C°) ont un pH acide, les pH Sont respectivement de 5,8 5,5 et 5,4.
- Les valeurs de conductivités obtenues ne sont pas élevées, la conductivité est de 1,512 mS/cm pour la poudre séchée au soleil, 1,250 mS/cm pour la poudre préparée à 60 C° et de 1,6 mS/cm pour la poudre préparée à 100C°.

VI.3.Filtration sous vide :

Influence de la dose du coagulant sur le volume du filtrat :

VI.3.1.Conditionnement minéral de la boue avec le coagulant FeCl₃, 6H₂O :

Le conditionnement est réalisé avec l'ajout du FeCl₃, 6H₂O ; les concentrations varient de 1 à 10% de la siccité de la boue [76].

La figure (VI.1) représente le volume recueilli en (ml) par la filtration sous vide de la boue conditionne en fonction du temps à différentes concentrations du coagulant utilisé.

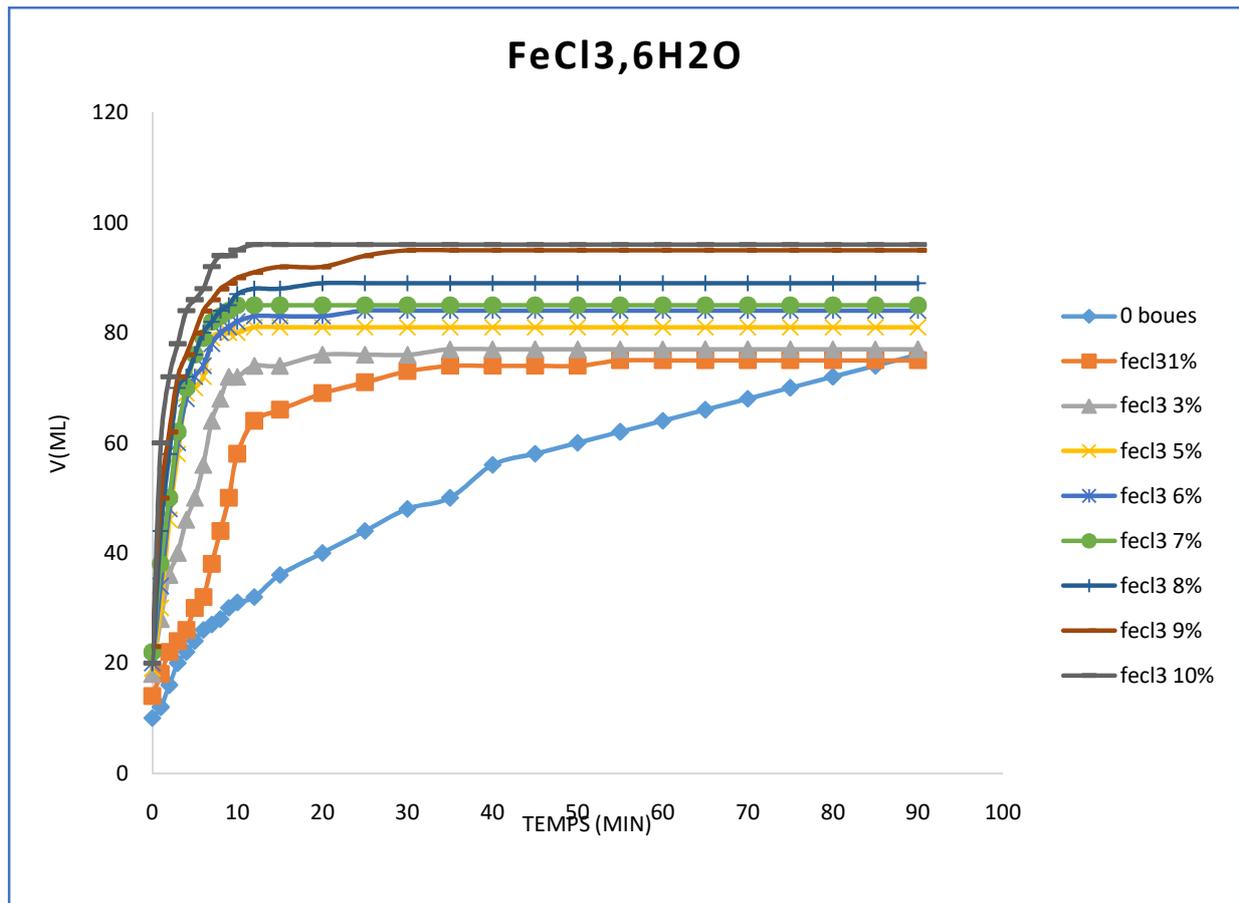


Figure.VI.1 : influence de la dose de $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$ Sur le volume du filtrat.

La figure (VI.1) représente le volume d'eau recueilli (V_x) en (ml) par la filtration sous vide de la boue conditionnée en fonction du temps. Il est bien évident que le volume d'égouttage (V_E) est faible dans le cas d'une boue non conditionnée. Ce qui signifie que l'infiltration et le passage de l'eau vers le bas sont gênées par la matière colloïdale. Ce volume V_E augmente avec le temps.

La figure (VI.1) montre aussi une augmentation de la concentration du coagulant entraîne une bonne filtrabilité des boues, et des volumes d'eau recueillies plus élevés.

On observe aussi que la courbe présente deux phases bien séparées, une phase rapide de 1 à 12 min où le volume recueilli augmente rapidement, au de la de cette phase rapide, succède une phase quasi-stationnaire.

Le taux de filtration T [$T = \frac{V_x}{V_0} \times 100$], où V_0 est le volume à filtrer et V_x est le volume recueilli], est de 76 à 96% pour les doses de 10 à 100g/kg.

On remarque que pour les concentrations de (10 à 50 g/kg) la variation des volumes n'est pas assez importante, on observe aussi qu'à partir de la concentration de 50 g/kg la filtration devient plus rapide, et plus particulièrement, avec une concentration de 9 g/kg et 10 g/kg, on a obtenu des meilleurs résultats tel que le taux de filtration atteint 95% et 96% respectivement, pendant 25 min. figure

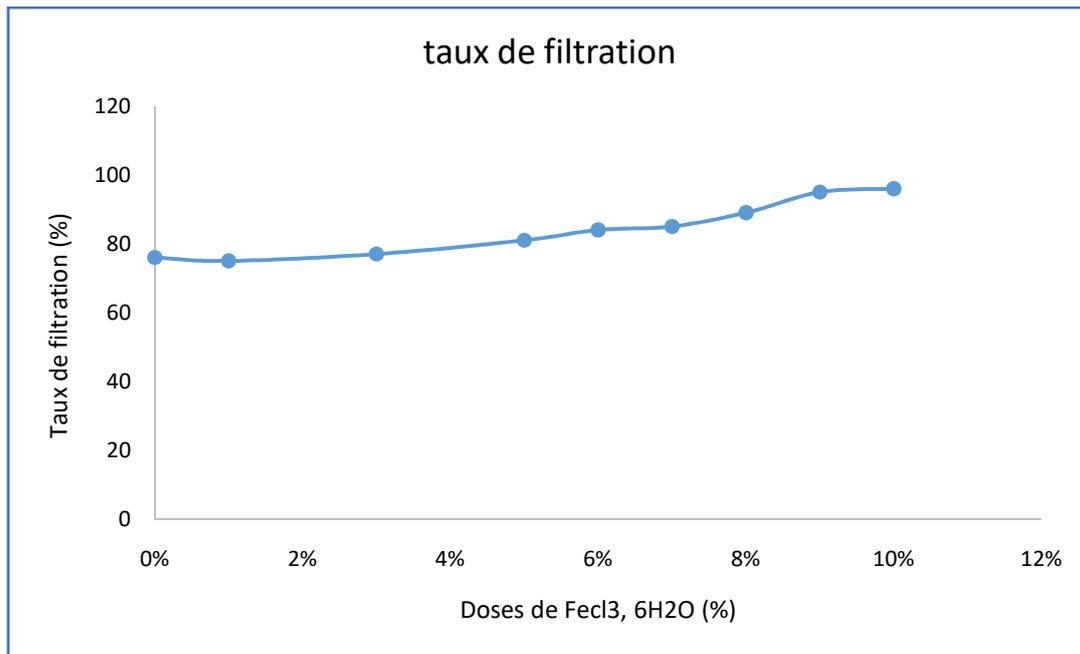


Figure.VI.2 : évolution du taux de filtration en fonction de la concentration de (FeCl₃, 6H₂O).

VI.3.2. Conditionnement minéral de la boue avec le coagulant Al₂(SO₄)₃.18H₂O :

Le coagulant utilisé dans ce conditionnement est le sulfate d'aluminium. Les concentrations varient de 4 % à 7% de la siccité de la boue.

La figure représente le volume d'eau recueilli (ml) par le dispositif de filtration sous vide en fonction du temps à différentes concentrations du sel de sulfate d'aluminium (Al₂(SO₄)₃.18H₂O).

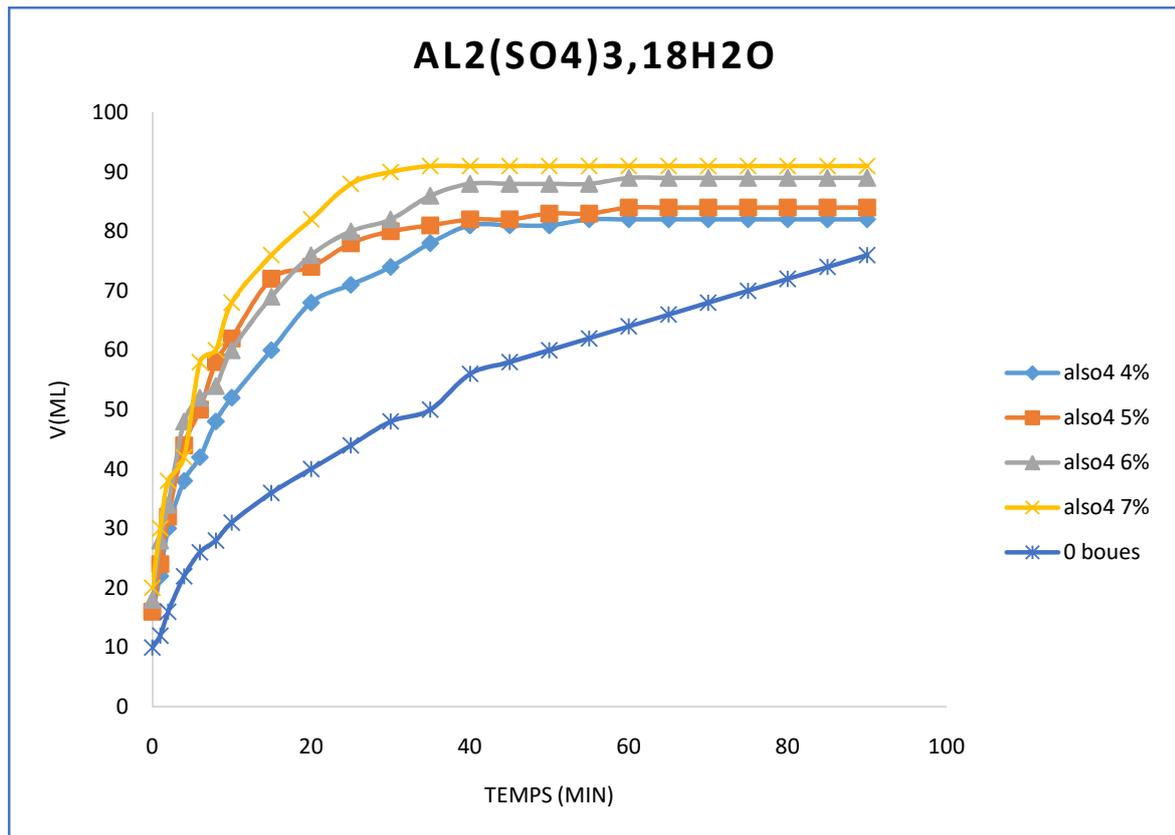


Figure.VI.3 : influence de la concentration du Al₂(SO₄)₃,18H₂O sur le volume recueilli.

Nous remarquons que le volume d'égouttage (V_E) à $t=0$ min varie en augmentant la concentration du coagulant de 10 à 20 ml. Nous constatons aussi, que les volumes d'eau recueilli augmentent en augmentant la concentration de coagulant ce qui implique une bonne séparation solide/liquide.

On observe que pour toutes les concentrations du coagulant, les courbes ont une forme croissante en fonction du temps, avec une phase où le volume recueilli varie rapidement jusqu'à $t=15$ min, au-delà, le volume est presque constant.

Nous constatons aussi que le volume obtenu lors du conditionnement par le chlorure ferrique (FeCl₃, 6H₂O), est plus faible que celui obtenu lors de l'application d'Al₂(SO₄)₃,18H₂O. Par exemple ; le volume de filtration finale recueilli seulement pour une concentration de 70 g/kg de Al₂(SO₄)₃,18H₂O est de 91ml, par contre pour le chlorure ferrique est de 85ml. Cette comparaison est valable pour les autres concentrations de chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium.

Le taux de filtration marqué par une dose de 70 g/kg de Al₂(SO₄)₃,18H₂O est de 91% du volume initial de la boue.

Le sel d'Aluminium déstabilise le système colloïdal, et favorise donc une bonne élimination de particules colloïdales continues dans l'eau.

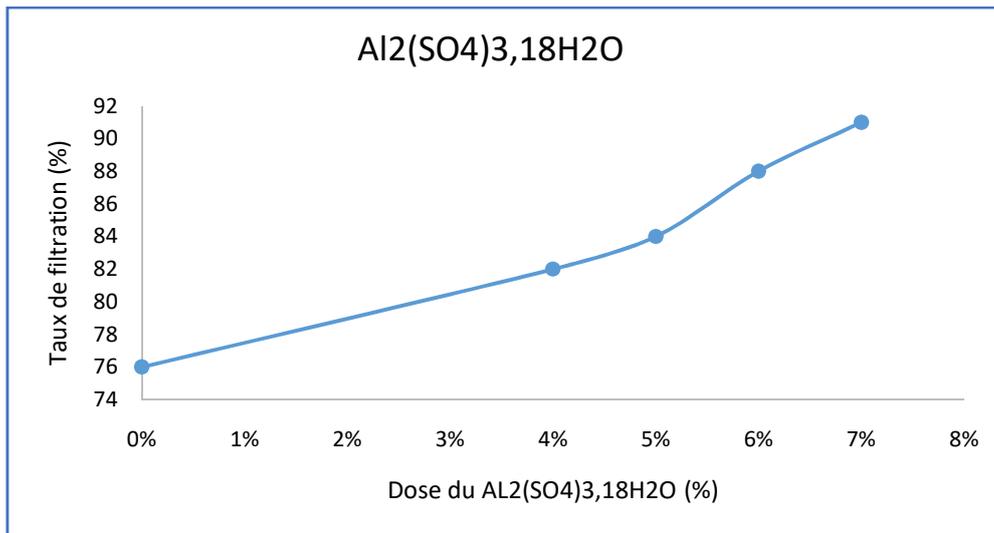


Figure.VI.4 : évolution du taux de filtration en fonction de la dose du (Al_2SO_4).

VI.3.3. Conditionnement de la boue avec le biofloculant poudre de cactus (OFI) :

a) Poudre naturelle (séchage au soleil) :

La figure (VI.6) représente le volume d'eau recueilli (ml) par la cellule de filtration de la boue conditionnée par la poudre séchée au soleil en fonction du temps.

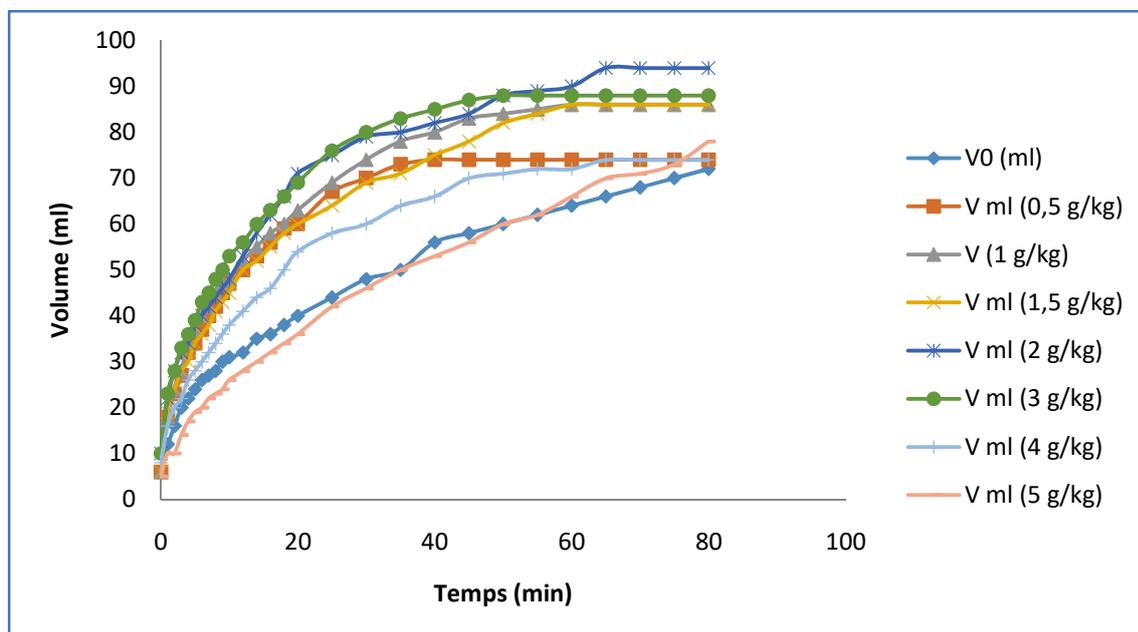


Figure.VI.6 : influence de la concentration de la poudre séchée au soleil sur le volume filtré

La figure (VI.6) représente la variation du volume filtré (ml) au cours du temps (min) à différentes concentrations de biofloculant (poudre séchée au soleil)

Nous remarquons que le volume filtré atteint une valeur maximale de 94 ml et de 88 ml avec une concentration de 2 g/kg et 3 g/kg respectivement de MS en biofloculant.

On remarque aussi que pour les autres concentrations, les volumes finaux de filtrations obtenus sont inférieurs que celui recueilli pour les concentrations 2 et 3 g/kg.

Les meilleurs résultats sont obtenus pour les concentrations de 2 et 3 g/kg ou on atteint des volumes recueillis de 94 et 88 ml respectivement à $t = 65$ min.

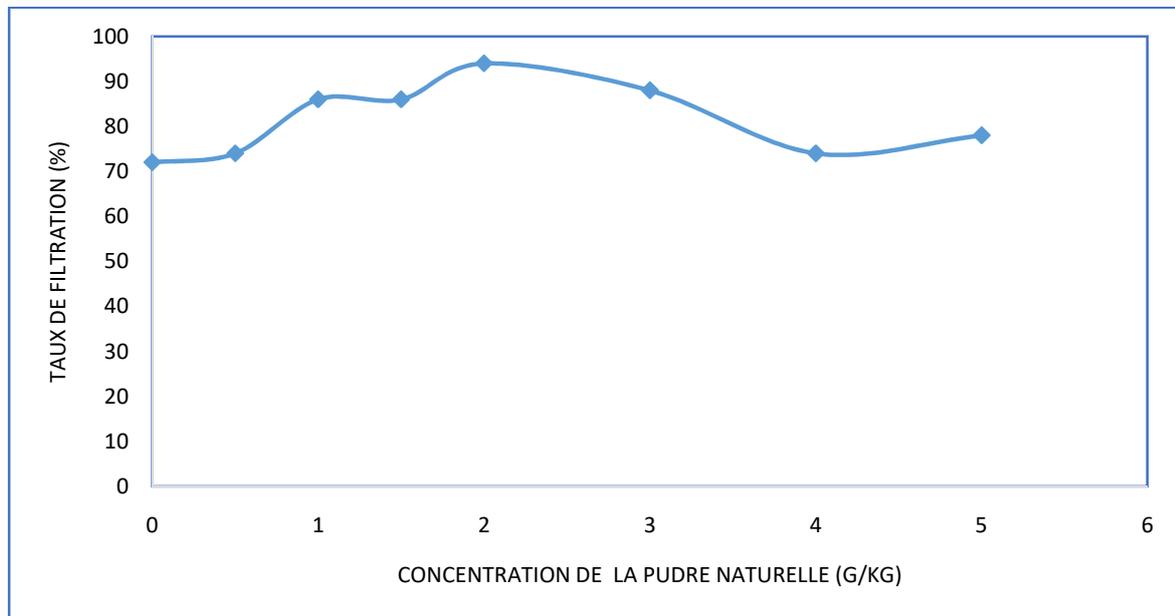


Figure.VI.7 : évolution du taux de filtration en fonction de la poudre naturelle de cactus

On remarque que les volumes d'eau recueillie augmentent dans les concentrations avoisinantes à 2 g/kg de MS de la poudre naturelle de cactus, au-delà les volumes varient lentement et sont assimilables aux volumes d'eau recueilli par une boue brute pour la concentration de 5 g/kg de MS.

On constate que, les meilleurs résultats sont obtenus pour la concentration de 2 g/kg MS en biofloculant ou on atteint un taux de filtration de 94% du volume initial de boue à $t = 65$ min, (figure.VI.7).

b) poudre préparée à 60C° :

Les résultats de la filtration des boues floculés par la poudre de cactus préparée à 60C°, sont présentés sur la figure (VI.8).

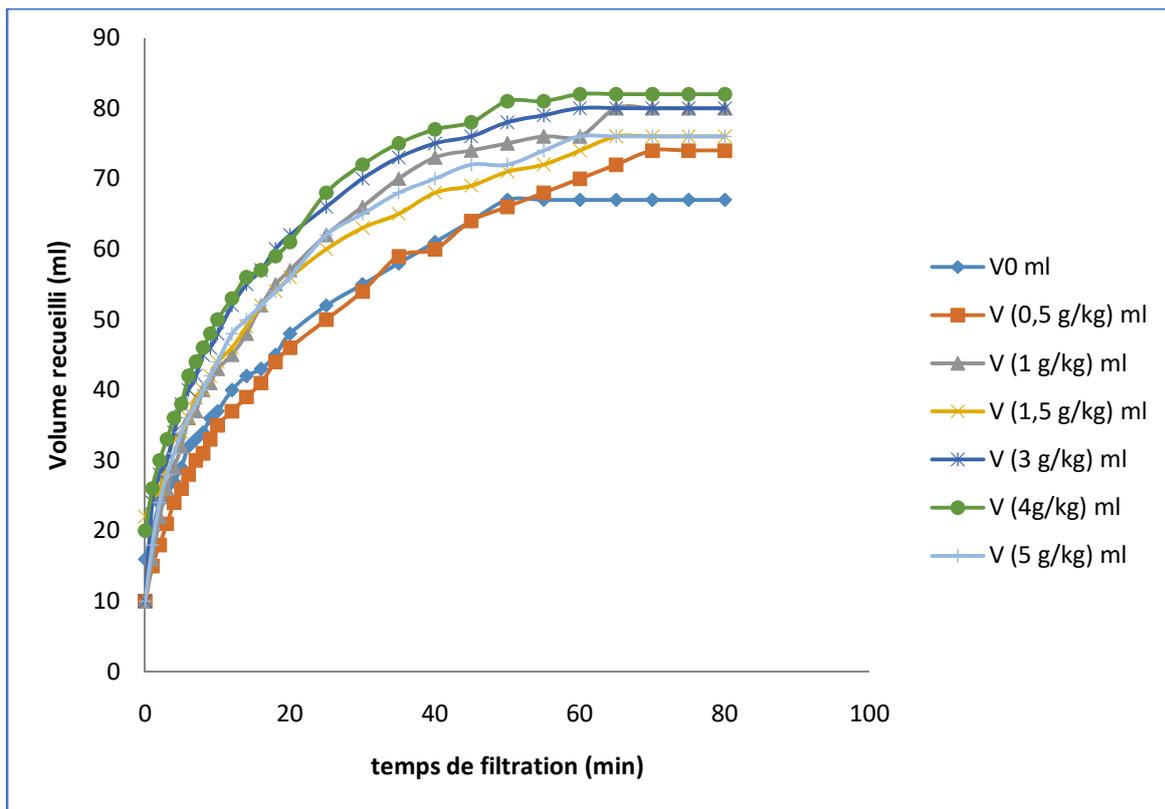


Figure.VI.8 : influence de la concentration de la poudre de cactus préparée à 60C° sur le volume filtré.

On remarque qu'avec les concentrations de 1g/kg, 3 g/kg et 4 g/kg, la filtration devient plus rapide que les autres concentrations et le taux de filtration atteint respectivement 80%, 80% et 82% après un temps de 60min (figure VI.9).

Nous remarquons aussi, que la courbe présente deux phases, la première phase est rapide de 1 à 40 min, au-delà de cette phase succède un régime quasi-stationnaire.

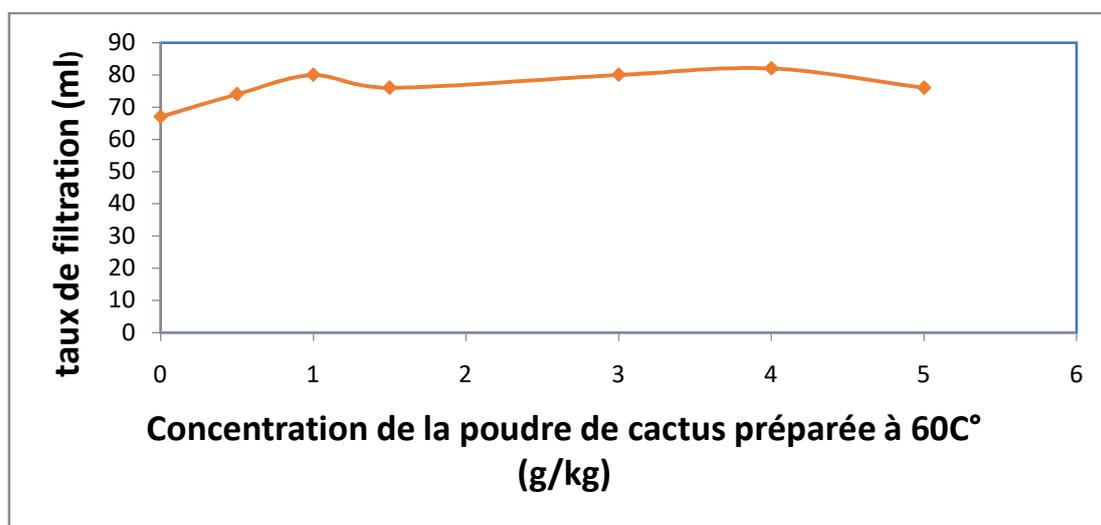


Figure.VI.9 : évaluation du taux de filtration en fonction de la poudre de cactus préparée à 60 C°

c) Poudre préparée à 100 C° :

Les volumes d'eau recueillie (ml) par la filtration sous vide de la boue conditionnée par la poudre préparée à 100 C° en fonction du temps sont portés sur la figure (VI.10).

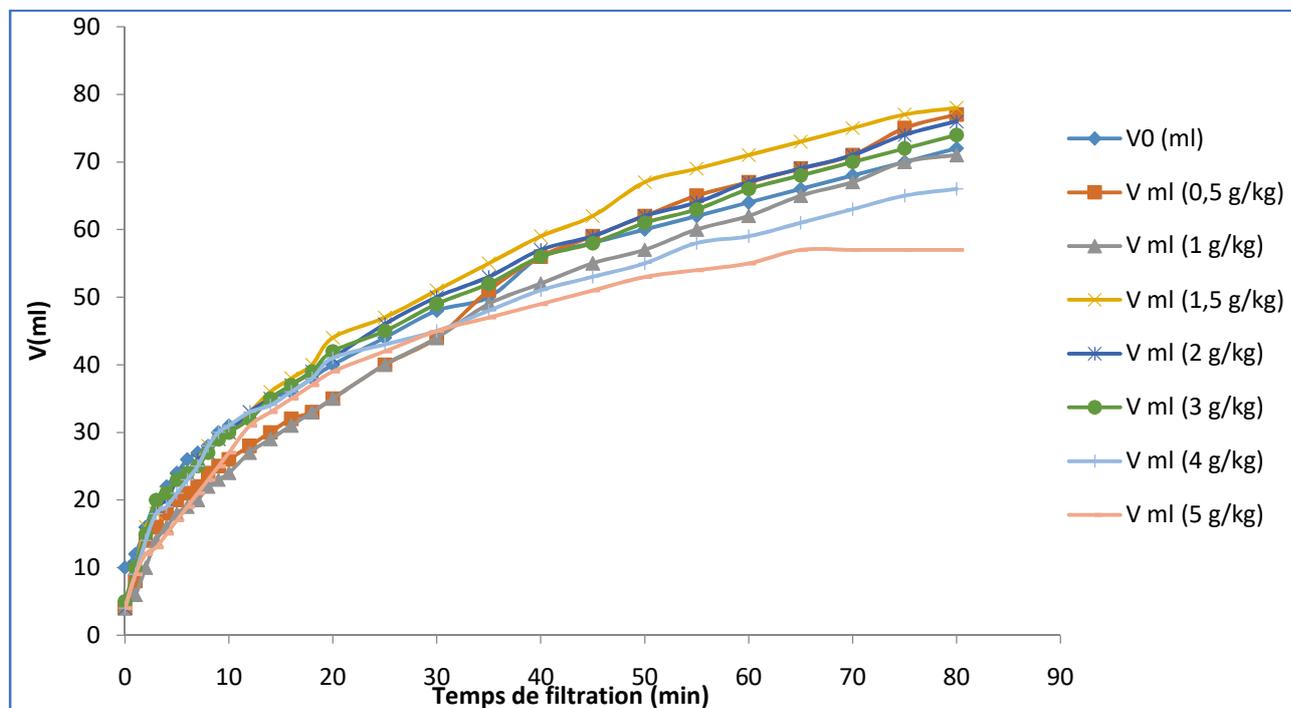


Figure.VI.10 : influence de la concentration de la poudre de cactus préparée à 100C° sur le volume filtré.

D'après la figure (VI.10), on remarque le volume d'eau obtenu par la poudre préparée à 100 C°, est inférieurs que celui obtenu lors de l'utilisation de la poudre naturelle et la poudre préparée à 60C°. On remarque aussi, que le volume d'eau maximal recueilli atteint 60 ml après 40 min de filtration avec une dose de 1,5 g/kg de MS.

Le taux de filtration atteint 78% et 77% après 70 min du volume initial de boue pour les concentrations de 0,5g/kg et 1,5 g/kg respectivement. Figure mais restent toujours assemblables aux volumes recueillis pour une boue non conditionnée.

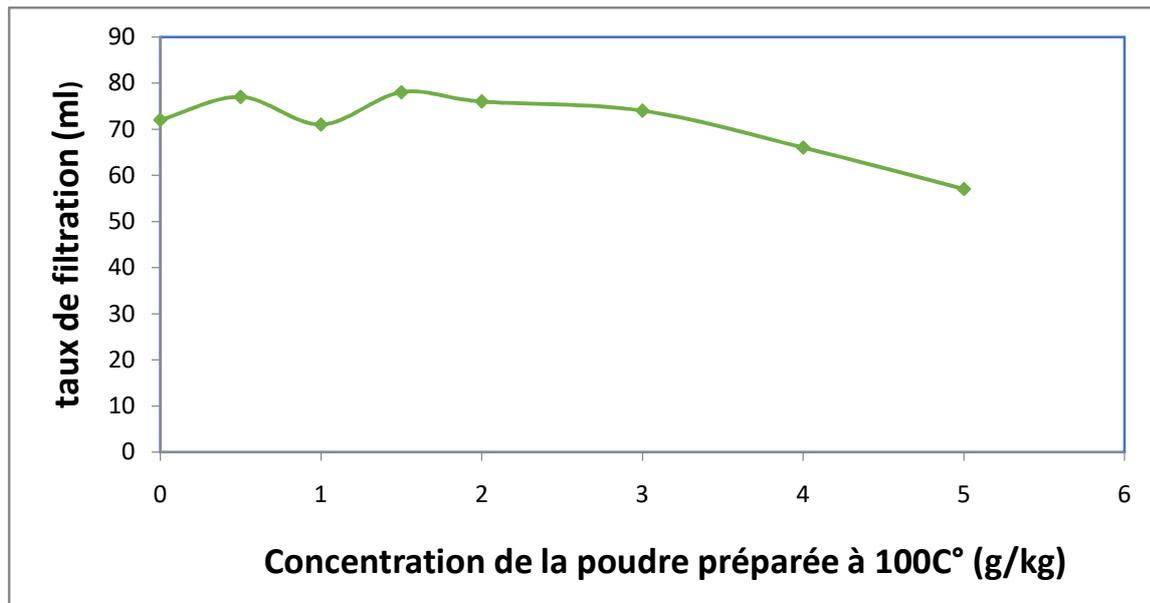


Figure.VI.11 : évaluation du taux de filtration en fonction de la poudre de cactus préparée à 100 C°

La figure (VI.11) montre aussi que lorsqu'on augmente la concentration de la poudre de cactus à 100C°, les volumes d'eau recueillie diminuent en fonction du temps.

Par une simple comparaison, on constate que les résultats des volumes recueillis de la filtration des boues floculées par la poudre de cactus séchée au soleil sont supérieurs aux volumes obtenus par les poudres de 60C° et de 100C°.

Mais reste toujours l'utilisation des réactifs minéraux (le sulfate d'aluminium, et le chlorure ferrique) dans le conditionnement des boues par la filtration sous vide donne des meilleurs résultats.

