

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان –
Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : HYDRAULIQUE

Spécialité : OUVRAGES HYDRAULIQUES

Par :

**CHATER Leyes
&
MELLOUKI Sid Ahmed**

Sujet

La décantation lamellaire dans l'épuration de l'eau par boues activées

Soutenu publiquement, le 26/06/2018, devant le jury composé de :

Mr. BOUCHELKIA Hamid

Président

Mr. BESSEDIK Madani

Encadreur

Mr. BOUMEDIENE Maamar

Examineur

Mme. MAROK Imen

Examinatrice

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

*A ceux que j'aime beaucoup et qui m'ont soutenue tout au long de ce projet :
toute ma famille, et mes amis, et bien sûr mon frère, mes sœurs, que j'aime.*

A mon binôme Sid Ahmed et toute la famille MELLOUKI.

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit
possible, je vous dis merci.*

Leyes. CHATER

DEDICACE

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A ma chère petite sœur, pour son encouragement, et son plaisir rempli de joie qui m'a soulagé de la pression de travail,

A mes chers frères, Toufik et Reda, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mon binôme Leyes et toute la famille CHATER,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Sid Ahmed. MELLOUKI

REMERCIEMENT

A l'occasion de la rédaction de ce mémoire de fin d'étude je tiens particulièrement à remercier ALLAH de m'avoir accordé la foi, le courage, la volonté pour élaborer ce travail.

La première personne que nous tenons à remercier est notre encadreur Dr. BESSEDIK Madani, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nos profonds remerciements vont à : Monsieur le président du jury Mr. H. BOUCHELKIA, Mr. BOUMEDIENE M. et Mme. MAROK I. pour l'honneur qui nous ont fait en acceptant d'examiner ce modeste travail.

Par ailleurs, je remercie les responsables et les techniciens des laboratoires qui m'ont beaucoup aidé au cours des expériences.

Nous remercions également toute l'équipe de la station d'épuration de AIN EL HOUTZ, et particulièrement Mr. TABALLE M. un des agents de la station.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le but du présent travail est de faire une étude expérimentale de l'efficacité de la clarification de liqueur mixte par la décantation lamellaire.

Nous avons fait plusieurs expériences sur le pilote TE600 pour savoir l'efficacité de la décantation lamellaire au niveau du laboratoire de traitement et épuration des eaux de la faculté de technologie de l'université de Tlemcen.

Nous avons opéré de telle manière pour obtenir la meilleure clarification, en agissant sur des paramètres mécaniques et géométriques tels que : la position des lamelles, la distance entre les lamelles, l'alimentation en eau épurée (prélèvement des échantillons du bassin d'aération de la station d'épuration de Ain el Houtz), des débits d'évacuation des eaux clarifiés, les boues en excès et de la recirculation.

La décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° a donné un bon rendement qui est pratiquement de 96%.

Toutefois, nous avons rencontré des problèmes de colmatage. Pour y remédier, nous avons procédé quelques réglages du débit (entrant et sortant), qui nous ont donnée des résultats assez appréciables.

Mots clés : décantation lamellaire, eaux usées, épuration, boue, colmatage.

Abstract

The purpose of the present work is to make an experimental study of the efficiency of clarification of aerated wastewater by lamellar settling.

We have done several experiments on the TE600 pilot to determine the efficiency of lamellar settling at the water treatment and purification laboratory of the University of Tlemcen's Faculty of Technology.

We operated in such a way as to obtain the best clarification, by acting on mechanical and geometrical parameters such as: the position of the lamellae, the distance between the lamellae, the supply of biologically purified water (taking samples from the aeration pool of the Ain el Houtz wastewater treatment plant), clarifying water discharge rates, excess sludge and recirculation.

Countercurrent lamellar settling at 120 ° slat tilting angle gave a good yield of almost 96%.

However, we have encountered clogging issues. To remedy this, we made some adjustments of the flow (incoming and outgoing), which gave us quite appreciable results.

Keywords: lamellar settling, waste water, purification, mud, clogging.

المخلص:

الغرض من هذا العمل هو إجراء دراسة تجريبية لفعالية الترسيب لمياه الصرف الصحي عن طريق الترسيب الصفائحي. لقد أجرينا العديد من التجارب على النموذج TE600 لتحديد فعالية الترسيب الصفائحي في مختبر معالجة وتنقية المياه التابع لقسم الري في جامعة تلمسان.

لقد عملنا بصفة للحصول على أفضل توضيح، من خلال التركيز على إعدادات ميكانيكية وهندسية مثل: موقع الصفائح، المسافة بين الصفائح، النزود بالمياه المعالجة بيولوجياً (أخذ عينات من حوض تهوية ومعالجة مياه الصرف الصحي على مستوى محطة عين الحوت)، تدفق تصريف المياه الموضحة، الوحل الزائد وتدفق إعادة التدوير.

أعطى الترسيب الصفائحي ضد التيار عند زاوية الميل 120° نسبة مردود جيدة تقارب 96٪.

ومع ذلك، فقد واجهنا مشكلات إنسداد. ولعلاج هذا الأمر، أجرينا بعض التعديلات على التدفق (الوارد والصادر)، مما أعطانا نتائج ملحوظة للغاية.

الكلمات المفتاحية: الترسيب الصفائحي، المياه القذرة، تصفية المياه، الوحل، الإنسداد.

Liste des Abréviations et signes

MES : Matières en suspension (g/l).

O₂ : Oxygène dissous (mg/l).

pH : Potentiel Hydrogène (mg/l).

DBO : Demande Biochimique en Oxygène (mg/l).

DCO : Demande Chimique en Oxygène (mg/l).

T : Température (C°).

Tur : Turbidité (NTU).

t : temps (s).

C° : Degré Celsius (°).

g : accélération due à la pesanteur (m/s²).

Q : le débit (m³/h).

Re : nombre de Reynolds.

STEP : Station d'épuration.

TE 600 : Pilote de coagulation floculation et décantation.

Position A : position des lamelles avec un angle d'inclinaison de 60°.

Position B : position des lamelles avec un angle d'inclinaison de 120°.

F_M : force de décantation due à la pesanteur (N).

F_T : force de traînée (N).

s : surface projetée (m²).

v_{pt} : volume de la particule (m³).

v : vitesse de décantation de la particule.

v_{pt} : volume de la particule (m³).

ρ_p : masses volumique de la particule.

ρ_l : masses volumique du fluide.

μ : viscosité dynamique de l'eau (pas.s).

θ : angle d'inclinaison des plaques.

C : Le coefficient de traînée.

Ψ : Facteur de sphéricité.

S_H : surface libre du décanteur(m²) .

S : surface projetée d'une plaque (m²).

S' : surface d'une plaque (m²).

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les différentes valeurs de a , n et C en fonction du nombre de Reynolds.....	6
Tableau I.2 : Influence du facteur sphéricité pour les matériaux "plats".....	7
Tableau III.1 : Facteurs de conversion de la DBO_5 en fonction du volume de prise.....	66
Tableau III.2 : Les caractéristiques de l'eau usée épurée biologiquement dans la STEP.....	72
Tableau III.3 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant « Position A ».....	73
Tableau III.4 : Evolution de la DBO_5 , DCO, O_2 , T° , pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à contre-courant « Position A ».....	74
Tableau III.5 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant « Position B ».....	76
Tableau III.6 : Evolution de la DBO_5 , DCO, O_2 , T° , pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à contre-courant « Position B ».....	76
Tableau III.7 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à co-courant « Position A ».....	79
Tableau III.8 : Evolution de la DBO_5 , DCO, O_2 , T° , pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à co-courant « Position A ».....	80
Tableau III.9 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à co-courant « Position B ».....	82
Tableau III.10 : Evolution de la DBO_5 , DCO, O_2 , T° , pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à co-courant « Position B ».....	82
Tableau III.11 : Les rendements du pilote pour les différents types de décantation lamellaire (à contre-courant et à co-courant) et les positions des lamelles (A et B).....	85
Tableau III.12 : Evolution des MES pour la décantation Classique.....	86
Tableau III.13 : Evolution de la DBO_5 , DCO, O_2 , T° , pH et la Turbidité pour la décantation classique.....	87

Tableau III.14 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 1 ».....	90
Tableau III.15 : Evolution de l'O ₂ , T°, pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 1 ».....	91
Tableau III.16 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 ».....	94
Tableau III.17 : Evolution de l'O ₂ , T°, pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 ».....	95
Tableau III.18 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 3 ».....	99
Tableau III.19 : Evolution de l'O ₂ , T°, pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 3 ».....	100

Liste des figures

Figure I.1 : Forces agissantes sur une particule qui chute.....	4
Figure I.2 : Schéma de la décantation à flux vertical (particules grenues).....	8
Figure I.3 : Schéma de la décantation à flux horizontal (particules grenues).....	9
Figure I.4 : Efficacité comparée de décantations horizontale et verticale (particules grenues)	10
Figure I.5 : Schéma de la décantation à flux horizontal (particules floculées).....	11
Figure I.6 : Elimination des particules floculées en décantation diffuse : relation entre temps, la hauteur effective et le rendement de décantation.....	12
Figure I.7 : Décantation en piston : courbe de Kynch.....	13
Figure I.8 : Courbe de Kynch	13
Figure I.9 : Courbe de Kynch (Interprétation).....	15
Figure I.10 : Colonne de décantation.....	16
Figure I.11 : Courbes de même pourcentage d'élimination des particules.....	17
Figure I.12 : Variation du temps de rétention et de la charge superficielle en fonction du rendement.....	18
Figure I.13 : Décanteur horizontal (longitudinal).....	19
Figure I.14 : Exemple simplifié de décanteurs dits statiques.....	21
Figure I.15 : Schéma de principe de fonctionnement d'un décanteur à circulation.....	22
Figure I.16 : Décanteur flux verticale à pulsations.....	23
Figure I.17 : Schéma d'un décanteur lamellaire.....	24
Figure II.1 : Bassin de décantation idéal avec 3 paliers.....	27
Figure II.2 : Gain théorique possible sur un ouvrage de hauteur élémentaire H/n	27
Figure II.3 : Gain théorique possible sur un ouvrage de hauteur élémentaire H/n et longueur L/n	28
Figure II.4 : Décantation lamellaire a plaque : effet cumulé des surfaces unitaires.....	29
Figure II.5 : Décanteur à tubes inclinés à 60°	31
Figure II.6 : Forces agissant sur une particule déposée dans un tube incliné à 60°	31

Figure II.7 : Exemple de décanteur lamellaire.....	33
Figure II.8 : Décanteurs à lamelles.....	34
Figure II.9 : système à contre-courant (les plus utilisés).....	34
Figure II.10 : Schéma de principe des décanteurs lamellaires à lits de boues pulses.....	36
Figure II.11 : Décanteur lamellaire a contact de boues.....	37
Figure II.12 : Décanteur à contre-courant.....	38
Figure II.13 : Décanteur à co-courant.....	39
Figure II.14 : Décanteur à courants croisés.....	40
Figure II.15 : description d'un décanteur lamellaire (Ouvrage de petites collectivités à alimentation frontale).....	41
Figure II.16 : Représentation du comportement de la boue et d'épaississement.....	43
Figure II.17 : Faisceaux ou lamelles constituées.....	46
Figure II.18 : Concept simplifié des boues actives.....	47
Figure III.1 : Construction du pilote TE-600.....	54
Figure III.2 : Pilote de coagulation-floculation et décantation (TE-600) (laboratoire du Département d'Hydraulique, Université de Tlemcen).....	55
Figure III.3 : Liste des vannes du pilote TE-600.....	55
Figure III.4 : Etuve.....	58
Figure III.5 : Dispositif de filtration.....	58
Figure III.6 : Balance.....	58
Figure III.7 : Capsule et papier filtre.....	58
Figure III.8 : pH mètre.....	60
Figure III.9 : Billes de verre.....	63
Figure III.10 : Réacteur DCO.....	63
Figure III.11 : Pipette graduée.....	63
Figure III.12 : Réactifs.....	63
Figure III.13 : Turbidimètre.....	64

Figure III.14 : Oxymètre.....	65
Figure III.15 : Armoire thermostatique (Incubateur).....	67
Figure III.16 : DBO mètre.....	67
Figure III.17 : « Position A » angle d'inclinaison des lamelles 60°.....	68
Figure III.18 : « Position B » angle d'inclinaison des lamelles 120°.....	69
Figure III.19 : Histogramme de rendement pour une décantation à contre-courant avec des lamelles en « Position A ».....	73
Figure III.20 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (O ₂ , T°, Ph) avant et après la décantation à contre-courant avec des lamelles en « position A ».....	74
Figure III.21 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à contre-courant « Position A ».....	74
Figure III.22 : Histogramme de la variation de la DCO et la DBO ₅ avant et après la décantation à contre-courant « Position A ».....	74
Figure III.23 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à contre-courant « Position A ».....	75
Figure III.24 : Histogramme de rendement pour une décantation à contre-courant avec des lamelles en « Position B »	76
Figure III.25 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (O ₂ , T°, Ph) avant et après la décantation à contre-courant avec des lamelles en « Position B »	77
Figure III.26 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à contre-courant « Position B ».....	77
Figure III.27 : Histogramme de la variation de la DCO et la DBO ₅ avant et après la décantation à contre-courant « Position B ».....	77
Figure III.28 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à contre-courant « Position B ».....	78
Figure III.29 : Histogramme de rendement pour une décantation à co-courant avec des lamelles en « Position A ».....	79

Figure III.30 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (O_2 , T° , Ph) avant et après la décantation à contre-courant avec des lamelles en « Position A ».....	80
Figure III.31 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à contre-courant « Position A ».....	80
Figure III.32 : Histogramme de la variation de la DCO et la DBO_5 avant et après la décantation à contre-courant « Position A ».....	80
Figure III.33 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à co-courant « Position A ».....	81
Figure III.33 : Histogramme de rendement pour une décantation à co-courant avec des lamelles en « Position B ».....	81
Figure III.34 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à co-courant « Position B »	82
Figure III.35 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (O_2 , T° , Ph) avant et après la décantation à co-courant avec des lamelles en « Position B ».....	83
Figure III.36 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à co-courant « Position B ».....	83
Figure III.37 : Histogramme de la variation de la DCO et la DBO_5 avant et après la décantation à co-courant « Position B ».....	83
Figure III.38 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à co-courant « Position B »	84
Figure III.39 : Histogramme de rendement après une décantation classique	86
Figure III.40 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (O_2 , T° , Ph) avant et après la décantation classique.....	87
Figure III.41 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à classique.....	87
Figure III.42: Histogramme de la variation de la DCO et la DBO_5 avant et après la décantation à classique.....	87

Figure III.43 : L'eau avant et après la décantation classique (1h et 2h).....	88
Figure III.44 : Colmatage du décanteur (Décantation classique).....	88
Figure III.45 : Emplacement des débitmètres ajouté à chaque sortie du décanteur lamellaire	90
Figure III.46 : Histogramme de rendement après une décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », et d'un espace entre les lamelles de 1 cm (étude de colmatage) « Expérience 1 ».....	91
Figure III.47 : Histogramme de la variation des paramètres (T°, pH, O ₂) avant et après la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 1 ».....	92
Figure III.48 : Histogramme de la variation de la Turbidité avant et après la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) «Expérience 1 ».....	92
Figure III.49 : Evolution de colmatage du décanteur après une période de 4h (Décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 1 ».....	93
Figure III.50 : Histogramme de rendement (après 1h, 2h,3h et 4h) pour une décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », et d'un espace entre les lamelles de 1 cm (étude de colmatage) « Expérience 2 ».....	95
Figure III.51 : Histogramme de la variation des paramètres (T°, pH, O ₂) avant, après 1 h, 2 h, 3 h et 4h de la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120 ° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 ».....	96
Figure III.52 : Histogramme de la variation de la Turbidité avant, après 1 h, 2 h, 3 h et 4h de la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 ».....	96
Figure III.53 : Evolution de colmatage du décanteur après une période de 4h (Décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 ».....	97

Figure III.54 : Histogramme de rendement (après 1h, 2h,3h et 4h) pour une décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », et d'un espace entre les lamelles de 1 cm (étude de colmatage) « Expérience 3 ».....	99
Figure III.55 : Histogramme de la variation des paramètres (T°, pH, O ₂) avant, après 1 h, 2 h, 3 h et 4h de la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 3 ».....	100
Figure III.56 : Histogramme de la variation de la Turbidité avant, après 1 h, 2 h, 3 h et 4h de la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 3 ».....	101
Figure III.57 : Evolution de colmatage du décanteur après une période de 4h (Décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 3 ».....	102

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur la décantation	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition de la décantation.....	3
I.3 Types de décantation.....	3
I.3.1 Décantation des particules grenues.....	4
I.3.1.1 Théorie : Fluide au repos.....	4
I.3.1.2 Régime hydraulique.....	5
I.3.1.3 Facteur de sphéricité.....	7
I.3.1.4 Conditions de chute.....	7
I.3.1.4.1 Décantation à flux vertical.....	8
I.3.1.4.2 Décantation à flux horizontal.....	9
I.3.2 Décantation diffuse des particules floculées.....	11
I.3.3 Décantation en piston des particules floculées.....	12
I.3.3.1 Observation visuelle.....	12
I.3.3.2 Courbe de Kynch.....	12
I.3.3.3 Interprétation.....	14
I.3.4 Décantation en colonne.....	16
I.3.5 Décantation freinée.....	18
I.3.6 Décantation en compression de boue.....	18
I.4 Types des décanteurs.....	19
I.4.1 Décanteur classique.....	19
I.4.1.1 Décanteurs à écoulement horizontal, ou décanteurs couloirs.....	19
I.4.1.2 Décanteurs à écoulement vertical.....	20
I.4.1.2.1 Décanteurs à circulation de boues.....	21
I.4.1.2.2 Décanteurs à lits de boues pulsés.....	22