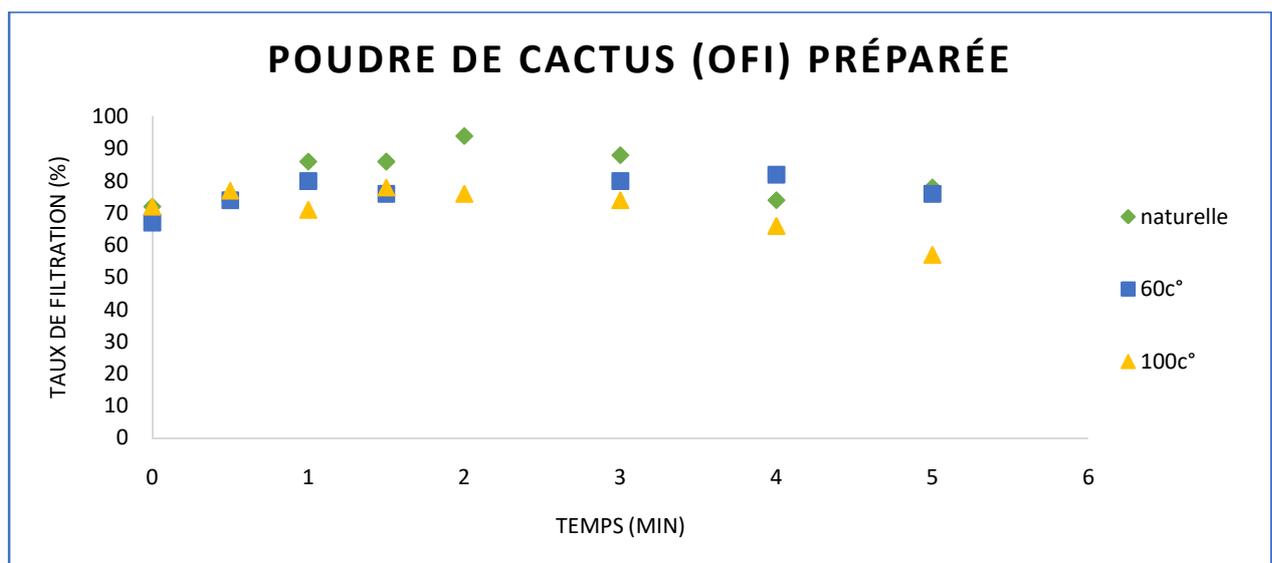


Figure.VI.12 : évolution du taux de filtration en fonction de différentes poudres préparées de cactus

VI.3.4 L'influence de la variation du pH de la boue sur le volume du filtrat pour les deux meilleures concentrations des sels métalliques utilisés :

Après avoir déterminé les concentrations optimales de chaque coagulant, des essais ont été effectués pour déterminer le pH optimal pour la « coagulation-floculation » de chaque coagulant. Les essais ont été réalisés en faisant varier le pH de 2-5-6,5-8-9-11 et 12. Avec une fixation de toutes les conditions initiales optimales (le temps, la concentration des flocculants). Cet ajustement est fait à partir d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (5N) et d'une solution d'hydroxyde de sodium (5N) (figure.VI.13 ;VI.14).



Figure.VI.13 : préparation de la solution basique d'hydroxyde de sodium (Na-OH).

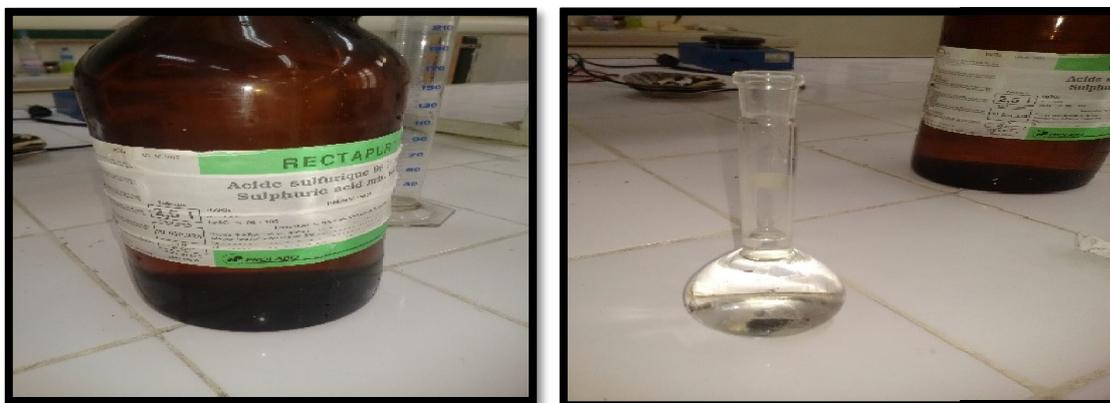


Figure.VI.14 : préparation de la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4)

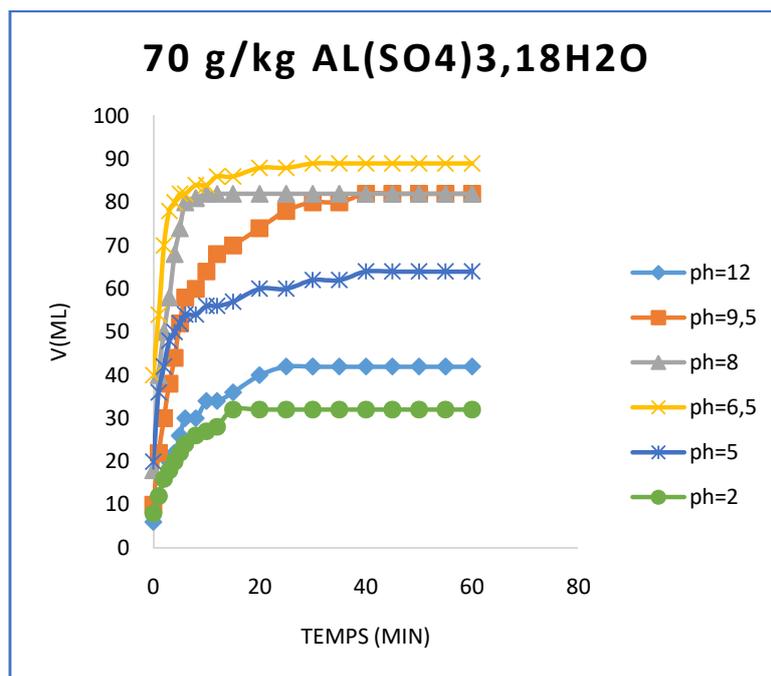
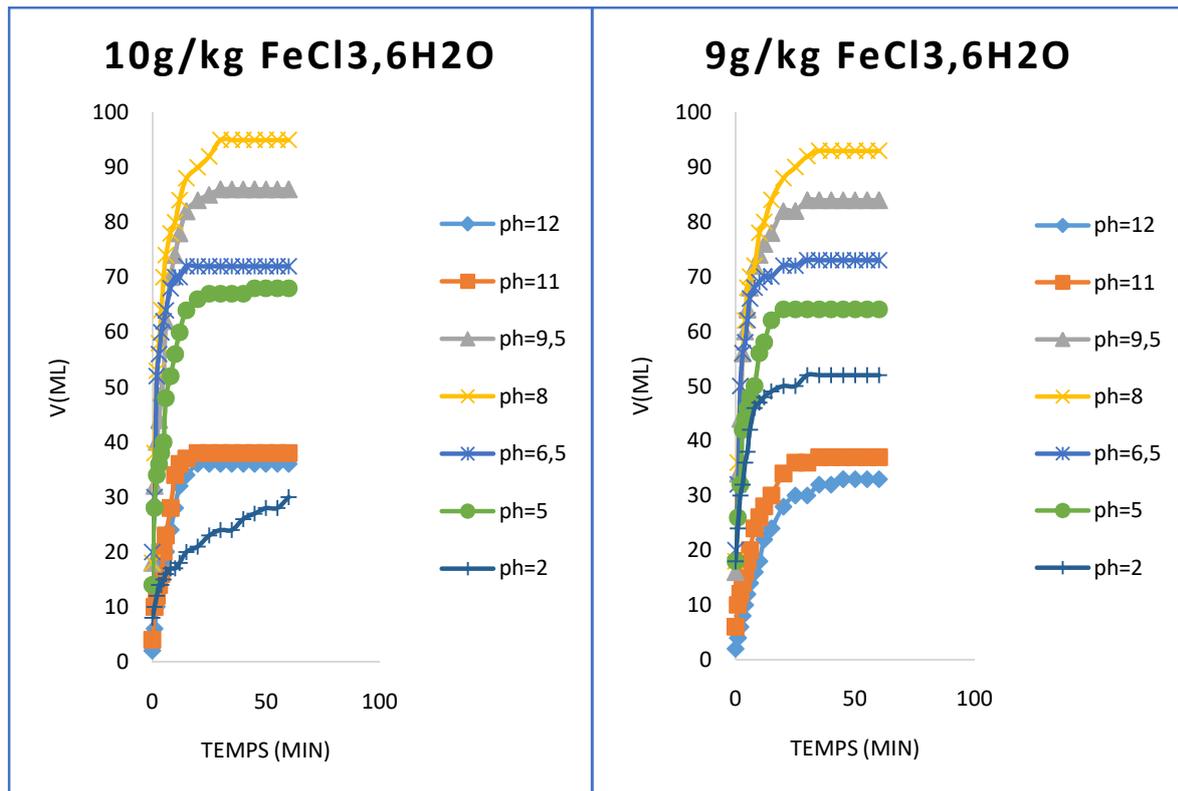


Figure.VI.15 : l'influence de l'ajustement du pH sur le volume d'eau recueilli pour les concentrations optimales des coagulants.

La figure (VI.15) représente les courbes de filtration obtenues en fonction du temps à différents pH, les concentrations optimales des coagulants choisis sont ceux qui ont donné des meilleurs résultats à la fin de la filtration.

On constate qu'avec l'utilisation de sel de fer ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$), les meilleurs résultats des volumes recueillis sont obtenus pour le pH 8 et 9,5.

Nous remarquons aussi que pour le sel d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$), le meilleur volume recueilli de la boue conditionnée est obtenu au pH 6,5, car la stabilité de $\text{Al}(\text{OH})_3$ se situe entre 6-7,4 figure (VI.15).

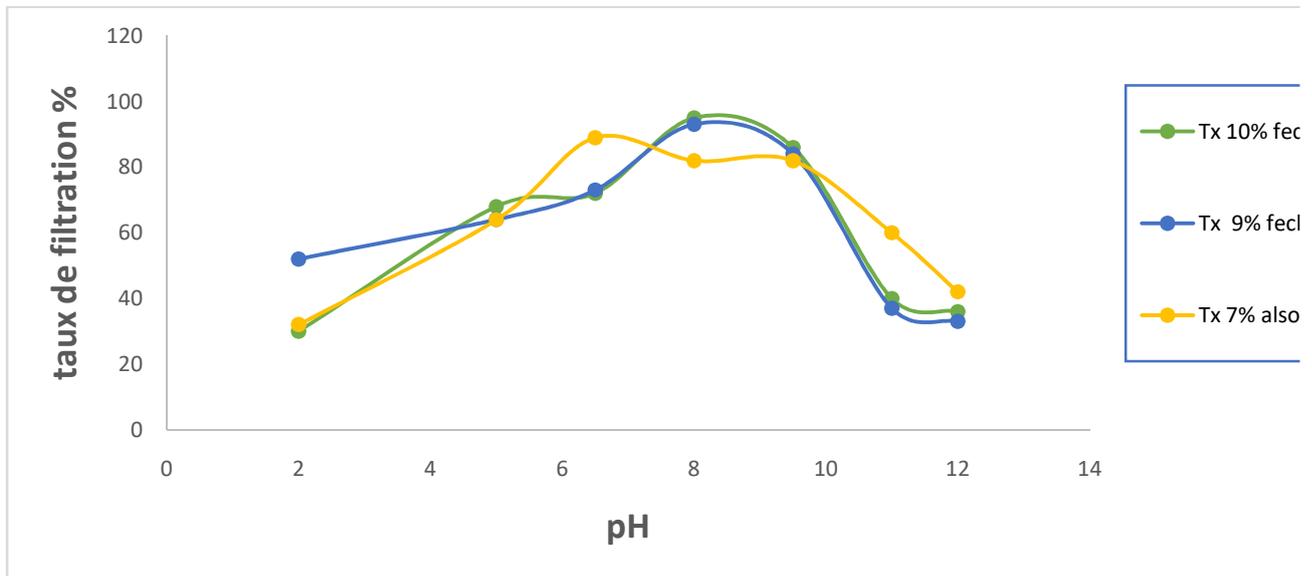


Figure.VI.16 : variation du taux de filtration en fonction du pH pour les concentrations optimales de coagulants utilisés.

Cette figure (VI.16) représente l'évolution du taux de filtration de la boue conditionnée en fonction du temps. On remarque que pour $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$, les courbes croît en augmentant le pH jusqu'au pH 9,5, au-delà, la courbe décroît. Tel que, le taux de filtration au pH 8 est de 95% avec 10% MS du $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$, et il est de 93% pour une concentration de 9% MS de même coagulant.

Nous avons constaté aussi que pour le coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ le taux de filtration atteint 89% avec le pH optimum (pH=6,5), au-delà les taux de filtration varient lentement. On remarque aussi que pour le pH=12, toutes les courbes du taux de filtration décroissent rapidement. Le taux atteint 33% à 42% à un temps de filtration de 60 min respectivement. Pour les concentrations de sel de fer et de sulfate d'aluminium.

Cela peut être expliqué, par la présence des complexes anioniques $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ et $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$, qui deviennent prédominant a Ph >12 (VI.17).

Les particules colloïdales de la boue sont chargées négativement de même que le coagulant, donc les forces de liaison qui unies les particules ne constituent pas un agglomérat de forte résistance mécanique, le volume d'eau recueilli sera faible, ce qui entrainera une faible valeur du taux de filtration.

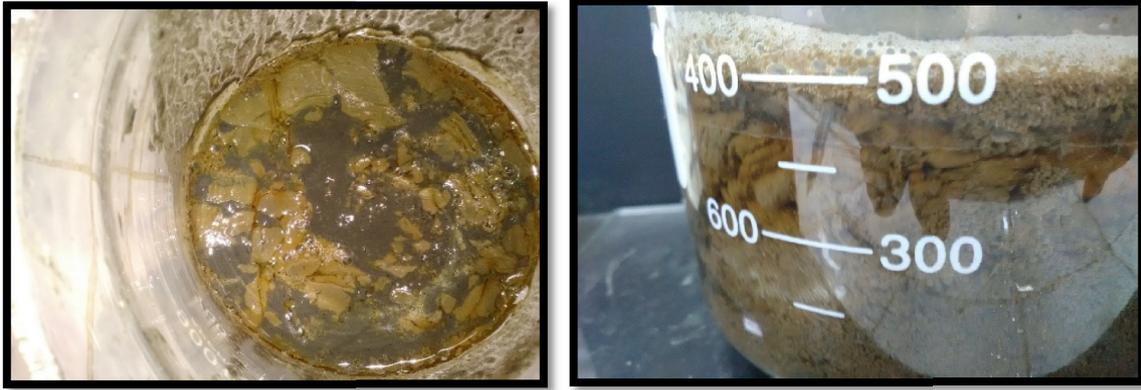
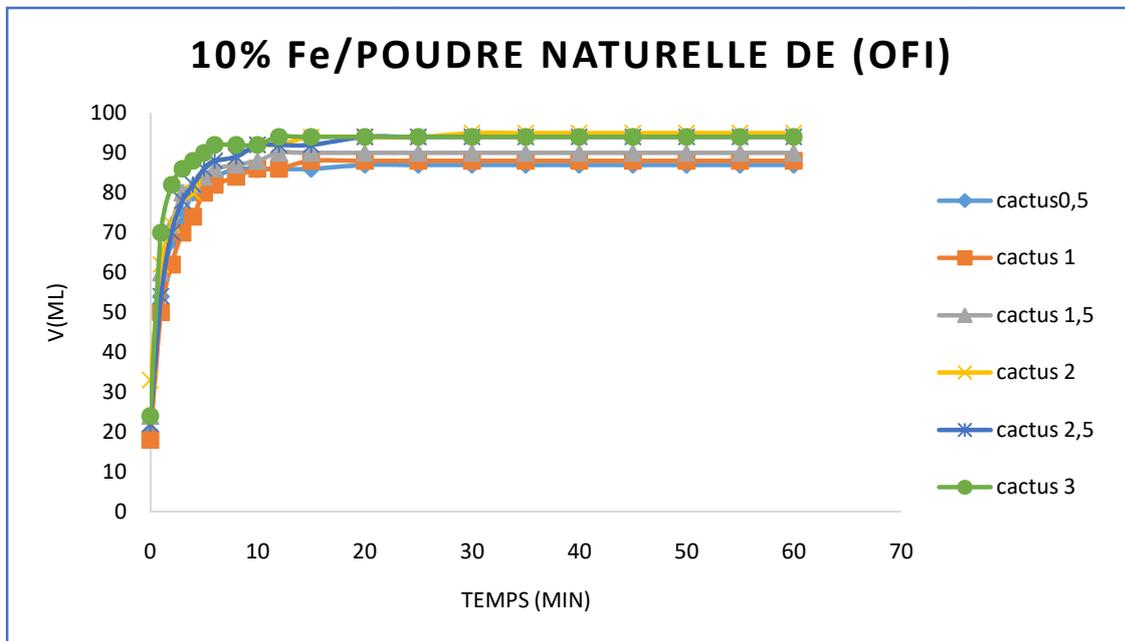


Figure.VI.17 : une boue conditionnée à une concentration de 10% et 9% MS de $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$ au pH=12.

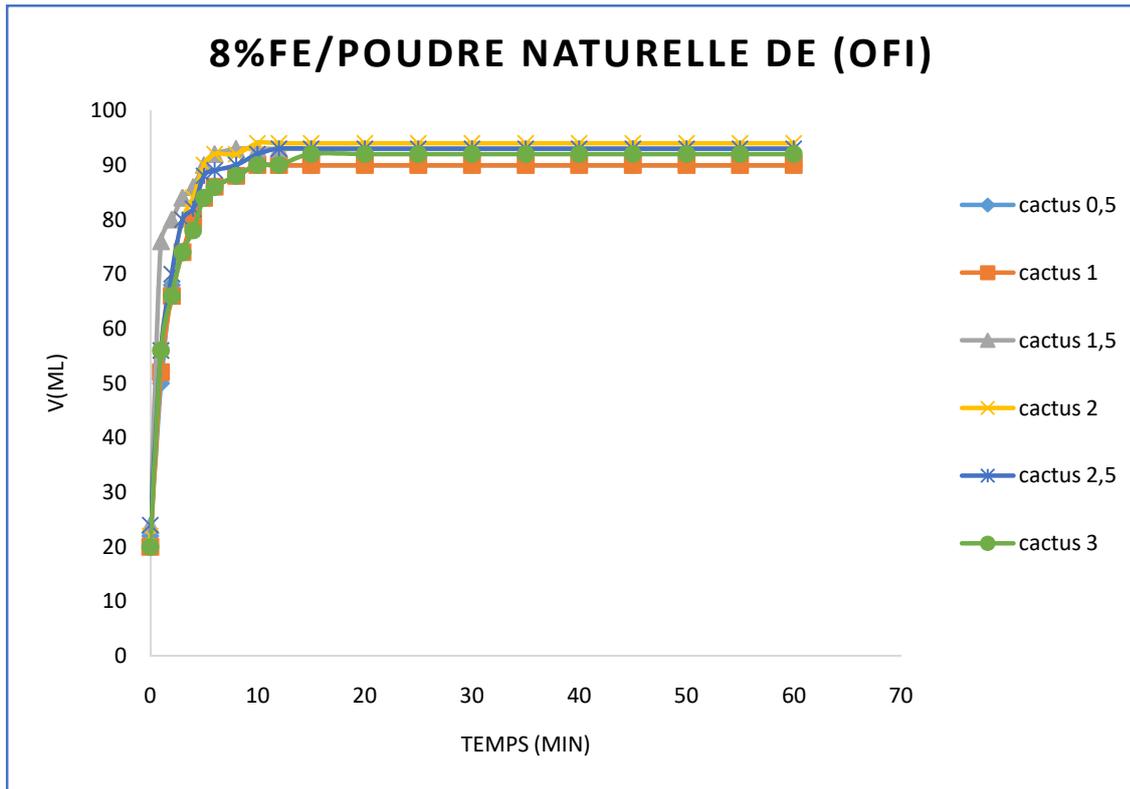
VI.5. Le double dosage (Fe/poudre naturelle de cactus) et (Al/poudre naturelle du cactus) :

Le mélange se fera avec les différentes concentrations de la poudre de cactus la plus efficace (poudre séchée au soleil) et les différentes concentrations de chlorure ferrique et de sulfate d'aluminium.

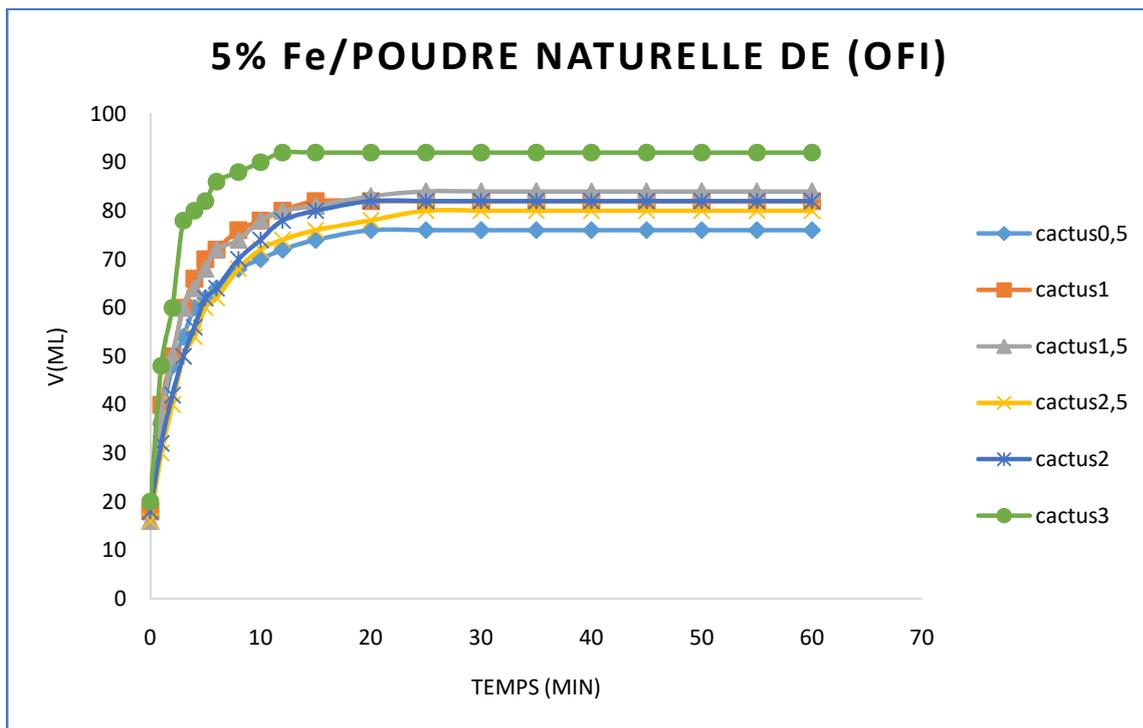
Les concentrations de la poudre naturelle de cactus seront de 0,5%,1%, 1,5%,2%, 2,5%,3% MS, les concentrations de chlorure ferrique seront de 10%, 8%, 5% de MS avec un pH optimal de 8, et celles des sulfates d'aluminium, seront de 7%, 6%, 4% de MS avec un pH optimal de 6.



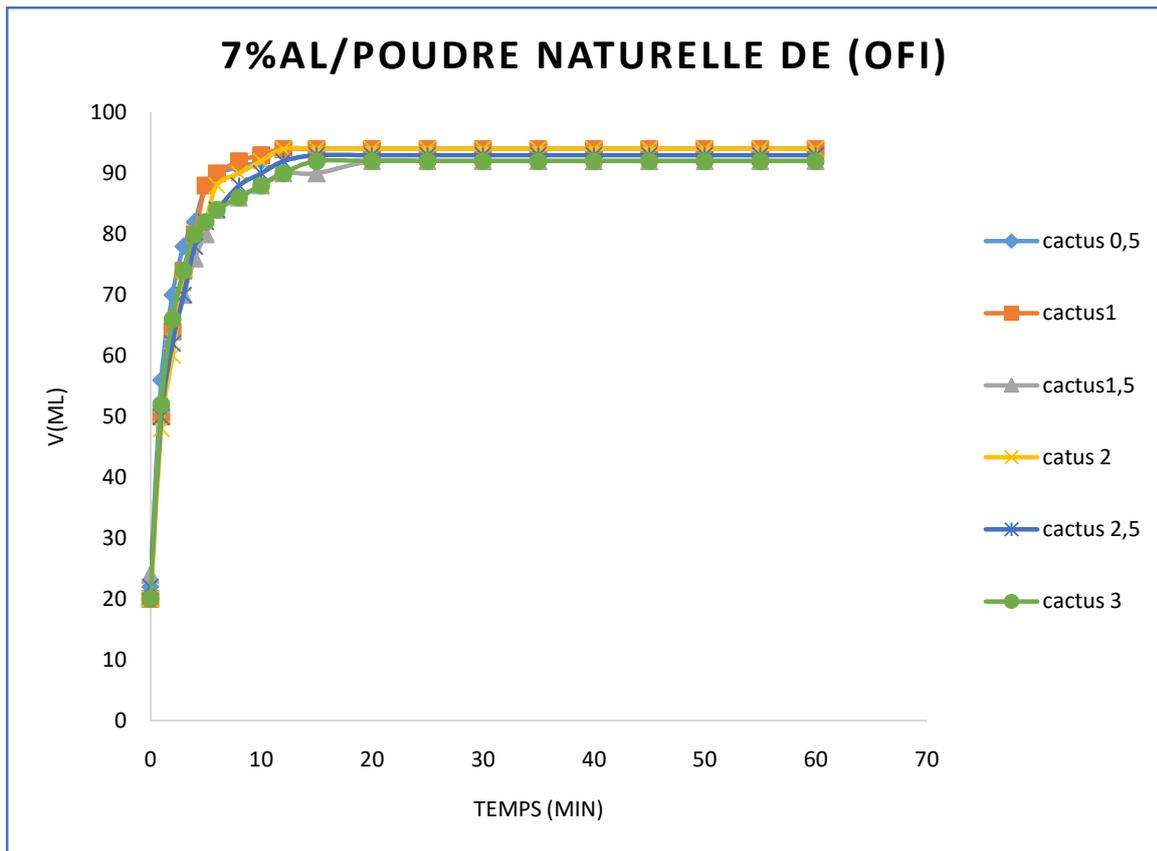
a)



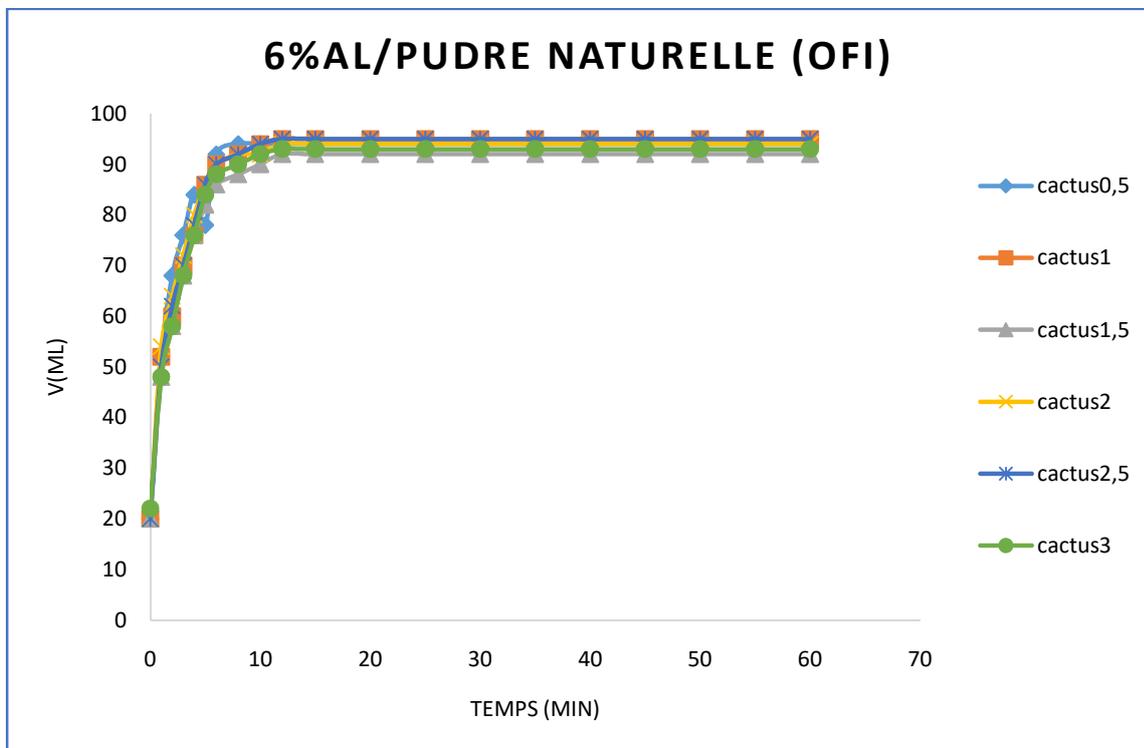
b)



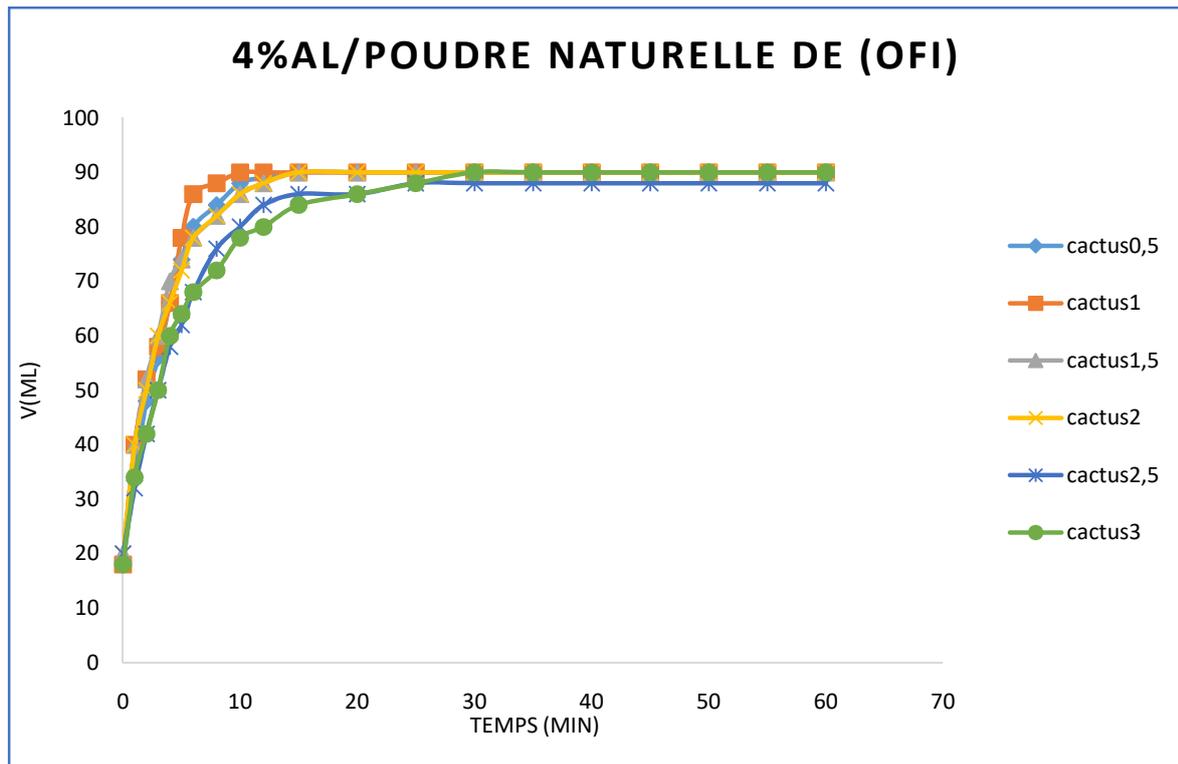
c)



d)



d)



e)

Figure VI.18 : a, b, c, d, e) influence du double dosage (sel+ poudre naturelle de cactus (OFI)) sur le volume d'eau recueilli.

La figure (VI.18) : représente le volume d'eau recueilli (ml) par le dispositif de filtration sous vide de la boue conditionnée en fonction du temps après la mise en contact de différentes concentrations de 0,5% à 3% MS de poudre naturelle de cactus (OFI) à une boue déjà agitée rapidement (140 tr/min) avec certaines concentrations des sels métalliques (FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

D'après ces courbes, nous avons constaté qu'avec l'ajout de petite concentration de la poudre naturelle de cactus au coagulant utilisé, on obtient des meilleurs résultats du volume filtré en fonction du temps. Tel que, le taux de filtration atteint 95% avec une concentration de 10g/kg de FeCl_3 et 2g/kg de la poudre naturelle de cactus, à un temps de 8 min (figure VI.19).

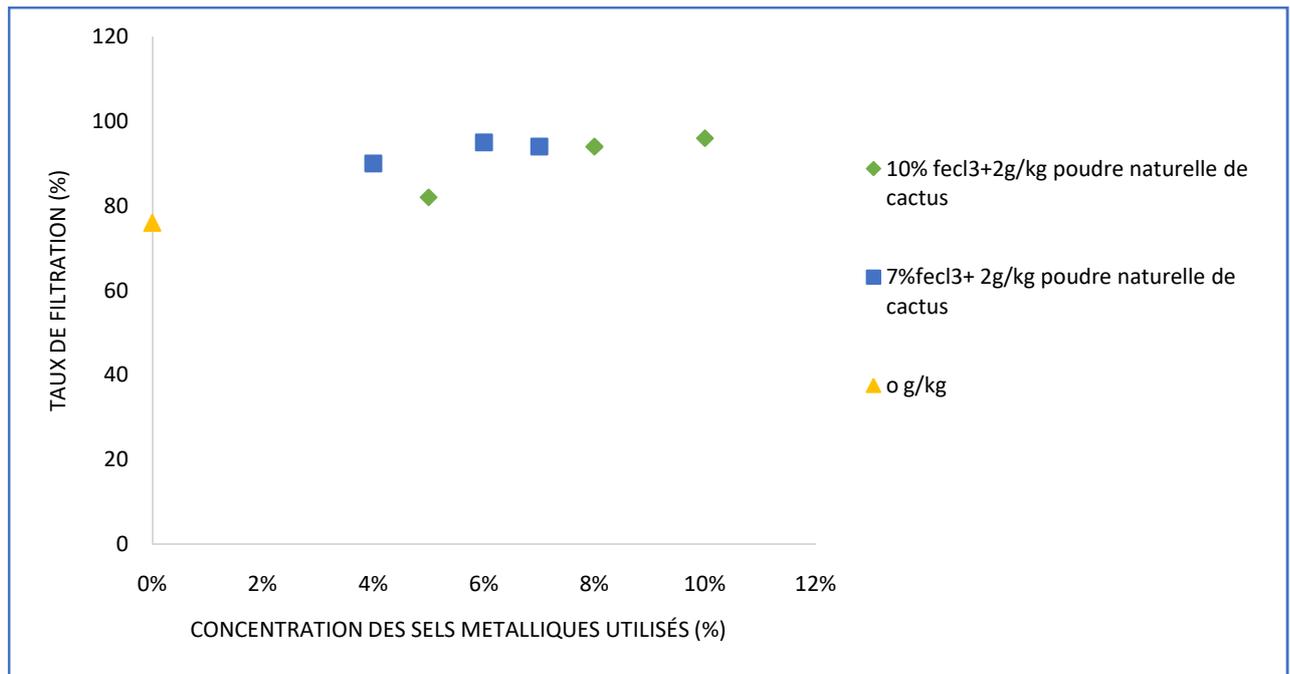


Figure.VI.19 : évolution du taux de filtration en fonction des concentrations des deux sels métalliques mise en contact avec la concentration optimale de la poudre naturelle de cactus (OFI) à t=60min.

Nous remarquons aussi que les volumes d'eau recueillis pour la concentration de 6g/kg et 7g/kg de sulfate d'aluminium et l'ajout de 2g/kg de la poudre naturelle de cactus sont comparables aux volumes recueillis pour le mélange de 8g/kg et 10g/kg de chlorure ferrique avec 2g/kg de la poudre naturelle de cactus.

Le temps de filtration est plus court avec le double dosage de fer/poudre naturelle de cactus, et Al/poudre naturelle de cactus qu'avec la poudre naturelle de cactus uniquement.

Nous avons constaté qu'avec l'ajout de la poudre naturelle de cactus avec les sels métalliques (sel de fer/sel d'aluminium), nous avons obtenu un volume très important par rapport au volume initial de la boue. Dans une gamme de [2g/kg- 3g/kg].

Ce qui signifie que le double dosage fer/poudre naturelle de cactus(OFI), et Al/poudre naturelle de cactus(OFI) favorisant la séparation des deux phases liquides/solides, il déstabilise presque la totalité de la solution boueuse.

VI.6. Influence de la dose des coagulants utilisés sur la siccité du gâteau :

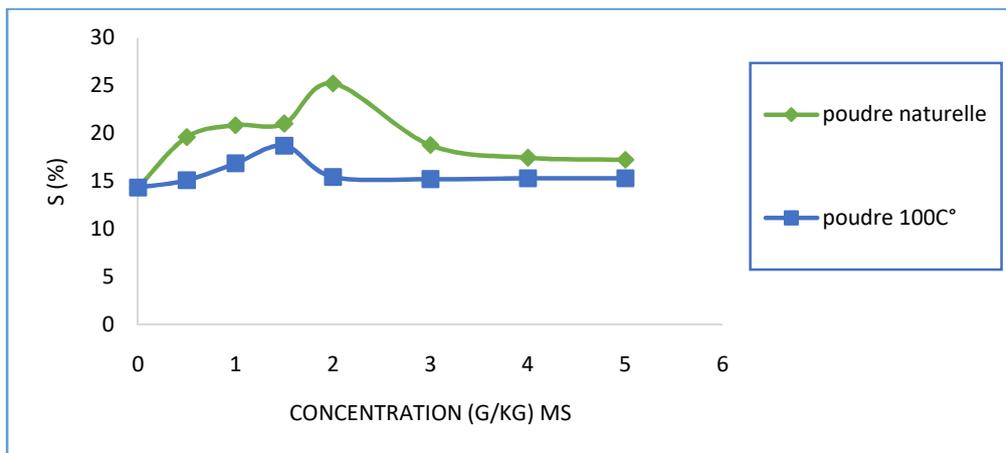
VI.6.1.Influence de la dose de différentes poudres de cactus (OFI) préparées sur la siccité du gâteau :

La figure (VI.20) représente l'évolution de la siccité des gâteaux de filtration en fonction de la concentration des différents flocculants ajoutés, cette figure montre que la siccité connaît une augmentation jusqu'à une dose optimale, mais au-delà, la siccité diminue.

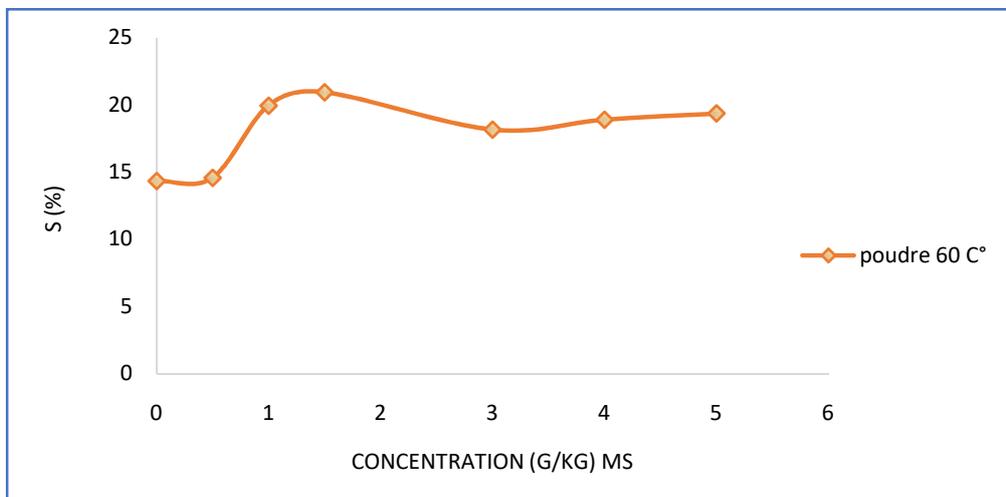
Nous avons constaté d'après la figure, que les poudres qui ont augmenté la siccité et qui ont montré un pouvoir flocculant appréciable sont la poudre naturelle séchée au soleil et la poudre séchée à 60C°.

Pour la poudre naturelle, la siccité augmente de 14,34% à 25,22% pour une concentration de 2g/kg MS, soit une augmentation de 11% en siccité. La meilleure valeur obtenue avec la poudre préparée à 100C° est de 18,7% pour une dose de 1,5 g/kg MS, une augmentation de 4% en siccité.

Avec l'ajout de la poudre séchée à 60C°, nous remarquons une augmentation de siccité de 14,34% à 20,96% pour une concentration de 1,5 g/kg. Soit une augmentation de 6% en siccité.



(a)



(b)

Figure.VI.20 : variation de la siccité en fonction des concentrations des flocculant ajoutés ; (a) avec la poudre séchée au soleil, séchée à 100 C°, (b) avec la poudre séchée à 60 C°.

L'inefficacité de la poudre séchée à 100C° peut être expliquée par la dégradation de l'acide galacturonique considéré comme composé responsable de l'activité de coagulation et ceci à cause de 'l'augmentation de la température.

VI.6.1. influence de la dose de sel de fer et d'aluminium sur la siccité du gâteau :

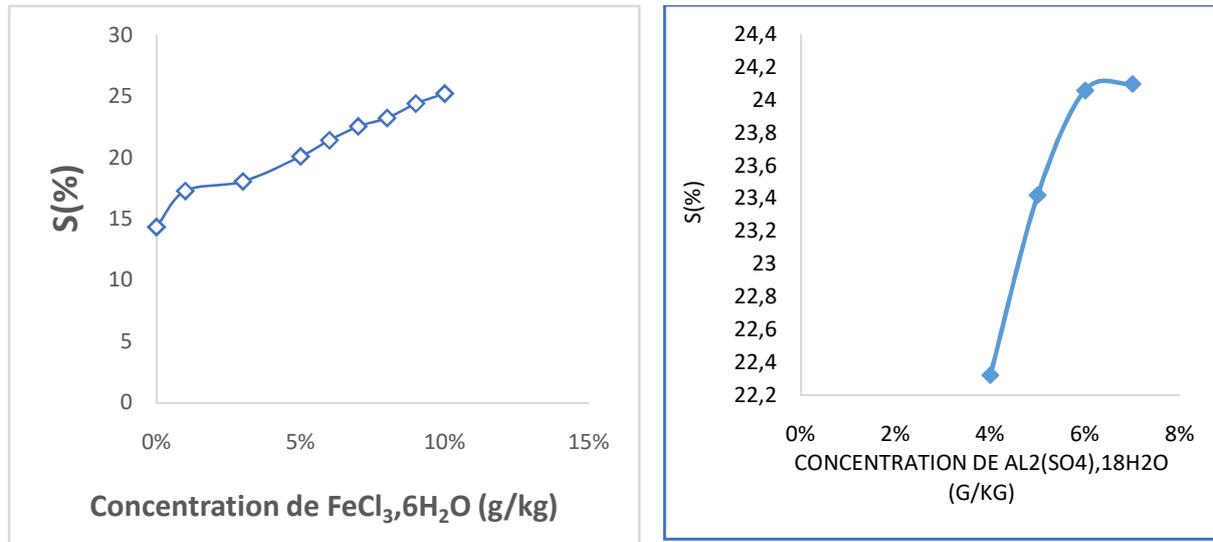


Figure.VI.21 : influence de la concentration de coagulant sur la siccité du gâteau.

La figure (VI.21) représente l'évolution de la siccité du gâteau en fonction de la concentration du coagulant. Nous remarquons que la siccité augmente avec l'augmentation de la concentration de coagulant utilisé. Tel que, elle atteint une valeur maximale de 25,22% pour une concentration de 10% de FeCl₃, 6H₂O.

Les gâteaux formés (figure) sont uniformes, d'une couleur brune, des épaisseurs variant entre 0,2 à 0,4 cm.

En ce que concerne le sulfate d'aluminium, l'ajout seulement d'une concentration de 40g/kg de ce dernier permet d'améliorer la siccité de la boue.

Le gâteau récupéré avec une concentration optimale de 7g/kg, a une siccité de 24,1%, à une épaisseur de 0,3 cm, très sec et uniforme, alors que pour la même concentration de chlorure ferrique est de 22,56%.

Nous constatons, que le conditionnement de boue avec l'ajout de sulfate d'aluminium montre une efficacité remarquable de siccité du gâteau par rapport au résultat obtenu avec le chlorure ferrique.

On remarque que la siccité maximale obtenue avec le flocculant minéral est égale à la siccité maximale obtenue avec la poudre naturelle de cactus qui est de 25,22% pour une concentration de la solution mère de cactus 10 fois plus petite que celle du chlorure ferrique.

Cela indique que le cactus est efficace. Economique et peut être une solution alternative à l'utilisation des sels minéraux vu que ces derniers consomment des quantités importantes en produits chimiques.

VI.6.2. influence de la variation du pH sur la siccité du gâteau :

La variation de la siccité du gâteau obtenu est illustrée sur la figure et la figure.

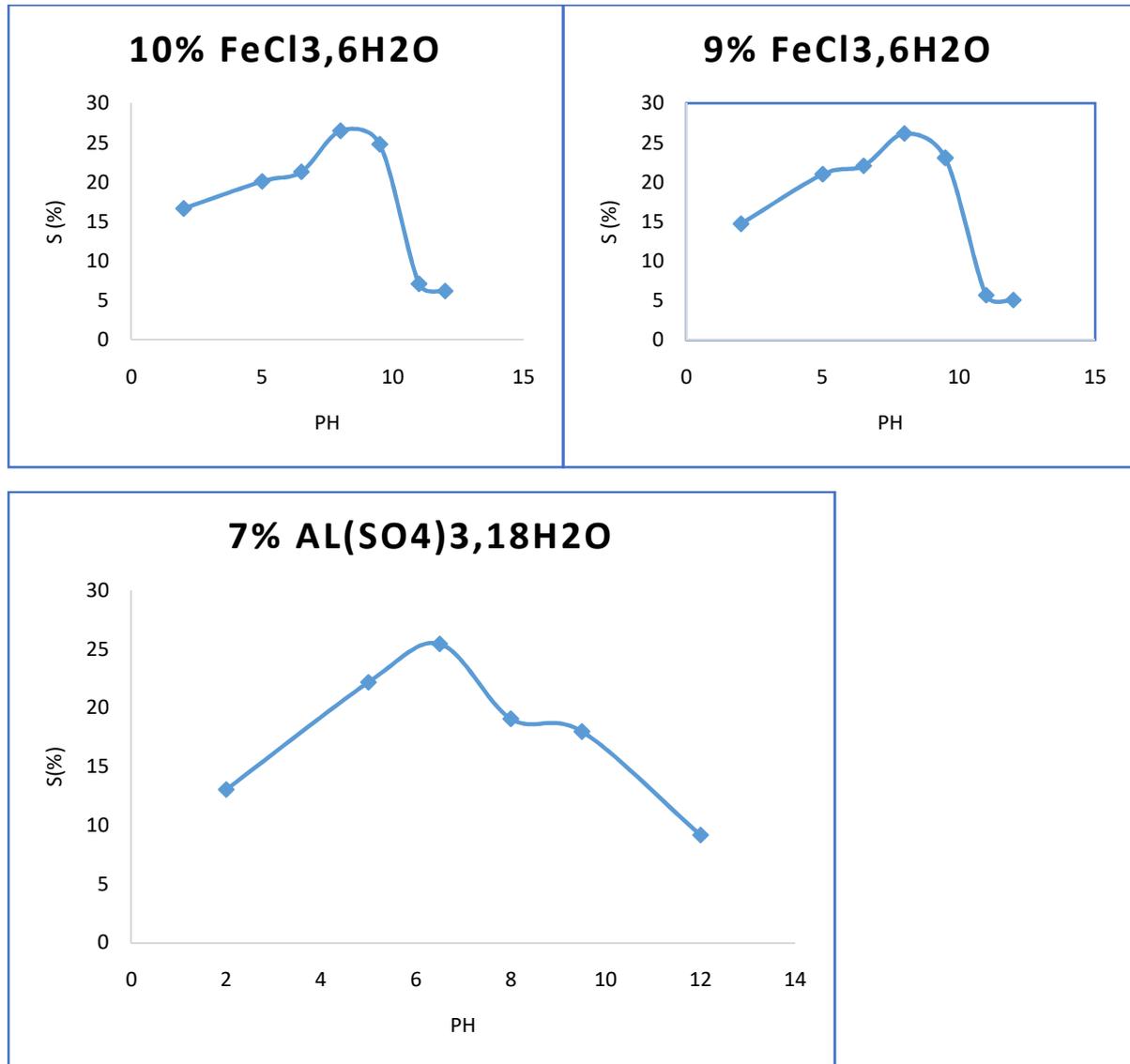


Figure.VI.22 : influence du pH sur la siccité du gâteau.

La figure (VI.22) représente la siccité de la boue en fonction du pH pour les concentrations optimales des coagulants utilisés. Pour une concentration de 9g/kg et 10g/kg de chlorure ferrique, la siccité du gâteau est maximale lorsque le pH est de '8', elle atteint une valeur de 26,51%, tandis que l'inverse est observé lorsque la boue est acide ou basique.

On a remarqué que dans les milieux basiques, les boues obtenues après coagulation-floculation sont devenues comme une pâte visqueuse compacte et imperméable, par contre au milieu acide elles devenues trop liquides et mousseuses.

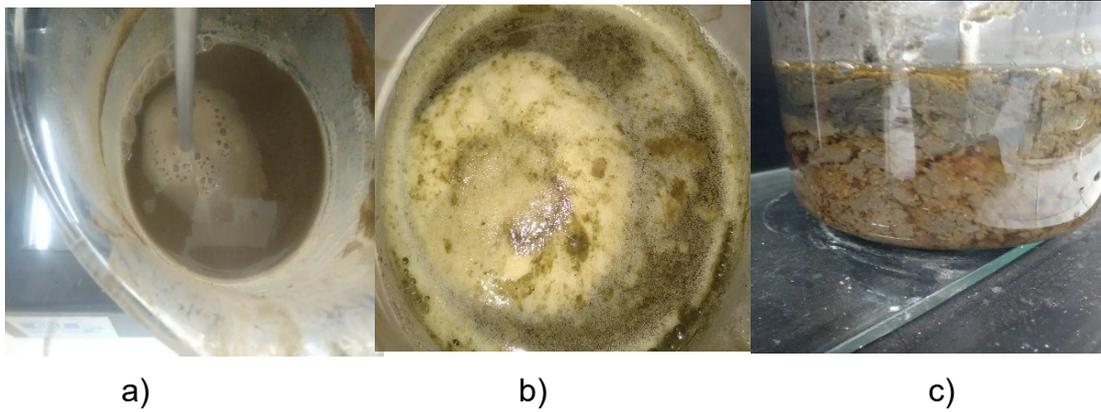


Figure.VI.23 : a, b) boue conditionnée au pH=2 ; c) boue conditionnée au pH=12.



Figure.VI.24 : le gâteau obtenu après filtration sous vide au pH acide.

VI.6.3. Influence de double dosage (Fe/poudre naturelle de cactus) et (Al/poudre naturelle de cactus) sur la siccité du gâteau :

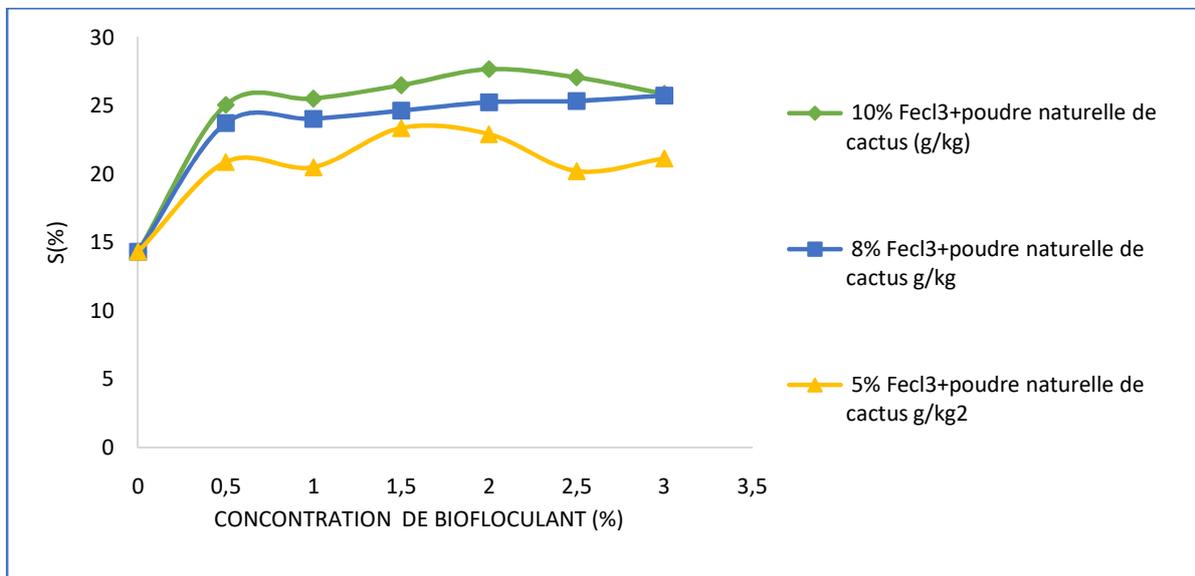


Figure.VI.25 : variation de la siccité du gâteau de différentes concentrations de sel de fer en fonction de bioflocculant (OFI).

La figure N° VI.25 donne l'évolution de la siccité du gâteau en fonction de différentes concentrations de la poudre naturelle de cactus avec le flocculant minéral FeCl₃.

Nous avons remarqué que la siccité augmente dans l'intervalle de [1,5 – 3g/kg] de poudre naturelle de cactus dans les différentes concentrations de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

La siccité atteint son maximum de 27,37% pour le mélange de 10% de FeCl_3 et 2g/kg de poudre naturelle de cactus. Et de 25,74% pour 8% de FeCl_3 et 3g/kg de poudre naturelle de cactus, le gâteau récupéré est d'une épaisseur de 0,3cm et 0,2cm respectivement, uniforme et sec figure (VI.27).

L'influence de différentes concentrations de sel d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) et l'ajout de la poudre naturelle de cactus (OFI) sur la siccité du gâteau est illustrée sur la figure suivante.

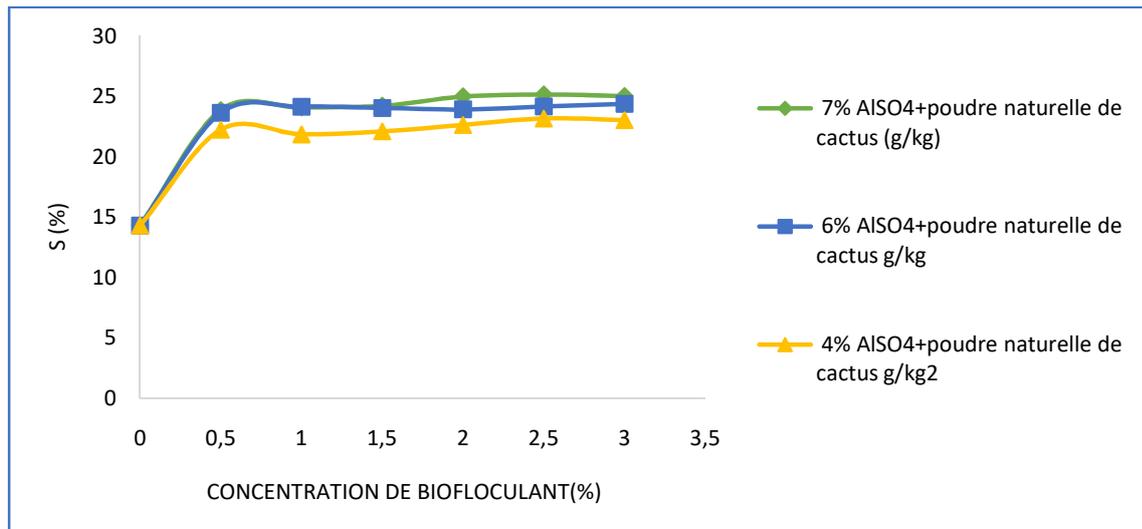


Figure.VI.26 : L'influence de différentes concentrations de sel d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) et l'ajout de la poudre naturelle de cactus sur la siccité du gâteau

D'après la figure (VI.26), on remarque que lorsque on ajout la poudre naturelle de cactus au sulfate d'aluminium, l'évolution de la siccité du gâteau n'est assez importante. D'après les expériences ce qu'on a fait, les résultats qu'on a obtenu au mélange d'Al/poudre naturelle de cactus sont presque comparables aux résultats obtenus avec le sulfate d'aluminium uniquement.

On atteint une siccité maximale de 25,17% pour une dose optimale de 70g/kg de ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) et une concentration de 2,5g/kg de poudre de cactus séchée au soleil.

Nous avons constaté que, dans le conditionnement des boues le mélange de (Fe/poudre naturelle de cactus) donne une efficacité semblable de la siccité du gâteau avec l'utilisation de (Al/poudre naturelle de cactus) pour les différentes concentrations utilisées.



AlSO₄ (p=0,5bar, D= 70g/kg)



**FeCl₃+poudre naturelle de (OFI)
(p=0,5bar, D=100g/kg FeCl₃+2g/kg de(OFI))**



FeCl₃ (p=0,5bar, D= 100g/kg)



boue non conditionnée



AlSO₄+poudre naturelle de cactus Poudre naturelle de cactus (p= 0,5bar, D=2g/kg)

(p=0,5bar, D=7% AlSO₄+2g/kg

De poudre naturelle (OFI))

Figure.VI.27 : photographies des gâteaux récupérés après filtration sous vide pour les doses optimales des coagulants.

VI.7. Influence de la concentration du coagulant sur la RSF du gâteau :

VI.7.1. Influence de la concentration de différentes poudres de cactus sur la résistance spécifique de la filtration :

La résistance spécifique à la filtration est un paramètre important pour évaluer l'efficacité du conditionnement durant le processus de la filtration. La figure () représente la variation de la RSF en fonction des concentrations des biofloculants.

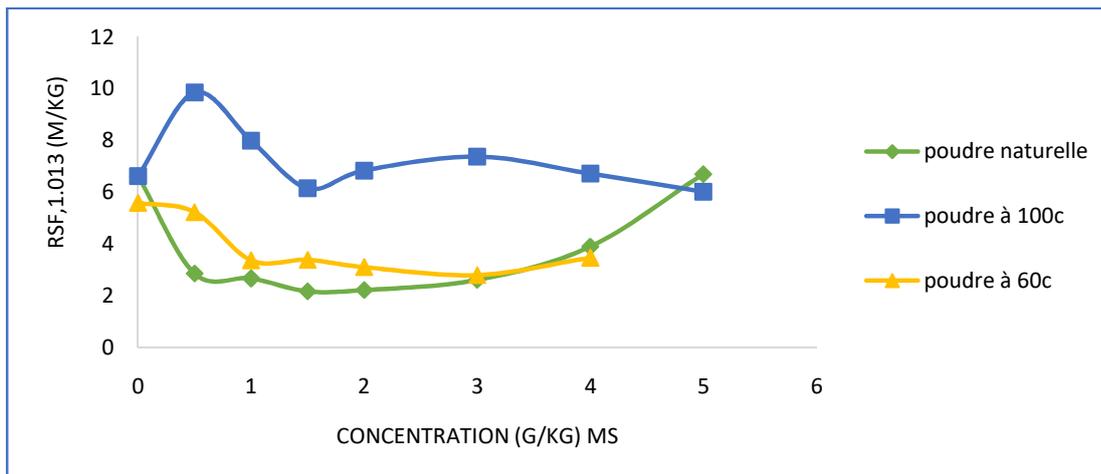


Figure.VI.28 : évolution de la RSF en fonction des concentrations des floculants ajoutées ; poudre séchée au soleil, séchée à 100C° et poudre séchée à 60C° .

Nous avons remarqué que pour la poudre naturelle, elle provoque une faible diminution de la RSF, la valeur la plus faible est de $2,17 \cdot 10^{13}$ m/kg pour une

concentration de 1,5g/kg MS. Pour la poudre préparée à 100C°, nous remarquons que la RSF augmente au lieu de diminuer, cela indique que la poudre préparée à 100C° n'a provoqué aucun effet sur la RSF et qu'elle n'est pas efficace pour le conditionnement.

Nous constatons que la RSF diminue en fonction des concentrations du floculant, et la meilleure valeur de la RSF est de $2,8 \cdot 10^{13}$ m/kg et elle est obtenue pour une concentration de 4g/kg MS. Les résultats obtenus montrent que la RSF a seulement diminué dans le cas de deux poudres (séchée naturellement et à 60C°) et qui confirment les résultats de la siccité obtenus avec l'ajout de ces poudres.

D'après nos résultats, nous pouvons conclure que la poudre séchée au soleil et la poudre séchée à 60C° présentent un bon pouvoir floculant qui conduise à une élimination plus facile de l'eau contenue dans la boue et une augmentation de sa siccité, par contre la poudre préparée à 100C° montre un faible pouvoir floculant et n'améliorent pas le conditionnement des boues.

VI.7.2. Influence de la concentration des floculants utilisés (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sur la RSF du gâteau :

Pour mettre en évidence l'influence de la concentration des sels métalliques sur la résistance spécifique à la filtration, nous avons calculé la RSF de chaque concentration de floculant utilisé, les résultats obtenus sont représentés dans la figure suivante.

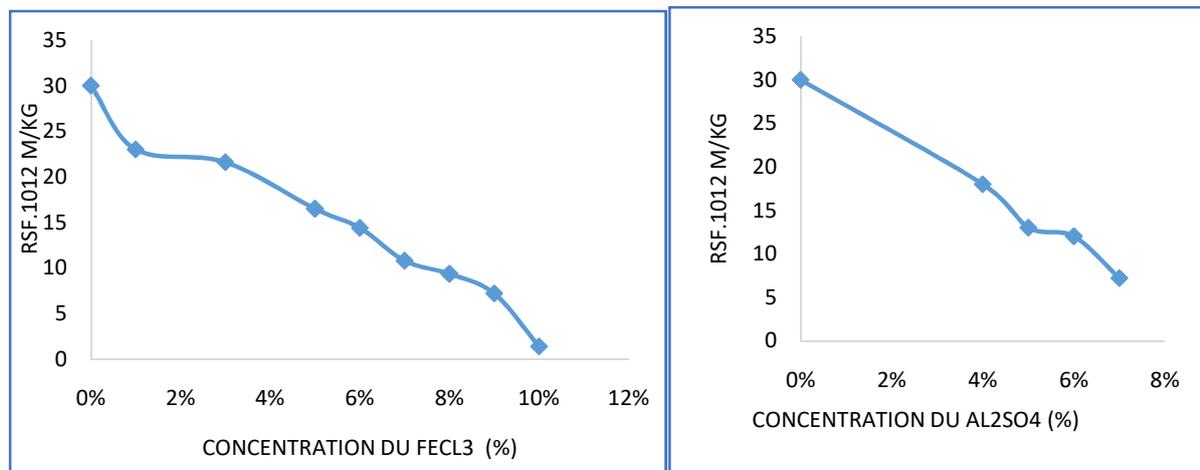


Figure.VI.29 : évolution de la RSF des différentes concentrations des floculants.

D'après les courbes de la figure (VI.29), nous remarquons que la RSF diminue avec l'ajout des floculants minéraux. Cette constatation est conforme au but recherché, par l'ajout d'un agent coagulant, qui est celui d'améliorer la déshydratation de la boue en réduisant la RSF.

Les deux sels métalliques (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) donnent des bons résultats. Pour le chlorure ferrique, dans une première phase de 0 à 5% MS, la RSF diminue très rapidement, au-delà, on remarque une variation lente. La résistance passe de $30 \cdot 10^{12}$ m/kg à $16,5 \cdot 10^{12}$ m/kg pour une concentration de 5% de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Et de 0 à 4% la RSF diminue de $30 \cdot 10^{12}$ m/kg à $22,32 \cdot 10^{12}$ pour le sulfate d'aluminium.

La RSF continue à diminuer lentement pour les deux coagulants, la résistance diminue jusqu'à elle atteint une valeur maximale de $1,4 \cdot 10^{12}$, $7,2 \cdot 10^{12}$ m/kg pour les concentrations de 10% MS, 7% MS respectivement.

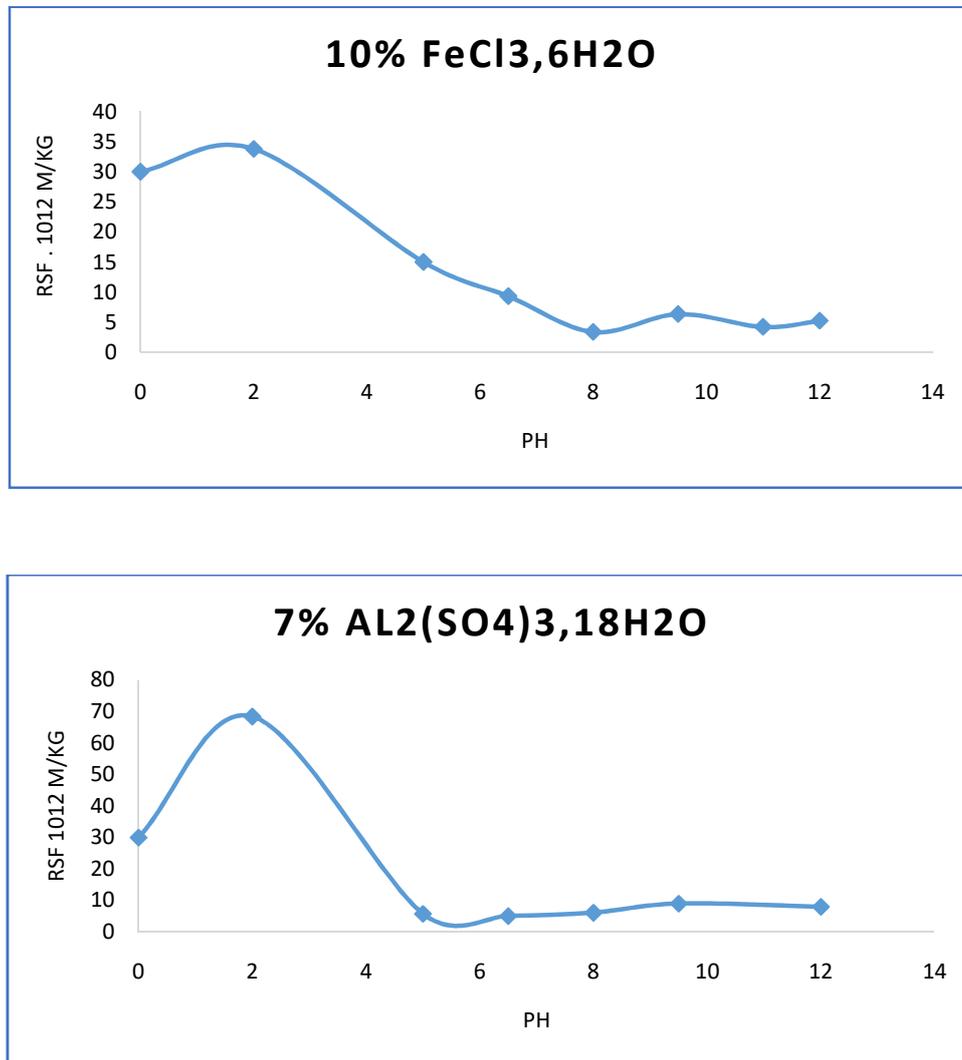


Figure.VI.30 : L'influence du pH sur la RSF.

La figure (VI.30) représente l'évolution de la RSF en fonction de la variation du pH.

Pour le chlorure ferrique, on constate que la RSF diminue rapidement de $30 \cdot 10^{12}$ à $3,35 \cdot 10^{12}$ m/kg pour un pH optimum de 8, au-delà, la résistance augmente lentement avec les pH basiques. Car la basicité de la boue peut avoir un impact sur la production des différents hydroxydes, donc elle influe sur la floculation et la séparation solide-liquide (voire la figure II.3, II.4).

Nous avons remarqué aussi que pour le sulfate d'aluminium, la résistance spécifique diminue rapidement jusqu'à obtenir une valeur maximale de $5,13 \cdot 10^{12}$ m/kg pour un pH 6,5. On remarque aussi que pour un pH acide (pH=2) la RSF augmente à une valeur de $68,4 \cdot 10^{12}$ m/kg. Cela signifie que dans le milieu acide, on obtient des gâteaux très visqueux ce qui complique la récupération de l'eau.