I.4.2 Les décanteurs lamellaires.....	23
I.5 Conclusion.....	25

Chapitre II : Décantation lamellaire

II.1 Introduction.....	26
II.2 Décanteur lamellaire.....	26
II.3 Types des décanteurs lamellaires.....	30
II.3.1 Décanteurs à tubes.....	30
II.3.2 Décanteurs à lamelles.....	32
II.3.2.1 Décanteurs lamellaires à lits de boues pulvés.....	35
II.3.2.2 Décanteur lamellaire a contact de boues.....	36
II.4 Différents types de décantation lamellaire.....	38
II.4.1 Contre-courant.....	39
II.4.2 Co-courant.....	39
II.4.3 Courant croisé.....	40
II.5 Description générale d'un décanteur lamellaire.....	41
II.6 Choix du type de faisceaux lamellaires.....	45
II.7 La décantation lamellaire dans l'épuration biologique.....	46
II.7.1 Les boues actives.....	47
II.7.2 Indice de MOLHMAN ou Indice de boue.....	47
II.7.3 La déshydratation des boues.....	48
II.8 Paramètre caractéristiques de la boue.....	48
II.8.1 Concentration en MES.....	48
II.8.2 Température.....	49
II.8.3 PH.....	49
II.8.4 Turbidité.....	50
II.8.5 DCO.....	50
II.8.6 DBO ₅	50
II.8.7 Oxygène dissous.....	50

II.8.7.1 Dénitrification.....	51
II.8.7.2 Anaérobiose.....	51
II.9 Conclusion.....	51

Chapitre III : Etude expérimentale

III.1 Matériels et méthodes.....	52
III.1.1 Objectifs principaux des expériences.....	52
III.1.2 Composition de l'équipement.....	52
III.1.3 Description du pilote TE-600.....	52
III.1.3.1 Construction.....	52
III.1.3.2 Manipulations.....	54
III.1.3.3 Liste des vannes	56
III.1.4 Prélèvements et échantillonnages	56
III.1.5 Mesures à effectuer sur l'échantillon.....	56
III.1.5.1 Matières en suspensions (MES).....	57
III.1.5.1.1 Principe de la filtration.....	57
III.1.5.2 Température.....	59
III.1.5.3 Mesure du pH.....	60
III.1.5.4 Demande chimique en oxygène (DCO).....	61
III.1.5.5 Turbidité.....	64
III.1.5.6 Oxygène dissous.....	65
III.1.5.7 Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours (DBO ₅)	65
III.2 Etude expérimentale de la décantation lamellaire.....	67
III.2.1 Objectifs du travail.....	67
III.2.2 Mode opératoire de la décantation sur le pilote.....	70
III.2.2.1 Décantation lamellaire à Co-courant.....	70
III.2.2.2 Décantation lamellaire à Contre-courant.....	70
III.2.2.3 Décantation classique.....	71
III.3 Résultat et interprétation.....	72
III.3.1 Caractéristiques de l'eau utilisée.....	72
III.3.2 Type de décantation lamellaire et la position des lamelles	72

III.3.2.1 Décantation lamellaire à contre-courant	73
III.3.2.1.1 Décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 60° « Position A »	73
III.3.2.1.2 Décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° « Position B »	76
III.3.2.2 Décantation lamellaire à co-courant	79
III.3.2.2.1 Décantation lamellaire à co-courant pour l'angle d'inclinaison des lamelles 60° « Position A »	79
III.3.2.2.2 Décantation lamellaire à co-courant pour l'angle d'inclinaison des lamelles 120° « Position B »	82
III.3.3 Rendement épuratoire du pilote pour les différentes phases de décantation lamellaires	85
III.4 Décantation classique	86
III.5 Etude du colmatage	89
III.5.1 Recyclage et l'évacuation	89
III.5.2 Décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° (position B), d'un espace entre les lamelles de 1 cm et avec un débit de recyclage et un débit d'évacuation	89
III.5.2.1 « Expérience 1 »	90
III.5.2.2 « Expérience 2 »	94
III.5.2.3 « Expérience 3 »	99
III.6 Conclusion	103
Conclusion générale	105
Webographie et Bibliographie	

Introduction générale

L'objectif de notre travail consiste à étudier les performances épuratoires en utilisant un décanteur lamellaire pour l'élimination de la charge polluante des eaux usées en particulier les MES, la turbidité, la DCO et la DBO₅.

Notre travail expérimental a été effectué au niveau du laboratoire de « traitement et épuration des eaux » de la Faculté de Technologie, de l'Université de Tlemcen sur le pilote TE600 pour étudier la décantation lamellaire dans l'épuration. Cette étude consiste à varier les angles de l'inclinaison, les types de décantation, l'espace entre les lamelles, l'alimentation en eau épurée biologiquement, les débits d'évacuation des boues et des eaux clarifiées.

Les eaux usées issues de la station d'Ain El Houtz sont utilisées dans ces expériences. Nous avons effectué des prélèvements de 300L (capacité utile de la Cuve d'alimentation) dans chaque prélèvement d'eau usée à partir de la sortie du bassin d'aération de la STEP en question, où ces eaux sont épurées biologiquement.

Notre étude, est structurée comme suit :

La 1^{ère} partie est une partie bibliographique composée essentiellement de deux chapitres :

- Le premier chapitre présente la généralité sur la décantation, en parlant sur les types des décantations, les décanteurs et les principaux paramètres et théories concernant la décantation.
- Dans le deuxième chapitre, nous aborderons des généralités sur la décantation lamellaire et présentation des installations, ainsi que les différents paramètres influençant la décantation. Dans cette partie nous nous sommes basés sur :
 - Le rôle de la décantation lamellaire ;
 - Le principe de la décantation lamellaire ;
 - Différents types de décanteur lamellaire ;
 - La décantation lamellaire dans l'épuration biologique ;
 - Description générale d'un décanteur lamellaire.

La 2^{ème} partie (chapitre III) sera consacrée à l'étude expérimentale basée sur des expériences et des calculs, ainsi que sur des analyses, des commentaires et d'interprétation des

résultats obtenus des mesures des paramètres : les matières en suspension, la demande chimique en oxygène, la demande biologique en oxygène, la température, Le potentiel hydrogène, l'Oxygène dissous et la turbidité.

Pour finaliser notre travail nous avons pratiqué quelques modifications des débits (l'alimentation et l'évacuation) pour minimiser les risques de colmatage.

A la fin, une conclusion est donnée pour résumer le fruit de notre travail.

CHAPITRE I

Généralités sur la décantation

I.1 Introduction :

En soumettant l'eau à un ralentissement important ou à un repos relatif suffisamment long, il est possible de la débarrasser d'une fraction substantielle de sa charge de matières en suspension. En supprimant la turbulence, on permet aux particules en suspension, plus lourdes que l'eau, de se sédimer. Cette opération est plus communément appelée : la décantation [1].

I.2 Définition de la décantation :

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblé sous forme de floc après une étape de coagulation floculation). Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d'où l'utilité impérieuse du phénomène de coagulation-floculation [8].

La technique de décantation a évolué depuis les décanteurs statiques (circulaires ou rectangulaires, raclés ou non raclés...) jusqu'aux appareille modernes qui possèdent une zone de réaction où l'on met en contact l'eau brute et ses réactifs avec les boues déjà existante : on trouve là les appareils à circulation des boues et les appareils à lit de boues. Les derniers développements dans ce domaine ont abouti au cyclo-floc, au lit fluidisé et à acti-floc, dernier-né de la technique et qui permet de produire **40 m³** d'eau par m² et par heure [8].

I.3 Types de décantation :

Le phénomène de sédimentation peut se manifester différemment selon la concentration de la suspension, les caractéristiques propres des particules et les interactions possibles entre elles [4].

Divers types de matières décantables sont à distinguer :

- **Les particules grenues** décantent indépendamment les unes des autres avec chacune une vitesse de chute constante.
- **Les particules plus ou moins floculées** ont des tailles et donc des vitesses de décantation variables. Lorsque leur concentration est faible, la vitesse de chute augmente au fur et à mesure que les dimensions du floc s'accroissent par suite de rencontres avec d'autres particules, c'est la **décantation diffuse**.

Pour des concentrations plus élevées, l'abondance des floes et leurs interactions créent une décantation d'ensemble, le plus souvent caractérisée par une interface nettement marquée entre

la masse boueuse et le liquide surnageant : c'est la **décantation en piston**, dont la vitesse est optimale dans une certaine zone de concentrations, au-dessus de laquelle on parle de décantation freinée [3].

I.3.1 Décantation des particules grenues :

C'est le cas le plus simple, le seul facilement décrit par des équations [3].

I.3.1.1 Théorie : Fluide au repos

Lorsqu'une particule grenue est laissée dans un liquide au repos, elle est soumise à une force motrice F_M (pesanteur diminuée de la poussée d'Archimède) et à une force résistante F_T (traînée du fluide) résultante des forces de viscosité et d'inertie :

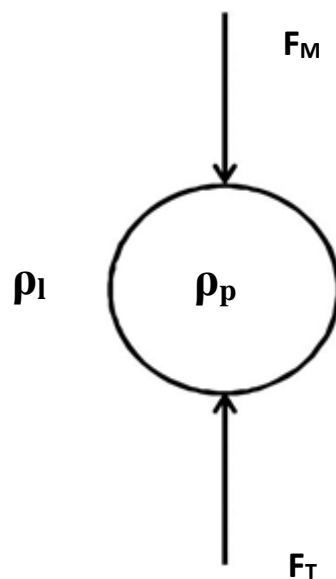


Figure I.1 : Forces agissantes sur une particule qui chute.

$$F_M = g \cdot V_p \cdot \Delta\rho \quad (\text{I.1})$$

$$F_T = \frac{C \cdot s \cdot \rho_l \cdot v_0^2}{2} \quad (\text{I.2})$$

Très vite un équilibre ($F_M = F_T$) s'établit et la décantation de la particule assimilée à une sphère se fait à vitesse constante V_0 telle que :

$$V_0^2 = \frac{4}{3} g \frac{d \Delta \rho}{C \rho_l} \quad (\text{I.3})$$

Avec :

$$\Delta \rho = \rho_p - \rho_l ;$$

ρ_p : masses volumiques de la particule grenue ;

ρ_l : masses volumiques du liquide ;

V_p : volume de la particule (m^3) ;

d, s : diamètre, surface projetée (maître couple : $\frac{\pi d^2}{4}$ pour une sphère) ;

v : vitesse de décantation de la particule ;

g : accélération de la pesanteur ;

C : coefficient de traînée (adimensionnel).

I.3.1.2 régime hydraulique

La valeur de C , coefficient de traînée, est définie par la perturbation, elle-même fonction de la vitesse de chute. Cette perturbation est caractérisée par le nombre de Reynolds (adimensionnel) de grain défini par :

$$Re = \frac{\rho_l \cdot v_0 \cdot d}{\mu} \quad (\text{I.4})$$

Avec : μ = viscosité dynamique de l'eau.

Si Re est petit, les forces de viscosité sont bien supérieures aux forces d'inertie. Si Re est grand, les forces de viscosité sont négligeables.

Le coefficient de traînée est donné par : $C = a \cdot Re^{-n}$ avec a et n constantes.

Tableau I.1 : Les différentes valeurs de a, n et C en fonction du nombre de Reynolds [3].

Re	Régime	a	n	C	Formule
$10^{-4} < \text{Re} < 1$	Laminaire	24	1	$24 \times \text{Re}^{-1}$	Stokes
$1 < \text{Re} < 10^3$	Intermédiaire	18,5	0,6	$18,5 \times \text{Re}^{-0,6}$	Allen
$10^3 < \text{Re} < 2 \times 10^5$	Turbulent	0,44	0	0,44	Newton

Ces formules sont à la base du calcul du mouvement des grains dans un fluide et sont utilisées en décan-tation (solides grenus dans un liquide, gouttes d'eau dans l'air), en ascension (bulles d'air dans l'eau, gouttes d'huile dans l'eau), en centrifugation, en fluidisation [3].

En régime laminaire, la loi de Stokes pour une particule sphérique donne :

$$V_0 = \frac{g}{18 \cdot \mu} \cdot \Delta \rho \cdot d^2 \quad (\text{I.5})$$

Les phénomènes d'agrégation faisant croître d font donc très rapidement croître la vitesse de décantation.

En régime transitoire, la loi de Allen donne également une vitesse croissante en fonction de la taille de la particule mais beaucoup moins rapidement puisque :

$$V_0^{1,4} = \frac{g}{13,875 \cdot \mu^{0,6}} \times \frac{\Delta \rho}{\rho_l^{0,4}} \quad (\text{I.6})$$

D'où : $V_0 = k \cdot d^{1,143} \quad (\text{I.7})$

I.3.1.3 Facteur de sphéricité

Ce facteur Ψ est donné par :

$$\Psi = \frac{\text{volume de la sphère de même surface}}{\text{volume du grain}} \quad (\text{I.8})$$

Dans les opérations précédentes, il faut alors remplacer C par $C' = \Psi.C$ et la loi de Stokes s'écrit :

$$V_0 = \frac{g}{18.\mu.\Psi} (\Delta\rho). d^2 \quad (\text{I.9})$$

Et le tableau suivant montre l'influence considérable de ce facteur pour les matériaux « plats » :

Tableau I.2 : Influence du facteur sphéricité [3].

Valeur de Ψ	
Sable	2
Charbon	2,25
Talc	3,25
Gypse	4
Lamelles de graphite	22
Mica	170

I.3.1.4 Conditions de chute

Si l'on considère un décanteur rectangulaire de longueur L , de section verticale $S = H \times \ell$ (où H est la hauteur de l'eau et ℓ la largeur) et de section horizontale $S_H = L \times \ell$, traversé uniformément par un débit Q , soit dans le sens vertical ascendant, soit dans le sens horizontal, les conditions pour qu'il retienne une particule grenue décantant à la vitesse V_0 dans une eau immobile seront exposées ci-dessous :

I.3.1.4.1 décantation à flux vertical :

Les particules dont la vitesse de sédimentation est supérieure à la vitesse ascendante du liquide sont retenues, ce qui s'écrit :

$$V_0 > V_{asc} = \frac{Q}{S_H} \quad (\text{I.10})$$

Q = débit du liquide

S_H = surface libre du décanteur.

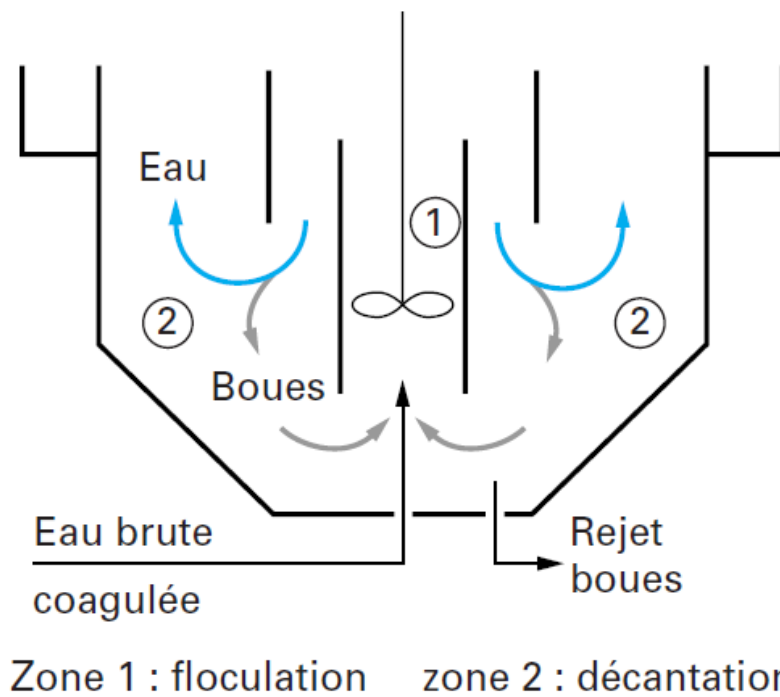


Figure I.2 : Schéma d'une décantation à flux vertical (particules grenues) [3].

I.3.1.4.2 décantation à flux horizontal :

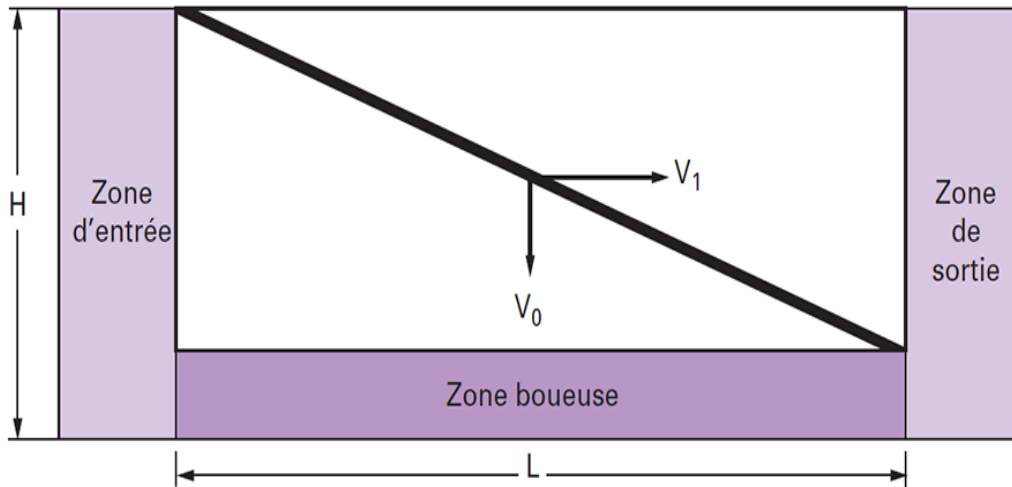


Figure I.3 : Schéma de la décantation à flux horizontal (particules grenues) [3].