VI.7.3. Influence du double dosage sur la RSF du gâteau :

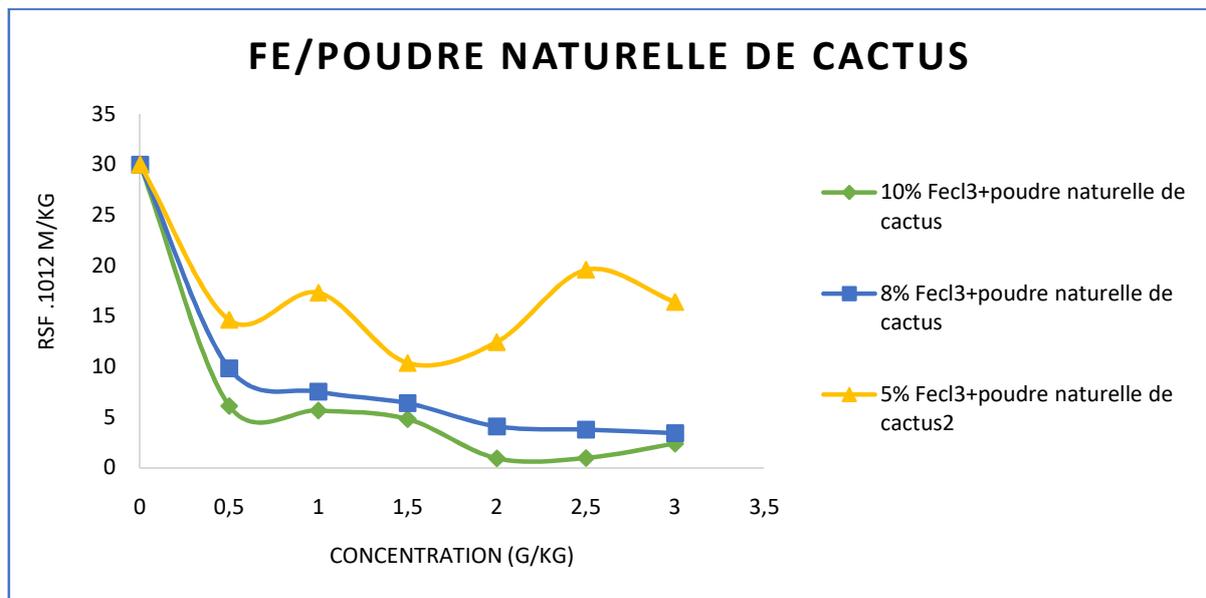


Figure.VI.31 : influence du double dosage (Al/poudre naturelle de cactus) sur la RSF du gâteau.

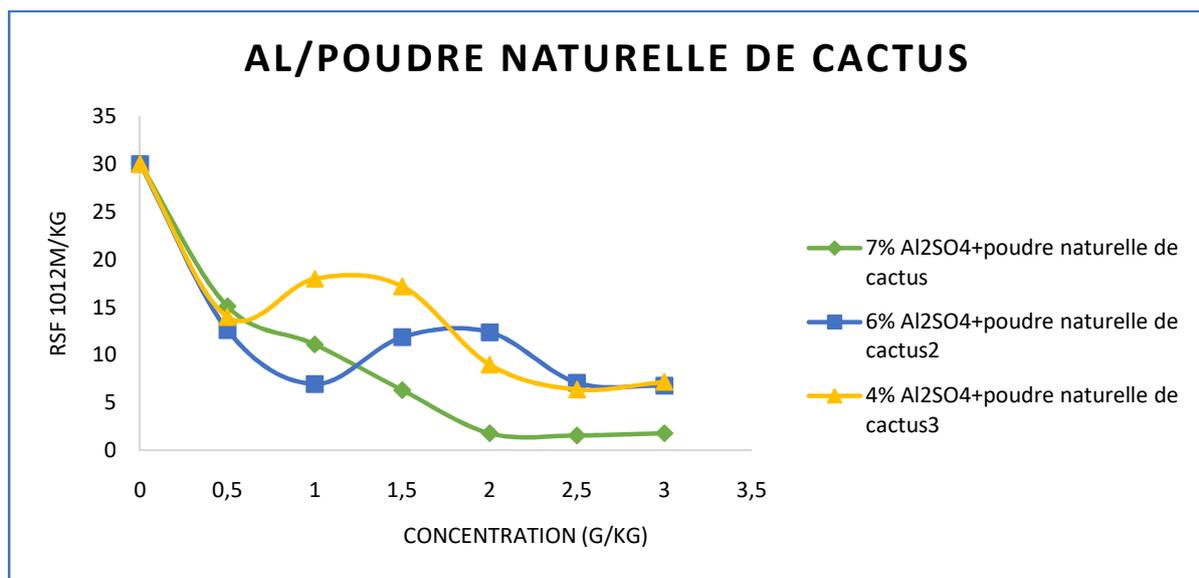


Figure.VI.32 : influence du double dosage (Fe/poudre naturelle de cactus) sur la RSF du gâteau.

Nous constatons d'après la figure (VI.31), que pour les mélanges de (10%, 8% et 5%) de FeCl₃ avec des concentrations de 2 à 3g/kg de poudre naturelle de cactus (séchée au soleil) la RSF diminue jusqu'à obtenir un meilleur résultat de $0,92 \cdot 10^{12}$ m/kg pour une concentration de 2g/kg de (PNC) avec 100g/kg en MS de FeCl₃, 6H₂O.

On remarque aussi que pour les trois courbes de (7%, 6% et 4% de sulfate d'aluminium avec l'ajout de différentes concentrations de (PNC)) figure (VI.32) la résistance spécifique à la filtration diminue dans les concentrations suivantes : 2- 2,5

-3g/kg de MS de (PNC) pour qu'elle atteigne une valeur minimale de $1,51 \cdot 10^{12}$ m/kg pour un mélange de 7g/kg MS de Al_2SO_4 et 2,5g/kg de (PNC).

VI.8. Influence de la concentration du coagulant utilisé sur la turbidité du filtrat de la boue conditionnée.

VI.8.1. Influence de la concentration de différentes poudres préparées de cactus (OFI) sur la turbidité du filtrat final.

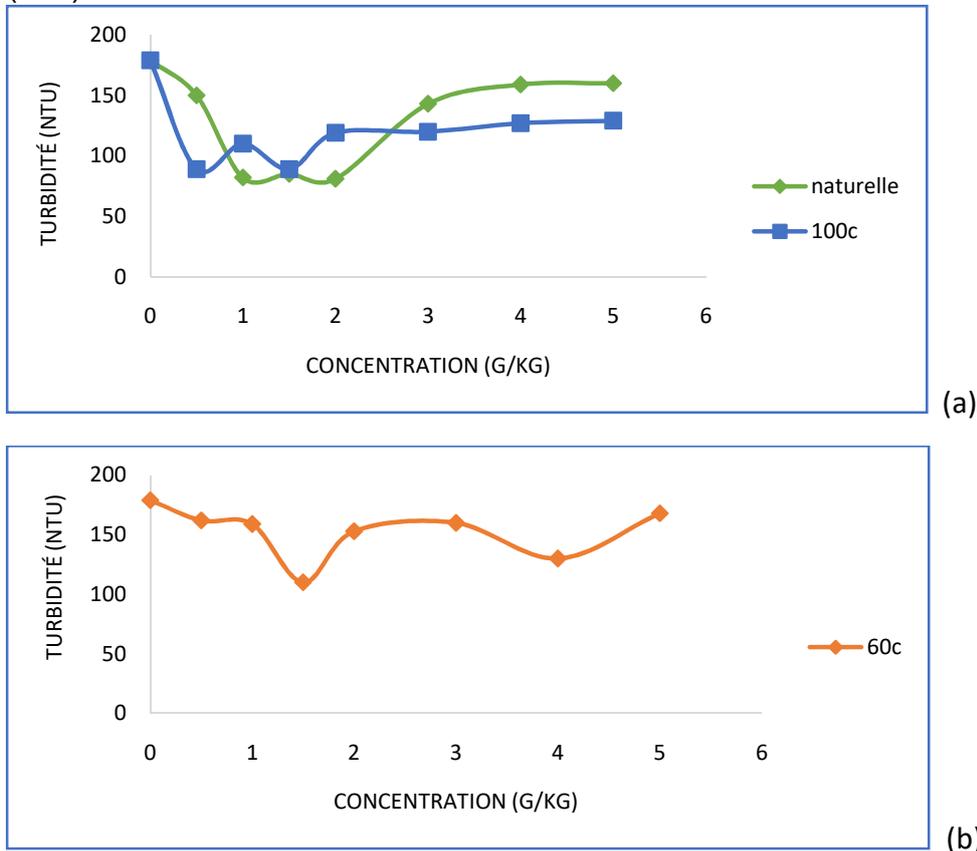


Figure.VI.33 : la variation de la turbidité du filtrat en fonction des concentrations des biofloculants ajoutées ; (a) poudre naturelle, séchée à $100C^{\circ}$, (b) poudre séchée à $60C^{\circ}$.

La figure (VI.33) représente la variation de la turbidité du filtrat en fonction des concentrations croissantes de biofloculant. Les doses ajoutées varient de 0.5 à 5g/kg MS.

Nous avons remarqué que Pour la poudre séchée au soleil, la turbidité diminue de 159 NTU à 82 NTU avec l'ajout d'une concentration de 1 g/kg MS. Puis elle reste presque constante de 82 85 et 81 NTU pour les concentrations de 1, 1.5 et 2g/kg MS. Mais au-delà de cette marge, la turbidité ne cesse d'augmenter avec l'augmentation de la concentration du biofloculant jusqu'à atteindre une turbidité de 160 NTU pour la concentration de 5g/kg MS.

Le même phénomène est remarqué avec la poudre préparée à $100C^{\circ}$, globalement plus on ajoute une concentration élevée plus la turbidité augmente, mais une faible diminution de la turbidité est obtenue avec la concentration de 1.5g/kg MS qui est de 89 NTU.

La figure (b) représente la variation de la turbidité du filtrat en fonction des concentrations croissantes de la poudre préparée à 60C°. On remarque une diminution moindre de la turbidité. Elle diminue de 179 NTU pour atteindre le 110 NTU avec l'ajout d'une concentration de 1.5g/kg MS du biofloculant.

On peut conclure, que dans l'ensemble des résultats aucune réduction de la turbidité n'a été observée, on constate aussi qu'après l'ajout des biofloculants, la couleur du filtrat est verdâtre (figure). On peut expliquer ce phénomène par le passage de la poudre à travers le filtre utilisé pour la filtration sous vide. Nous avons utilisé un filtre de porosité de 8 µm. tandis que les quatre poudres ont été tamisées, avant leur utilisation, à 400 µm, elles sont très fines.

D'après les résultats obtenus de la caractérisation de nos biomatériaux par l'étudiante MOUNIA DERBEL, l'observation au microscope électronique à balayage environnemental (E.M.E.B), confirmé la présence des petites particules de taille variant entre 1 et 7 µm (VI.34). ces dernières peuvent passer à travers le filtre et pourraient être responsables de la coloration verdâtre et de la turbidité élevée du filtrat.

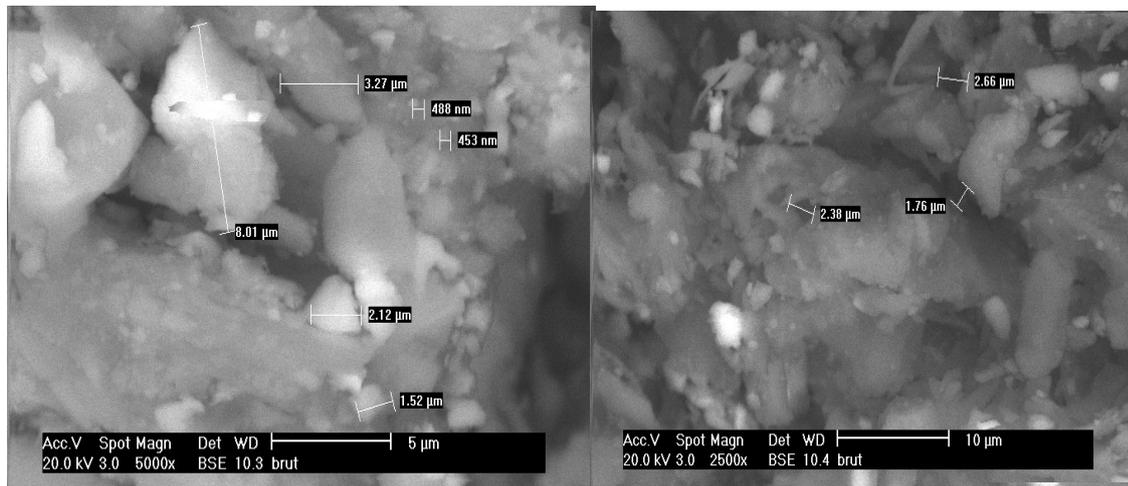


Figure.VI.34 : caractérisation de la poudre séchée au soleil par E.M.E.B [29].

Particules 0.4 µm → 8 µm

- Cavités 1 → 3 µm

- Présence de structure fibreuse et d'agrégats de particules sensiblement sphériques

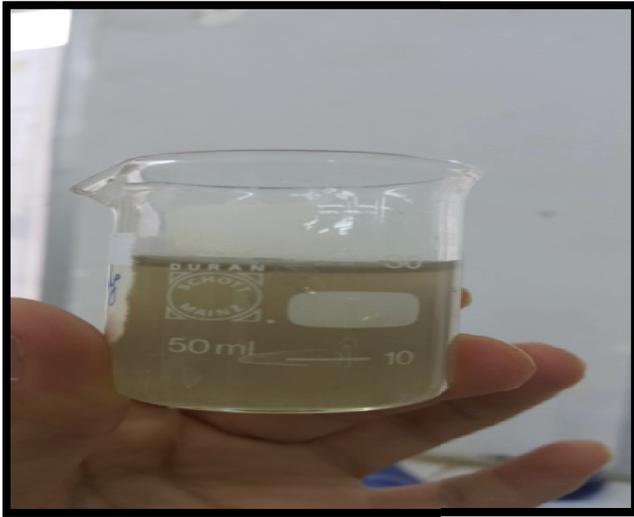


Figure.VI.35 : le filtrat obtenu avec l'ajout de la poudre séchée au soleil.

VI.8.2. Influence de la concentration des sels métalliques (sel de fer et sel d'aluminium) sur la turbidité du filtrat :

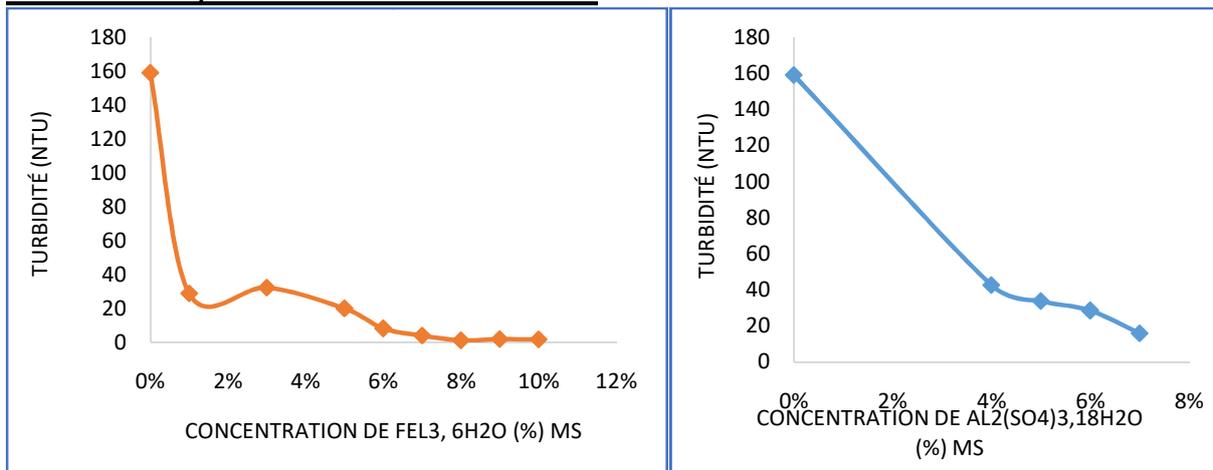


Figure.VI.36 : la variation de la turbidité du filtrat en fonction des concentrations des coagulants utilisés (FeCl₃, Al₂(SO₄)₃).

La figure (VI.36) montre les turbidités finales du filtrat avec un conditionnement réalisé avec l'ajout du FeCl₃ et Al₂SO₄. Nous remarquons que pour le chlorure ferrique, la turbidité a nettement diminué avec l'ajout des différentes concentrations du flocculant, plus la concentration augmente plus l'élimination de la turbidité est meilleure. Elle atteint une turbidité finale de 1.79 et 1.62 NTU pour les concentrations de 9 et 10% du FeCl₃ respectivement. Pour le sulfate d'aluminium, la turbidité diminue de 159 NTU à 15.9 NTU pour une concentration de 7% du coagulant voir (figure VI.37).

On constate d'après la figure (VI.36) que les meilleurs résultats sont obtenus par le chlorure ferrique, il élimine presque toute la turbidité par rapport au sulfate d'aluminium.

Les filtrats obtenus avec l'ajout des différents coagulants sont illustrés par les figures suivantes :



Figure.VI.37 : Filtrat obtenu pour 10% FeCl₃ Filtrat obtenu pour 7% Al₂SO₄

VI.8.3. Influence du double dosage (Fe/PNC) et (Al/PNC) sur la turbidité du filtrat final :

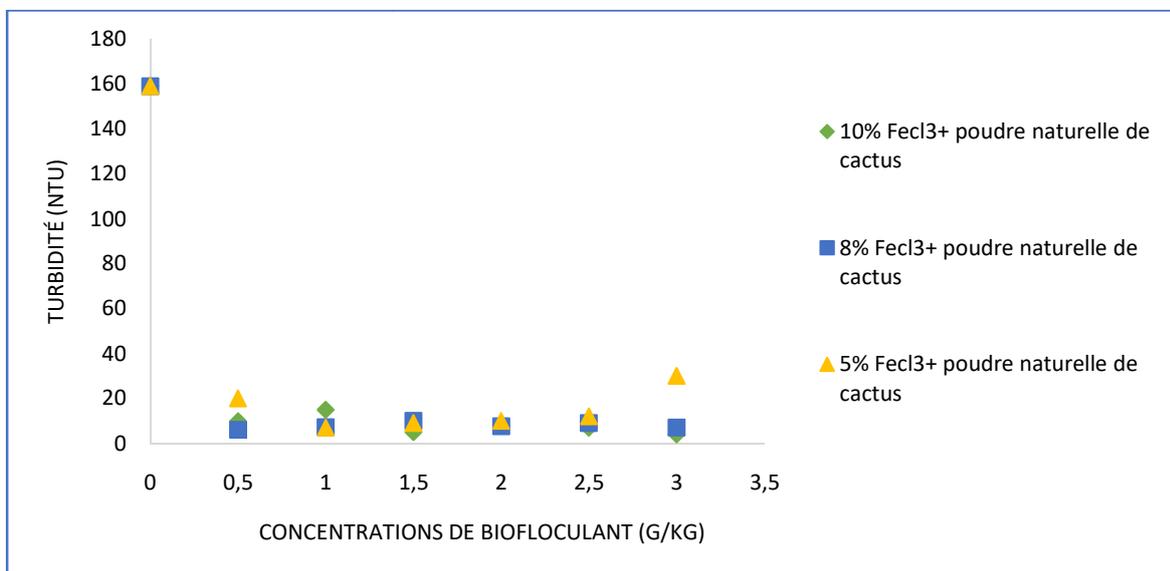


Figure.VI.38 : influence du double dosage (Fe/PNC) sur la turbidité du filtrat final.

D'après la figure (VI.38) et (VI.39), on remarque une diminution très intéressante de la turbidité pour les trois mélanges préparés. On remarque aussi que les meilleurs résultats sont obtenus pour une concentration de 1 à 3g/kg MS de PNC, sauf que la turbidité augmente de 30 NTU pour un mélange de 50g/kg de FeCl₃ avec 3g/kg de poudre naturelle de cactus. La figure (VI.38) montre clairement qu'une meilleure

diminution de 4 NTU est trouvée par une concentration de 3g/kg de PNC avec 100g/kg de FeCl_3 . Cela veut dire que les particules en suspension ont été bien éliminées avec une boue de grande siccité. Cette efficacité est due à la présence de l'acide galacturonique et d'autres composés présents dans le cactus qui permettent l'élimination des particules colloïdales stables [72].

On constate aussi que ces résultats sont similaires aux résultats obtenus par le double dosage de sel d'aluminium et la poudre naturelle de cactus figure (VI.39).

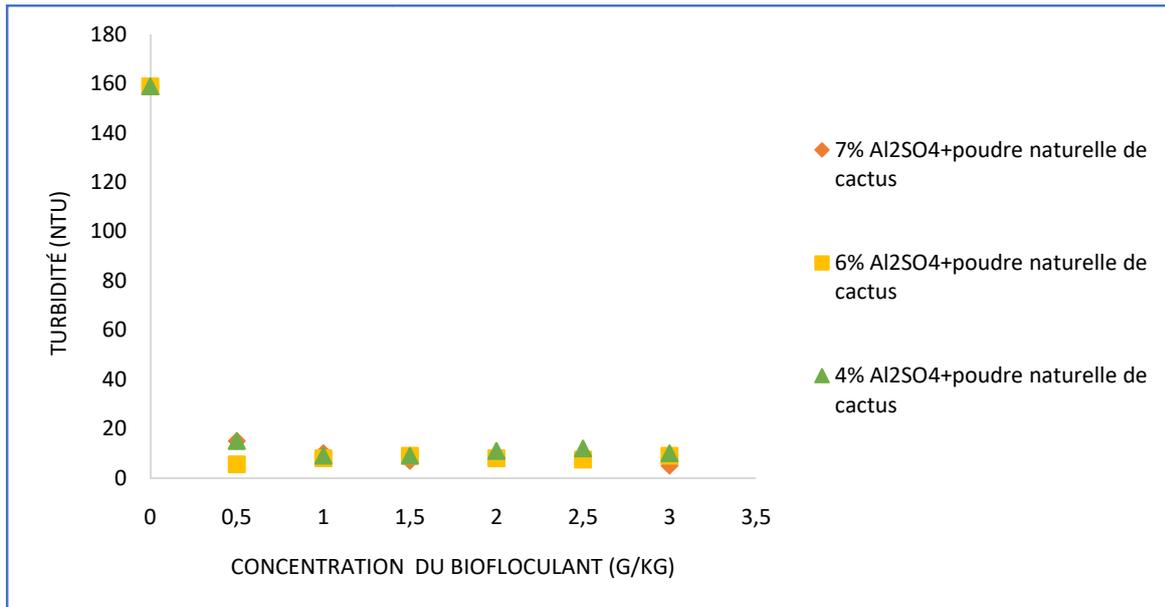


Figure.VI.39 : influence du double dosage (Al/PNC) sur la turbidité du filtrat.

A la figure (VI.40), nous illustrons le taux d'abattement de la turbidité du filtrat issu de la filtration sous vide de la boue conditionnée de différentes concentrations de deux produits chimiques uniquement (FeCl_3 , $6\text{H}_2\text{O}$ / $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ / poudre naturelle de cactus) ainsi avec les doubles dosages (Fe/PNC ; Al/PNC).

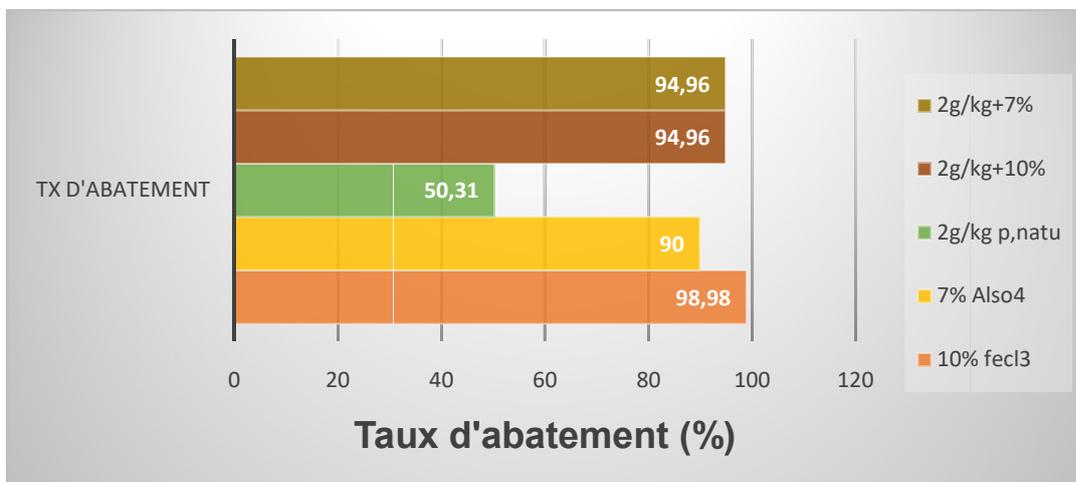


Figure.VI.40 : évolution du taux d'abattement de la turbidité du filtrat après la filtration sous vide.

Cette figure (VI.40) nous renseigne que le FeCl_3 , le $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, le FeCl_3 et le Al_2SO_4 avec la poudre naturelle de cactus ont pratiquement la même performance avec des taux : 98,98%, 90%, 94,96%, 94% respectivement. Tandis que, la poudre séchée au soleil à permet d'éliminer 50,31% de la turbidité initial.

Le calcul du taux d'abattement d'un paramètre X, exprime en pourcentage, est basé sur la formule suivant :

$$\% \text{ Abatement (X)} = \frac{(ci(X) - cf(X))}{ci(X)} \times 100$$

Ci : concentration initiale de X dans l'eau usée. (Filtrat de la boue d'épuration brute)

Cf : concentration finale de X dans l'eau usée traitée. (Filtrat de la boue d'épuration conditionnée).

VI.9. Impacte du traitement en utilisant le $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et le $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ sur le pH final du filtrat des boues conditionnées :

La figure suivante représente l'impact de l'utilisation des sels métalliques sur le pH final du filtrat de la boue conditionnée de la STEP de Béni-Messous. Les mesures qui ont été faites avant et après chaque traitement.

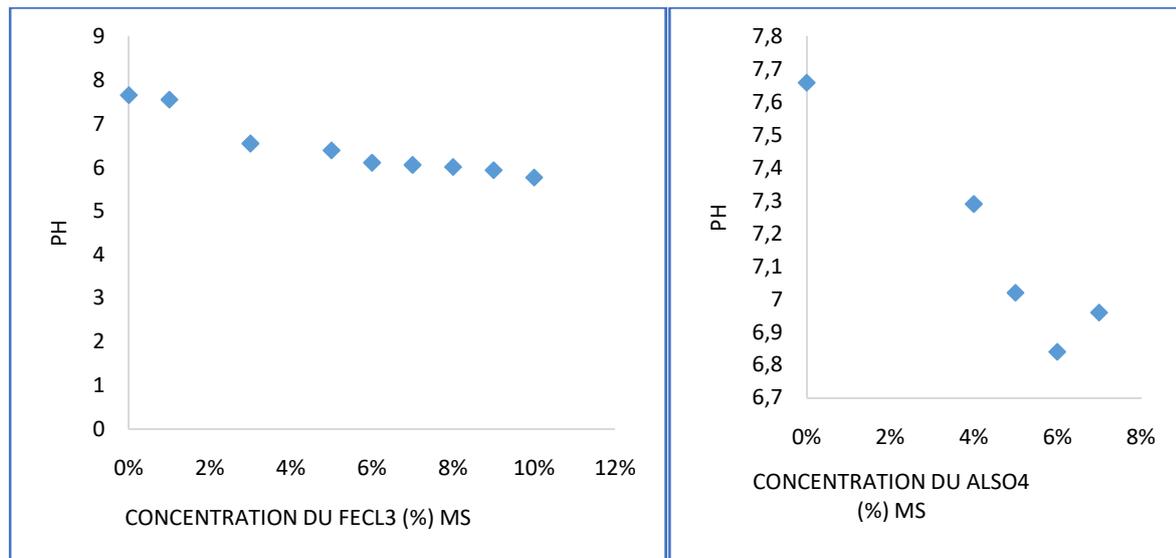
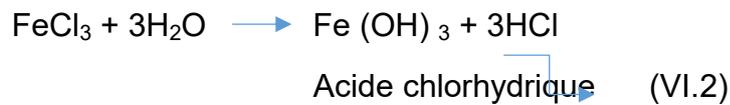
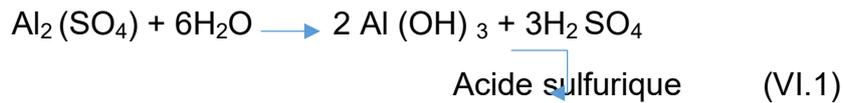


Figure VI.41 : variation du pH final en fonction de la concentration des coagulants, FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ utilisés.

Nous avons remarqué, selon les résultats obtenus sur la figure (VI.41) relatifs au filtrat de la boue conditionnée, que plus la concentration des coagulants augmente plus le pH final diminue de (7.66 unité à 5.77, 6.96 unité), pour le FeCl_3 et Al_2SO_4 respectivement.

Cette diminution du pH due à la présence des coagulants, ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ / $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) qui acidifie le milieu, comme indiquer dans les réactions suivantes (VI.1), (VI.2)



VI.10. Impacte du traitement en utilisant le FeCl₃, 6H₂O et l'Al₂(SO₄)₃.18H₂O sur la conductivité finale du filtrat des boues conditionnées :

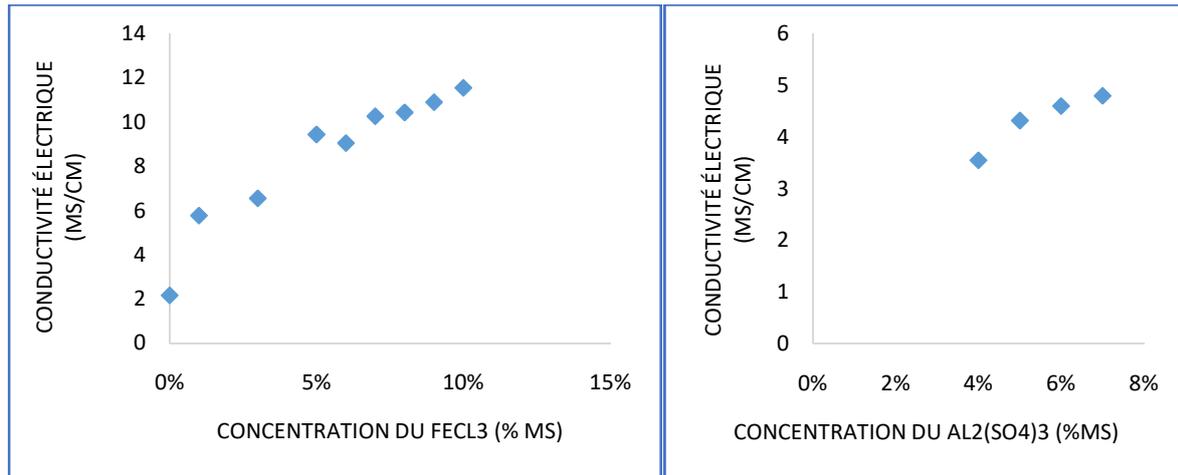


Figure.VI.42 : la variation de la conductivité finale en fonction de la concentration des coagulants utilisés.

La figure (VI.42) montre l'évolution de conductivité finale du surnageant en fonction de la concentration des deux coagulants, la conductivité du filtrat augmente en augmentant la concentration du chlorure ferrique, tel que elle atteint son maximum de 11.55ms/cm pour une concentration de 10% de FeCl₃. Par contre, pour la boue conditionnée avec le sulfate d'aluminium, elle reste presque constante, la conductivité varie de 3.55 à 4.8ms/cm.

La conductivité électrique atteint des valeurs élevées, pour la zone des concentrations compris entre 7-10% MS au chlorure ferrique.

Cette augmentation de la conductivité due à la présence des ions minéraux dans l'eau filtrée. Ces ions jouent un rôle des réducteur for, correspondant à des atomes qui gagné ou perdue des électrons, le déplacement des électrons conduites à la conduction du courant.

D'après les résultats qu'on a obtenus pour les différents essais que nous avons fait au niveau de laboratoire de science de l'eau et l'environnement. On constate que l'utilisation de la poudre naturelle de cactus uniquement ou dans le double dosage de sel de fer et d'Al dans le conditionnement des boues de la STEP de Béni-Messous donne des meilleurs résultats dans les concentrations optimales compris entre 2 à 3g/kg MS.

L'utilisation des sels métalliques seules ou combinés avec la poudre de cactus, Facilitent la déstabilisation des particules colloïdales stables de la boue et favorisent leurs agglomérations pour obtenir une boue compacte avec une siccité élevée. Les floccs formés seront décantés et filtrés par la suite.



a1)



a2)



a3)



B1)



b2)

Figure.VI.43 : performance des sels métalliques.a1), a2), a3) une boue conditionnée avec une concentration de 10% MS de $FeCl_3$.

B1), b2) une boue conditionnée avec une concentration de 7% MS de Al_2SO_4 .

VI.11. MVS et MES de la boue après conditionnement :

Les résultats des calculs de MES et de MES des gâteaux récupérés, sont représentés dans les annexe [03].

Si en prend par exemple le cas où nous avons conditionnée la boue par le chlorure ferrique nous illustrons le tableau suivant :

Concentration de chlorure ferrique (g/kg)	MES (g/l)	MVS (g/l)	$T = \text{MVS} / \text{MES} \times 100$ (%)
0	53,28	27,47	76
10	49,33	26,4	75
30	44,80	24,54	77
50	43,20	27,28	81
60	42,85	26,19	84
70	43,52	28,94	85
80	39,43	28,20	89
90	34,21	23,15	95
100	27,08	16,87	96

Tableau.VI.3 : le taux d'organicité de la boue conditionnée par différents doses de $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$

Conclusion

Les expérimentations décrites dans ce chapitre nous ont permis d'étudier les conditions optimales et les paramètres influant le conditionnement et la déshydratation des boues résiduaires de la STEP de Béni-Messous.

D'après l'ensemble des résultats effectués dans laboratoire de traitement des eaux usées, nous avons obtenu les résultats suivants :

- une augmentation de siccité de 14.34% à 25.24% pour une concentration de 10% MS de $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$. Avec une diminution de 30.10^{12} m/kg à $1.62.10^{12}$ m/kg de la RSF. Pour le sulfate d'aluminium, la siccité augmente jusqu'à obtenir une valeur de 24.1% pour une concentration de 7% MS.

-une siccité maximale de 25,22% pour une concentration de 2g/kg MS de la poudre séchée au soleil.

-Pour un mélange de 80g/kg de FeCl_3 et 3g/kg MS de la PNC, nous avons obtenu une siccité de 25.75% avec une diminution de la RSF de $5.04.10^{12}$ m/kg.

-une siccité de 14.34% à 25.17% pour un mélange de 70g/kg de Al_2SO_4 et 2.5g/kg MS de PNC ;

-les meilleurs résultats de siccité sont obtenus pour un mélange de 100g/kg MS de $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$ avec 2g/kg MS de Poudre naturelle de cactus de 14.34% jusqu'à une valeur maximale de 27.37%, et aussi fait passer la résistance spécifique à la filtration de 30.10^{12} à $0,92.10^{12}$ m/kg pour un pH optimum de 8.

-concernant la turbidité, une diminution de 159NTU à 1.62NTU pour une concentration de 10% de chlorure ferrique, et de 15.9NTU pour une concentration de 7% de sulfate d'aluminium.

Conclusion général

Notre travail contribue à améliorer le procédé de conditionnement chimique de boues résiduelles issues du bassin de stabilisation de la station d'épuration de Béni-Messous, en utilisant des coagulants minéraux. Tel que le chlorure ferrique et le sel d'aluminium. Parallèlement, en utilisant la poudre de cactus « OFI » comme aide coagulant avec les coagulants minéraux.

Dans la première partie de ce travail, nous avons effectué le conditionnement chimique des boues par l'ajout des concentrations croissantes du chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), et du sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). On a obtenu une siccité de 25,24%, 24,1% et une résistance spécifique à la filtration de $1,4 \cdot 10^{12}$, $7,2 \cdot 10^{12}$ m/kg pour une concentration de 10% FeCl_3 et 7% Al_2SO_4 respectivement. La turbidité du filtrat final diminue progressivement de 159 NTU à 1.62 NTU pour une concentration de 100g/kg MS de chlorure ferrique, et de 159NTU à 15.9 NTU pour 70 g/kg MS de sulfate d'aluminium.

La deuxième partie des essais, nous avons procédé aux préparations d'un biofloculant sous forme de poudres de cladodes de cactus « Cactus Opuntia Indica » avec différentes méthodes de traitement thermiques. Nous avons donc choisi d'utiliser une poudre séchée naturellement au soleil pour des périodes allant de deux à trois semaines, une poudre séchée thermiquement dans une étuve à 60C° pour des durées allant de 48 à 96 heures, et pour finir une poudre séchée à 100C° dans une étuve.

Pour la troisième partie des essais, nous avons appliqué notre biofloculant OFI au conditionnement des boues issues de la STEP de Béni Messous. Le conditionnement de boue a donné les résultats suivant :

- une siccité maximale de 25,22% pour une concentration de 0,5g/kg MS de la poudre séchée au soleil.
- Augmentation de la siccité de 14,34% à 20,96% pour une concentration de 1,5g/kg MS avec la poudre séchée à 60C° .

Mais d'après l'ensemble des résultats, aucune réduction de la turbidité n'a été observée, nous avons remarqué aussi qu'après l'ajout des biofloculants, la couleur du filtrat est verdâtre. On peut expliquer ce phénomène par la présence des petites particules dans la poudre de cactus de taille inférieure à la porosité du papier filtre utilisé. Ces dernières peuvent passer à travers le filtre et pourraient être responsables de la coloration verdâtre et de la turbidité élevée du filtrat.

La dernière partie de ce travail a été consacrée à l'utilisation de la poudre de cactus (OFI) séchée naturellement au soleil comme aide coagulant avec le sel de fer et le sel d'aluminium. L'objectif de cette partie est d'estimer la meilleure concentration de

biofloculant qui peut améliorer la coagulation floculation pour augmenter la siccité du gâteau obtenu après la filtration sous vide et diminuer la résistance spécifique à la filtration « RSF ».

En effet, l'ajout de la poudre naturelle de cactus avec le chlorure ferrique dans un pH optimum (pH=8), entraîne une augmentation de siccité du gâteau de 14,34% à 23,37% MS avec une concentration de 50g/kg de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et 3g/kg pour PNC. D'après ces résultats nous avons constaté que les résultats obtenus pour une concentration de 80g/kg de chlorure ferrique seul sont les mêmes résultats obtenus par le double dosage de 50g/kg MS de FeCl_3 avec 3g/kg MS de PNC.

Pour un mélange de 80g/kg de FeCl_3 et 3g/kg MS de la PNC, nous avons obtenu une siccité de 25.75% avec une diminution de la RSF de $5.04 \cdot 10^{12}$ m/kg. Ces dernières sont les mêmes résultats que nous avons obtenu pour une concentration de 100 g/kg de chlorure ferrique. D'autre part, dans un pH optimum de 6.5 nous constatons une augmentation de siccité de :

- 14.34% à 23.18% pour un mélange de 40g/kg de Al_2SO_4 et 2.5g/kg MS de PNC ;
- 14.34% à 24.38% pour un mélange de 60g/kg de Al_2SO_4 et 3g/kg MS de PNC ;
- 14.34% à 25.17% pour un mélange de 70g/kg de Al_2SO_4 et 2.5g/kg MS de PNC ;

Finalement, un mélange de 100g/kg MS de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ avec 2g/kg MS de PNC, nous avons obtenu un meilleur résultat de siccité, tel que cette dernière augmente de 14.34% jusqu'à une valeur maximale de 27. 37%, avec un taux de filtration de 95% avec un temps de filtration de 8 min, et aussi fait passer la résistance spécifique à la filtration de $30 \cdot 10^{12}$ à $0,92 \cdot 10^{12}$ m/kg, de plus un taux d'abattement de la turbidité du filtrat de 94,96%.

D'après ces résultats, On peut conclure que la poudre séchée naturellement n'a pas donné beaucoup des résultats, Cela peuvent être expliquer par la perte des éléments floculants contenus dans la raquette de cactus lorsqu'elle est exposée au soleil.

Mais, elle offre une alternative plus économique et moins toxique en termes de dépollution d'eaux usées.

Références bibliographiques

[1]: Ladjel, F, 2001 "Exploitation d'une station d'épuration à boues activées', Ed. ONA, 74p

[2]: Jarde. E, 1989 "Composition organique des boues résiduares de station d'épuration de lorraines et effets de biodégradation.

[3] : Grini, G. et Bardot, P-M, 2007' Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaire, bio adsorption et oxydation chimique'. Ed. Presses universitaires de Franche-Comté, 356p.

[4] : Sergio PEREZ FABIEL.2009. Etude de la biodégradabilité de boues secondaires soumises à un traitement thermique à 65C° et du couplage digestion anaérobie et digestion thermophile aérobie pour la réduction de boues. Thèses de doctorat. Génie des procédés de l'environnement. L'institut National des Sciences Appliquées de Toulouse ; 197p.

[5] : Bougrir C, 2005, 'Optimisation du procédé de méthanisation par mise en place d'un co-traitement physico-chimique : Application au gisement de biogaz représenté par les boues

D'épuration des eaux usées', Thèse. Doc. Uni MONTPELLIER II, 276p.

[6] : Dégrémont. 1978. Mémento technique de l'eau, Huitième édition ; Edition ; Technique et documentation Lavoisier. Paris ; 1200p.

[7] : le pimpec p, Léonard A, Bouanard R, Lafont, Cazin M, Bossard B. 2002. Guide pratique de l'agent préleveur charge de la police des milieux aquatiques, Ed, Maurice Merlin France ; 160p

[8] : soumah I. 2001. Avenir de l'industrie minière en guinée, L'Harmattan Guinée ; Paris : 256p.

[9] : Dégerment. 2005. Memento Technique de l'eau : Tome I, Dixième édition ; Technique et documentation Lavoisier Paris ; 785p.

[10] : Roled Vilagines. 2003. Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrologie, 2 e édition Editeur : Tec & Doc Lavoisier. Paris ; 198p.

[11] : Edouaouda.2014. cours d'épuration des eaux usées.

[12] : G. GROSCLAUDE. 1999. L'eau : usage et polluant. Edition INRA Ed. France.

- [13] : Gomella C, Guerre H, 1983. ' Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. 2^e édition MISE A JOUR.
- [14] : Abdelkader Gaid. 1984. 'Epuraton biologique des eaux usées urbaines. tome II. Alger.
- [15]: Bowen, P-T et .M. Keinath 1984. Sludge condition: effects of sludge biochemical composition science and technology, (17): 505-515.
- [16]: ADETONAH WILFRIED, MBA OBAME MARCELLIN. 2006. Volarisation des boues de la station d'épuration fluviales et marines étude des compostes promotion. 2007
- [17] : Degrèment. 1989. Memento Technique de l'eau : Tome II, neuvième édition ; Technique et documentation Lavoisier Paris. 370-371p.
- [18]: Navas. A. Bermudez, A, & Machin, J. 1992. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of gypsisols.p87-135.
- [19] : DT52, 2012. Série technique : gestion des boues de station d'épuration Co-traitement avec les déchets ménagères.
- [20] : Jacques PITOT. 1983. Conditionnement et volarisation de boues de station d'épuration d'eau usées urbaines.
- [21] : Grandjean B.2010. Cours assainissement industriel, département de génie chimique université Laval, canada.
- [22] : Guiblin eric.1999. Lutte contre la pollution des eaux, traitement des boues d'épuration, Revue Technique de l'ingénieur. Environnement, Vol G1 N°G1450, paris, France.
- [23] : Dihang MD.2007. Mécanismes de coagulation et de floculation de suspension d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux. Génie des procédés et de l'environnement, université Paul Sabatier, Toulouse III, France.
- [24] : Valentin N.2000. Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable. Thèse de doctorat à l'université de technologie de Compiègne, France.
- [25] : Selhani soumia.2009. Étude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration, mémoire de fin d'étude d'ingénieure en hydraulique (ENSP).
- [26]: J.C, R.J. Primus, 1986 'the effect of anionic polyacrylamide molecular configuration and configuration of flocculation effectiveness', environmental progress 98-103.
- [27] : C. LEFROU.P. HERVIO. 1980. Essais de conditionnement de déshydratation et de gestion des boues de station d'épuration.
- [28]: J.M. Ebleing, K.L. Rishel, P.L. Sibrell. 2005. Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aqua cultural effluents.

[29]: Mounia Derbal.2016. Préparation et caractérisation d'un biofloculant à partir de la poudre de cactus (opuntia ficus indica) application dans le conditionnement des boues de la STEP de Béni-Messous. Mémoire de PFE, département chimie industrielle.

[30]:L. Semerjian. G.M.Ayoub.2003. high –pH-magnesium coagulation-flocculation in wastewater treatment. Adv. Env Res; 7; 389-403.

[31]: Kherifi Wahiba.2009. Etude de cinétique de sédimentations des matières en suspension dans le calcul des décanteurs.

[32]: claud cardob.1999. "Les traitements des eaux". Edition marketing S.

[33]: Jean Pierre Bechac, Pierre Boutin Hercier et Pierre Nuer.1984. « Traitement des eaux usées » V.I. Edition Eyrolles.

[34]: Ahmed A. Fadel and Robert Baumann; 1990« tube Settler modeling » journal of Environmental engineering (New York), vol 116 No 1, pp 107 – 124.

[35]:<https://www.google.dz/search?q=photos+pontage+des+particules&espv>. 20/08/2016.

[36]:Alain Boivin .2004. « Etude expérimental sur le compactage de la boue rouge dans un décanteur semi - industriel », Mémoire présente à l'université du Québec à Chicoutimi.

[37]:Ademe, Dabee.2006. « Séparation mécanique», Agence de l'environnement et de lamakrise de l'énergie, Department Industrie et Agriculture.

[38]: Mottot. Y.2000. coagulants et floculant. Texte de la 279 e conférence de l'université de tous les savoirs. France.

[39] : W.J.Masschelein.1992. Traduit par H.Chevolet. Processus unitaires du traitement de l'eau potable. Brussels, Belgium. New York.692p.

[40]: Springer Berlin, Heidelberg.1987. « Colloid and polymer scierie ».vol256.

[41]:<http://images.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Falgue-production-energie.e-monsite.com%2Fmedias%2Fimages%2Ffloculation>.20/09/2016.

[42]: Hector Ricardo Hernández De León.2006. « Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable», Thèse de doctorat à l'institut nationale des sciences appliquées de Toulouse.

[43]: S. Krishnamurthy. T.Viraraghavan.2005. chemical conditiong for dewatering municipal wastewater sludge. Faculty of engineering. University of Regina. Regina, Saskatchewan, Canada; pp113.121.

[44]: J.P. BECHAC-P. BOUTIN-B.MERCIE-P.NUIER.1984. Traitement des eaux usées, Edition Eyrolles. Paris; 281p.

[45]: A. Ndabigengesere. K.S. Narasiah. 1992. Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds. Wat Res; 32; 781-91.

- [46]: M.Klasnja.M.Antov.B.Skrbic.M.Sc.2009. Removal of water turbidity by naturel coagulants obtained from chestnut and acorn. Bio resource Technology; 100:6639-43
- [47]: J.Zhang.F.Zhang.Y.Luo.H.Yang.2006. A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment process biochemistry; 41: 730-3.
- [48]: C.Wu.Y.Wang, B.Gao.Y.Zhao, Q. Yue. 2012. Coagulation performance and floc characteristics of aluminum sulfate using sodium alginate as coagulant aid for synthetic dying wastewater treatment. Separation purification technologies; 95:180-7.
- [49]: A.K.Verma.R.R. Dash, P.Bhunia. 2012. A review on chemical coagulation/flocculation management; 93:154-68.
- [50]: N.Barka, K.Quzaouit.M.Abdennouri.M.E.Makhlouf.2013. Dried prickly pear cactus *Opuntia Ficus Indica cladodes* as a low-cost and eco-friendly bio sorbent for dyes removal from aqueous solutions. Journal of the Taiwan institute of chemical engineers; 44:52-60.
- [51]: A.Abid.A.Z.A.Ider. 2008. Utilisation d'un nouveau bio-floculant extrait du cactus marocain dans le traitement des rejets chargés de chrome (VI) par le procédé de coagulation floculation. Revue des énergies renouvelables ; 11 :251-1.
- [52]: R. Ayyappan. A.C.Sphia.K.Swaminathan.S.Sandhya.2005. Removal of Pb (II) from aqueous solution using carbon derived from agricultural wastes. Process biochemistry; 40:1293-59.
- [53]: A.Diaz.N.Rincon.A.Escorihuela. N. Fernadez.E. Chacin. CF. Forster.1999. A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela process biochemistry; 35:391-5.
- [54]:R.Ahmed.R.Kumer. 2012. Synthesis and properties of cellulose carbon encapsulated ZnO for dye removal. J Dispers Sci technol.
- [55]: V.K. Gupta.A.Nayak.S.Agarwal. 2015. Bio adsorbents for remediation of heavy metals: current status and their future prospects. Environ Eng. Res; 20:1-18.
- [56]: Schaweizer.M, 'Docteur Nopal le médecin du bon dieu', 1997, france, 81p.
- [57]: Fiker B.1995, résultat d'un essai sur l'alimentation d'un mouton en période de disette fourragère au centre d'oussetta, Tunis, FAP, projet TUN, p176
- [58]: Nefzawi A et Chermitti A, 1991, place et rôle des arbustes fourragères dans les parcours des zones semi-arides de la tunisie, Ed le CHIEAM, p125.
- [59]: Monjauze A et Le Houerou, H.N, 1965. Le role d'opuntia dans l'économie agricole nord-africaine, bultin de l'école nationale supérieur d'agriculture de Tunis 8-9, p 204-211.
- [60]: B.R.Sharma.N.C.Dhuldhoya.U.C.2006. Merchant. Flocculants-an ecofriendly approach. J polym Environ; 14:195-202.

- [61]: J.Sanchez-Martin.J.Beltran-Heridia.C. Solera-Hernandez.2010. Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials.J environ Manage; 91:2051-8.
- [62]: G.Vijayaraghvan. T. Siva Kumar.A.V.Kumar. 2011. Application of plant based coagulants for waste water treatment. Int J Adv Eng Res Stud; 1:88-92.
- [63]: O.Ishurd.F.Zgheel.M.Elghazoun. M. Elmabruk. A.kermagi.J.F. Kennedy.C.J.Knill. 2010. A novel (1-4)- α -D-glucan isolated from the fruits of *Opuntia Ficus Indica* Miller. Carbohydr polym; 82:848-53.
- [64]: J.A.B.Zambrano.G.S.morales.A.A.Ortega.D.M.Rodriguez.c.c.Figueiras.2013. Evaluation of dyes adsorption properties of TiO₂-alginate biohybrid material IOP conference series Mater Sci Eng.; 45.
- [65]: U.Osuna-martinez. J.Reyes-esparza.L.Rodriguez-fragoso.2014. Cactus (*Opuntia ficus indica*): a review on its antioxidants properties and potential pharmacological use in chronic diseases. Nat prod chem res; 2:2-9.
- [66]: B.Mounir.Z.Abdeljalili.A.Aravind. S.P.K. Ashi.R. Gobinath.D.D.Saranya. 2014. Experimental studies on tannery wastewater using cactus powder as an adsorbent. Int J Appl Sci eng Res: 3; 436-46.
- [67]: L.Hdjittofi.M.Prodnomou, I, 2014. Pashalidis. Activated biochar derived from cactus fibres-préparation, characterization and application on Cu (II) removal from aqueous solutions, bioresources technol: 159; 460-4.
- [68]: C.Mahamadi.2012.Water hyacinth as a bio sorbent: a review. African J environ Sci technol; 159:460-45.
- [69]: M.H.Bichi.2013.A review of the applications of moringa oleifera seeds extract in water treatment. Civ environ Res; 3:1-11.
- [70]: T.Pichler.k. Young. N. Alcantar.2012. Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. Water Sci Technol; 12:179-86.
- [71]: F.Bouatay.F.Mhenni.2014.Use of the cactus cladodes mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) as an eco-friendly flocculants; process development and optimization using statistical analysis. Int J environ Res; 8; 1295-308.
- [72]: B.Mounir.Z.Abdeldjalil.A.Abdellah. 2014. Comparison of the efficacy of two bio flocculants in water treatment. Int J Sci Eng Technol; 737; 734-7.
- [73]: N. fedala. H. Lounici, N. Drouiche, N. Mameri, M. Drouiche.2015. Physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Opuntia ficus-indica* cactus. Ecol Eng: 77; 33-6.
- [74]: T.Nharing.M.T.Zivurawa.U.Guyo.2015. Exploring the use of cactus *Opuntia Ficus Indica* in the bio coagulation flocculation of Pb (II) ions from wastewaters. Int J environ Sci technol.

[75]: M.V.Jadhav. Y.S.Mahajan.2014. Assessment of feasibility of naturel coagulants in turbidity removal and modelling of coagulation process. Desalin Waters Treat; 52:5812-12.

[76]: Les stations d'épuration de Baraki et de Beni Messous doubleront leurs capacités dès juillet. Extrait du Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES

[77] : Lassée C. 1985. Analyse des boues, A. F. E. E. ; Tome I ; Tome II ; Edition Offre internationale de l'eau. France.

[78] : accueil/technologie et produits en EMO France/ conditionnement des boues. 18/09/2016.

[79] : Saida HADJ-KOUIDER.2011. Caractérisation et traitement des boues d'épuration de la région d'Alger. Mémoire de magister. Blida.

[80]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Coagulation-floculation>

[81]: A.Srinivasan.T.Viraraghavan.2010. Decolorization of dye wastewaters by bio sorbents: a review Environ Manage; 91:1915-29.

[82]: http://images.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.spc.ac-aix-marseille.fr%2Flabospc%2Fsites%2Fwww.spc%2Flabospc%2Flocal%2Fcache-vignettes%2FL450xH450%2Ffiltration_ss_vide-2-2e632. 21/09/2016.

Liste des annexes :

ANNEXE 01:	Matériel utilisé au laboratoire.....	97
ANNEXE 02 :	mode opératoire pour la préparation des solutions.....	98
ANNEXE 03 :	mode opératoire pour la détermination.....	100
	de la matière sèche (ms).	
ANNEXE04:	calculs de siccité et matières sèches et résultats de filtrabilité.....	101
ANNEXE 05 :	Mode opératoire pour la préparation des solutions et les volumes prélevés.....	102
ANNEXE 06 :	variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les floculants.....	103
ANNEXE 07 :	variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les Biofloculants.....	106
ANNEXE 08 :	la siccité et la RSF de la boue après conditionnement par différents coagulants.....	108
ANNEXE 09 :	influence de la variation du pH sur la variation des caractéristiques de la boue.....	111
ANNEXE 10 :	les taux de filtration de la boue conditionnée avec différents coagulants.....	112
ANNEXE 11 :	Variation du volume recueilli en fonction de la concentration du floculant utilisé.....	116
ANNEXE 12 :	influence de la concentration de différentes poudres préparées de cactus (OFI).....	117

ANNEXE 01: Matériel utilisé au laboratoire



Jar test



étuve



Four



Cellule de filtration

Balance



Turbidimère



Turbidimère HANA



Multi mètre (Conductimètre et pH mètre)

Figure.IV.2 : quelques matériels fournis par le laboratoire de traitement des eaux

ANNEXE 02 : mode opératoire pour la préparation des solutions

Dans ce conditionnement, les coagulation-floculation utilisés représentent 1 à 10% de la siccité de la boue.

Préparation de la solution de chlorure ferrique :

- On pèse 6g de la poudre de FeCl_3 facile à dissoudre dans l'eau d'une couleur Rouille.
- On la dissous dans un Erlen Meyer en ajoutant de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (100 ml).
- On agite avec un agitateur magnétique jusqu'à obtenir une solution homogène.



Figure : préparation de la solution mère de FeCl₃

Détermination du volume prélevé de FeCl₃.

Après avoir calculé la matière sèche qui est de 50g/l, on prépare une solution de 60g/l de FeCl₃ en faisant ces calculs :

$$\begin{array}{l} 5g \longrightarrow 100g \\ 50g \longrightarrow 1000g \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 5g \\ 50g \end{array}} \right\} \longrightarrow 50g/kg$$

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

On a choisi le X= 8%, puis on varie les volumes pipetes pour avoir les autres proportions.

$$\begin{array}{l} 5g \text{ de FeCl}_3 \longrightarrow 100g \text{ de MS} \\ X \text{ de FeCl}_3 \longrightarrow 50 \text{ g de MS} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 5g \\ X \end{array}} \right\} \longrightarrow X = 4g \text{ de FeCl}_3$$

Sachant que notre solution mère de FeCl₃ est de 60 g/l, pour connaître le volume en ml, on applique la méthode suivante :

$$\begin{array}{l} 4g \text{ FeCl}_3 \longrightarrow Y \text{ ml} \\ 60g \text{ FeCl}_3 \longrightarrow 1000 \text{ ml de solution} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 4g \\ 60g \end{array}} \right\} \longrightarrow y = 66,67 \text{ ml}$$

Comme on a travaillé avec un volume de 500 ml de boue donc on faudra ajouter Z=33.33ml de FeCl₃ en solution.

$$\begin{array}{l} 66,66 \text{ ml} \longrightarrow 1000 \text{ ml} \\ Z \text{ ml} \longrightarrow 500 \text{ ml} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 66,66 \\ Z \end{array}} \right\} \longrightarrow Z = 33,33 \text{ ml}$$

ANNEXE 03 : mode opératoire pour la détermination de la matière sèche (ms).

Matériel utilisé (matériel disponible au laboratoire):

- 1 coupelle en verre ;
- 1 dessiccateur ;
- 1 balance ;
- 1 étuve.

Mode opératoire :

- Prendre dans le dessiccateur la coupelle (préalablement lavée et séchée à l'étuve) ;
- Peser la coupelle, soit M0 sa masse ;
- Introduire dans la coupelle un échantillon de boues (100 ml) mesuré à l'éprouvette graduée ;
- Peser la coupelle pleine, soit M1 sa masse ;
- Après les 24h, sortir la coupelle de l'étuve et la refroidir dans le dessiccateur
- Peser la coupelle, soit M2 sa masse.



Figure 1 annexe 02 : dessiccateur

Exploitation des résultats :

Soit V le volume de l'échantillon en ml

$MS = (M2 - M0 / M1 - M0) \times 100$ en % c'est la valeur de la siccité de la boue.

$MS = (M2 - M0 / V) \times 1000$ en g/l.

ANNEXE04: calculs de siccité et matières sèches et résultats de filtrabilité.

Détermination de MS de la boue brute (boue liquide) fait 12/06/2016 :

Concentration (g/l)	50
Concentration (%)	4.15

Détermination de la siccité du gâteau après filtration :

M1 (g)	21.4
M2 (g)	3.7
S (%)	17.28

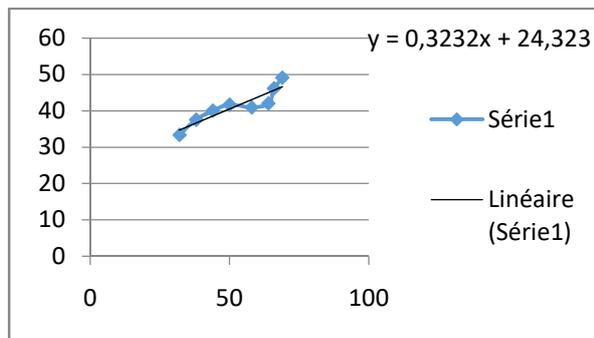
Filtration :

Pression (bar)	0.5	Diamètre=9 cm
Surface de filtration (cm ²)	63.58	
Volume de boue à filtrer (ml)	100	

Remarque : les points retenus

pour le graphique ne prennent pas en compte le début et la fin de filtration pour ne pas fausser les résultats.

t temps (min)	volume (ml)	IX / (vx-V0)
0	14	0
60	18	15
120	22	15
240	24	24
360	26	30
480	30	30
600	32	33,33
720	38	37,5
900	44	40
1200	50	41,66
1500	58	40,9
1800	64	42
2100	66	46,15
2400	69	49,09
3000	71	52,63
3600	73	55,93
4200	74	60
4800	75	63,93
5400	75	68,85



Calcul de la résistance spécifique à la filtration :

$$r_{0,5} = (2AS^2) / (\mu.W)$$

a : pente de la droite obtenue lors de l'essai en $s.m^{-6} = 0.32 \times 10^{12}$

P : pression de filtration en pascal = 49000

S : surface filtrante en $m^2 = 0.006358$

μ : viscosité dynamique du filtrat en Pa.s = 0.0011

W : concentration des boues (MS) à l'entrée de l'appareil en $kg.m^{-3} = 50$

$$r_{0.5} = 23 \times 10^{12} m.kg^{-1}.$$

ANNEXE 05 : Mode opératoire pour la préparation des solutions et les volumes prélevés.

	Concentration (g/l) MS	Volume (ml)
Poudre séchée au soleil	0.5	1.9
	1	3.87
	1.5	5.81
Poudre séchée à 100C°	2	7.75
	3	11.63
Poudre lyophilisée	4	15.51
	5	19.39

Tableau 1 Annexe 04 : les volumes prélevés des solutions des poudres de cactus en fonction de la concentration choisi.

ANNEXE 06 : variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les flocculants.

Tableau 1 annexe 05 : variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les flocculants.

	concentration (%) MS	pH (surnageant)		Turbidité (NTU)	MVS (g/l)	MES (g/l)	T	Conductivité Ms/cm	TDS (g/l)
Valeurs de la boue brute (avant conditionnement)	0	7.66		159	29.47	53.28	20	2.16	1.38
Les coagulants utilisés	Résultats après conditionnement avec différents coagulants								
FeCl ₃	1%	7.56		28.81	26.4	49.33	19.2	5.77	3.7
	3%	7.66		32.23	24.54	44.8	19.8	6.55	4.19
	5%	6.39		19.89	27.28	43.20	20.2	9.44	6.05
	6%	6.11		8.14	26.19	42.85	21	9.05	5.78
	7%	6.06		3.88	28.94	43.52	19	10.26	6.58
	8%	6.01		1.08	28.2	39.43	22.2	10.44	6.65
	9%	5.94		1.79	23.15	34.21	22.6	10.9	6.89
	10%	5.77		1.62	16.87	27.08	21.8	11.55	7.28
Al ₂ SO ₄	4%	7.29		42.67	19.26	51.19	19.7	4.6	2.94
	5%	7.02		33.76	13.52	50	18	3.55	2.2
	6%	6.84		28.55	7.15	38.09	20.2	4.32	2.76
	7%	6.96		15.9	13.62	36.81	21.9	4.44	2.83
10% FeCl ₃	0.5	8	10	30.56	45.28		24.7	10.25	6.54
	1	8	15	27.84	42.61		25.3	6.8	7.19
	1.5	8	5	27.66	41.11		24.1	10.53	6.74

+ poudre naturelle de cactus (OFI)	2	8	4	28.8	40.76	25.6	10.5	6.71
	2.5	8	6	31.73	37.44	24	11.24	4.35
	3	8	4	28.5	34.94	23.6	6.3	4.03
8% FeCl3 + poudre naturelle de cactus (OFI)	0.5	8	6	33.88	40	24.1	5.81	3.7
	1	8	7.2	28.11	35	24.4	5.2	3.33
	1.5	8	10	30.96	37.63	24.4	5.03	3.21
	2	8	7.5	26.8	34.57	24.6	4.9	3.13
	2.5	8	9	24.3	32.04	25.2	5.12	3.28
	3	8	3.7	29.23	47.91	25.1	4.85	3.09
5% FeCl3 + poudre naturelle de cactus (OFI)	0.5	8	20	33.68	49.47	24.9	8.13	5.21
	1	8	7	29.87	45.48	26.5	8.12	5.2
	1.5	8	9	28.69	41.54	27	7.61	4.87
	2	8	10	34.12	49.75	27	8.83	5.65
	2.5	8	12	33.65	47.56	27.4	7.42	4.74
	3	8	30	27.44	43.26	24.1	8.08	5.17
7% Al2SO4 + poudre naturelle de cactus (OFI)	0.5	6	15	26.48	34.04	25.1	3.72	25.1
	1	6	10	28.72	35.10	25	3.78	25
	1.5	6	9	26.73	34.23	25.5	3.77	25.5
	2	6	7	27.65	35.10	25.2	3.66	25.2
	2.5	6	8	31.29	37.63	25.7	3.74	25.7
	3	6	5	26.95	33.69	25.6	3.75	25.6
6% Al2SO4 + poudre naturelle de cactus (OFI)	0.5	6	5.5	22.44	30.21	23.4	3.93	23.4
	1	6	8	22	29.47	24.3	3.75	24.3
	1.5	6	9	25.43	33.69	25.2	3.78	25.2
	2	6	8	23.29	31.38	25.1	3.8	25.1
	2.5	6	7.5	22.94	31.05	25	3.8	25
	3	6	9	26.55	33.87	25	3.8	25
4% Al2SO4 + poudre naturelle	0.5	6	15	28.77	38.88	24.9	3.71	24.9
	1	6	9	30.66	37.55	25.4	3.77	25.4

de cactus (OFI)	1.5	6	9	29.88	38.33	24.7	3.82	24.7
	2	6	11	35.22	42.77	25	3.67	25
	2.5	6	12	43.37	51.13	25.6	3.71	25.6
	3	6	10	31.02	44.44	25.6	3.66	25.6

ANNEXE 07 : variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les Biofloculants.

Tableau 1 annexe 06 : variation des caractéristiques des boues avant et après conditionnement avec les biofloculants.