La vitesse d'une particule entrant dans le bassin à son niveau supérieur a deux composantes :

V_1 : vitesse horizontale du fluide égale à Q/S ,

V_0 : vitesse verticale de chute donnée par la loi de Stokes.

Cette particule est retenue dans le bassin si le temps qu'elle met à toucher le radier (ou entrer dans la zone boueuse) :

$$t_1 = \frac{L}{V_1} \quad (\text{I.11})$$

Est inférieure au temps de séjour de l'eau dans le décanteur :

$$t_2 = \frac{L}{V_1} = \frac{L.S}{Q} \quad (\text{I.12})$$

$$\text{Soit : } \frac{H}{V_0} < \frac{L.S}{Q} \quad (\text{I.13}) \quad \text{où : } V_0 > \frac{H.Q}{L.S} = \frac{H.Q}{L.l.H} = \frac{Q}{S_H} = V_H \quad (\text{I.14})$$

V_H : vitesse de Hazen (ou charge hydraulique superficielle) analogue à V_{asc} du cas précédent et exprimée en $m^3.(h.m^2)^{-1}$ ou $m.h^{-1}$.

Il est à noter que V_H est indépendante de la profondeur du bassin.

Toutes les particules ayant des vitesses de sédimentation supérieures à V_H seront théoriquement éliminées. Toutefois, si l'alimentation en eau est répartie sur toute sa hauteur, une partie des particules ayant une vitesse de décantation V inférieure à la vitesse de **Hazen** sera aussi retenue dans le rapport V/V_H , alors que dans un décanteur à flux vertical, ces particules ne seraient pas retenues [3].

Théoriquement, à surface horizontale égale, un décanteur à flux horizontal permet donc la séparation d'un plus grand nombre de particules, la (**figure I.4**) suivante l'explique :

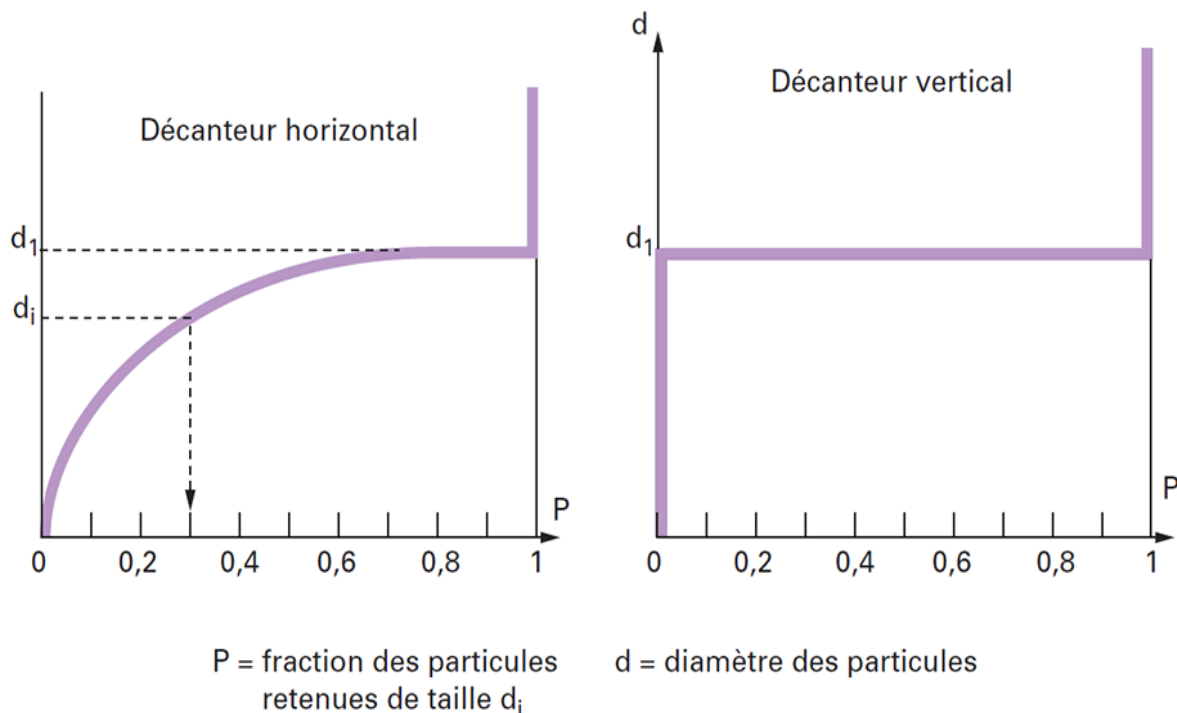


Figure I.4 : Efficacité comparée de décantations horizontale et verticale (particules grenues) [3].

Dans la pratique, cette différence est atténuée, voire inversée, pour les raisons suivantes liées à la décantation à flux horizontal :

- Difficulté de répartition hydraulique sur un plan vertical aussi bien à l'entrée qu'à la sortie de l'ouvrage.
- Accumulation et collecte des boues, qui réduit la section disponible.
- Dans un décanteur circulaire à flux horizontal, la composante horizontale de la vitesse de la particule (V_1) diminue du centre vers la périphérie et sa trajectoire devient curviligne.

I.3.2 décantation diffuse des particules floculées :

Lors de la décantation, la floculation se poursuit et la vitesse de sédimentation des particules V_0 augmente (**figure I.5**).

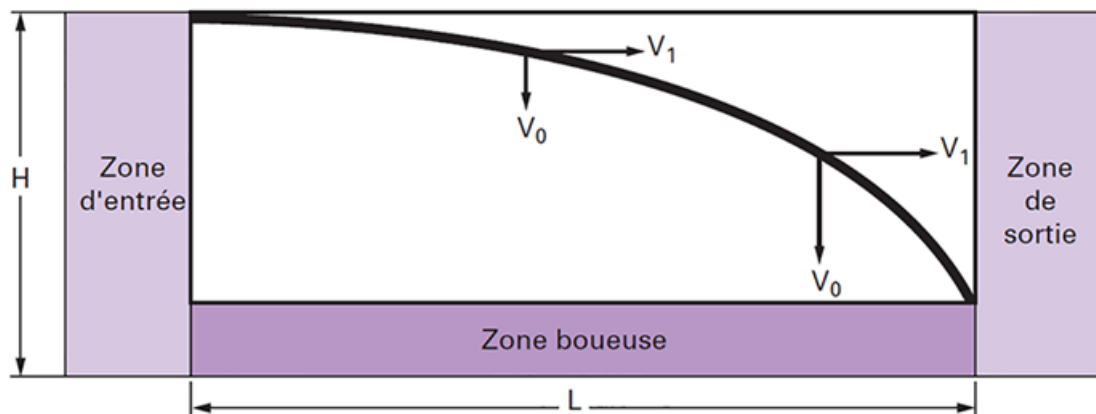


Figure I.5 : Schéma de la décantation à flux horizontal (particules floculées) [3].

Ce processus se produit dès que la concentration en matières floculées est supérieure à environ **50 mg.L⁻¹**.

L'efficacité de la décantation diffuse est liée non seulement à la charge hydraulique superficielle, mais aussi au temps de séjour. Il n'existe pas de formule mathématique permettant le calcul de la vitesse de décantation [3].

Des essais de laboratoire et des méthodes graphiques permettent seuls de connaître cette vitesse. La figure (I.6) donne les résultats d'un tel essai :

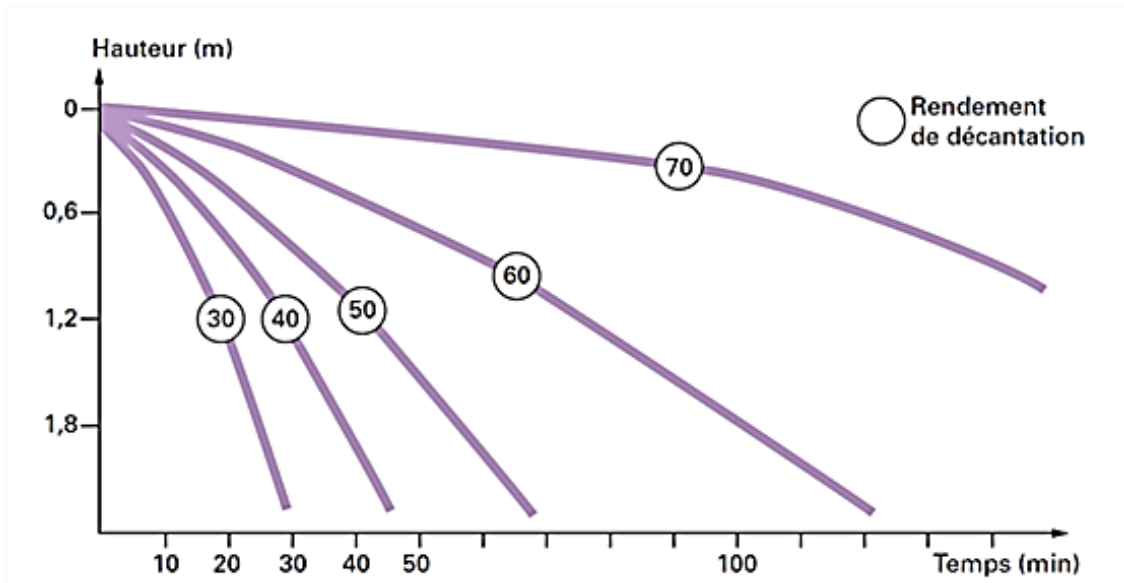


Figure I.6 : Elimination des particules floculées en décantation diffuse : relation entre temps, la hauteur effective et le rendement de décantation [3].

I.3.3 décantation en piston des particules floculées :

Quand la concentration en particules floculées augmente, les interactions entre particules ne sont plus négligeables, elles décantent en « piston ». La floculation et la décantation peuvent s'en trouver d'abord améliorées (voir décantation à contact de boue) puis freinées au-delà d'une certaine concentration critique, on parle alors d'une « décantation freinée » [3].

Ce phénomène est caractéristique des boues activées et des suspensions floculées quand leur concentration est supérieure à environ 500 mg.L^{-1} [3].

I.3.3.1 Observation visuelle :

Quand on réalise une décantation en piston dans un tube de hauteur et de diamètre suffisants (au mini-mum une éprouvette d'un litre), on observe généralement l'apparition de quatre zones (figure I.7) [3].

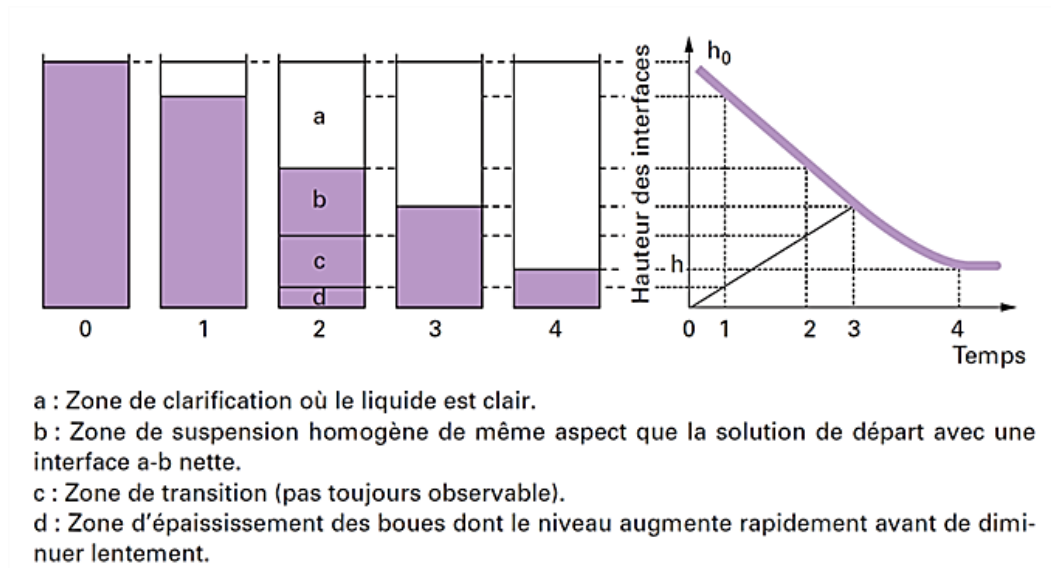


Figure I.7 : Décantation en piston : courbe de **Kynch** [3].

À partir d'un certain état, les zones **b** et **c** disparaissent, c'est le point critique. L'évolution de la hauteur de l'interface **a-b** en fonction du temps, constitue la courbe de **Kynch**.

I.3.3.2 Courbe de Kynch :

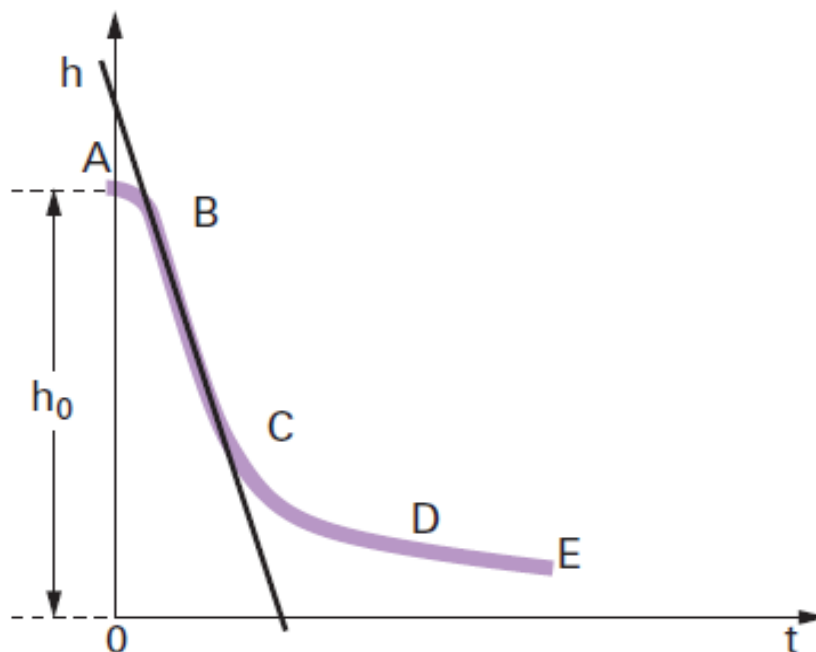


Figure I.8 : Courbe de **Kynch** [3].

L'hypothèse fondamentale de **Kynch** est que la vitesse de chute d'une particule ne dépend que de la concentration locale **C** en particules.

De **A** à **B**, la surface de séparation est plus ou moins nette : c'est la phase de coalescence des flocons. Cette phase est parfois inexistante.

De **B** à **C**, une partie rectiligne traduit une vitesse de chute constante **V** (pente de la droite). **V** est fonction, pour un tube de dimensions données, de la concentration initiale en MES et des caractéristiques de flocculation de la suspension. Lorsque, la concentration initiale **C** augmente, la vitesse de décantation **V** de la masse diminue : par exemple, pour une boue activée urbaine dont la concentration en MES passe de **1** à **4 g.L⁻¹**, **V** décroît de **6** à **1,8 m.h⁻¹** [3].

Le tronçon **CD**, concave vers le haut, correspond à un ralentissement progressif de la vitesse de chute de la couche supérieure du dépôt.

À partir de **D**, les flocons se touchent en exerçant une compression sur les couches inférieures.

La théorie de **Kynch** s'applique aux tronçons **BC** et **CD** qui couvrent le domaine essentiel de la décantation des boues floculées [3].

I.3.3.3 Interprétation :

Si l'on considère une suspension dont la décantation ne comporte pas de phase de coalescence (**figure I.9**), le calcul montre que :

Dans le triangle **BOC**, la concentration et la vitesse de chute sont constantes et égales aux valeurs initiales régnant en **B** ;

Dans le triangle **COD**, les courbes d'équi-concentration sont des droites passant par l'origine, ce qui signifie que, dès les premiers moments de la décantation, les couches les plus voisines du fond sont amenées à passer par toutes les concentrations comprises entre la concentration initiale et celle correspondant au **point D**, début de la compression [3].