Les biofloculants utilisés	Concentration		Conductivité	TDS	MVS
	(g/l)	pH			
Poudre Séchée au soleil	0.5	8.08	2.22	1.43	16.7
	1	7.6	2.26	1.45	18.3
	1.5	7.66	2.22	1.42	20
	2	7.6	2.3	1.40	21.3
	3	7.59	2.22	1.42	16.9
	4	7.6	2.18	1.38	20.4
	5	7.64	2.16	1.37	22.6
Poudre séchée à 100C°	0.5	7.74	2.78	1.77	21
	1	7.91	2.73	1.74	18.9
	1.5	7.32	2.72	1.73	19.6
	2	7.83	2.68	1.71	16.5
	3	7.8	2.66	1.71	20.8
	4	7.89	2.71	1.75	20
	5	7.82	2.69	1.73	21.8
Poudre Séchée à 60C°	0.5	7.83	2.80	1.78	18.8
	1	7.83	2.68	1.71	18.2
	1.5	7.7	2.7	1.72	19
	2	7.8	2.8	1.78	19.2
	3	7.82	2.78	1.72	18.3
	4	7.76	2.76	1.73	18.6

	5	7.8	2.8	1.77	18
--	---	-----	-----	------	----

ANNEXE 08 : la siccité et la RSF de la boue après conditionnement par différents coagulants

Tableau1 annexe 07 : la siccité et la RSF de la boue après conditionnement par différents coagulants

Coagulants utilisés	Concentration (%) MS	S (%) du gâteau	RSF. 10^{12} (m/kg)
Boue brute	0	14.34	30
FeCl ₃	1	17.28	23
	3	18.06	21.6
	5	20.11	16.5
	6	21.42	14.4
	7	22.56	10.8
	8	23.24	9.36
	9	24.42	7.2
	10	25.24	1.4
Al ₂ SO ₄	4	22.32	18
	5	23.42	13
	6	24.06	12
	7	24.1	7.2
Poudre naturelle de cactus (séchée au soleil)	0.5	19.62	28
	1	20.86	29
	1.5	21.03	26.6
	2	25.22	39.2
	3	18.77	23
	4	17.46	30.2
	5	17.24	51.1
Poudre de cactus séchée à 60C°	0.5	14.59	49
	1	19.96	38
	1.5	20.96	35
	3	18.17	29
	4	17.91	64

	5	19.37	43
Poudre de cactus séchée à 100C°	0.5	15.1	98.6
	1	16.86	80
	1.5	18.7	61.5
	2	15.46	68.4
	3	15.22	73.8
	4	15.3	67.2
	5	15.31	60.02
10% FeCl ₃ + Poudre naturelle de cactus	0.5	25.06	6.11
	1	25.52	5.67
	1.5	26.5	6.38
	2	27.37	0.92
	2.5	27.07	0.96
	3	25.87	3.42
8% FeCl ₃ + Poudre naturelle de cactus	0.5	23.73	10
	1	24.04	10.8
	1.5	24.64	25
	2	25.25	6.48
	2.5	25.35	5.7
	3	25.74	5.04
5% FeCl ₃ + Poudre naturelle de cactus	0.5	20.88	14.62
	1	20.5	17.32
	1.5	23.37	9.36
	2	22.92	12.43
	2.5	20.22	19.58
	3	21.14	16.4
7% Al ₂ SO ₄ + Poudre naturelle de cactus	0.5	23.88	14.11
	1	24.08	12.1

	1.5	24.23	7.34
	2	25	1.81
	2.5	25.17	1.51
	3	25.04	1.78
6% Al ₂ SO ₄ + Poudre naturelle de cactus	0.5	23.64	12.62
	1	24.15	6.78
	1.5	24.03	11.89
	2	23.92	12.4
	2.5	24.16	7.1
	3	24.38	6.81
4% Al ₂ SO ₄ + Poudre naturelle de cactus	0.5	22.25	14
	1	21.87	18
	1.5	22.11	17.2
	2	22.64	9
	2.5	23.18	6.4
	3	23.04	7.2

ANNEXE 09 : influence de la variation du pH sur la variation des caractéristiques de la boue

Tableau 1 annexe 08 : influence de la variation du pH sur la variation des caractéristiques de la boue

concentration (%)	pH	S % du gâtea u	RSF m/kg.10 ¹²	Turbidité (NTU)	Conductivité (ms/cm)	T de filtration %	MES (g/l)	MVS (g/l)	TDS (g/l)
10% MS FeCl3	12	6.2	5.2	32.24	35	36	139.44	104.44	22.5
	11	7.11	4.18	40.9	12.4	40	92.5	54.5	19.1
	9.5	24.8	6.32	18	10.7	86	42.67	21.05	6.85
	8	26.51	3.35	8.5	8.4	95	39.68	17.2	5.38
	6.5	21.32	9.3	20	9.03	72	47.63	24.86	5.78
	5	20.1	15	20	18.94	68	57.35	38.08	12.12
	2	16.66	33.8	25	40.1	30	83.33	18	25.7
9% MS FeCl3	12	5.07	48	25	33.4	33	100	12.72	21.4
	11	5.68	28	45	9.34	37	90.78	15.78	5.98
	9.5	23.09	9.3	15	11.4	84	47.02	19.04	7.29
	8	26.18	7.2	10	11.23	93	45.05	25.48	7.19
	6.5	22.09	49	40	7.28	73	39.04	17.21	4.66
	5	21.02	72	50	15.44	64	53.12	15	9.79
	2	14.73	61.2	65	53.4	52	35.19	11.92	34.3
7% MS Al2SO4	12	9.19	8.6	25	6.7	42	145.47	105.47	4.16
	9.5	18	9.04	18	6.05	82	41.46	11.82	3.86
	8	19.09	6.18	15	5.49	82	42.31	22.07	3.51
	6.5	25.46	5.13	10	4.8	89	38.94	20.94	3.05
	5	22.2	5.85	12	7.11	56	58.92	38.57	4.55

	2	13.06	68.4	20	25	32	68.75	40.93	16.2
--	---	-------	------	----	----	----	-------	-------	------

ANNEXE 10 : les taux de filtration de la boue conditionnée avec différents coagulants.

Tableau 1 annexe 09 : taux de filtration de la boue conditionnée par le chlorure ferrique

Coagulant utilisé	Concentration du coagulant (g/kg)	pH de la boue brute	V ₀ (ml)	V _x (ml)	$T_x = \frac{v_x}{v_0} \times 100$ (%)
FeCl ₃	0	5.77	100	76	76
	10			75	75
	30			77	77
	50	-		81	81
	60	6.56		84	84
	70			85	85
	80			89	89
	90			95	95
	100			96	96

V₀ : le volume à filtrer (ml)

V_x : le volume recueilli (ml)

Tableau 2 annexe 09 : taux de filtration de la boue conditionnée par le sulfate d'aluminium

Coagulant utilisé	Concentration du coagulant (g/kg)	pH de la boue brute	V ₀ (ml)	V _x (ml)	$T_x = \frac{v_x}{v_0} \times 100$ (%)
Al ₂ SO ₄	40	6.84	100	84	82
	50			82	84
		7.29		89	89

	60				
	70			91	91

Tableau 3 annexe 09 : taux de la filtration de la boue conditionnée par la poudre de cactus.

Coagulant utilisé	Concentration du coagulant (g/kg)	pH de la boue brute	V ₀ (ml)	V _x (ml)	$T_x = \frac{v_x}{v_0} \times 100$ (%)
Poudre naturelle de cactus	0.5			74	74
	1			86	86
	1.5	7.59	100	86	86
	2	-		94	94
	3	8.08		88	88
	4			74	74
	5			78	78
Poudre séchée à 60C°	0.5			74	74
	1	7.44		80	80
	1.5	-	100	76	76
	3	7.81		80	80
	4			82	82
	5			76	76
Poudre séchée à 100C°	0.5			77	77
	1			71	71
	1.5	7.74		78	78
	2	-	100	76	76
	3	7.91		74	74
	4			66	66
	5			57	57

Tableau 4 annexe 09 : taux de la filtration de la boue conditionnée par le double dosage (Fe/ Poudre naturelle de cactus).

Coagulant utilisé	Concentration du coagulant (g/kg)	pH de la boue brute	V ₀ (ml)	V _x (ml)	$T_x = \frac{v_x}{v_0} \times 100$ (%)
10% FeCl ₃ +poudre De cactus	0.5	8	100	87	87
	1			88	88
	1.5			90	90
	2			95	95
	2.5			94	94
	3			94	94
8% FeCl ₃ +poudre De cactus	0.5	8	100	90	90
	1			90	90
	1.5			93	93
	2			94	94
	2.5			93	93
	3			92	92
5% FeCl ₃ +poudre De cactus	0.5	8	100	76	76
	1			82	82
	1.5			84	84
	2			80	80
	2.5			82	82
	3			92	92

Tableau 5 annexe 09 : taux de la filtration de la boue conditionnée par le double dosage (Al/ Poudre naturelle de cactus).

Coagulant utilisé	Concentration du coagulant (g/kg)	pH de la boue brute	V ₀ (ml)	V _x (ml)	$T_x = \frac{v_x}{v_0} \times 100$ (%)
7% Al ₂ (SO ₄) + PoudreDe cactus	0.5	6	100	94	94
	1			94	94
	1.5			92	92
	2			94	94
	2.5			93	93
	3			92	92
6% Al ₂ (SO ₄) + PoudreDe cactus	0.5	6	100	94	94
	1			95	95
	1.5			92	92
	2			94	94
	2.5			95	95
	3			93	93
4% Al ₂ (SO ₄) + PoudreDe cactus	0.5	6	100	88	88
	1			90	90
	1.5			90	90
	2			90	90
	2.5			90	90
	3			90	90

ANNEXE 11 : Variation du volume recueilli en fonction de la concentration du flocculant utilisé.

Tableau 1 annexe 11 : influence de la concentration de FeCl₃, 6 H₂O sur le volume filtré.

Temps (min)	V de boue brute (ml)	1% Fecl3)	3% Fecl3	5% Fecl3	6% Fecl3	7% Fecl3	8% Fecl3	9% Fecl3	10% Fecl3
0	10	14	18	19	20	22	20	23	20
1	12	18	28	30	34	38	44	50	92
2	16	22	36	46	48	50	58	68	96
3	20	24	40	58	60	62	70	74	96
4	22	26	46	69	68	70	72	78	96
5	24	30	50	70	72	76	78	79	96
6	26	32	56	72	74	79	80	80	96
7	27	38	64	79	81	82	82	86	96
8	28	44	68	80	82	83	83	88	96
9	30	50	72	80	83	84	84	92	96
10	31	58	72	80	83	85	86	94	96
12	32	64	74	81	84	85	87	94	96
15	36	66	74	81	84	85	88	95	96
20	40	69	76	81	84	85	89	95	96
25	44	71	76	81	84	85	89	95	96
30	48	73	76	81	84	85	89	95	96
35	50	74	77	81	84	85	89	95	96
40	56	74	77	81	84	85	89	95	96
45	58	74	77	81	84	85	89	95	96
50	60	74	77	81	84	85	89	95	96
55	62	75	77	81	84	85	89	95	96
60	64	75	77	81	84	85	89	95	96
65	66	75	77	81	84	85	89	95	96
70	68	75	77	81	84	85	89	95	96
75	70	75	77	81	84	85	89	95	96
80	72	75	77	81	84	85	89	95	96
85	74	75	77	81	84	85	89	95	96

90	76	75	77	81	84	85	89	95	96
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tableau 2 annexe 11 : influence de la concentration de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$

Temps (min)	Also4 4%	Also4 5%	Also4 6%	Also4 7%
0	16	16	18	20
1	22	24	28	30
2	30	32	34	38
4	38	44	48	42
6	42	50	52	58
8	48	58	54	60
10	52	62	60	68
15	60	72	69	76
20	68	74	76	82
25	71	78	80	88
30	74	80	82	90
35	78	81	86	91
40	81	82	88	91
45	81	82	88	91
50	81	83	88	91
55	82	83	88	91
60	82	84	89	91
65	82	84	89	91
70	82	84	89	91
75	82	84	89	91
80	82	84	89	91

ANNEXE 11 Tableau 3 annexe 11 : influence de la variation du pH sur le volume filtré (10%. FeCl3).

temps	ph=12	ph=11	ph=9,5	ph=8	ph=6,5	ph=5	ph=2
0	2	4	18	18	20	14	8
1	6	10	32	38	30	28	10
2	10	12	40	53	52	34	12
3	14	14	44	58	56	36	14
4	16	16	49	64	60	38	14
5	18	20	52	70	62	40	15
6	20	23	62	74	64	48	16
8	24	28	70	78	68	52	17
10	28	34	74	80	70	56	17
12	32	36	78	84	70	60	18
15	34	37	82	88	72	64	20
20	36	38	84	90	72	66	21
25	36	38	85	92	72	67	23
30	36	38	86	95	72	67	24
35	36	38	86	95	72	67	24
40	36	38	86	95	72	67	26
45	36	38	86	95	72	86	27
50	36	38	86	95	72	86	28
55	36	38	86	95	72	86	28
60	36	38	86	95	72	68	30

Tableau 4 annexe 11 : influence de la variation du pH sur le volume filtré (9%. FeCl3).

Temps (min)	ph=12	ph=11	ph=9,5	ph=8	ph=6,5	ph=5	ph=2
0	2	6	16	18	20	18	18
1	4	10	34	36	32	24	26
2	6	12	44	50	50	30	32
3	8	14	56	56	56	32	40
4	10	16	60	62	58	34	42
5	12	18	64	68	62	36	44
6	14	20	68	70	66	38	46
8	16	24	72	72	68	40	46
10	18	26	74	78	69	42	47
12	22	28	76	80	70	46	48
15	24	30	78	84	70	48	49
20	28	34	82	88	72	52	50
25	30	36	82	90	72	58	50
30	30	36	84	92	73	62	52
35	32	37	84	93	73	64	52
40	32	37	84	93	73	64	52
45	33	37	84	93	73	64	52

50	33	37	84	93	73	64	52
55	33	37	84	93	73	64	52
60	33	37	84	93	73	64	52

ANNEXE (11)

Tableau 5 annexe 11 : influence de la variation du pH sur le volume filtré (7%.Al₂ SO₄).

temps	ph=12	ph=9,5	ph=8	ph=6,5	ph=5	ph=2
0	6	10	18	40	20	8
1	12	22	40	54	36	12
2	16	30	50	70	42	16
3	20	38	58	78	48	18
4	22	44	68	80	50	20
5	26	58	74	82	52	22
6	30	66	80	82	54	24
8	30	70	81	84	54	26
10	34	76	82	84	54	27
12	34	80	82	86	54	28
15	36	82	82	86	55	32
20	40	82	82	87	56	32
25	42	82	82	88	56	32
30	42	82	82	89	56	32
35	42	82	82	89	56	32
40	42	82	82	89	56	32
45	42	82	82	89	56	32
50	42	82	82	89	56	32
55	42	82	82	89	56	32
60	42	82	82	89	56	32

ANEXXE (11)

Tableau 6 annexe 11 : influence du double dosage (sel de fer+ la poudre naturelle de cactus sur le volume du filtrat)

- 10% FeCl₃ + poudre naturelle de cactus en g/kg MS

Temps (min)	cactus0.5 g/kg	cactus 1g/kg	cactus 1,5g/kg	cactus 2g/kg	cactus 2,5g/kg	cactus 3g/kg
0	20	18	24	33	22	24
1	54	50	60	62	54	70
2	68	62	72	72	70	82
3	74	70	80	80	78	86
4	80	74	82	86	82	88
5	82	80	84	88	86	90
6	84	82	86	89	88	92

8	86	84	87	92	89	92
10	86	86	88	92	92	94
12	86	86	90	94	92	94
15	86	88	90	94	92	94
20	87	88	90	94	94	95
25	87	88	90	95	94	95
30	87	88	90	95	94	95
35	87	88	90	95	94	95
40	87	88	90	95	94	95
45	87	88	90	95	94	95
50	87	88	90	95	94	95
55	87	88	90	95	94	95
60	87	88	90	95	94	94

Tableau 7 annexe 11

- 8% Fecl3 + poudre naturelle de cactus en g/kg MS

Temps (min)	cactus 0,5	cactus 1	cactus 1,5	cactus 2	cactus 2,5	cactus 3
0	22	20	24	22	24	20
1	50	52	76	56	56	56
2	68	66	80	70	70	66
3	74	74	84	80	80	74
4	80	80	86	84	82	78
5	84	84	90	90	88	84
6	86	86	92	92	89	86
8	88	88	93	92	90	88
10	90	90	93	94	92	90
12	90	90	93	94	93	90
15	90	90	93	94	93	92
20	90	90	93	94	93	92
25	90	90	93	94	93	92
30	90	90	93	94	93	92
35	90	90	93	94	93	92
40	90	90	93	94	93	92
45	90	90	93	94	93	92

50	90	90	93	94	93	92
55	90	90	93	94	93	92
60	90	90	93	94	93	92

Tableau 8 annexe 11

- 5% FeCl₃ + poudre naturelle de cactus en g/kg MS

Temps (min)	cactus0.5 g/kg	cactus1 g/kg	cactus1.5 g/kg	cactus2 g/kg	cactus2.5 g/kg	cactus3 g/kg
0	18	18	16	16	18	20
1	36	40	38	30	32	48
2	48	50	50	40	42	60
3	54	60	60	50	50	78
4	60	66	64	54	56	80
5	62	70	68	60	62	82
6	64	72	72	62	64	86
8	68	76	74	68	70	88
10	70	78	78	72	74	90
12	72	80	80	74	78	92
15	74	82	81	76	80	92
20	76	82	83	78	82	92
25	76	82	84	80	82	92
30	76	82	84	80	82	92
35	76	82	84	80	82	92
40	76	82	84	80	82	92
45	76	82	84	80	82	92
50	76	82	84	80	82	92
55	76	82	84	80	82	92
60	76	82	84	80	82	92

Tableau 9 annexe 11

Tableau 10 annexe 11 : influence du double dosage (sel de d'alum+ la poudre naturelle de cactus sur le volume du filtrat)

- 7% Al₂ (SO₄)₃ + poudre naturelle de cactus en g/kg MS

Temps (min)	cactus 0,5 g/kg	cactus1 g/kg	cactus1.5 g/kg	cactus 2 g/kg	cactus 2,5 g/kg	cactus 3 g/kg
0	22	20	24	20	22	20
1	56	50	52	48	50	52
2	70	64	64	60	62	66
3	78	74	70	72	70	74

4	82	80	76	78	78	80
5	88	88	80	82	82	82
6	90	90	84	88	84	84
8	91	92	86	90	88	86
10	92	93	88	92	90	88
12	94	94	90	94	92	90
15	94	94	90	94	93	92
20	94	94	92	94	93	92
25	94	94	92	94	93	92
30	94	94	92	94	93	92
35	94	94	92	94	93	92
40	94	94	92	94	93	92
45	94	94	92	94	93	92
50	94	94	92	94	93	92
55	94	94	92	94	93	92
60	94	94	92	94	93	92

Tableau 11 annexe 11 : influence du double dosage (sel de d'alum+ la poudre naturelle de cactus sur le volume du filtrat)

- 6% Al₂ (SO₄)₃ + poudre naturelle de cactus en g/kg MS

temps	cactus0.5 g/kg	cactus1 g/kg	cactus1.5 g/kg	cactus2 g/kg	cactus2.5 g/kg	cactus3 g/kg
0	20	20	20	20	20	22
1	52	52	48	54	50	48
2	68	60	58	64	62	58
3	76	70	68	72	70	68
4	84	76	76	80	78	76
5	78	86	82	86	86	84
6	92	90	86	90	90	88
8	94	92	88	92	92	90
10	94	94	90	92	94	92
12	94	95	92	94	95	93
15	94	95	92	94	95	93
20	94	95	92	94	95	93
25	94	95	92	94	95	93

30	94	95	92	94	95	93
35	94	95	92	94	95	93
40	94	95	92	94	95	93
45	94	95	92	94	95	93
50	94	95	92	94	95	93
55	94	95	92	94	95	93
60	94	95	92	94	95	93

Tableau 12 annexe 11 : influence du double dosage (sel de d'alum+ la poudre naturelle de cactus sur le volume du filtrat)

- 4% Al₂ (SO₄)₃ + poudre naturelle de cactus en g/kg MS

Temps (min)	cactus1 g/kg	cactus0.5 g/kg	cactus1.5 g/kg	cactus2 g/kg	cactus2.5 g/kg	cactus3 g/kg
0	18	18	20	20	20	18
1	40	34	40	40	32	34
2	52	48	52	50	42	42
3	58	56	60	60	50	50
4	66	66	70	66	58	60
5	78	74	74	72	62	64
6	86	80	78	78	68	68
8	88	84	82	82	76	72
10	88	88	86	86	80	78
12	88	89	88	88	84	80
15	88	90	90	90	86	84
20	88	90	90	90	86	86
25	88	90	90	90	88	88
30	88	90	90	90	88	90
35	88	90	90	90	90	90
40	88	90	90	90	90	90
45	88	90	90	90	90	90
50	88	90	90	90	90	90
55	88	90	90	90	90	90
60	88	90	90	90	90	90

ANNEXE 12 : influence de la concentration de différentes poudres préparées de cactus (OFI)

Tableau 1 annexe 12 : variation du volume filtré en fonction de la concentration du biofloculant utilisé.

- Poudre de cactus séchée au soleil :

t (min)	V ml (0,5 g/kg)	V ml (1g/kg)	V ml (1,5 g/kg)	V ml (2 g/kg)	V ml (3 g/kg)	V ml (4 g/kg)	V ml (5 g/kg)
0	6	6	6	10	10	8	5
1	18	18	19	22	23	16	10
2	23	24	24	28	28	20	10
3	27	28	28	32	33	22	14
4	32	34	30	34	36	26	17
5	34	37	34	38	39	28	19
6	37	40	36	40	43	30	20
7	40	42	28	42	45	32	22
8	42	45	41	44	48	34	23
9	45	47	43	46	50	36	24
10	47	48	45	48	53	38	26
12	50	52	50	53	56	41	28
14	53	55	52	58	60	44	30
16	56	58	55	62	63	46	32
18	59	60	58	66	66	50	34
20	60	63	60	71	69	54	36
25	67	69	64	75	76	58	42
30	70	74	69	79	80	60	46
35	73	78	71	80	83	64	50
40	74	80	75	82	85	66	53
45	74	83	78	84	87	70	56
50	74	84	82	88	88	71	60
55	74	85	84	89	88	72	62
60	74	86	86	90	88	72	66
65	74	86	86	94	88	74	70
70	74	86	86	94	88	74	71
75	74	86	86	94	88	74	73

80	74	86	86	94	88	74	78
----	----	----	----	----	----	----	----

ANNEXE (12)

Tableau 2 annexe 12 : variation du volume filtré en fonction de la concentration du biofloculant utilisé.

- Poudre de cactus séchée à 60C° :

Temps (min)	V (0,5 g/kg) ml	V (1 g/kg) ml	V (1,5 g/kg) ml	V (3 g/kg) ml	V (4g/kg) ml	V (5 g/kg) ml
0	10	10	22	10	20	10
1	15	16	24	24	26	18
2	18	22	26	28	30	24
3	21	26	30	30	33	28
4	24	29	33	34	36	31
5	26	32	34	38	38	34
6	28	36	36	40	42	36
7	30	37	39	42	44	38
8	31	40	40	45	46	40
9	33	41	42	46	48	42
10	35	43	44	48	50	44
12	37	45	46	52	53	48
14	39	48	49	55	56	50
16	41	52	52	57	57	52
18	44	55	54	60	59	54
20	46	57	56	62	61	56
25	50	62	60	66	68	62
30	54	66	63	70	72	65
35	59	70	65	73	75	68
40	60	73	68	75	77	70
45	64	74	69	76	78	72
50	66	75	71	78	81	72
55	68	76	72	79	81	74
60	70	76	74	80	82	76
65	72	80	76	80	82	76
70	74	80	76	80	82	76
75	74	80	76	80	82	76

80	74	80	76	80	82	76
----	----	----	----	----	----	----

ANNEXE (12)

Tableau 3 annexe 12 : variation du volume filtré en fonction de la concentration du biofloculant utilisé.

- Poudre de cactus séchée à 100C° :

t (min)	V ml (0,5 g/kg)	V ml (1 g/kg)	V ml (1,5 g/kg)	V ml (2 g/kg)	V ml (3 g/kg)	V ml (4 g/kg)	V ml (5 g/kg)
0	4	4	4	4	5	4	4
1	8	6	10	10	10	9	9
2	14	10	16	15	15	14	12
3	16		18	19	20	18	13
4	18	16	21	20	21	19	15
5	20	18	23	23	23	21	17
6	21	19	24	24	24	23	19
7	22	20	26	26	25	25	21
8	24	22	28	27	27	28	23
9	25	23	29	29	29	30	25
10	26	24	30	30	30	31	27
12	28	27	33	33	32	33	31
14	30	29	36	35	35	34	33
16	32	31	38	37	37	36	35
18	33	33	40	39	39	38	37
20	35	35	44	41	42	41	39
25	40	40	47	46	45	43	42
30	44	44	51	50	49	45	45
35	51	49	55	53	52	48	47
40	56	52	59	57	56	51	49
45	59	55	62	59	58	53	51
50	62	57	67	62	61	55	53
55	65	60	69	64	63	58	54
60	67	62	71	67	66	59	55
65	69	65	73	69	68	61	57
70	71	67	75	71	70	63	57
75	75	70	77	74	72	65	57
80	77	71	78	76	74	66	57

ANNEXE 13 : les calculs de la masse humide et la masse sèche :

Coagulant utilisé	Concentration (g/kg)	Masse humide sans papier filtre (g)	Masse sèche sans papier filtre (g)
Boue brute	0	28.24	4.05
FeCl ₃	10	21.4	3.7
	30	19.1	3.45
	50	17.4	3.5
	60	16.8	3.6
	70	16.4	3.7
	80	15.2	3.51
	90	13.22	3.25
Al ₂ (SO ₄)	100	10.3	2.6
	40	19.7	4.4
	50	17.5	4.1
	60	13.3	3.2
	70	13.9	3.35

	0.5	15.72	3.94
100g/kg Fecl ₃ + poudre de cactus pH=8	1	14.69	3.75
	1.5	13.96	3.7
	2	13.7	3.75
	2.5	13	3.52
	3	12.83	3.32

80g/kg Fecl3+poudre de cactus pH=8	0.5	15.7	3.6
	1	13.1	3.15
	1.5	14.2	3.5
	2	12.87	3.25
	2.5	13.41	2.98
	3	13.45	3.45
50 g/kg Fecl3+ poudre de cactus pH=8	0.5	18	3.76
	1	18.23	3.73
	1.5	14.93	3.49
	2	17.36	3.98
	2.5	19.28	3.9
3	18.82	3.98	
70g/kg Fecl3+ poudre de cactus pH=6	0.5	13.4	3.2
	1	13.7	3.3
	1.5	13	3.15
	2	13.20	3.3
	2.5	13.9	3.5
	3	12.38	3.1
60g/kg Fecl3+ poudre de cactus pH=6	0.5	12.01	2.84
	1	11.59	2.8
	1.5	12.9	3.1
	2	12.33	2.95
	2.5	12.21	2.95
	3	12.92	3.15

40g/kg FeCl ₃ + poudre de cactus	0.5	15.73	3.5
	1	15.45	3.38
	1.5	15.6	3.45
	2	17	3.85
pH=6	2.5	19.41	4.5
	3	17.36	4



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE Saad DAHLAB - BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière: Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'Eau

Thème:

**Utilisation d'un biofloculant (extrait du cactus) dans le conditionnement chimique des boues
d'une station d'épuration des eaux usées urbaines : cas de la station d'épuration
de Béni-Messous (W. Alger)**

Présenté par:
F. Khadîdja

Encadrée par:
Mme. A.

Promotion 2015/2016

A decorative border with intricate black floral and scrollwork patterns surrounds the text.

Plan de travail

Introduction générale

Chapitre I: Épuration des eaux usées urbaines;

Chapitre II: conditionnement et déshydratation;

Chapitre III: Généralité sur le cactus (Opuntia Ficus Indica);

Chapitre IV: Matériel et méthode;

Chapitre VI: Résultats et discussions

Conclusion générale

Introduction générale



ce travail, une vaste étude a été réalisée sur le conditionnement chimique de la boue issue de l'épuration des eaux usées de Béni-Messous. En appliquant d'une part **des coagulants minéraux**. D'autre part, en utilisant un bio flocculant **poudre de cactus algérien** seule ou combinée avec les sels métalliques.

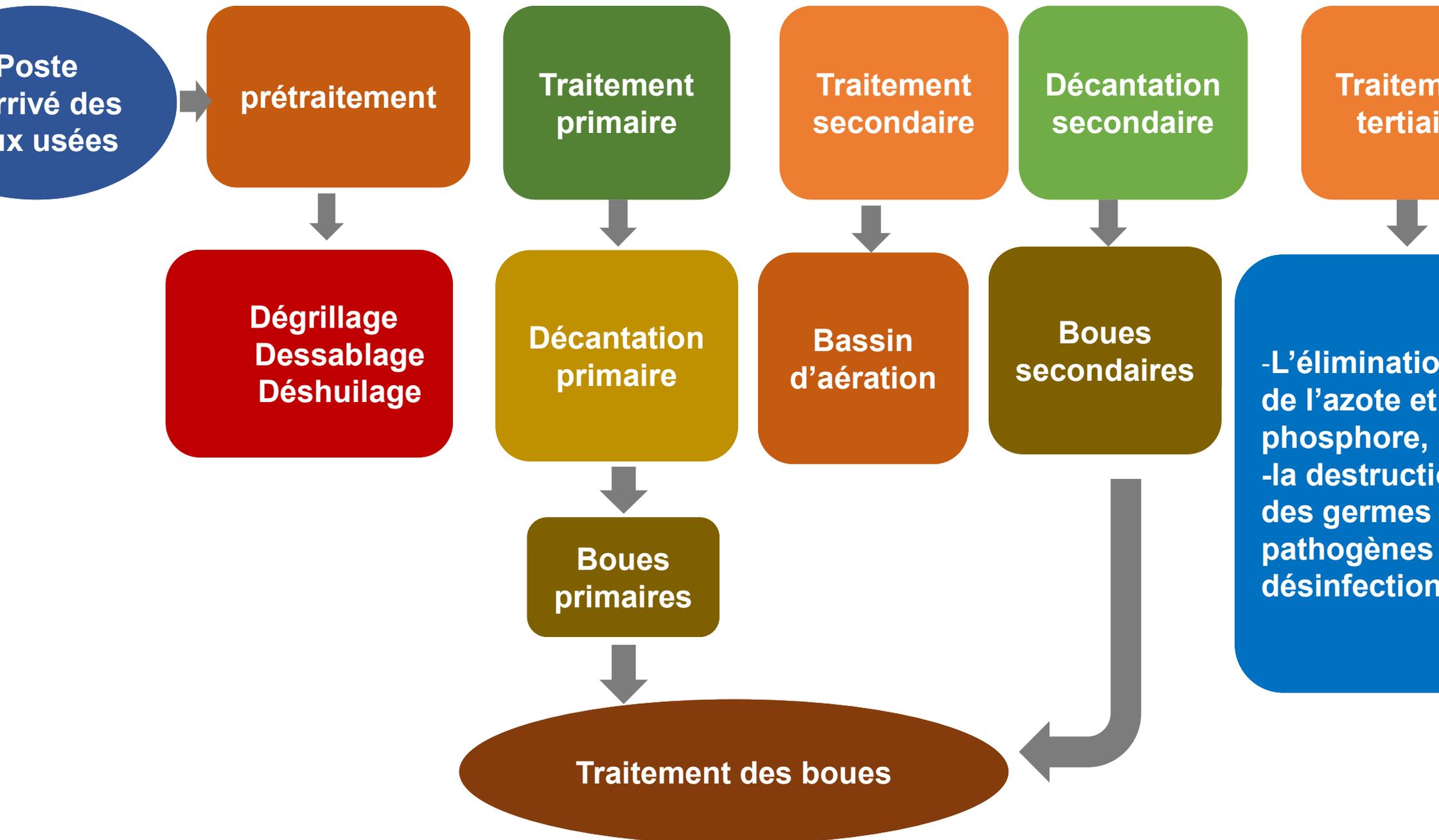
Le travail expérimental est basé sur : la caractérisation du gâteau obtenu après une filtration soignée qui fournit des informations sur la performance de la déshydratation (**siccité**). Et l'analyse des données de filtration qui permet de déterminer la résistance spécifique à la filtration (**RSF**), et la **siccité du filtrat** de boue.



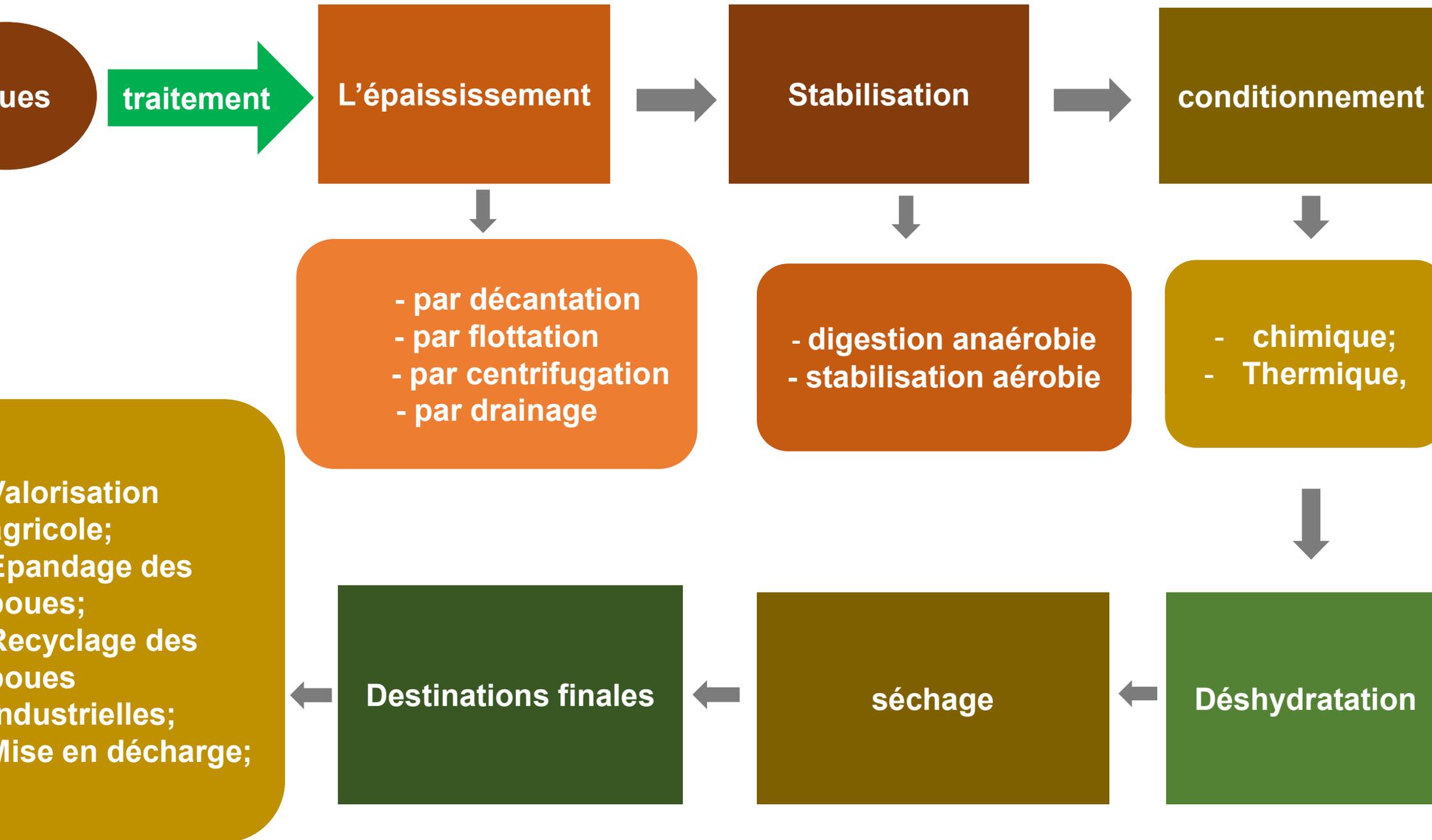
Chapitre I:
Épuration des eaux usées urbaines



Schéma d'une station d'épuration à boue activée



Filière de traitement des boues



Chapitre II:

Conditionnement et déshydratation



Conditionnement des boues :

majorité des boues organiques doivent subir un **prétraitement spécifique**, appelé **conditionnement**. Cette opération permet la floculation des boues en cassant la stabilité colloïdale pour faciliter l'évacuation de l'eau libre (\ ↘ **RSF** et ↗ **de la siccité**), cette étape de conditionnement est très importante pour éviter des problèmes de montée en charge et de filtrats chargés.

On distingue deux types de conditionnement les plus souvent utilisés :

le conditionnement thermique.

le conditionnement chimique

Conditionnement thermique :

Le procédé consiste à **élever la température** des boues. Les boues sont chauffées de 150 et 200°C pendant des temps de cuisson entre 30 et 60 minutes, suivant le type de boue et la filtrabilité désirée. Durant la cuisson, **les gels colloïdaux sont détruits**. On assiste également à deux phénomènes simultanés :
la solubilisation de certains MES
et la précipitation de quelques matières en suspension.

conditionnement chimique :

Le conditionnement chimique consiste à ajouter des réactifs chimiques (**sels minéraux ou des produits de synthèses**) dans les boues, afin d'assembler les particules colloïdales dispersées en agglomérats plus gros, ce qui rend **la séparation solide-liquide plus facile.**

Conditionnement chimique

Réactifs minéraux

- Il est difficile d'établir les bons Dosages.
- Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système ;
- ils sont souvent corrosifs,
- L'addition de CaO permet l'augmentation de volume des boues
- L'aluminium résiduel peut entraîner des problèmes de santé comme l'Alzheimer

Polymères (poly électrolytes) synthétiques

- Les polymères peuvent être toxiques pour la faune
- Cout très élevé,

Coagulants d'origine naturelle

- Abondants dans la nature,
- production de boues biodégradables,
- Génération de boues de faible volume + valeur nutritionnelle non négligeable,
- Peu couteux.

Chapitre III:

Généralité sur le cactus

(Opuntia Ficus Indica)

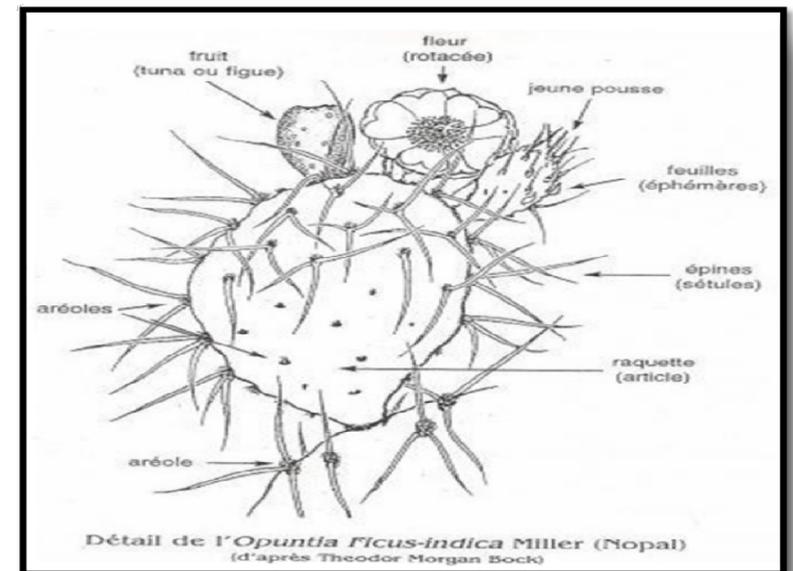
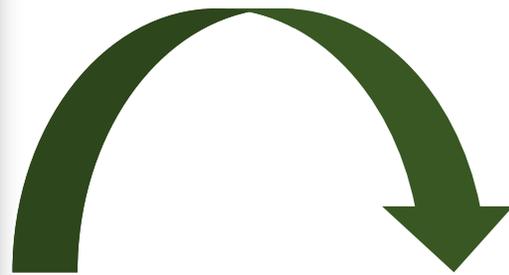


Opuntia Ficus Indica (Figuier de Barbarie) :

Le figuier de barbarie est une espèce de plante de la famille des Cactaceae, une plante perennante qui peut atteindre de 3 à 5 mètres de hauteur. Cette plante est originaire des régions arides et semi-arides du Mexique,

La tige de l'Opuntia est formée d'articles ovales, charnus et aplatis, de couleur verte, de 30 à 60 cm de longueur sur 15 à 25 cm de largeur. couramment appelés « raquettes ».

L'Opuntia est une plante connue par sa richesse en eau avec un taux d'humidité très élevé (85% à 90%) , et une faible teneur en MS (6 à7%), comme elle est riche en mucilage qui contient une concentration importante (32,60%) en **acide polygalacturonique**



Utilisation de cactus (OFI) dans le domaine d'épuration et de traitement des eaux

PARTIE UTILISEE	UTILISATION
peptide fraîche (pectine et mucilage)	- Traitement d'eau synthétique
mucilage	- Traitement d'eau usée,
peptide de cactus	- Elimination de la turbidité des boues urbaines
peptide séchée (poudre)	- Utilisé comme un biofloculant pour l'Adsorption des ions métalliques - Elimination de la turbidité - Dépollution eaux usées, tanneries
peptide gélifiant et non gélifiant	- Elimination de la turbidité des eaux potables

Efficacité:

- ✓ Réduction turbidité
- ✓ Réduction DCO
- ✓ Adsorption des métaux lourds
- ✓ Un bon conditionnement des boues

Chapitre IV:
Matériel et méthode



Présentation de la station :

Le site d'implantation de la station d'épuration est situé sur le territoire de la commune de Ain Benian (commune de Boufarik, wilaya d'Alger), à environ 14Km à l'ouest d'Alger Centre, nichée au bord de la mer méditerranéenne et à l'embouchure de l'oued Béni-Messous au Sud.



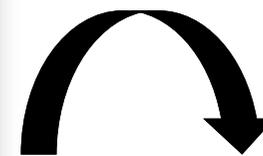
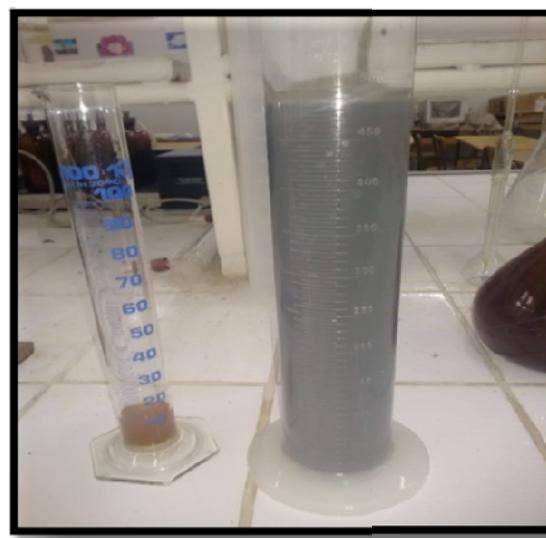
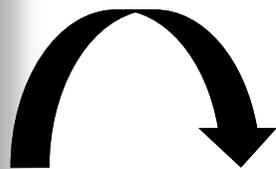
La station d'épuration de la ville de Béni-Messous est composée de deux différentes filières, la première pour le traitement de l'eau (prétraitement mécanique et traitement biologique) et une filière de boue (élimination, assésissement, stabilisation, conditionnement et déshydratation).

Méthodologie de Conditionnement des boues:

Ce travail nous avons conditionné la boue avec des réactifs minéraux (Le chlorure ferrique $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), ainsi que le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$),



Le conditionnement des boues a été assuré par la floculation à l'aide d'un Jar Test après avoir un mélange de 50 ml de boue brute avec des solutions de concentrations croissantes de coagulants. Le mélange subit une forte agitation à 500 tr/min pendant 20 sec, suivis d'une agitation lente de 40 tr/min pendant 2 min, pour la formation des floccs.



Préparation du bio-floculant (la poudre de cactus)



Nettoyage; lavage; Nettoyage: Élimination des épines (à l'aide d'un robinet)



Coupage en petits dés
Rinçage(eau distillée)



Déshydratation: séchage au soleil (24h)
- à 60°C (96h)
- à 100°C (13h)



Moulinage et tamisage à 400µm



Trois différentes poudre de cactus
(OFI)

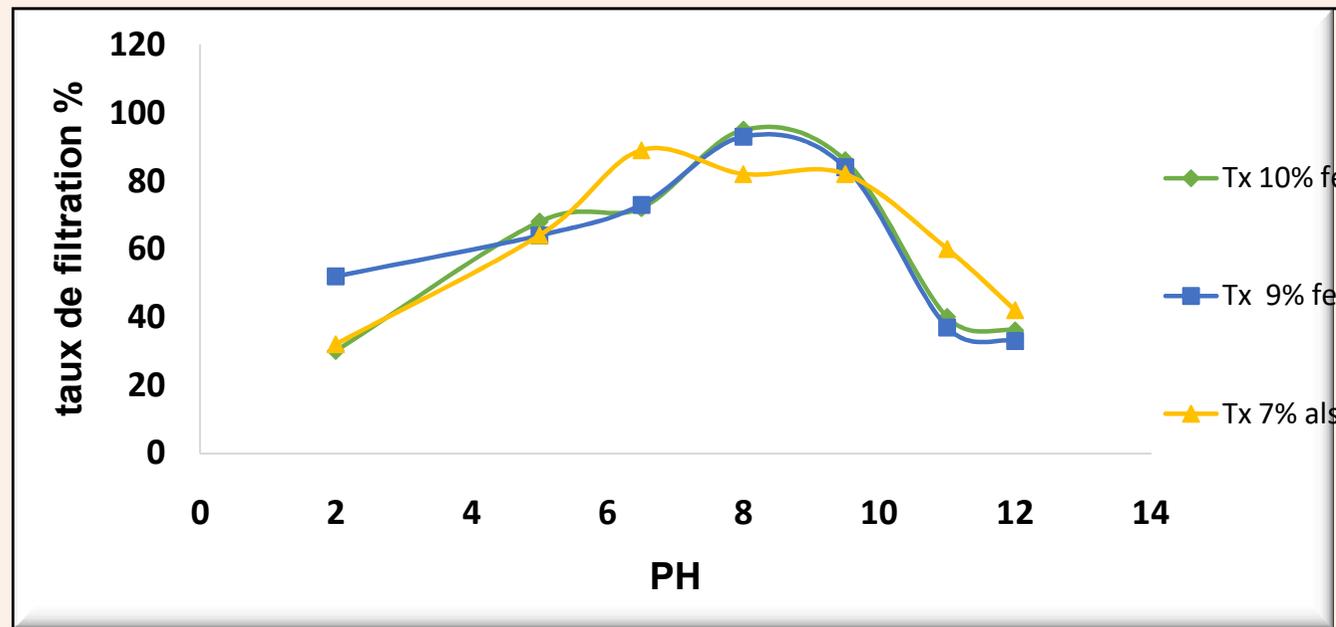
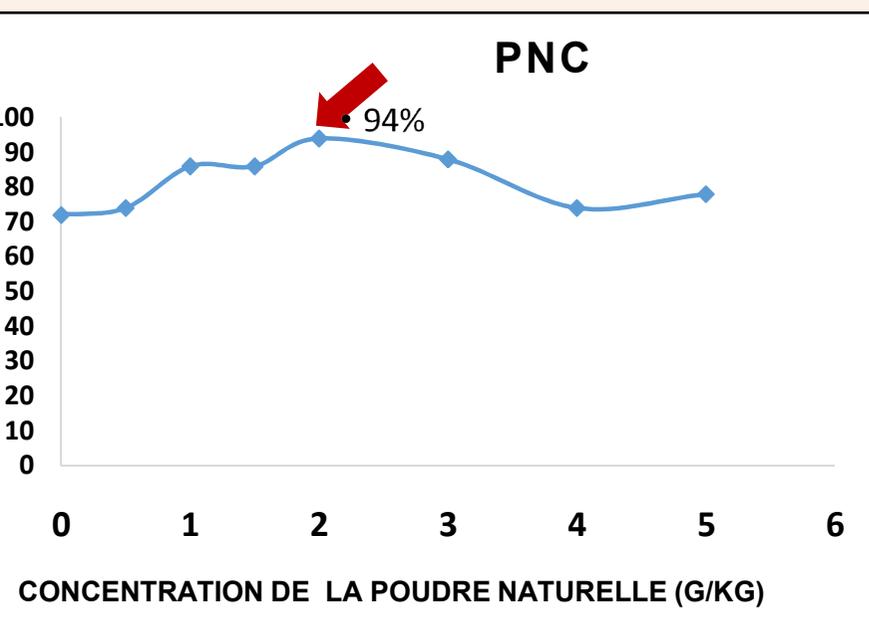
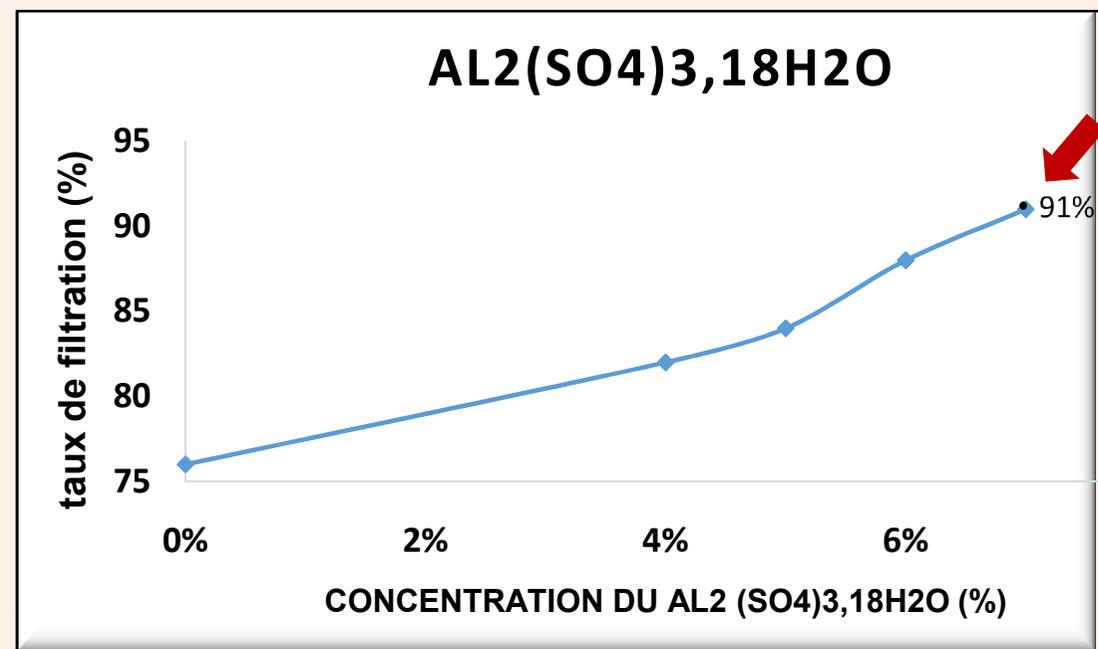
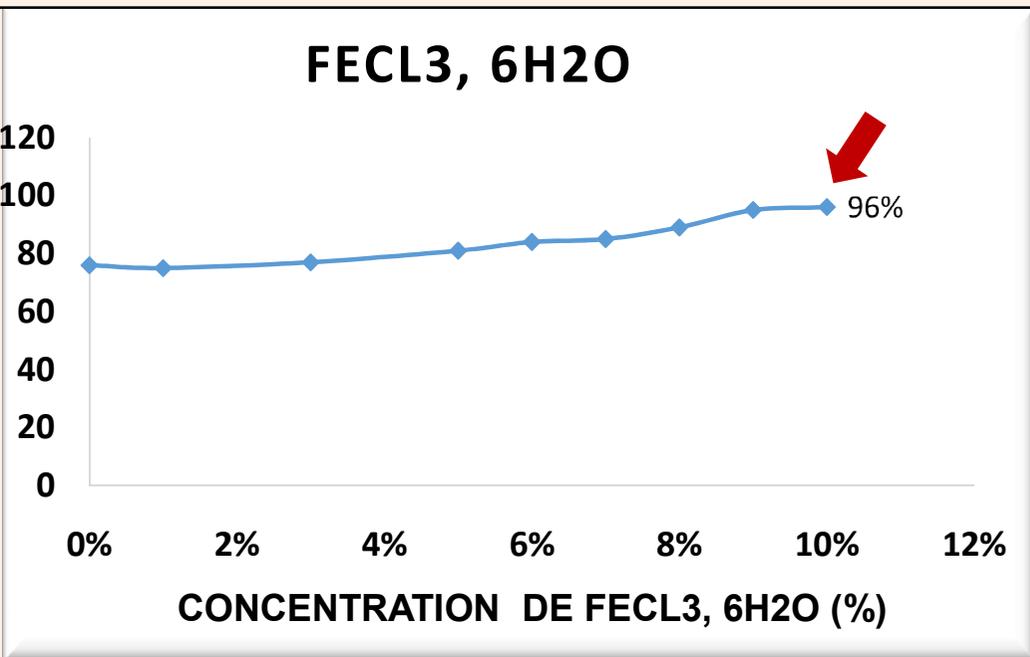


Préparation de la solution mère (6g/l)

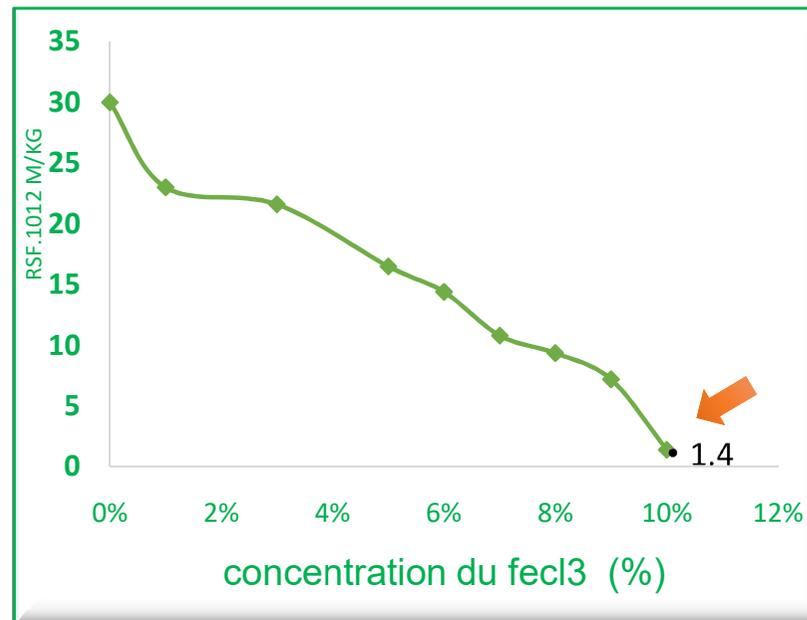
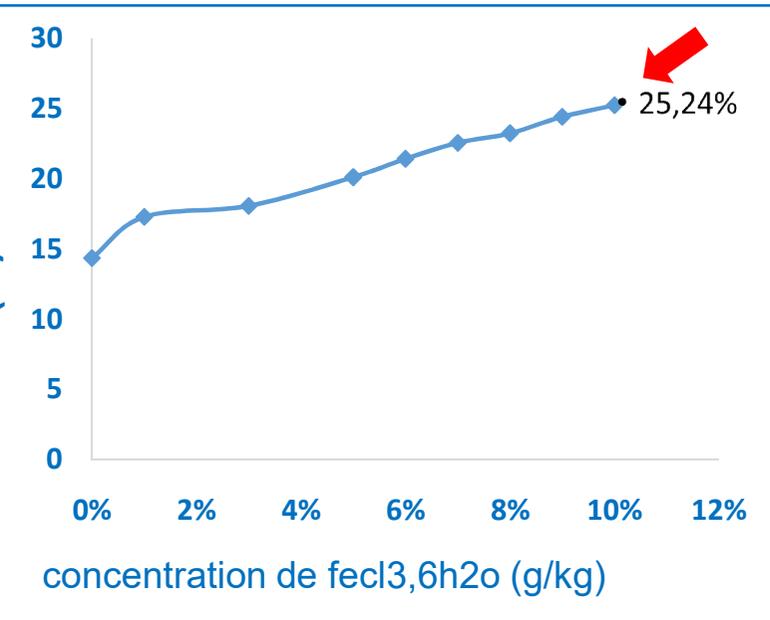
Chapitre VI:
Résultats et discussions



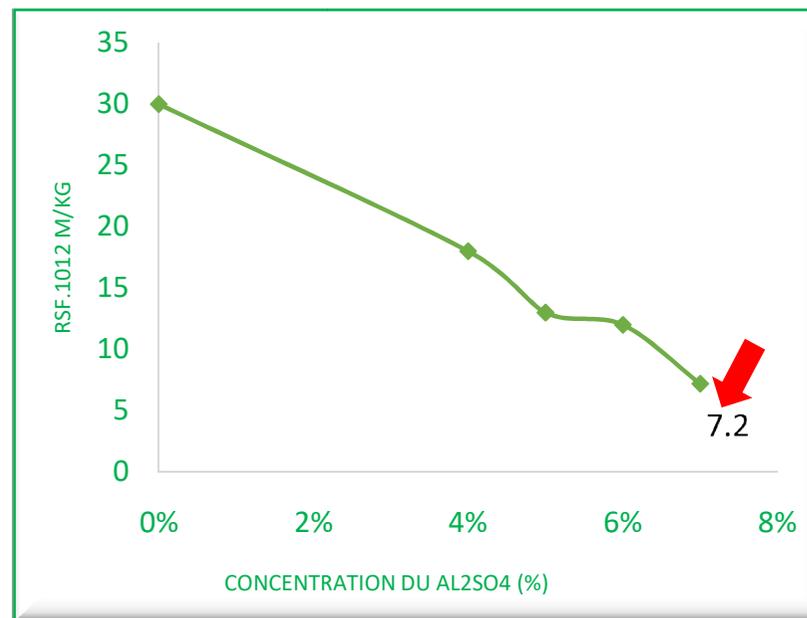
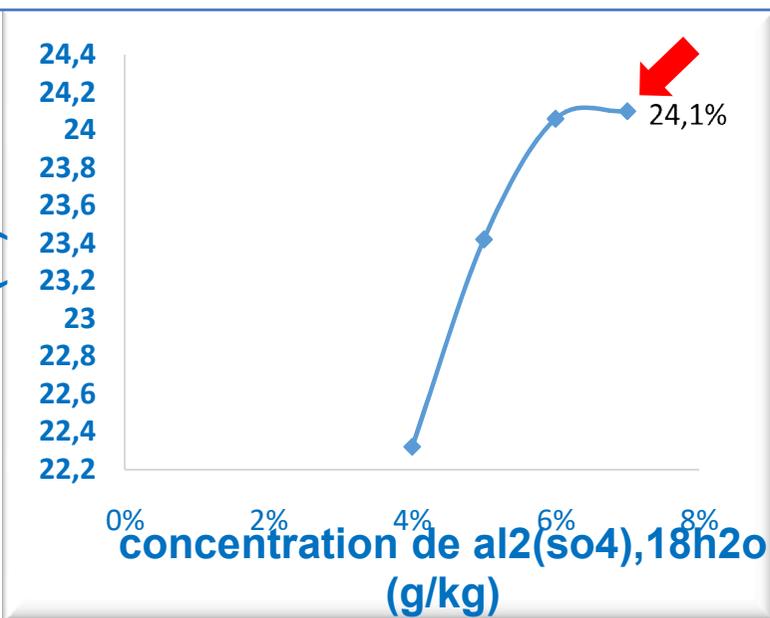
Influence de la concentration du coagulant sur le Taux de filtratio



Influence de la concentration de sel de fer et d'aluminium sur la siccité gâteau et la RSF du filtrat:

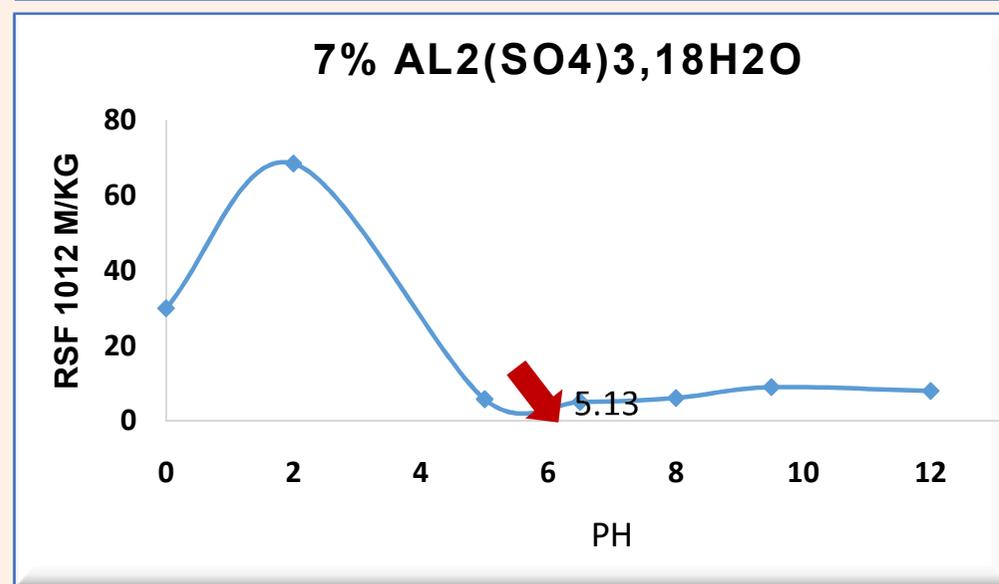
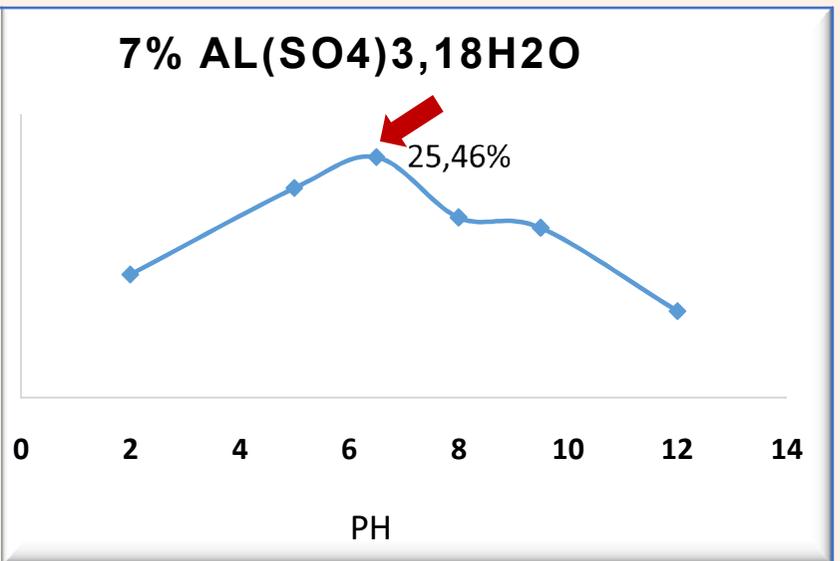
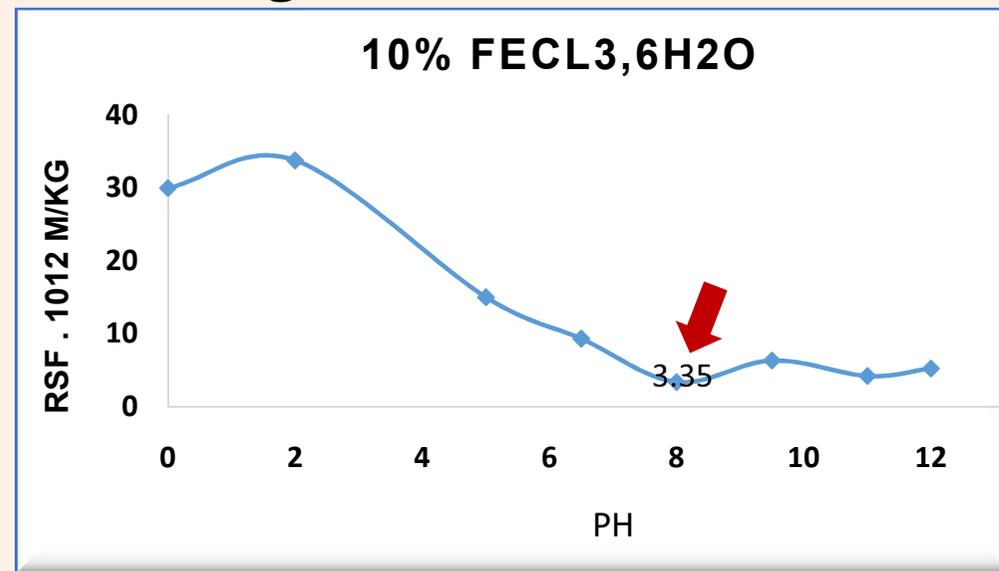
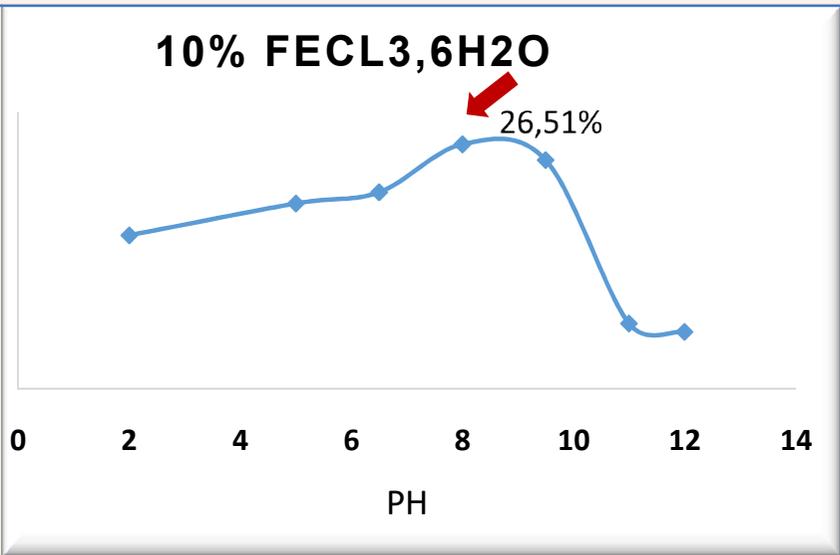


gâteau récupéré pour
10% FeCl3 (ép.=0,4cm)



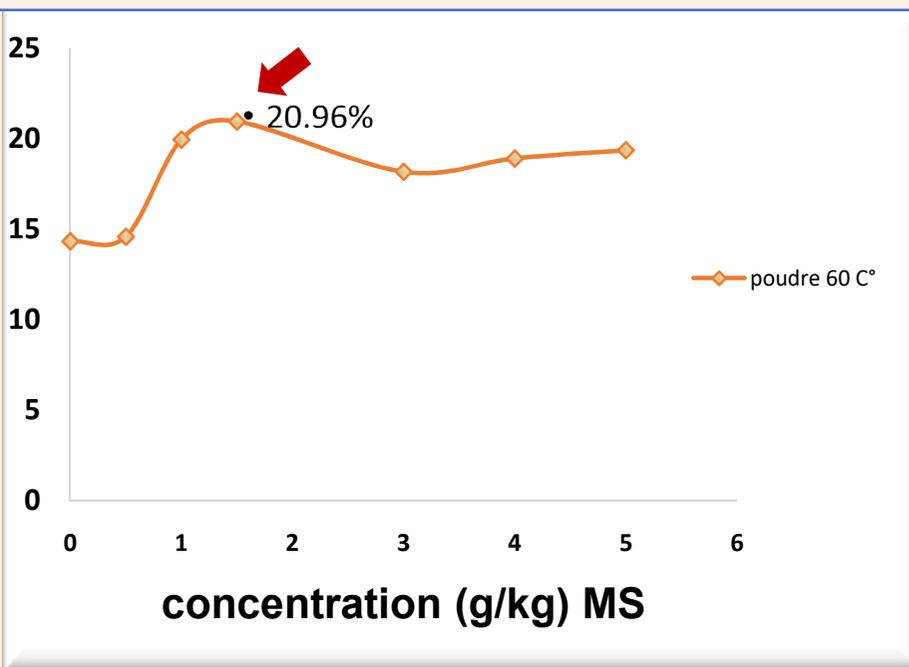
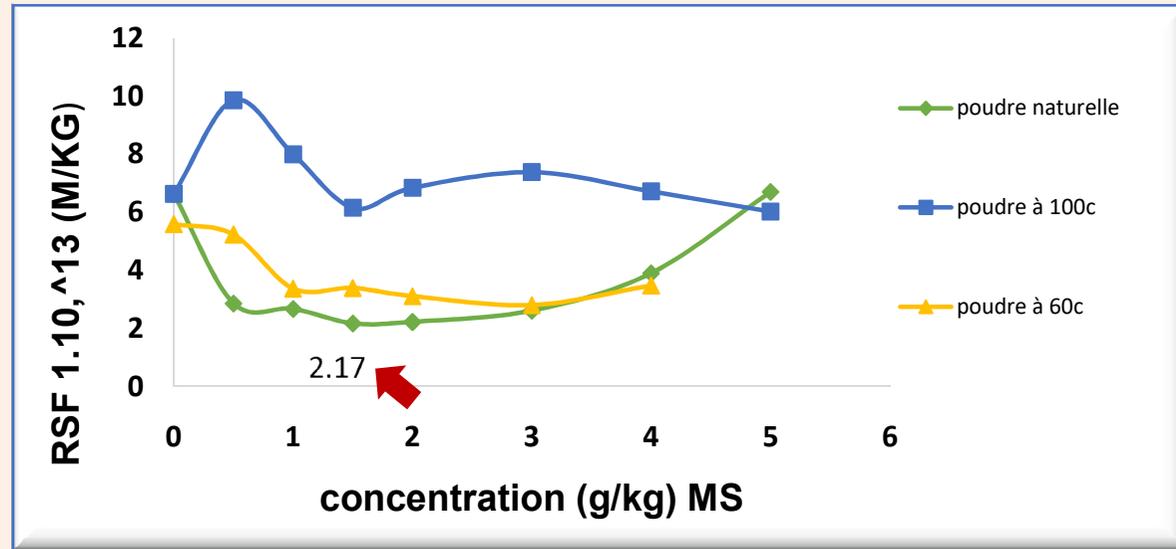
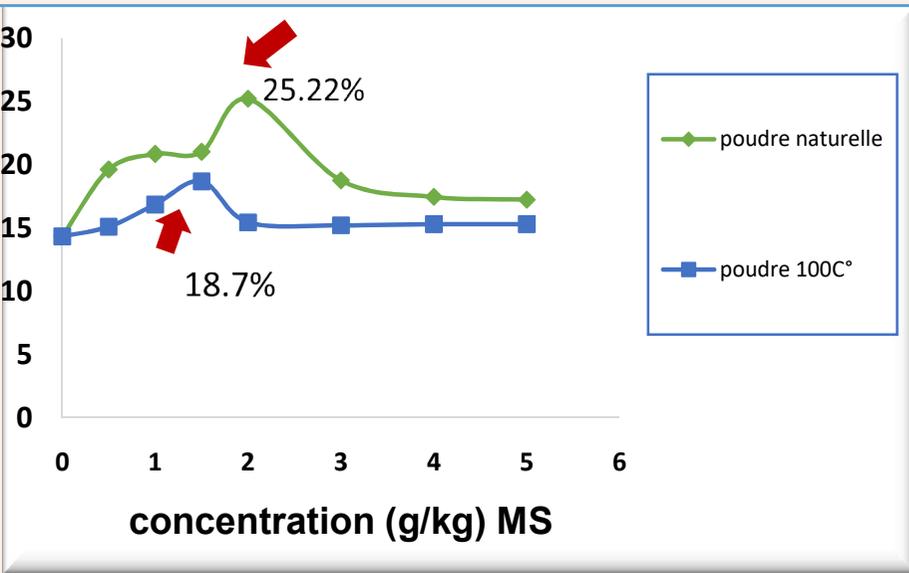
gâteau récupéré pour
7% AL2(SO)4