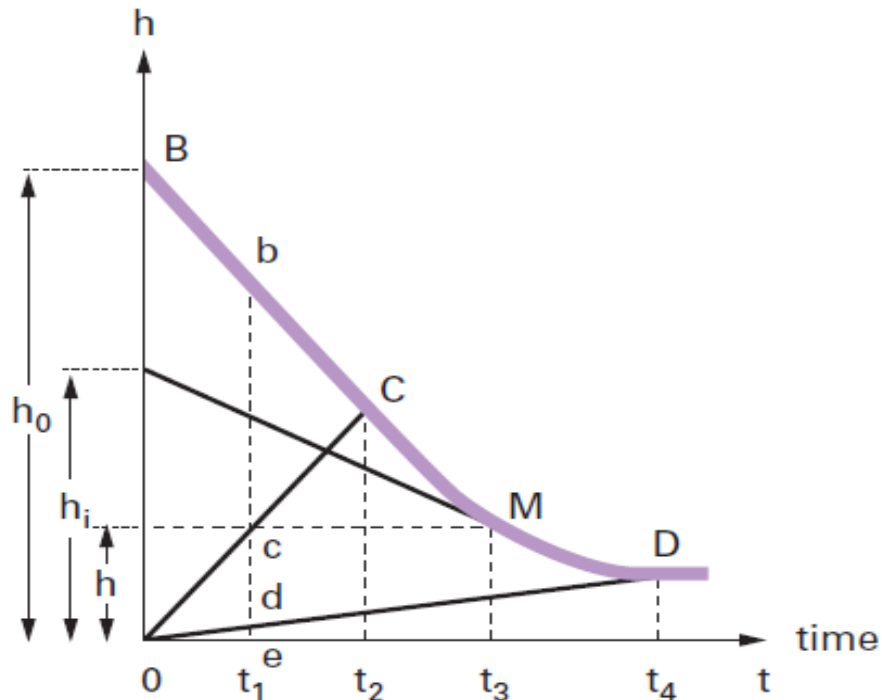


Figure I.9 : Courbe de **Kynch** (Interprétation) [3].

Le milieu boueux de hauteur **eb** à l’instant **t1** présente donc trois zones distinctes :

- Une zone supérieure **bc** où la concentration et la vitesse de chute sont uniformes et ont gardé leurs valeurs initiales **C** et **V0** ;
- Une zone intermédiaire **cd** dans laquelle la concentration augmente progressivement de **c** en **d** et la vitesse de chute diminue en conséquence ;
- Une zone inférieure **d** où les flocons de boues sont soumis à la compression.

Dans le milieu considéré au temps **t2** la zone supérieure disparaît, et au temps **t4** la zone inférieure seule subsiste.

Pour le point **M** de la partie **CD**, deux concentrations peuvent être définies :

- C_M^i concentration à l’interface,
- C_M concentration moyenne.

D’après l’hypothèse de **Kynch** :

$$C_M^i = C_0 \frac{h_0}{h_i} \tag{I.15}$$

Par ailleurs :

$$C_M = C_0 \frac{h_0}{h} \tag{I.16}$$

Les trois parties **BC**, **CD** et **DE** de la courbe de **Kynch** (**figure I.9**) trouvent leur application dans le calcul des ouvrages en sédimentation freinée. La phase **BC** correspond au domaine des décanteurs à contact de boue. La phase **CD** est relative aux ouvrages dans lesquels une concentration de la boue est recherchée (appareils à recirculation de boues épaissies). La phase **DE** est exploitée pour l'épaississement de boues [3].

I.3.4 Décantation en colonne :

La modification continue des caractéristiques des particules au cours de leur chute rend la conception d'un modèle mathématique beaucoup plus complexe. On doit donc, dans la plupart des cas procéder à des essais de laboratoire. Grâce à l'essai de décantation en colonne, on peut simuler en laboratoire les conditions de décantation d'une solution diluées des particules floculantes [11].

La réalisation de ces essais se fait dans une colonne de décantation de diamètre **15 cm** et d'une hauteur égale à la profondeur du décanteur (entre **1,8** et **2,4 m**). Des prises d'échantillons sont effectuées à des distances **d1**, **d2**, **d3**, de la surface, à intervalles réguliers (généralement à **0,6 m**, **1,2 m** et **1,8 m**) [11].

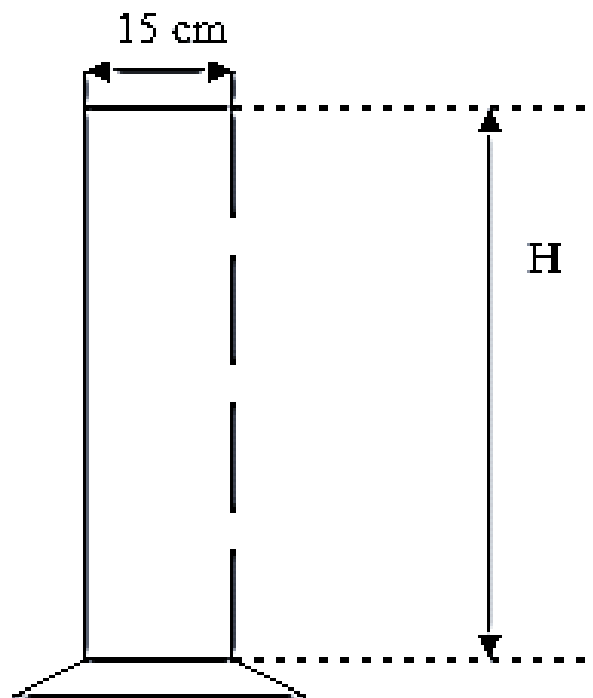


Figure I.10 : Colonne de décantation [11].

Le prélèvement d'échantillons permet de tracer des courbes de mêmes pourcentages d'élimination des particules. Celles-ci permettent d'évaluer le pourcentage des particules

éliminées dans le bassin idéal de décantation en fonction du temps de rétention à des diverses profondeurs [11].

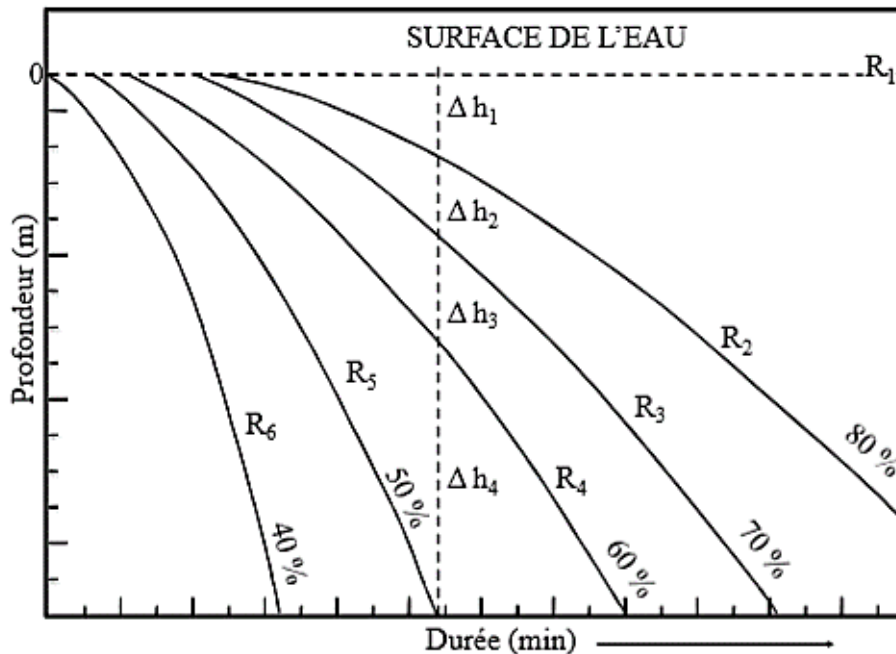


Figure I.11 : Courbes de même pourcentage d'élimination des particules [11].

A partir de ces résultats, on peut évaluer le pourcentage d'élimination des particules éliminées par un bassin idéal de décantation, en fonction de divers temps de rétention et de diverses profondeurs, à l'aide de l'équation suivante :

$$R = \frac{\Delta h_1}{H} \times \frac{(R_1 + R_2)}{2} + \frac{\Delta h_2}{H} \times \frac{(R_2 + R_3)}{2} + \dots + \frac{\Delta h_n}{H} \times \frac{(R_n + R_{n+1})}{2} \quad (\text{I.17})$$

Où :

R : pourcentage total des particules éliminées dans un bassin idéal (rendement) ;

R_i : pourcentage de particules éliminées dans un bassin de décantation idéal à une profondeur **h_i** et après un temps **t** ;

Δh_i : hauteur moyenne entre deux courbes de même pourcentage d'élimination des particules ;

H : la hauteur totale de la colonne.

Des couples de temps de séjours et de charge superficielle sont associés à divers rendements d'élimination des particules. Ceci permet de tracer des graphiques de temps, de charge superficielle en fonction du rendement [11].

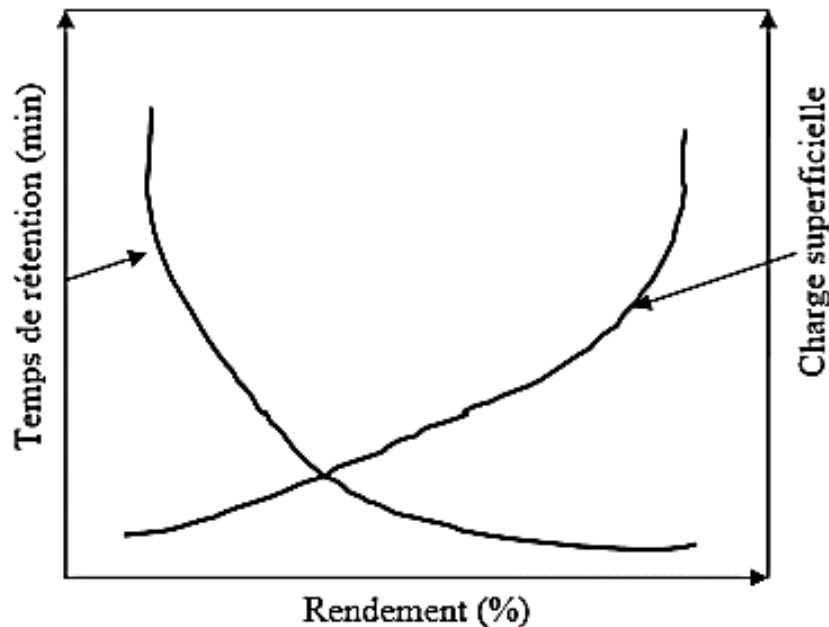


Figure I.12 : Variation du temps de rétention et de la charge superficielle en fonction du rendement [11].

I.3.5 Décantation freinée :

Ce processus de sédimentation se produit pour des concentrations en matières solides floculées supérieures à **500 mg/l** par suite d'interférence mutuelle entre les particules et la vitesse ascensionnelle du fluide déplacé au cours de la décantation. Ce qui entraîne la formation d'une couche de particules et par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant [4].

I.3.6 Décantation en compression de boue :

Dans ce type de décantation, les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures. Dans cette zone, le phénomène de consolidation est relativement lent. On retrouve ce type de décantation dans les épaisseurs de boues par gravité [5].

I.4 Types des décanteurs :

La déstabilisation des colloïdes et leur rassemblement en flocs de taille suffisante, permettent qu'ils se déposent : il reste à instaurer un régime hydraulique qui permette à ces flocs très légers, de se déposer dans un ouvrage d'où l'on pourra les ôter commodément [6].

I.4.1 Décanteur classique :

I.4.1.1 Décanteurs à écoulement horizontal, ou décanteurs couloirs :

Les décanteurs couloirs sont des ouvrages longitudinaux de forme parallélépipédique traversés par un débit d'eau « à décanter ». L'eau décantée est reprise dans la partie aval et les boues sont récupérées en fond d'ouvrage. La vitesse de chute des particules du floc dépend essentiellement de la surface de décantation et non pas de la hauteur entre le plan d'eau libre et le radier (fond de bassin). C'est pourquoi ces ouvrages comportent souvent plusieurs étages de décantation superposés de faible hauteur. En pratique, une hauteur minimale reste toutefois nécessaire, de manière à pouvoir accumuler une quantité raisonnable de boues dans l'ouvrage avant évacuation ; ce qui tends à limiter la multiplication des étages [25].

L'eau circule sensiblement horizontalement et les flocons se déposent au fur et à mesure de la progression du floc vers la sortie de l'appareil. Les installations très importantes sont parfois équipées de décanteurs horizontaux à étages dans le but de multiplier les surfaces de décantation tout en maintenant une surface projetée au sol relativement faible. On trouve le décanteur : Rectangulaire et circulaire [22].

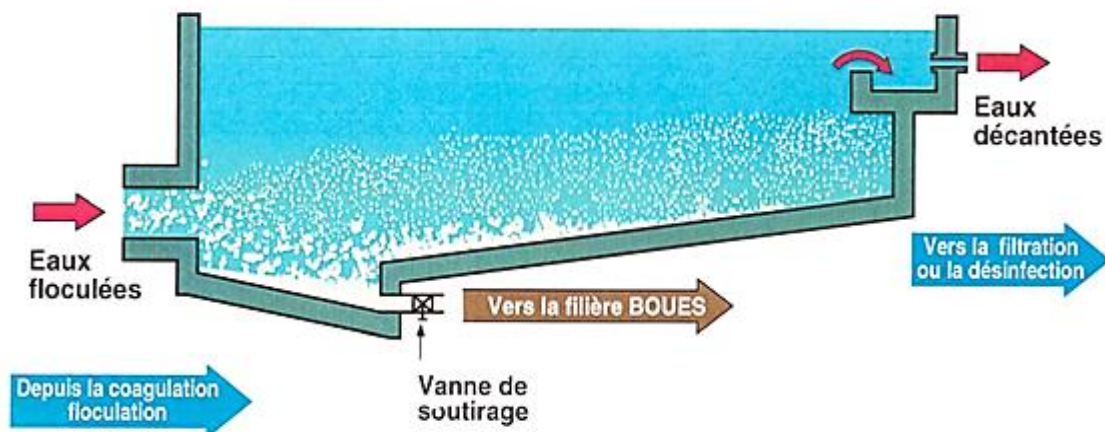


Figure I.13 : Décanteur horizontal (longitudinal) [25].

I.4.1.2 Décanteurs à écoulement vertical :

Ce sont des ouvrages de formes coniques, tronconiques ou pyramidales, dans lesquels l'eau suit un trajet vertical. La vitesse de chute des particules du floc est uniquement contrariée par la vitesse ascensionnelle de l'eau (et par les forces de frottements). L'équilibre de ces vitesses conduit à la formation d'un « voile de boue », qui constitue le principe de base du fonctionnement de tous les décanteurs verticaux. Ce « voile de boue » est en effet essentiel, car il joue un rôle de filtre en retenant les flocons de faible dimension : c'est le phénomène de coalescence. L'ouvrage « de base » est un décanteur statique : l'eau brute arrive au sommet d'une colonne, descend au fond de l'ouvrage (généralement très profond) puis remonte en abandonnant son floc [25].

Dans les décanteurs verticaux, l'eau circule de bas en haut, c'est-à-dire en sens inverse de la chute des particules : la vitesse de chute de ces derniers doit donc être supérieure à celle de la vitesse ascensionnelle de l'eau. Ces types de décanteurs conviennent plutôt pour les faibles débits, à moins que l'eau à traiter ne renferme des flocons de fortes densités [22].

Dans ce type d'ouvrage l'eau suit un trajet vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force résultante de la composition de la force de frottement et de la vitesse ascensionnelle de l'eau [6].

Tous les décanteurs verticaux font appel au voile de boue du fait de cet équilibre des vitesses et ce, quelle que soit la technique utilisée avec ou sans flocculateur ou recirculation des boues. Le rôle du voile de boue est essentiel il joue également le rôle de filtre pour les flocons de faibles dimensions. En son sein se produit le phénomène de coalescence [6].

Ce sont des ouvrages de forme conique ou pyramidale pour permettre un contrôle plus aisé du voile de boues. On rencontre les ouvrages suivants :

- Décanteurs dits statiques ;
- Décanteurs à circulation de boues ;
- Décanteur à lit de boues.

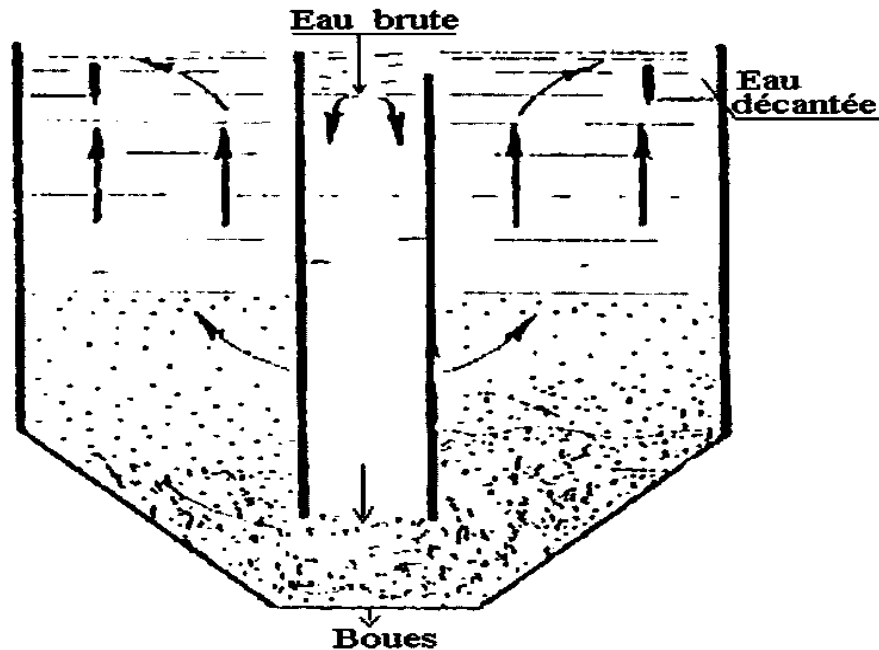


Figure I.14 : Exemple simplifié de décanteurs dits statiques [6].

Note : Vitesse maximum dans ce type d'ouvrage = $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (m/h).

I.4.1.2.1 Décanteurs à circulation de boues :

Ces décanteurs comportent une zone centrale de réaction entourée d'une zone de décantation. Ces deux zones communiquent par le haut et par le bas.

Une turbine située à la partie supérieure de la zone de réaction fait circuler l'eau vers la zone de décantation [6].

Les boues qui se déposent dans cette dernière reviennent par circulation induite dans la zone centrale. L'enrichissement en boue qui en résulte permet une floculation rapide et la formation d'un précipité dense.

Éventuellement, un agitateur de fond assure un mélange rapide de l'eau brute avec la boue et les réactifs. Il évite en outre l'accumulation des dépôts lourds susceptibles de boucher l'appareil [6].

Une ou plusieurs fosses à boues permettent d'extraire les boues en excès, sous une forme aussi concentrée que possible [6].

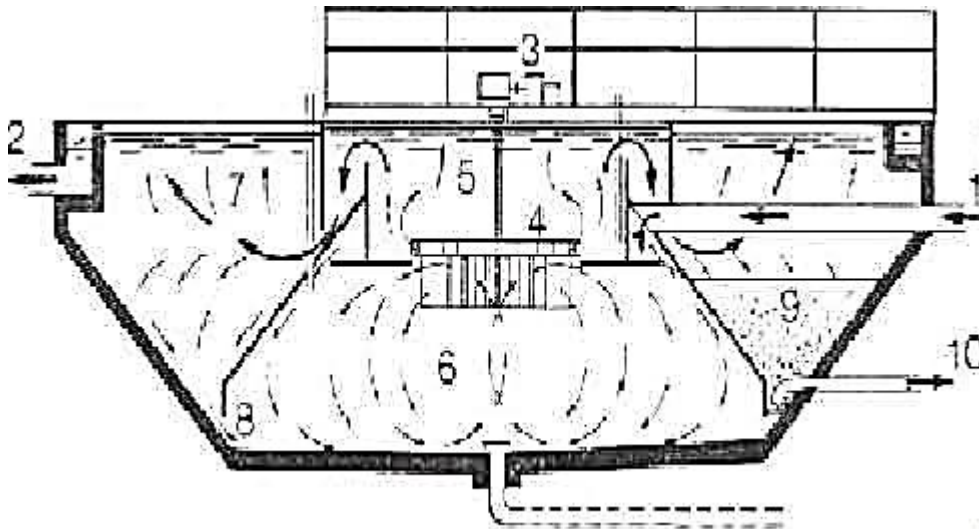


Figure I.15 : Schéma de principe de fonctionnement d'un décanteur à circulation [6].

Avec :

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. Arrivée de l'eau brute ; | 6. Zone de mélange secondaire ; |
| 2. Départ de l'eau décantée ; | 7. Eau clarifiée ; |
| 3. Groupe d'entraînement ; | 8. Recirculation des boues ; |
| 4. Turbine ; | 9. Concentrateurs de boues ; |
| 5. Zone de mélange primaire ; | 10. Boues en excès évacuées. |

Certains appareils peuvent comporter un racleur à la partie inférieure de l'appareil. Ce racleur permet un épaissement des boues qui sont dirigées vers les fosses à boues, situées au niveau du radier d'où elles seront extraites [6].

I.4.1.2.2 Décanteurs à lits de boues pulsent :

Dans ces ouvrages, on fait appel uniquement à un brassage hydraulique, l'eau étant envoyée dans le fond du décanteur par à-coups ou pulsations (d'où le nom de l'appareil). L'admission de l'eau brute additionnée du flocculant se fait dans une cloche centrale qui se vide automatiquement à intervalles réguliers et réglables [6].

Le système de remplissage et de vidange est commandé par une mise sous vide de la cloche suivie d'une remise à l'atmosphère. Le lit de boue est donc soumis à des mouvements alternatifs, vers le bas pendant la chasse et vers le haut pendant le remplissage, ce qui favorise sa cohésion [6].

On profite du mouvement ascensionnel du lit de boues pour en éliminer une partie par surverse dans des pièges disposés à la périphérie. Lorsque ces pièges sont pleins, ils sont purgés automatiquement. L'eau est uniformément répartie à la base de l'ouvrage par un réseau de tubes perforés. L'eau décantée est également récupérée à la surface par des raquettes semblables. Cette répartition du flux, qui évite au maximum les courts-circuits, est probablement la raison principale des performances de ce type de décanteur [6].

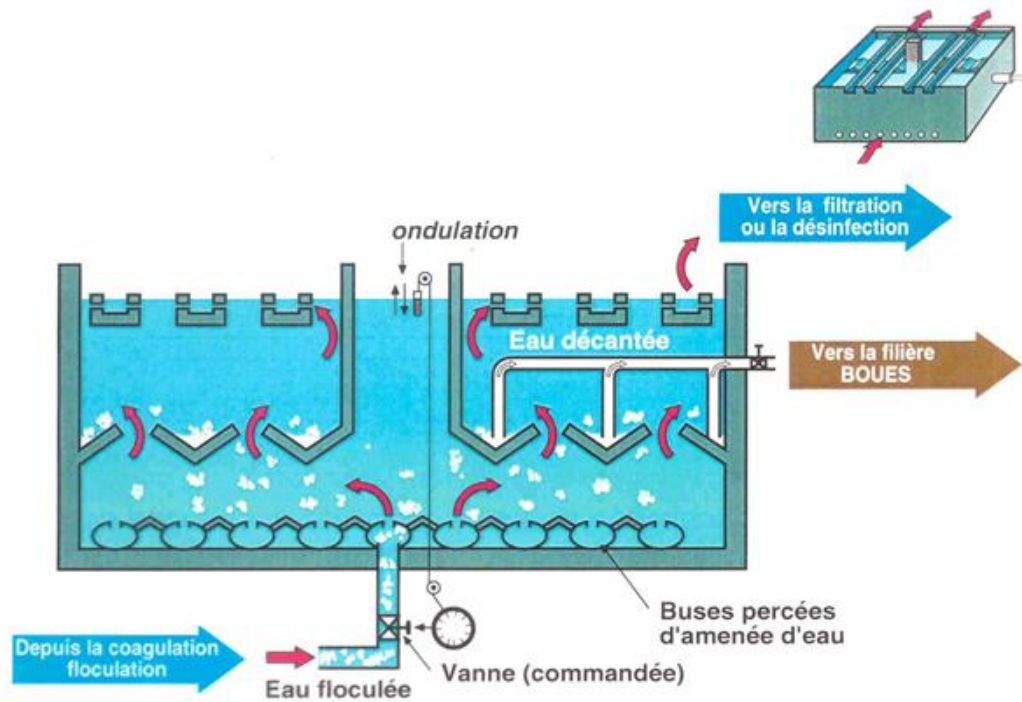


Figure I.16 : Décanteur flux verticale à pulsations [25].

I.4.4 Les décanteurs lamellaires:

Il s'agit d'un ouvrage de décantation dans lequel des lamelles parallèles inclinées permettent de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique à flux horizontal. Les décanteurs utilisant des plaques ou des tubes réalisent également une décantation considérable plus rapide que la décantation classique [12].

La décantation lamellaire est fondée sur le principe de la décantation à flux horizontal. Ainsi, on constate que la décantation d'une particule est liée uniquement au débit Q et à la surface horizontale S , et qu'elle est théoriquement indépendante de la hauteur H de décantation [12].

Afin de pouvoir extraire en continu les solides décantés, et pour des raisons pratiques de fonctionnement et d'exploitation, les lamelles sont inclinées d'un angle α , compris entre 30° et 60° par rapport à l'horizontale selon le type de décanteur. Une telle disposition permet, pour un rendement identique, de construire des ouvrages plus compacts qu'un bassin classique [12].

Par analogie avec la théorie de **Hazen**, et moyennant quelques hypothèses simplificatrices (écoulement laminaire permanent notamment), on peut déterminer la vitesse limite de décantation V_{lim} d'une particule [12] :

$$V_{lim} = \frac{Q}{(n-1).S_L.\cos(\alpha)} \quad (\text{I.18})$$

Si on répartit le débit Q sur n lamelles parallèles de surface unitaire $S_L = S_{in}$, on obtient une décantation théoriquement identique à celle obtenue dans le bassin de la figure ci-dessous :

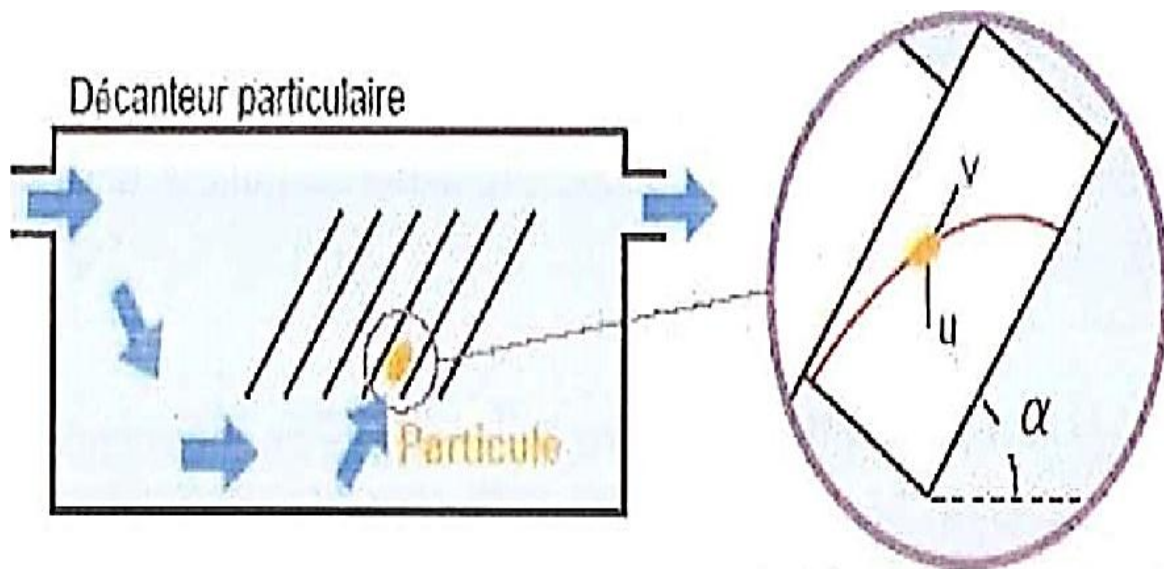


Figure I.17 : Schéma d'un décanteur lamellaire [12].

I.5 Conclusion :

La décantation est une opération de séparation solide/liquide par simple gravité. Si la densité des particules est supérieure à celle de l'eau, il y a une décantation, sinon on a une flottation. La décantation a pour but d'éliminer les MES et les colloïdes. Ce procédé est utilisé pratiquement dans toutes les usines d'eau potable ainsi que les stations d'épuration d'eaux usées [10].

L'importance du procédé a poussé les chercheurs et les spécialistes en la matière, à la recherche pour l'amélioration des techniques de la décantation en jouant sur certains paramètres (vitesse de décantation, surface de décantation, etc.), ce qui a permis l'apparition de plusieurs décanteurs performants qui ont des avantages non négligeables, et qui permettent surtout de gagner l'argent, le temps et l'espace.

CHAPITRE II

Décantation lamellaire

II.1 Introduction :

La décantation lamellaire est une solution technique mise en œuvre pour séparer les pollutions véhiculées dans les eaux de ruissellement. Les premières utilisations concernaient des prétraitements en amont de stations d'épurations ou intervenaient dans certaines activités industrielles [7].

Les décanteurs lamellaires sont des ouvrages compacts. Leur surface de décantation importante leur confère des performances élevées, à l'instar des bassins de décantation. Dans une structure lamellaire composée de lames juxtaposées et inclinées par rapport au plan horizontal, l'objectif recherché est de piéger les boues sur la surface des lames [7].

II.2 Décanteur lamellaire :

Dans un décanteur idéal, une particule est éliminée lorsqu'elle atteint la zone de boues. Dans le décanteur simple, cette particule doit parcourir une distance verticale H . On peut aisément montrer que, si on réduit de moitié la hauteur du bassin sans modifier le temps de rétention, on n'obtient aucune élimination supplémentaire de particules, puisque, pour conserver ce même temps de rétention, on doit doubler la longueur du bassin. Or, dans ce nouveau bassin, la section d'écoulement est réduite de moitié ; par conséquent, la vitesse horizontale est doublée [26].

Où :

$$V_1 = \frac{Q}{S_t} = \frac{Q}{H.l} \quad (\text{II.1})$$

$$2V_1 = \frac{Q}{\frac{H}{2} \times l} \quad (\text{II.2})$$

Par contre, on peut accroître considérablement la capacité d'un décanteur en augmentant la surface de décantation. Pour ce faire, il suffit d'ajouter des paliers dans le décanteur. En effet, alors que dans un décanteur dépourvu de palier, les particules dont la vitesse de décantation est supérieure ou égale à V_0 sont complètement éliminées, dans un décanteur doté de 3 paliers, les particules dont la vitesse de décantation est supérieure ou égale à $V_0/3$ sont complètement éliminées [26].

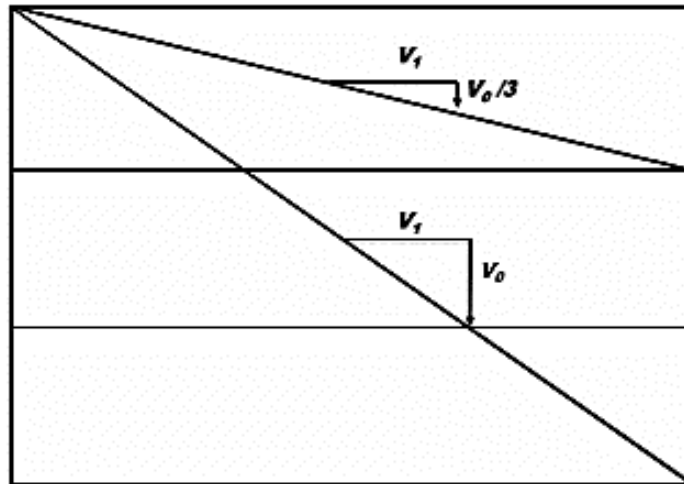


Figure II.1 : Bassin de décantation idéal avec 3 paliers [26].

Il est donc possible d'augmenter de manière très importante la surface disponible à la décantation en superposant sur la hauteur de l'ouvrage un grand nombre de cellules de séparation eau/boue [26].

Les figures ci-après présentent les gains théoriques possibles sur un ouvrage, en débit ou en dimension :

- Un débit nQ , dans le même ouvrage, en superposant n étages de hauteur élémentaire H/n .
- Un même débit en superposant n étages de hauteur élémentaire h/n et longueur L/n .

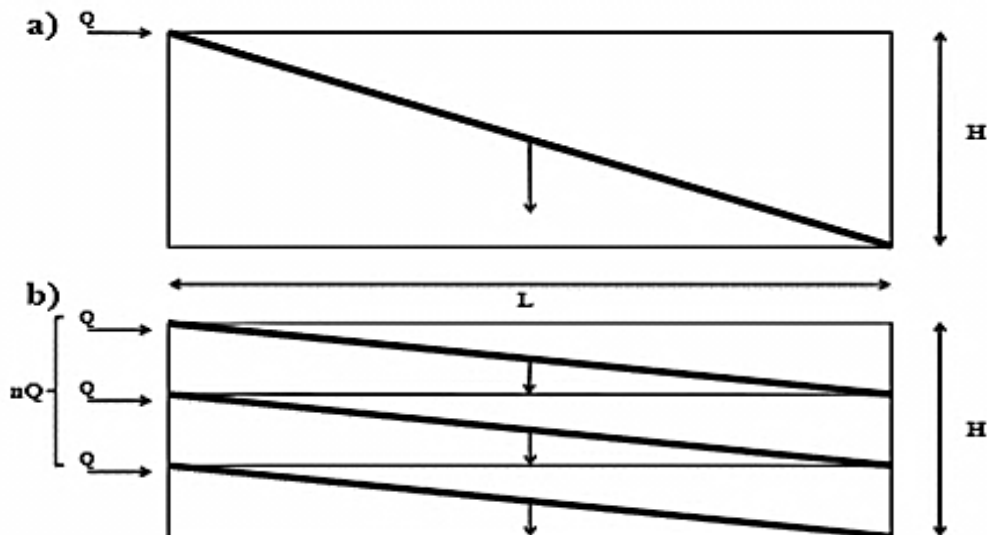


Figure II.2 : Gain théorique possible sur un ouvrage de hauteur élémentaire H/n [13].

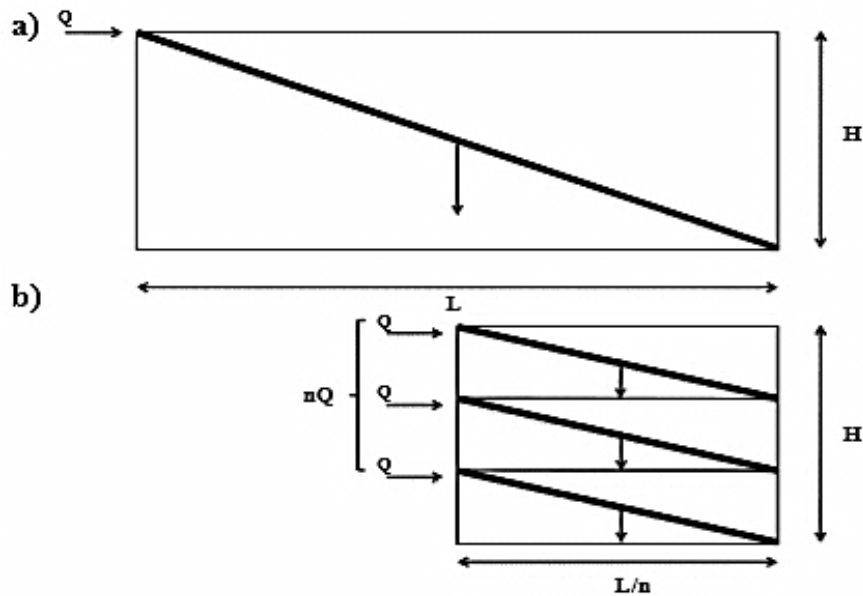


Figure II.3 : Gain théorique possible sur un ouvrage de hauteur élémentaire H/n et longueur L/n [13].