Influence de la variation du pH sur la siccité du gâteau et RSF du filtrat



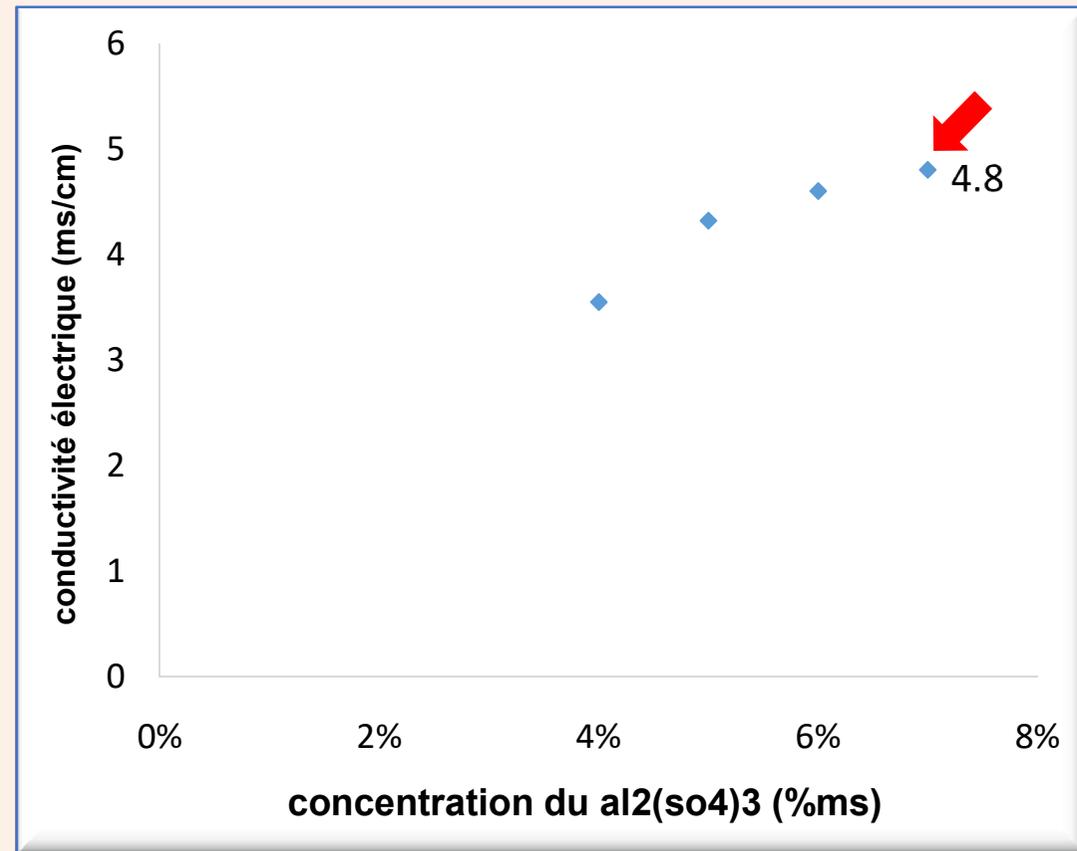
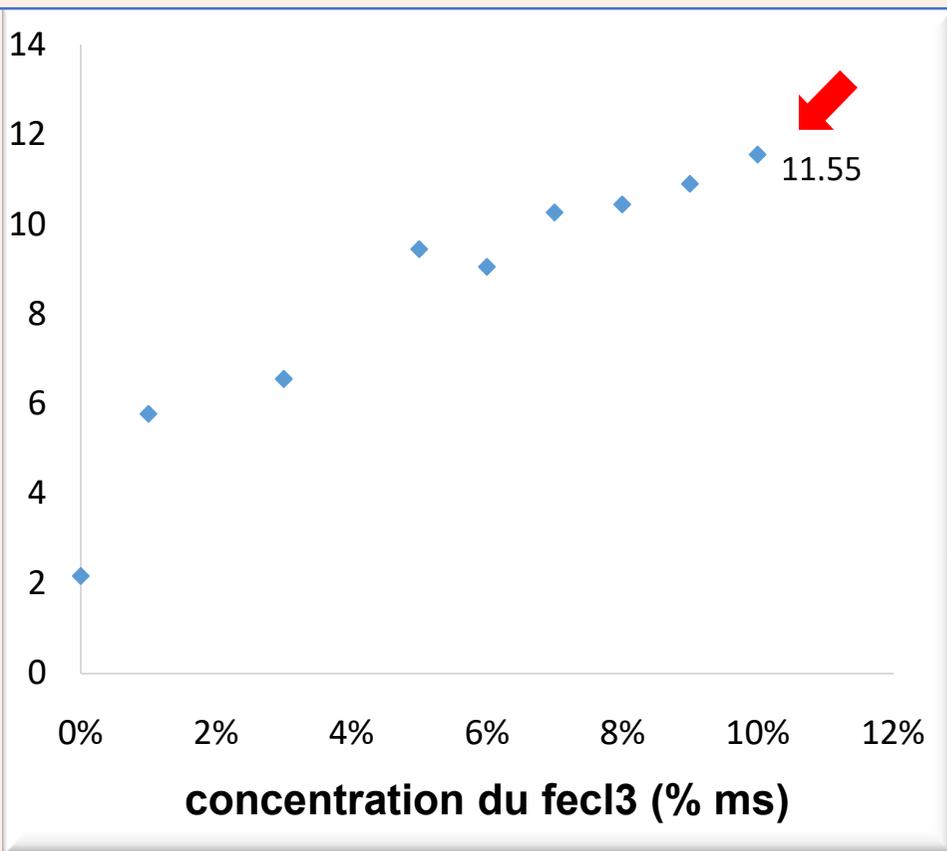
On a remarqué que dans les milieux basiques, les boues obtenues après coagulation et filtration sont devenues comme une pâte visqueuse compacte et imperméable, tandis qu'au milieu acide elles sont devenues trop liquides et mousseuses.

Influence de la concentration de différentes poudres de cactus (OFI) préparées sur la siccité du gâteau et la RSF du filtrat:



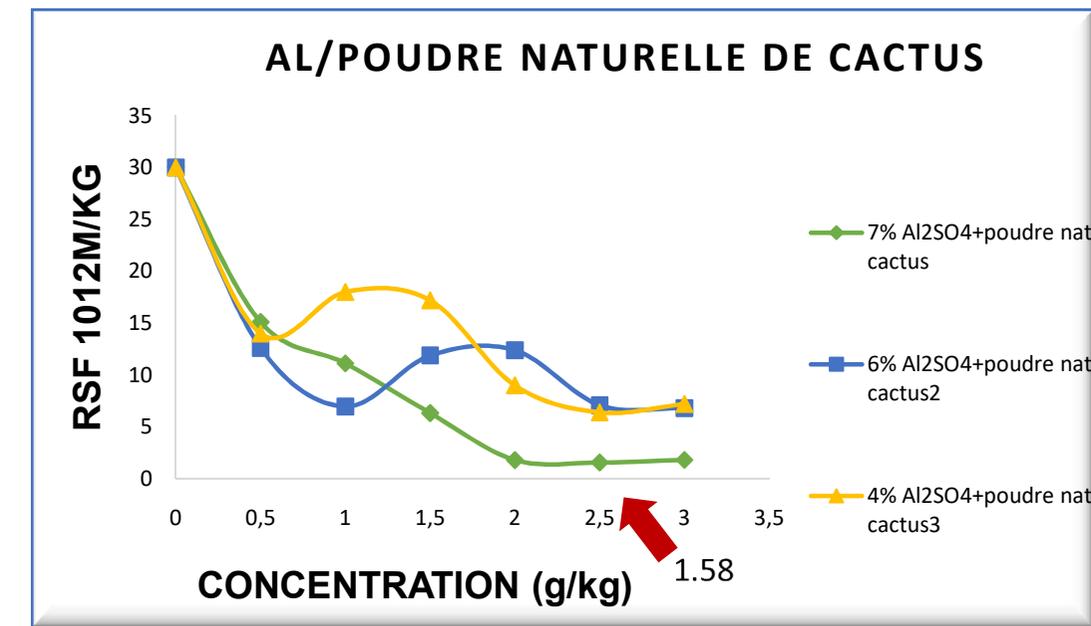
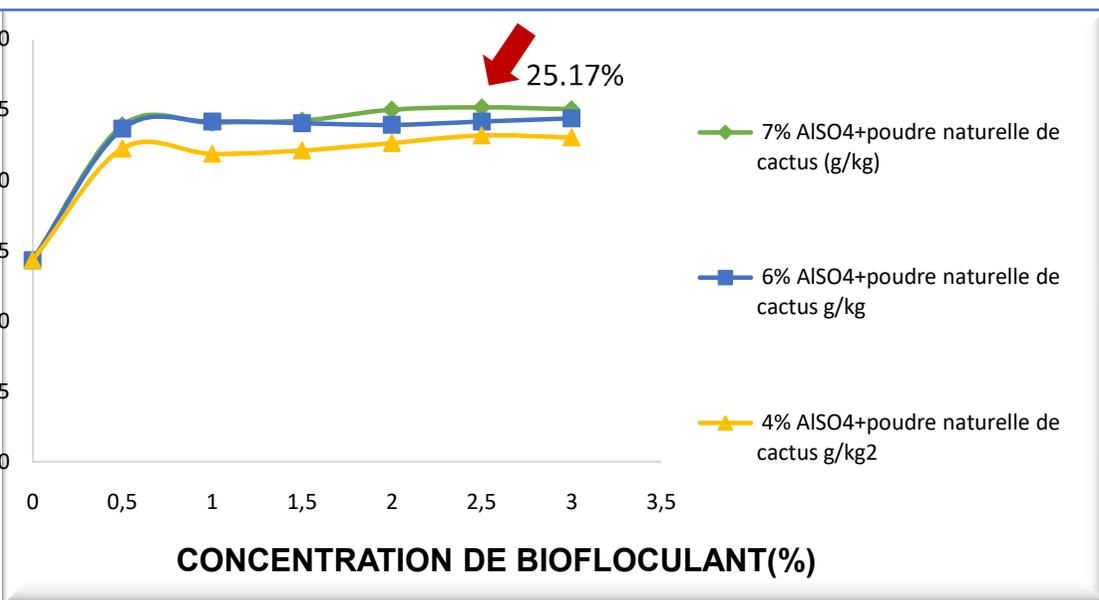
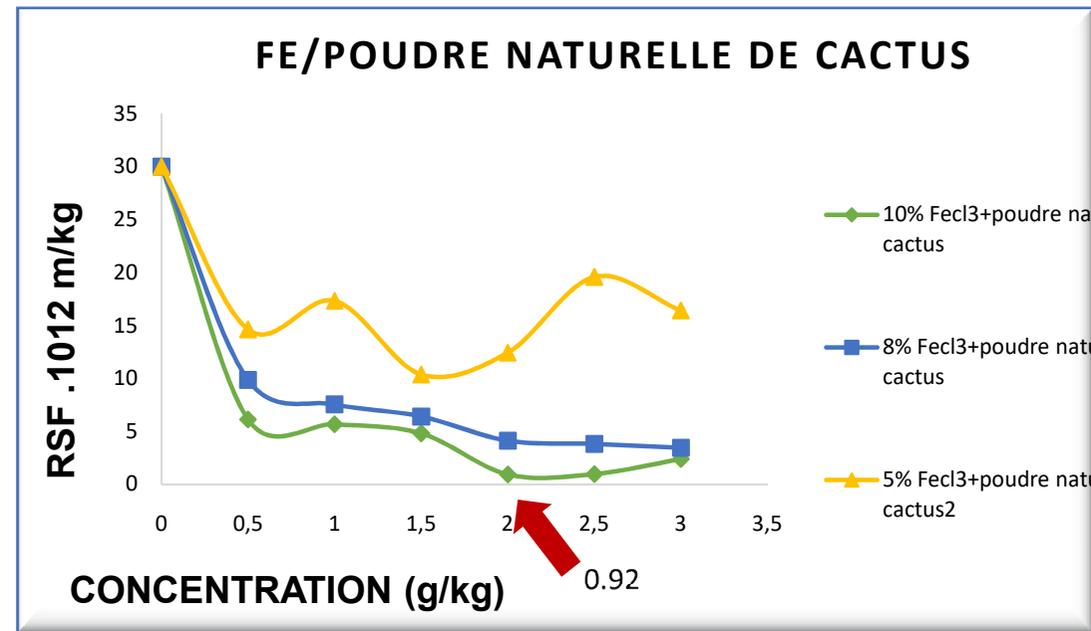
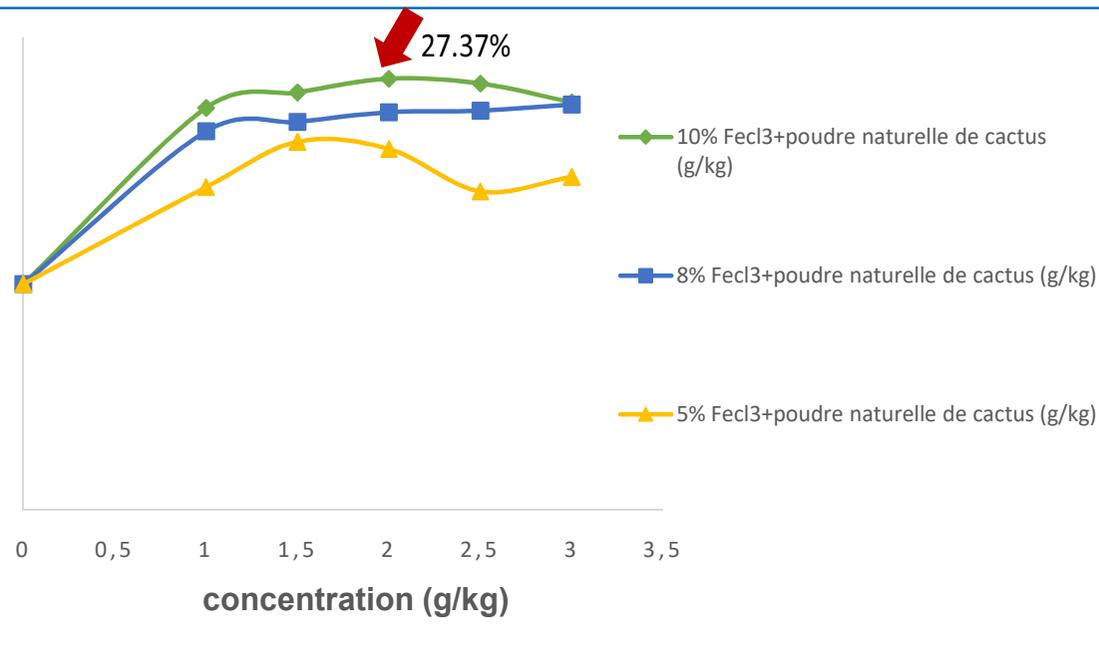
gâteau récupéré pour 2g/kg de la PNC.

Impacte du traitement en utilisant le $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ et l' $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ sur la conductivité finale du filtrat des boues conditionnées :

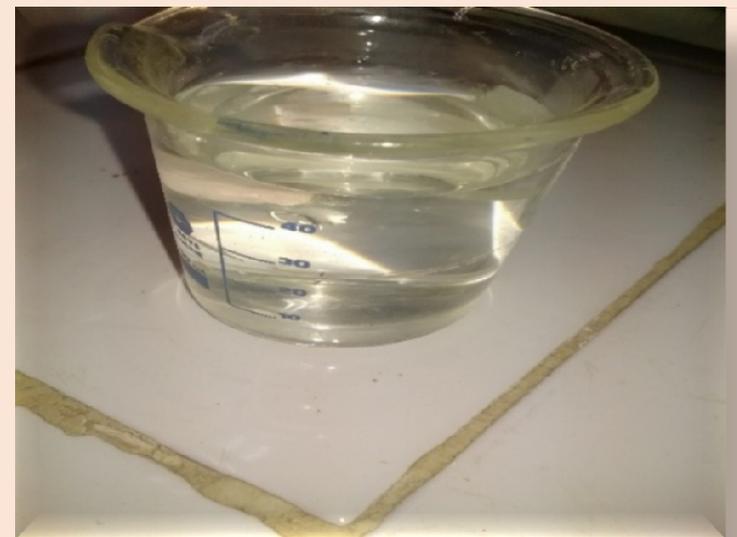
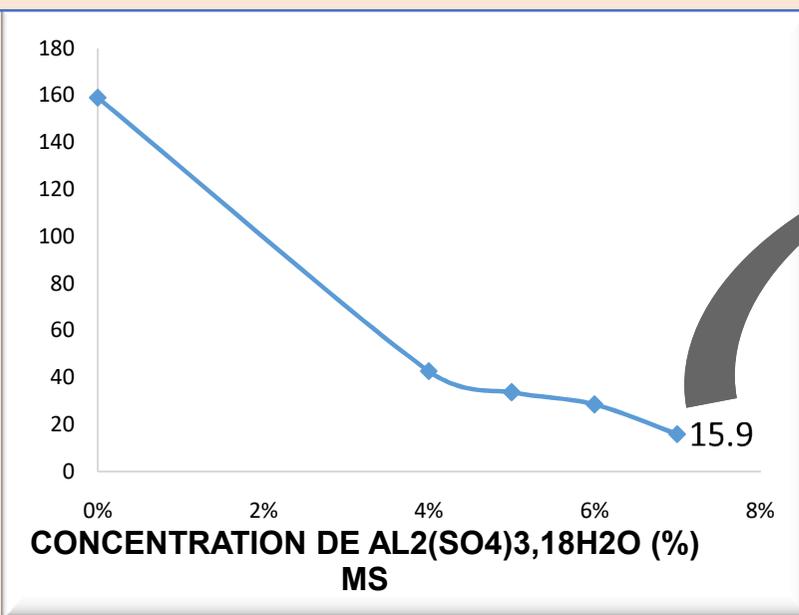
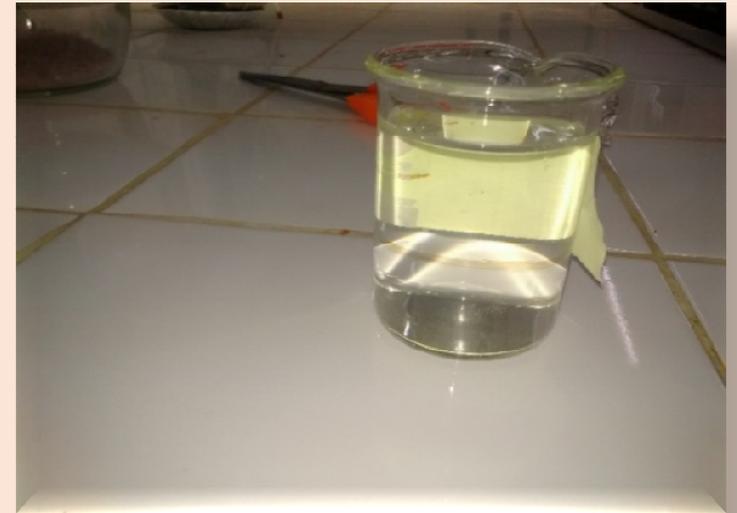
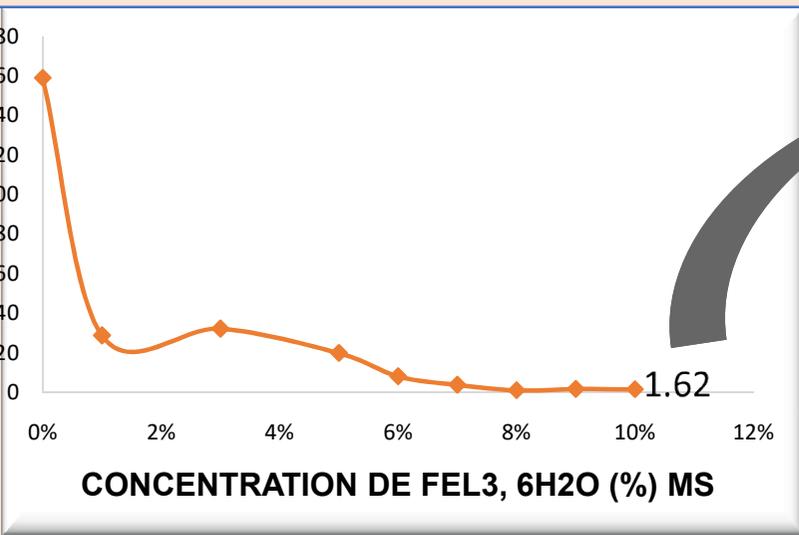


cette augmentation due à la présence des ions minéraux dans l'eau filtrée. Ces ions jouent un rôle de réducteur for, donc le déplacement des électrons conduites à la conduction du courant.

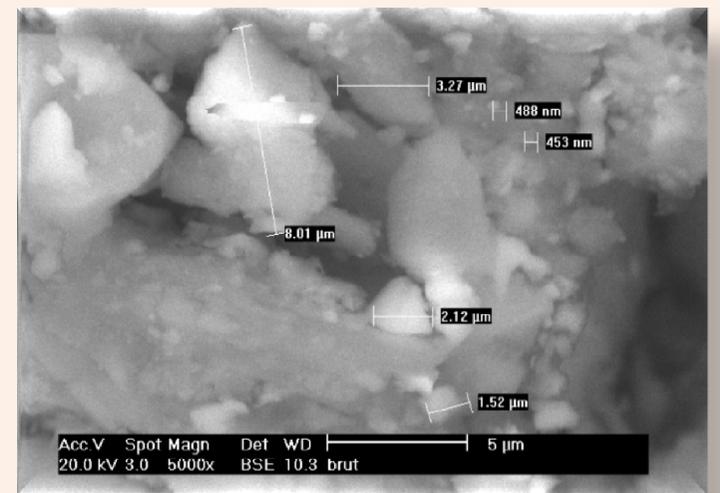
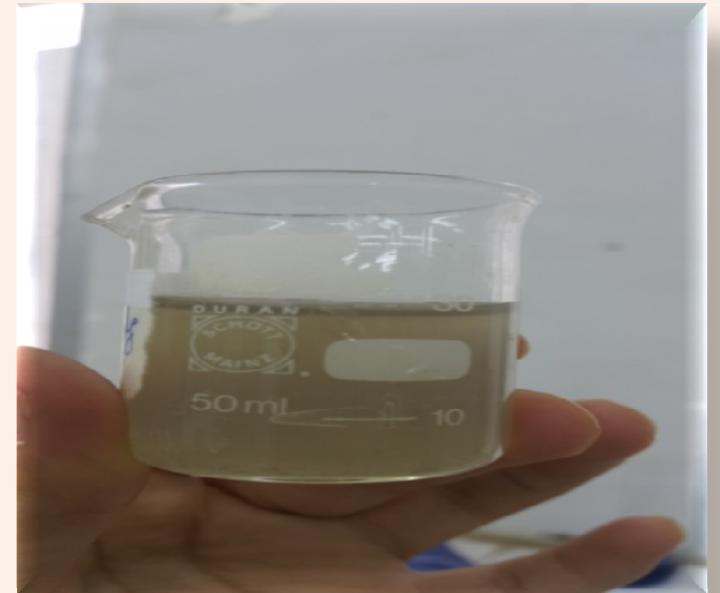
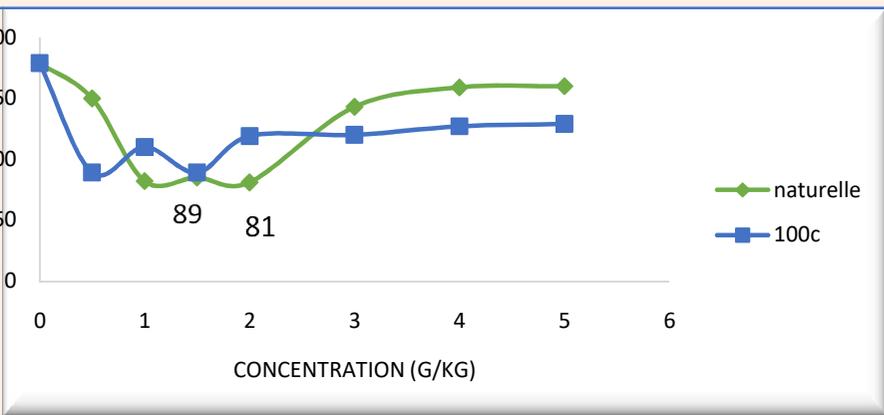
influence de double dosage (Fe/PNC) et (Al/PNC) sur la siccité du gâteau et la du filtrat



Influence de la concentration des sels métalliques (sel de fer et d'aluminium) sur la turbidité du filtrat :



influence de la concentration de différentes poudres préparées de cactus (OFI) sur la turbidité du filtrat final.



particules 0.4 μm → 8 μm

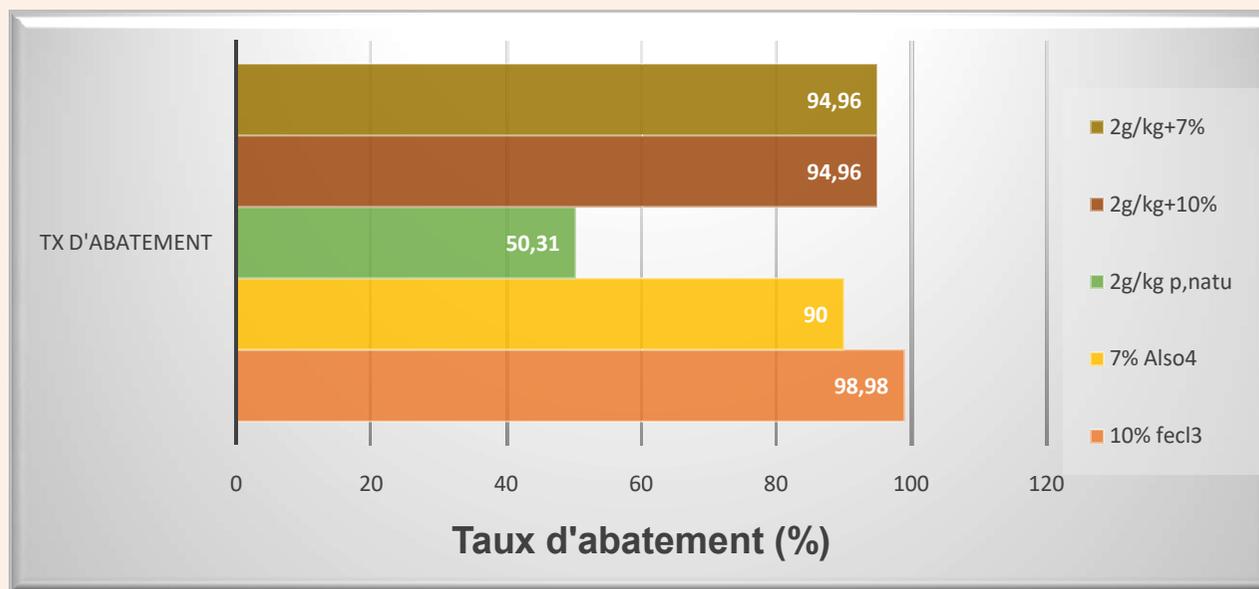
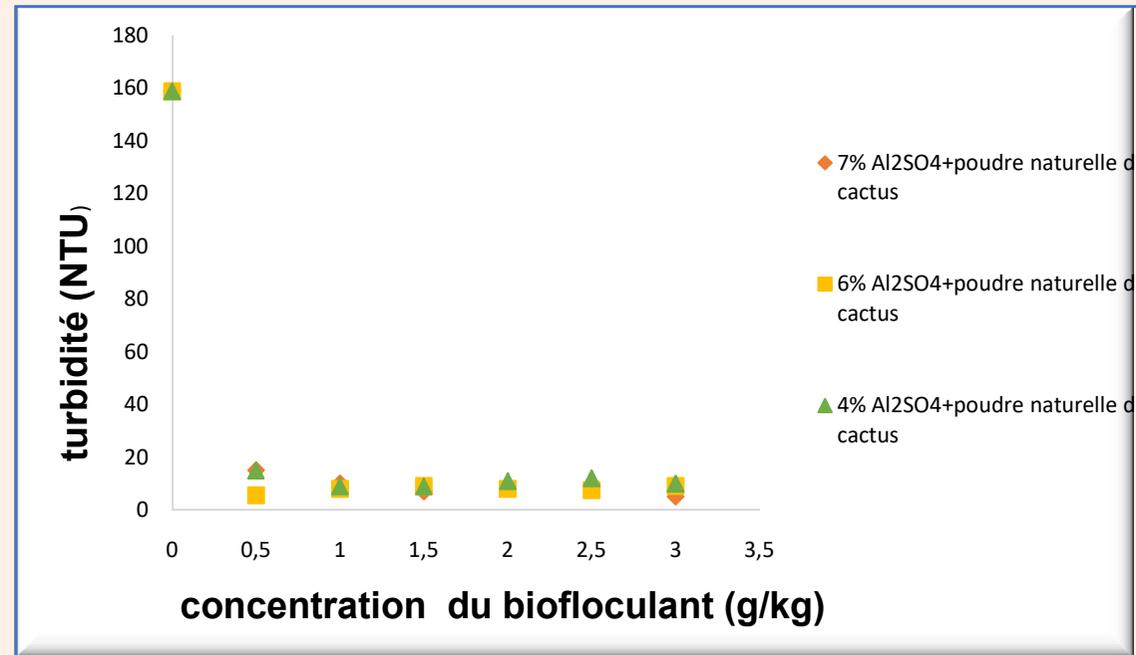
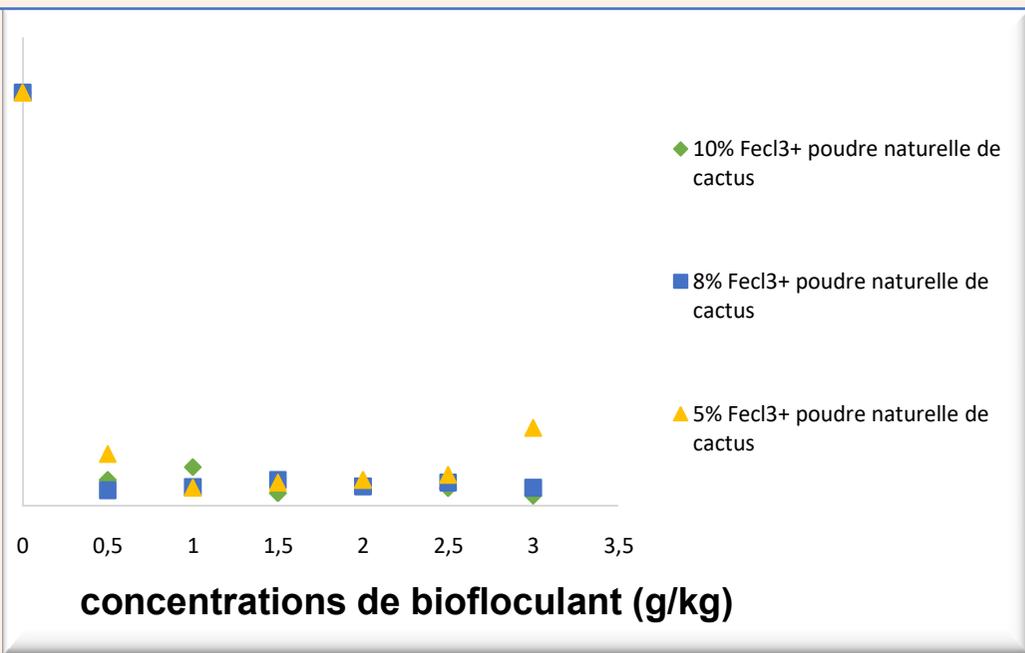
Cavités 1 → 3 μm

Présence de structure fibreuse et d'agrégats de particules sensiblement sphériques



Observation au microscope électronique

influence du double dosage (Fe/PNC) et (Al/PNC) sur la turbidité du filtrat final





Conclusion

Notre travail contribue à améliorer le procédé de conditionnement chimique de boues résiduaires issues du bassin de stabilisation de la station d'épuration de Béni-Messous, D'après l'ensemble des essais effectués, nous avons obtenu les résultats suivants : une augmentation de siccité de **14.34% à 25.24%** pour une concentration de **10% MS FeCl₃, 6H₂O**. Avec une diminution de **30.10¹² m/kg à 1.4.10¹² m/kg** de la RSF. Et une diminution de la turbidité **de 159 NTU à 1.62 NTU**. Pour le sulfate d'aluminium, la siccité augmente jusqu'à obtenir une valeur de **24.1%** pour **7% MS**. et une diminution de la turbidité de **15.9 NTU**.

Seules **la poudre séchée au soleil** a permis d'avoir des valeurs de siccité appréciables comparables aux valeurs trouvées avec l'ajout du FeCl₃.

La dernière partie de ce travail a été consacrée à l'utilisation de la poudre de cactus (OFI) séchée naturellement au soleil comme aide coagulant avec le sel de fer et le sel d'aluminium. En effet, avec un mélange de **100g/kg MS de FeCl₃, 6H₂O avec 2g/kg MS de PNC**, nous avons obtenu un meilleur résultat de siccité, tel que cette dernière augmente de **14.34%** jusqu'à une valeur maximale de **27.37%**, avec un taux de filtration **de 95%** pour un temps de filtration de **8 min**, et une diminution de RSF de **30.10¹² à 0,92.10¹² m/kg**, de plus un taux d'abattement de la turbidité du filtrat de **94,96%**.

D'après ces résultats, On peut conclure que la poudre séchée naturellement n'a pas donné beaucoup des résultats, Cela peut être expliqué par la perte des éléments flocculants contenus dans la raquette de cactus lorsqu'elle est exposée au soleil. Mais, elle offre toujours une alternative plus économique et moins toxique en termes de dépollution d'eaux usées.

Merci pour votre attention