Les décanteurs dits lamellaires comportent souvent une série de lamelles qui permet de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique. En théorie, pour augmenter la capacité d'un décanteur, on peut réduire à l'infini la hauteur qui sépare les paliers. En pratique, toutefois, on doit laisser entrer chaque palier une distance suffisante pour qu'une certaine quantité de boues ne s'accumule et ainsi provoquer le colmatage. En général, la hauteur qui sépare chaque palier est de l'ordre de **5cm** [26].

Dans la pratique, ces superpositions entraînent un problème d'évacuation des boues décantées. Pour cela, il faut que la surface sur laquelle les particules se déposent soit suffisamment inclinée pour qu'elles puissent glisser vers le bas sous l'effet de la pesanteur [26].

La figure II.3 illustre ce principe pour un réseaux de plaque parallèles et montre, dans ce cas que la surface de décantation équivalente est nettement supérieure à celle de la base du décanteur.

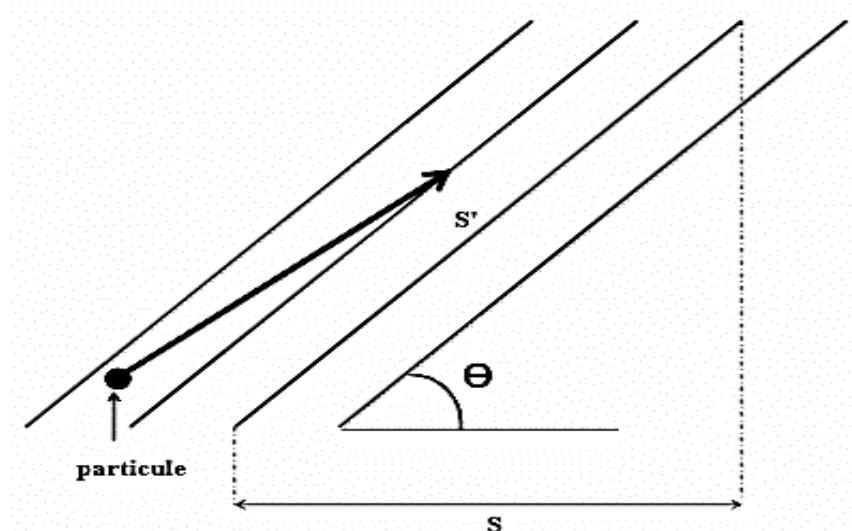


Figure II.4: Décantation lamellaire a plaque : effet cumulé des surfaces unitaires [13].

Avec :

θ : angle d'inclinaison des plaques.

S' : surface d'une plaque (m^2).

S : surface projetée d'une plaque (m^2).

La surface projetée d'une plaque (S) est : $S = S' \cdot \cos\theta$ (II.3)

Pour l'ensemble du décanteur lamellaire, la surface utile est égale à la totale projetée (STP) :

$$STP = (n - 1) \cdot S \cdot \cos\theta \quad \text{(II.4)}$$

Avec :

n : nombre des plaques (lamelles).

S : surface élémentaire d'une plaque (m^2).

θ : angle d'inclinaison des plaques.

La vitesse ascensionnelle (ou de **Hazen**) approximative est égale à [8] :

$$V_a = \frac{Q}{STP} = \frac{Q}{(n-1).S.\cos\theta} \quad (\text{II.5})$$

Avec : **Q** : débit entrant dans l'ouvrage (m³/s).

II.3 Types des décanteurs lamellaires :

Il existe nombreux modèles de faisceaux lamellaires : plaques planes, plaques ondulées, tubes ronds, tubes carrés, chevrons, modules hexagonaux.

II.3.1 Décanteurs à tubes :

On trouve sur le marché deux types de décanteurs à tubes : ceux dont les tubes sont légèrement inclinés par rapport à l'horizontale (7°) et ceux dont les tubes sont fortement inclinés par rapport à l'horizontale (60°). Ces deux types de décanteurs sont habituellement constitués d'un empilement de tubes de section carrée de **5 cm** de côté [26].

Les tubes inclinés à 7° ont une longueur de **0.6, 1.2, 1.8** ou **2.4 m**. Leur fonctionnement est associé à celui des filtres. Ainsi, lorsque l'eau flocculée pénètre dans le décanteur, les particules de floc s'y déposent et s'y accumulent, alors que le liquide surnageant est acheminé vers les filtres. L'accumulation des solides dans les tubes réduit la section d'écoulement, ce qui augmente la vitesse de l'eau, si bien que, lorsque cette vitesse est suffisamment élevée, les solides sont remis en suspension dans l'eau et entraînés vers les filtres. Pour l'élimination de ces solides se fait par acheminement d'une eau claire vers les décanteurs, ce qui permet d'entraîner vers l'égout la totalité des solides accumulés, ce nettoyage étant facilité par l'inclinaison de 7° [26].

On utilise les décanteurs à tubes inclinés à 7° dans les stations dont la capacité de production est inférieure à **4000 m³/j**. pour des productions plus importantes, il est recommandé d'installer les tubes inclinés à 60° [9].

De plus, la forte inclinaison des tubes à 60°, permet d'obtenir un auto nettoyage continu. Comme le montre la figure ci-dessous l'eau s'écoule de bas en haut, et les solides se déposent sur la paroi inférieure pour glisser ensuite jusqu'au fond du bassin. L'eau clarifiée est acheminée vers des goulottes situées près de la surface et déversée sur les filtres [26].

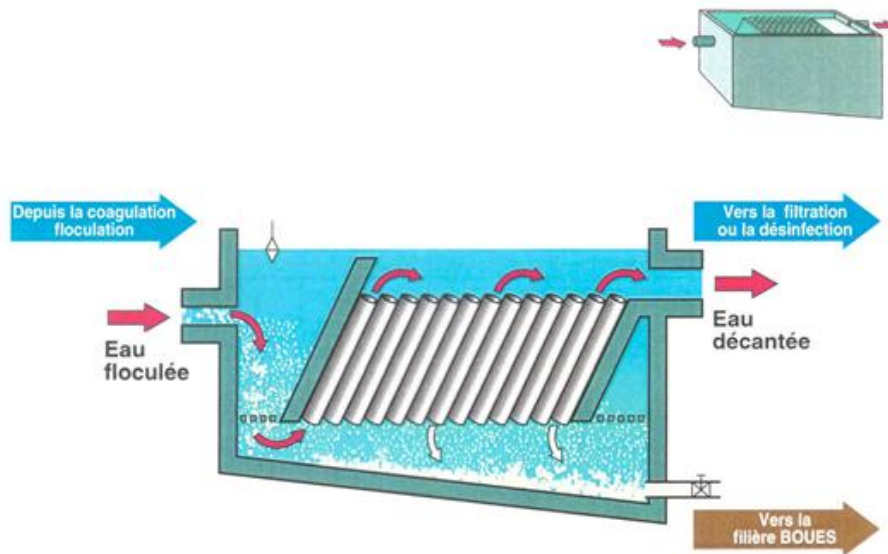


Figure II.5 : Décanteur à tubes inclinés à 60° [26].

À l'intérieur d'un tube, différentes forces agissent sur les particules accumulées. La force résultante F_r , est donnée par :

$$F_r = F_g (\cos 30^\circ) - (F_D + F_f) \quad (\text{II.6})$$

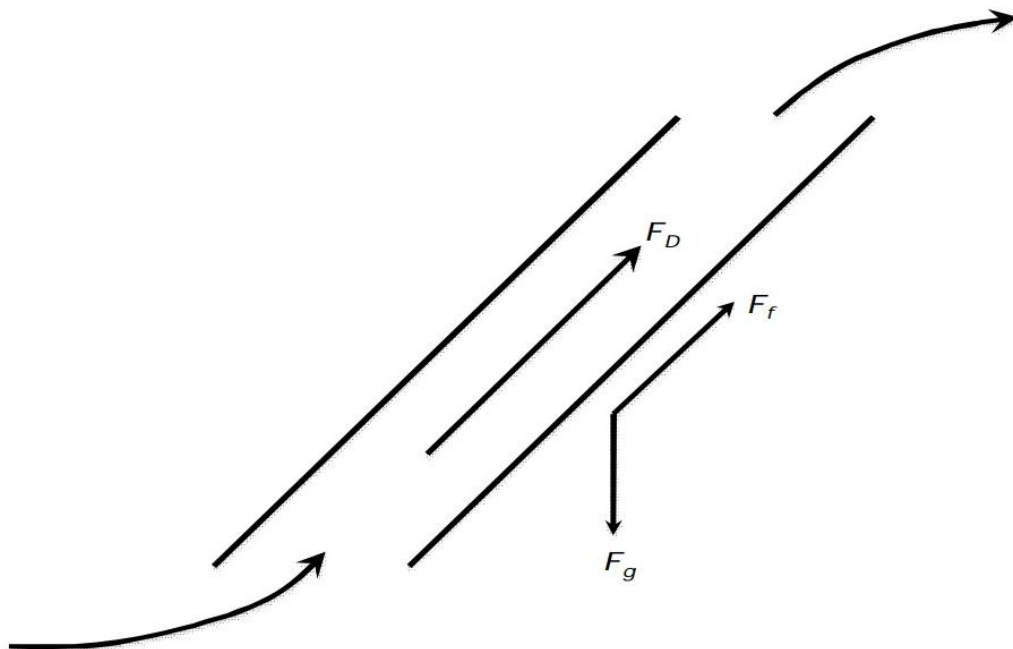


Figure II.6 : Forces agissant sur une particule déposée dans un tube incliné à 60° [26].

Avec :

F_g : force due à la pesanteur,

F_D : force de traînée,

F_f : force de friction

Lorsque F_f est positif, c'est-à-dire lorsque $F_g (\cos 30^\circ) > F_D + F_f$, les particules glissent vers le fond du bassin. Par contre, lorsque F_f est négatif, les particules sont entraînées vers la sortie et les filtres. Par conséquent, en augmentant la charge superficielle sur les décanteurs, on augmente la force de traînée et on risque ainsi d'augmenter la turbidité dans l'effluent des décanteurs [9].

On peut toutefois augmenter la capacité des décanteurs en inversant le sens d'écoulement de l'eau : la force de traînée agit alors dans le même sens que la force due à la pesanteur. C'est ce qui se passe dans les décanteurs à lamelles [9].

II.3.2 Décanteurs à lamelles :

Ces décanteurs (**figure II.7**) sont constitués d'un empilement de plaques inclinées, L'eau à clarifier circule de bas en haut dans le sens inverse de la boue à l'intérieur de tubes formés par des plaques empilées les unes sur les autres [29].

L'angle d'inclinaison des tubes formés par l'empilement des plaques doit être compris entre 45° et 60° . En effet, le courant descendant des boues, crée dans les tubes, entraîne avec lui les floes les plus fins (qui auraient été entraînés par le courant d'eau ascendant). Un angle d'inclinaison trop faible empêche l'auto curage des tubes car les boues ont tendance à rester accrochées sur les parois [29].

On peut les considérer comme des décanteurs multi-étages dans lesquelles la surface S' d'une lamelle est multipliée les lamelles parallèles entre elles, en respectant un angle permettant l'évacuation des boues [10].

Les solides s'accumulent sur la plaque inférieure et glissent jusqu'au fond du bassin. La vitesse de chute des particules se calcule comme suit [10] :

$$V_0 = \frac{Q}{(n \times S' \times \cos \alpha)} \quad (\text{II.7})$$

Tel que :

V_0 : Vitesse de sédimentation de la particule (m/s) ;

Q : débit (m^3/s) ;

n : nombre des lamelles ;

S' : surface d'une lamelle (m^2).

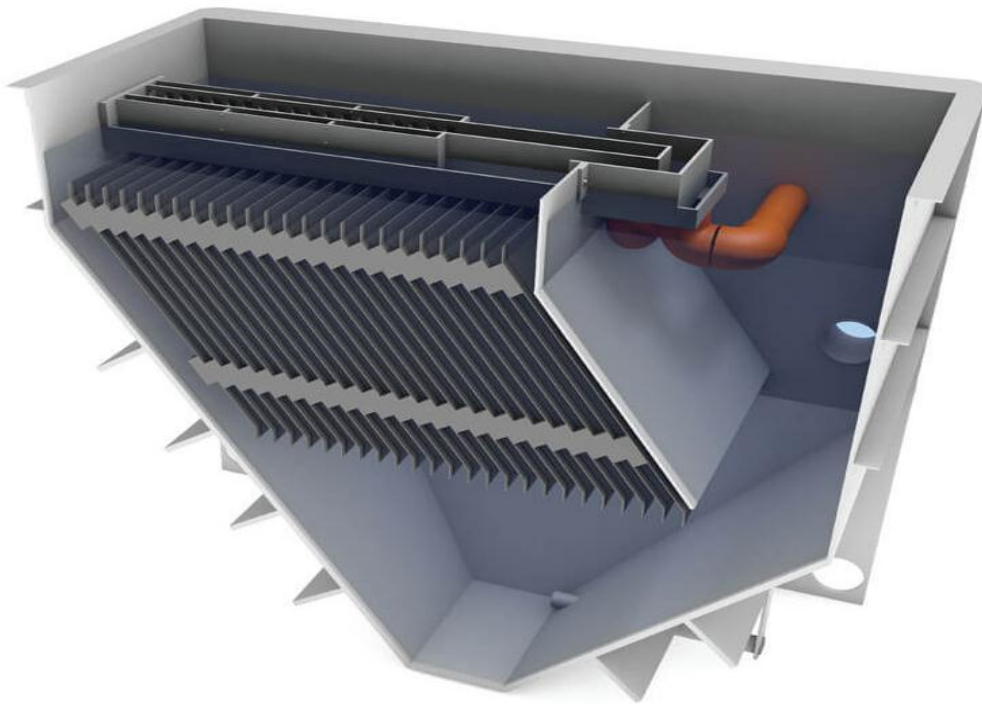


Figure II.7 : Exemple de décanteur lamellaire [27].

L'amélioration des décanteurs horizontaux passe par une évacuation du dépôt de boues plus rapide.

Pour cela il suffit que la surface sur laquelle le floc se dépose soit inclinée pour que ce dernier puisse glisser vers le bas au fur et à mesure [6].

D'où la réalisation de modules lamellaires inséré dans un décanteur, dont la surface S ($L \times l$) de chaque lamelle devient une surface de décantation, l'angle d'inclinaison étant un des éléments importants de ce système [6].

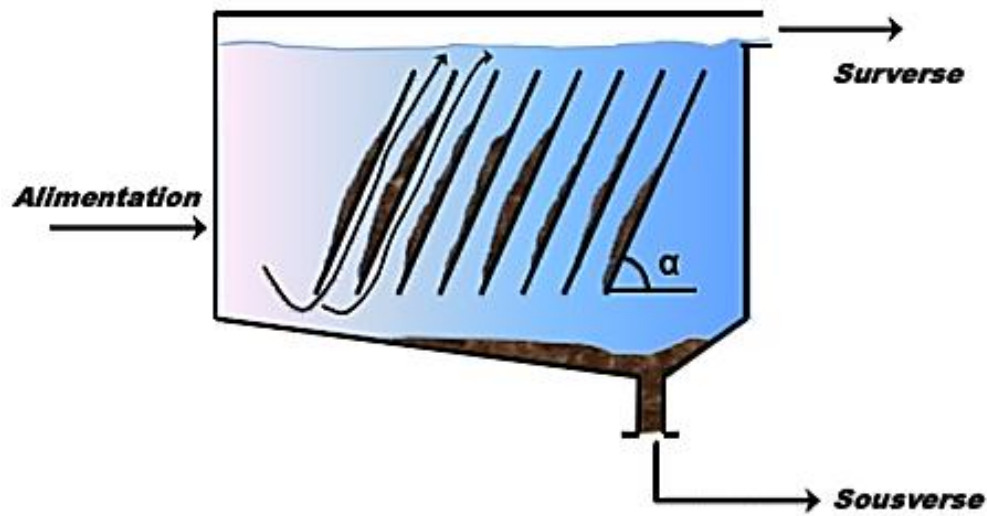


Figure II.8 : Décanteurs à lamelles [6].

Afin d'assurer l'évacuation gravitaire de la boue décantée, les lamelles sont inclinées d'un angle θ par rapport à l'horizontale. La figure ci-après illustre ce principe pour un réseau de plaques parallèles et montre, dans ce cas, la surface de décantation équivalente au sol [9].

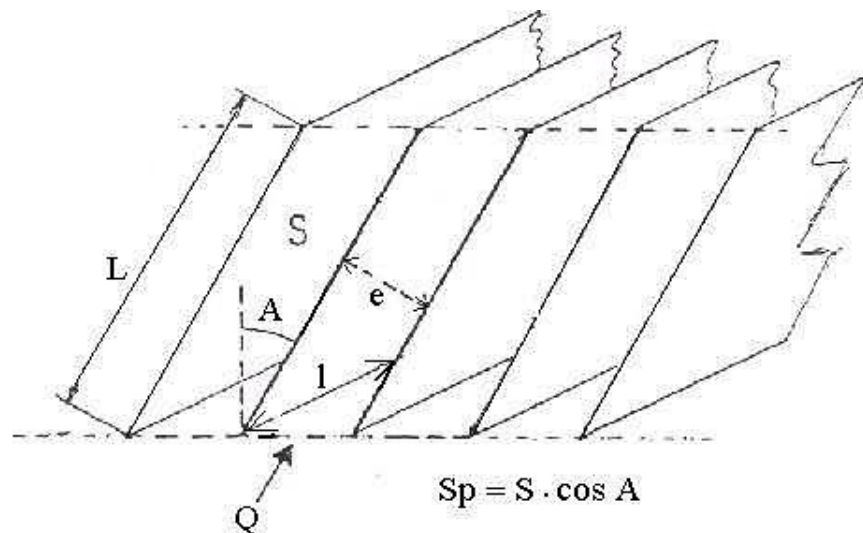


Figure II.9 : Système à contre-courant (les plus utilisés) [6].

Les paramètres les plus importants sont les suivants [30] :

- Angle d'inclinaison (**A**) des plaques pour assurer l'écoulement des boues sous l'effet de la gravité ;
- Vitesse de **Hazen** réelle (Q/S_p) ;
- Ecartement (**e**) des plaques ou diamètre des tubes pour favoriser l'établissement d'un régime laminaire ;

- Longueur (**L**) des plaques ;
- Vitesse dans la zone d'alimentation en floccs.

Les lamelles sont constituées de plaques (souvent en **PVC** à profil trapézoïdal, panneau nervuré "onde Greca", etc.). L'écartement et la longueur des plaques est définie de manière à optimiser la rétention des floccs. L'équipartition de l'eau s'effectue par prélèvement de l'eau décantée dans des tubes munis d'orifices calibrés. Ceci permet une bonne équipartition du flux hydraulique sur la totalité de la section du décanteur. Les boues captées par les lamelles glissent vers le bas et sont recueillies à la base de l'ouvrage et extraites périodiquement dans des trémies ou par un racleur [30].

Cet appareil conserve les avantages de simplicité du décanteur couloir. Il comporte très peu d'appareillage électromécanique ce qui en fait un appareil idéal pour les petites installations ou les usines situées dans les pays peu industrialisés [30].

Dans ce type d'ouvrage, il faut distinguer :

- La vitesse de **Hazen**, qui est celle relevée dans le décanteur élémentaire formé par deux lamelles successives ;
- De la vitesse apparente, qui est celle rapportée au plan d'eau libre de l'ouvrage (la surface "miroir").

Le décanteur présente les avantages suivants :

- La compacité par rapports aux décanteurs statiques conventionnels qui conduits à des économies importantes d'espace et de coût ;
- L'efficacité qui résulte de l'accroissement de la surface de décantation ;
- La fiabilité qui est induite par la simplicité du décanteur.

Une des qualités essentielles du système est sa simplicité de réalisation et d'exploitation puisqu'il ne comporte aucun équipement mobile immergé [6].

II.3.2.1 Décanteurs lamellaires à lits de boues pulses :

L'alimentation en eau brute de l'appareil s'effectue pratiquement de manière identique (avec injection des réactifs coagulants et des adjuvants de floculation) [6].

L'eau floclée, équirépartie par le réseau de distribution, pénètre ensuite dans le réseau de plaques parallèles inclinées sur l'horizontale et perpendiculaires au concentrateur. La face inférieure de chaque plaque est équipée de déflecteurs qui servent à la fois de supports et d'organes créateurs de mouvements tourbillonnaires [30].

Comme dans ce type de décanteur le niveau supérieur du lit de boues est limité par son déversement dans la zone du concentrateur où ne s'exerce aucune poussée due à la vitesse ascensionnelle et la reprise d'eau décantée est réalisée par un réseau de collecteurs [30].

Ce décanteur combinant les avantages de la décantation à contact de boues, de la pulsation d'un lit de boues et de la décantation lamellaire [6].

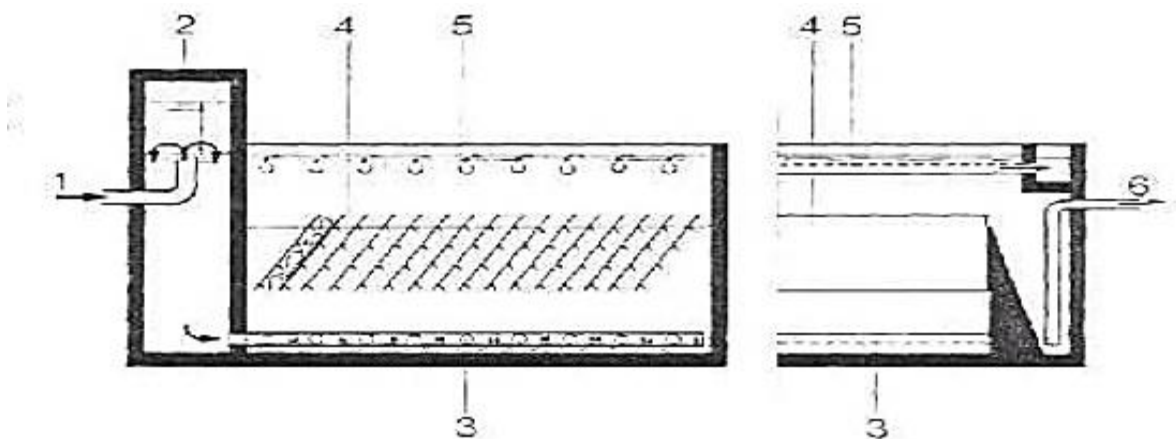


Figure II.10 : Schéma de principe des décanteurs lamellaires à lits de boues pulsés [6].

Avec :

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Arrivée d'eau brute ; | 4. Plaques de décantation ; |
| 2. Cloche à vide ; | 5. Tubes de départ d'eau décantée ; |
| 3. Tubes de répartition perforés ; | 6. Système d'extraction des boues. |

II.3.2.2 Décanteur lamellaire a contact de boues :

Ce type de décanteur permet dans un ensemble compact la séparation par coagulation/floculation-décantation, de l'essentiel des matières en suspension présentes dans les eaux de surface [6].

Il comprend la réunion de trois modules :

- Le réacteur ;
- Le pré-décanteur-épaississeur ;
- Le décanteur lamellaire.

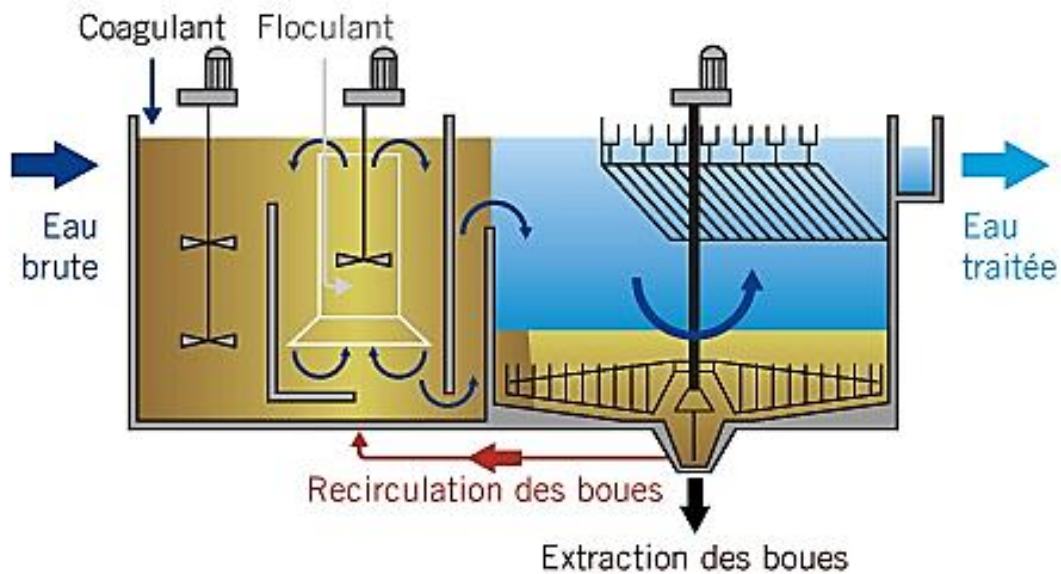


Figure II.11 : Décanteur lamellaire a contact de boues [28].

Le réacteur assure à la fois floculation rapide à haute concentration de la boue et floculation lente pour le grossissement du floc [6].

Celui-ci possède une forte densité améliorée par l'emploi du poly électrolyte. Le prédécanteur épaississeur favorise l'épaississement du floc par un raclage en continu des boues précipitées. Une partie de ces boues est recyclée dans le réacteur. Ce recyclage externe, maintient la forte concentration de boue nécessaire à une floculation homogène [6].

Enfin, le décanteur lamellaire assure la qualité de l'eau en éliminant le floc résiduel.

Principaux avantages selon le constructeur :

- Vitesse de décantation très élevée (de **20 à 40 mètres / heure**) ;
- Les boues extraites peuvent être envoyées directement en déshydratation ;
- Excellente qualité des eaux traitées grâce à la séparation lamellaire ;

- Économie de réactifs ;
- Insensibilité aux variations de débit et de charge.

Note : cet ouvrage est également utilisé en traitement d'eaux résiduaires et de boues [6].

II.4 Différents types de décantation lamellaire :

Trois types de décantation lamellaire sont possibles :

- A contre-courant ;
- A courants croisés ;
- A co-courant.

II.4.1 Contre-courant :

L'Alimentation se fait par le bas : l'eau et les solides décantés circulent en sens inverse [12].

L'eau et la boue circulent en sens inverse (l'eau vers le haut à la vitesse V_0 et les boues vers le bas). À son entrée dans le système, le trajet d'une particule est la résultante de V_0 et de sa vitesse de chute U [9].

Avec :

1. Entrée de l'eau flocculée ;
2. Zone de distribution ;
3. Récupération de l'eau décantée ;
4. Sortie de l'eau décantée ;
5. Fosse à boue ;
6. Evacuation des boues.

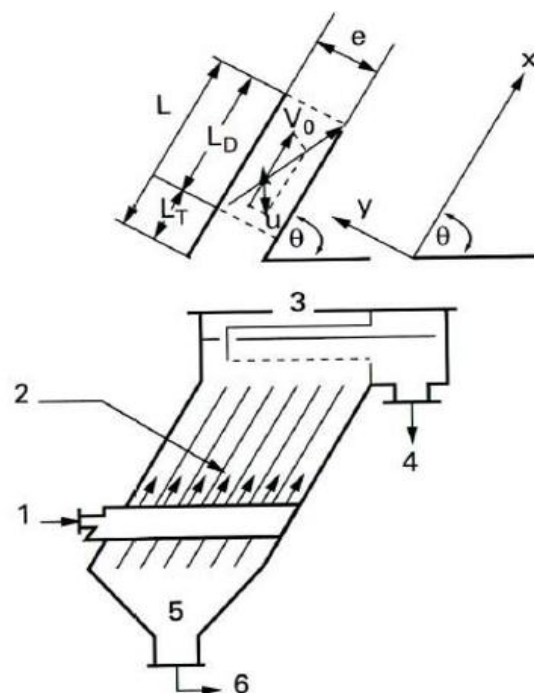


Figure II.12 : Décanteur à contre-courant [9].

❖ **Avantages / Inconvénients :**

- Systèmes les plus fiables car plus performants et plus simples d'un point de vue hydraulique [12].

Vitesse limite :
$$V_{lim} = \frac{Q}{n.l.(L.\cos\alpha + e.\sin\alpha)} \quad (II.8)$$

II.4.2 Co-courant :

Dans ce cas, l'eau et la boue circulent dans le même sens et la décantation n'est pas gênée. Actuellement la décantation à contre-courant est le système le plus simple et le plus fiable dans le. Quel s'engagent les constructeurs. En effet, de forts problèmes de reprise des eaux décantées en co-courant compliquent le système et la décantation à flux croisés pose des problèmes d'équipartition des flux hydrauliques [13].

Avec :

1. Entrée de l'eau flocculée.
2. Zone de distribution.
3. Récupération de l'eau décantée.
4. Sortie de l'eau décantée.
5. Fosse à boue.
6. Évacuation des boues.

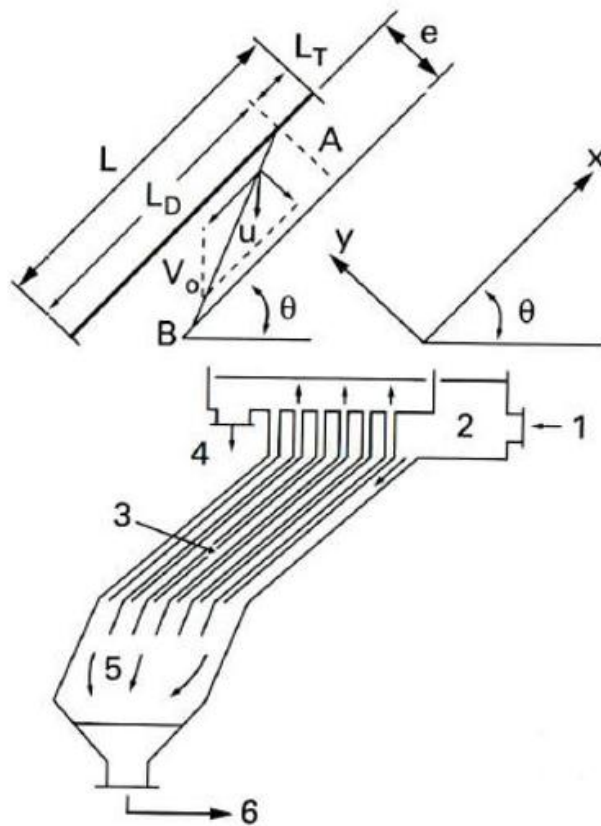


Figure II.13 : Décanteur à co-courant [9].

La décantation à contre-courant permet l'organisation hydraulique la plus simple et la plus fiable. En revanche, la décantation à co-courant se heurte à de grandes difficultés pour la reprise de l'eau traitée. Pour la décantation à courants croisés, l'équipartition des flux hydrauliques est délicate [9].

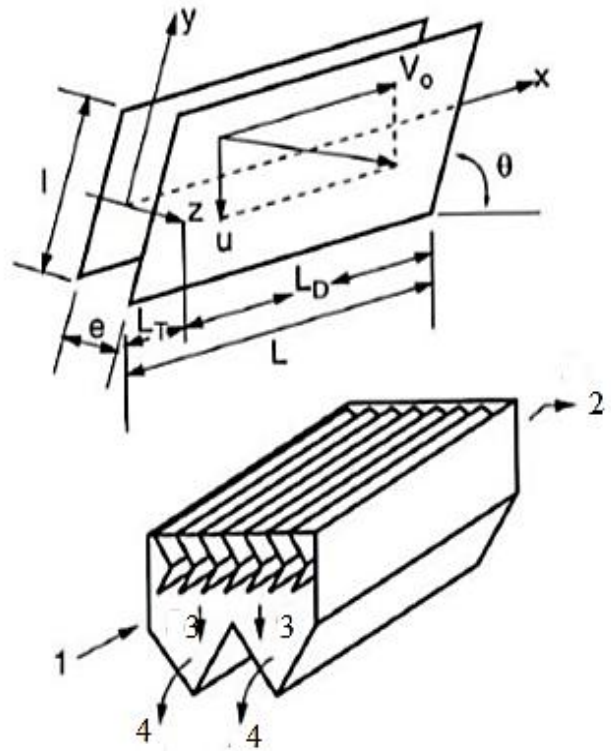
❖ **Avantages / Inconvénients [12] :**

- Dispositions hydrauliques plus complexes pour évacuer l'eau traitée
- Ouvrages plus hauts et plus coûteux.

Vitesse limite :
$$V_{lim} = \frac{Q}{n.l(L.\cos\alpha - e.\sin\alpha)} \quad (\text{II.9})$$

II.4.3 Courant croisé :

L'eau et la boue circulent perpendiculairement. L'alimentation en eau floculée se fait par le côté afin d'éviter la zone entre les plaques où l'eau remonte avec une vitesse opposée à la chute du floc [13].



Avec :

1. Entrée de l'eau floculée ;
2. Sortie de l'eau décantée ;
3. Fosse à boue ;
4. Evacuation des boues.

Figure II.14 : Décanteur à courants croisés [9].

❖ **Avantages / Inconvénients**

- Problème d'équipartition hydraulique du débit sur les lamelles ;
- Ouvrages très compacts et de faible hauteur [12].

Vitesse limite :
$$V_{lim} = \frac{Q}{n.l.L.\cos\alpha} \quad (\text{II.9})$$

II.5 Description générale d'un décanteur lamellaire :

Un décanteur lamellaire est composé de différentes parties représentées sur le schéma suivant :

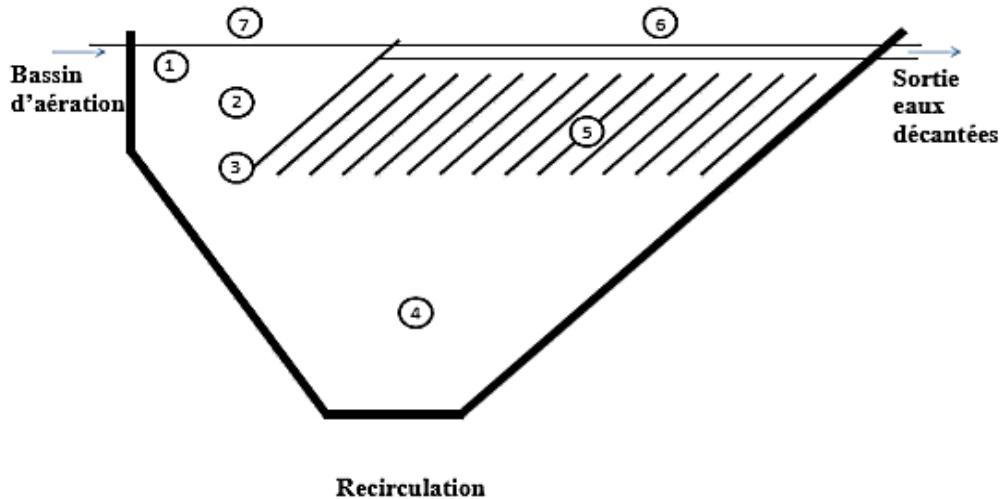


Figure II.15 : description d'un décanteur lamellaire (Ouvrage de petites collectivités à alimentation frontale) [13].

Ce type de décanteur à alimentation frontale est rencontré sur des petites collectivités, pour des ouvrages plus importants, l'alimentation peut être de type latéral.

➤ **Les différents éléments essentiels de l'ouvrage sont numérotés et décrits ci-après [13] :**

Point 1 : « Zone de passage : bassin d'aération – décantation »

L'introduction de la liqueur aérée peut se faire de différentes façons, soit :

- Par lame déversante ;
- Par lumière (immergée ou non).

Dans tous les cas de figure, une alimentation de l'ouvrage la plus homogène possible améliore le fonctionnement et les performances du décanteur.

L'arrivée des boues d'aération dans l'ouvrage peut se situer à différents endroits :

- **Frontale :** les boues sont introduites par des lumières situées dans l'axe de l'ouvrage (ces lumières peuvent se situer en surface ou immergées). Le plus

souvent, elles sont équipées d'une vanne qui permet l'isolement du décanteur pour son entretien.

- **Latérale** : lumière située sur le côté de l'ouvrage.

Point 2 : « Zone d'arrivée de la liqueur aérée » [13]

Elle joue le rôle de dégazage et dissipation de l'énergie à l'entrée de l'ouvrage. De plus, une partie des flottants (mousses biologiques, graisses, ...) y est souvent piégée. Ceux-ci, plus ou moins nombreux selon les stations, entraînent des contraintes d'exploitation. Certaines installations sont équipées d'un système d'évacuation de ces flottants.

Point 3 : « Zone de passage : arrivée – trémie » [13]

Elle permet l'introduction et la répartition de la liqueur aérée sous le bloc de lamelles.

Point 4 : « Fosse à boue » [13]

Cet ouvrage a plusieurs fonctions :

- Un rôle de répartition de la liqueur aérée ;
- Un rôle de concentrateur ;
- Un rôle de stockage.
- ❖ De plus cette zone est équipée de pompes pour recirculer les boues concentrées (maintien d'un taux de boue nécessaire pour le traitement biologique) ou permettre leur évacuation dans le silo à boue.

Des temps de séjour trop longs peuvent entraîner des remontées de boues en surface, pénalisant ainsi l'efficacité de l'ouvrage.

Les boues sont rassemblées avant leur reprise :

- Soit gravitairement grâce à la forme de l'ouvrage (trémie) ;
- Soit mécaniquement par un système de raclage, l'objectif étant de réduire les perturbations hydrauliques au maximum.

- ❖ Pour les ouvrages à surface unitaire élevée, une trémie entraînerait des travaux de génie civil très lourds, elle est généralement remplacée soit par une succession de trémie, soit par une fosse équipée de système raclé ou sucé.

Le croquis suivant est une représentation du comportement de la boue et d'épaississement :

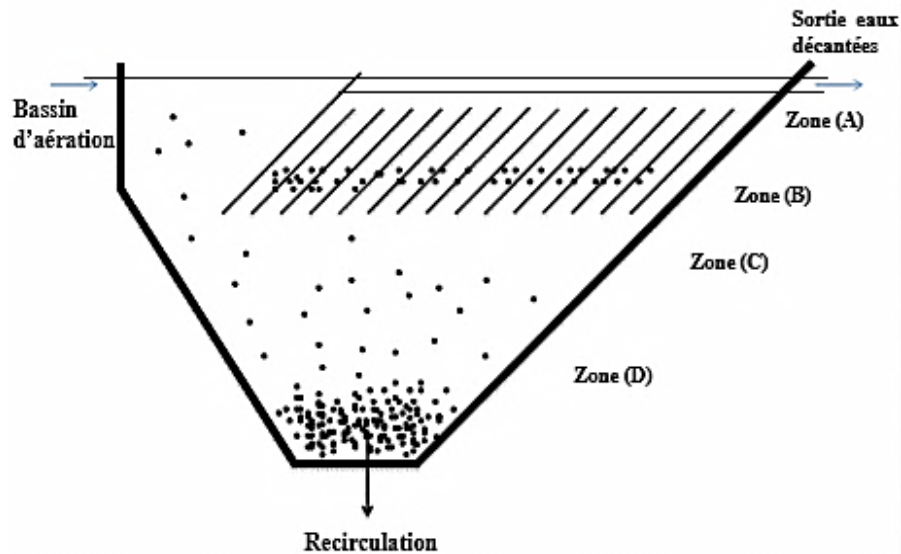


Figure II.16 : Représentation du comportement de la boue et d'épaississement [13].

Avec :

Zone (A) : zone de décantation et de concentration ;

Zone (B) : zone de stabilisation des turbulences (tend vers un régime laminaire) ;

Zone (C) : zone de re-dilution de boue décantée dans les lamelles ;

Zone (D) : zone de concentration des boues avant recirculation.

Le point 5 : « Le bloc lamellaire » [13]

Formé de lamelles ou plaques inclinées, il est solidaire du bassin et constitue un passage foré pour l'eau. L'évacuation des eaux clarifiées vers le milieu récepteur se fait en haut des plaques par l'intermédiaire d'une goulotte crantée.

- Son volume occupé est inférieur à celui du bassin.
- Son dimensionnement est lié au débit de pointe de l'installation et à la vitesse de **Hazen** retenue lors du dimensionnement.

❖ **D'autres éléments doivent être pris en compte lors du dimensionnement [13] :**

La nature du matériau :

PVC, tôle galvanisée le produit retenu doit répondre à différents critères :

- Une rigidité suffisante pour éviter un certain nombre de raidisseurs qui pénalisent ou modifient la décantation
- Une bonne tenue dans le temps ;
- Une surface la plus lisse possible pour faciliter le glissement de la boue sur les parois.

L'angle :

Son choix est un compromis entre :

- Une surface totale projetée maximale, et ;
- Un angle assez élevé pour permettre le glissement de la boue.

L'écartement :

La valeur retenue est aussi un compromis entre :

- Un écartement le plus faible possible permettant une surface totale projetée plus importante pour une même emprise au sol (nombre de plaques supérieur).
- Des écarts trop faibles pouvant être la source de colmatage des lamelles :
 - Colmatage augmentant ainsi les contraintes d'exploitation, et ;
 - Diminuant la surface totale projetée réelle d'une partie de l'ouvrage.

Point 6 : « La collecte des eaux décantées » [13]

La répartition homogène des flux hydrauliques en sortie du bloc lamellaire est nécessaire, d'où la nécessité d'une collecte des eaux équilibrée sur l'ensemble du bloc.

Différentes caractéristiques doivent être étudiées lors de la conception et de l'implantation des goulottes d'évacuation :

- Sa forme elle peut avoir différentes formes : en V_0 , demi cylindrique, rectangulaire ;
- Son implantation ;
- Ses orifices de récupération des eaux la surfaces de ces orifices doit être importante pour diminuer les vitesses d'approche de l'eau.

Point 7 : « Dispositif de récupération des flottants » [13]

L'aération prolongée est souvent confrontée à la présence de flottants liée à des phénomènes de moussage biologique, de l'anaérobiose ou des phénomènes de turbulences.

Les goulottes peuvent être équipées de lames siphonides pour localiser et éviter le départ de flottants vers le milieu récepteur. Un système de raclage et d'évacuation de ces flottants peut équiper certaines installations pour fiabiliser la qualité du rejet.

II.6 Choix du type de faisceaux lamellaires :

L'efficacité d'un système lamellaire est liée à différents paramètres :

- **Hydraulique :**

La forme des lamelles doit favoriser le passage du régime d'écoulement de turbulent (à l'entrée des lamelles, zone LT) à laminaire (au sein des lamelles, zone LD), et il faut donc éviter les systèmes de supportage de lamelles mettant en œuvre des entretoises qui perturbent l'écoulement et la décantation [9].

- **Répartition de l'eau dans la cellule de décantation :**

Chaque cellule doit recevoir le même débit afin d'éviter les survitesses à l'origine de la dégradation de la décantation [9].

- **Écartement des lamelles :**

Il doit être suffisant pour éviter le colmatage des lamelles par la boue décantée et pour permettre éventuellement leur nettoyage [9].

- **Surface de décantation équivalente** Plus elle est importante, meilleure sera la décantation en tenant compte, toutefois, de la remarque précédente. Dans la figure ci-dessous, l'efficacité des différents types de faisceaux lamellaires, présentés précédemment, est comparée en utilisant comme paramètre la surface de décantation équivalente [9].

L'hypothèses utilisées pour la comparaison des six systèmes : diamètre hydraulique (**80 mm**), inclinaison (**60°**) et longueur de lamelles (**1,5 m**).

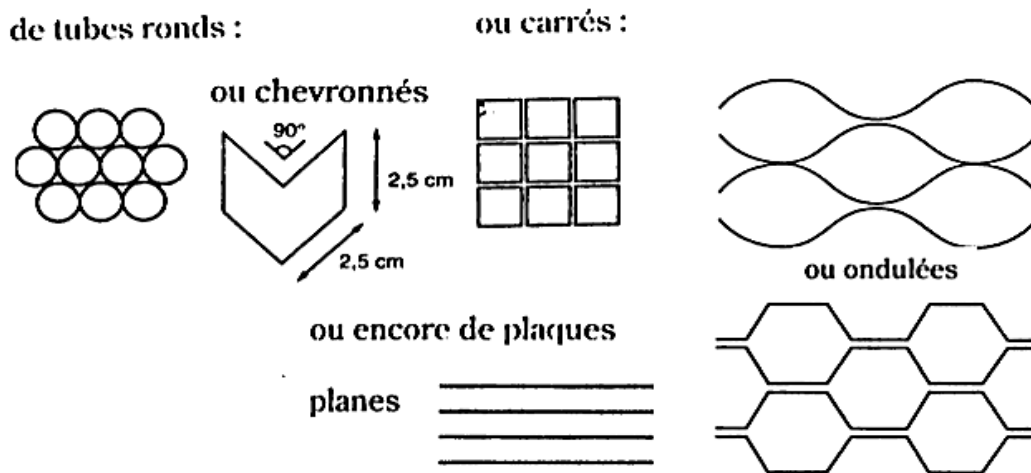


Figure II.17 : Faisceaux ou lamelles constituées [14].

Le choix du type de faisceaux lamellaires ne doit pas se faire uniquement en considérant la plus grande surface de décantation équivalente possible ; les faisceaux à plaques parallèles peuvent développer des surfaces importantes à condition de réduire l'espace entre plaques et au risque de rendre l'installation non fiable (problème de bouchage) et inexploitable (impossible de procéder au nettoyage de l'espace entre les plaques) [9].

Par ailleurs, la mise en place des plaques est délicate ; elle nécessite la pose de supports et d'entretoises qui, souvent, perturbent l'hydraulique et la décantation, et favorisent l'accrochage des boues. L'efficacité hydraulique des modules hexagonaux est supérieure à celle des autres faisceaux tubulaires et des plaques parallèles. Ces modules minimisent considérablement les risques de colmatage tout en offrant une surface de décantation équivalente très importante [3].

II.7 La décantation lamellaire dans l'épuration biologique :

L'épuration biologique des eaux résiduaires par le procédé « boues activées » est basée sur l'activité d'une culture bactérienne maintenue en suspension et en état aérobie dans un bassin alimenté par le liquide à épurer, cette étape est dite **Décantation en boue active** [13].

La boue activée est un écosystème aquatique simplifié, constitué débris minéraux et végétaux, de colloïdes et de divers éléments en solution ou en suspension, ainsi que de microorganismes assurant la transformation et la minéralisation de la matière organique (bactéries, protozoaires) [13].

II.7.1 Les boues actives :

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu. Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (**boues activées**), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (**liqueur mixte**) ; l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène, voire même d'oxygène pur, a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies [18].

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire, destiné à séparer l'eau épurée des boues. Ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent (boues secondaires en excès) est extrait du système et évacué vers le traitement des boues [18].

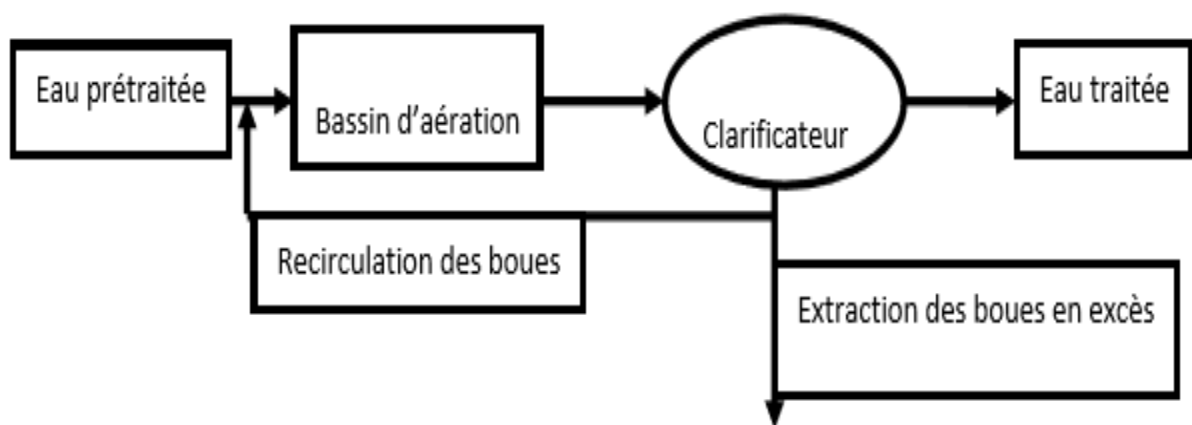


Figure II.18 : Concept simplifié des boues actives [18].

II.7.2 Indice de MOLHMAN ou Indice de boue :

L'indice de boue représente le volume occupé par un gramme de boue après trente minutes de décantation statique dans une éprouvette d'un litre à paroi transparente graduée. Noté I_m , exprimé en ml.g^{-1} de MES, il est défini par la formule suivante [18] :

$$I_m = \frac{V_{30}}{MES} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

- V_{30} = volume de boue décanté en trente minute (ml/l) ;
- MES = concentration des matières en suspension dans l'éprouvette (g/l).

Si :

- $50 \text{ ml/g} < \text{IB} < 150 \text{ ml/g}$, la boue décante bien ;
- $\text{IB} > 150 \text{ ml/g}$ il y a mauvaise décantation et les boues recirculés sont trop claires.

II.7.3 La déshydratation des boues :

L'efficacité d'un dispositif de déshydratation des boues dépend de la qualité intrinsèque de la boue, de sa concentration et des paramètres de réglage du dispositif, conditionnement inclus [13].

Pour juger globalement la partie « réglage », il est donc nécessaire de présumer du résultat optimal suivant la concentration et la qualité des boues. Dans le cas des boues secondaires fraîches, l'Indice de Boues est l'indicateur fiable le plus facilement accessible de la déshydratation des boues. A condition qu'une évolution anaérobie ne soit pas nettement amorcée, (c'est-à-dire, en pratique, que les boues aient encore un pH supérieur 6,7) [13].

II.8 Paramètre caractéristiques de la boue :

Cette suspension appelée « boue » est caractérisée par différents paramètres dont les importants pour l'étude de la décantation sont [13] :

II.8.1 Concentration en MES :

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement, elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique [15].

Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique [15].

En fait, les limites séparant les trois états sont indistinctes et seule la normalisation de la méthode d'analyse permet de faire une distinction précise mais conventionnelle. Les matières

en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales. Toutes les matières en suspension ne sont pas décantables, en particulier les colloïdes retenus par la filtration [15].

La portée de la mesure des matières en suspension se trouve limitée, le prélèvement opère déjà une sélection : la mesure donnera systématiquement un résultat par défaut [15].

Deux techniques sont actuellement utilisées pour la détermination des matières en suspension (norme **AFNOR T90-105**) ; elles font appel à la séparation par filtration directe ou centrifugation. On réserve cette dernière méthode au cas où la durée de la filtration dépasse une heure environ [15].

Les causes de la variabilité de la mesure sont nombreuses (volume de la prise d'essai, teneur en **MES** de l'échantillon, séchage à **105°C** jusqu'à poids constant). La précision reste cependant très acceptable [15].

II.8.2 Température :

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de température importants avec le milieu récepteur [16].

Elle joue aussi un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température détermine le taux et la vitesse des réactions de dégradation biochimique. Plus la température est importante, plus les réactions sont rapides. La température des eaux usées influe beaucoup sur l'efficacité du procédé de traitement. Par exemple, la décantation est plus efficace à des températures élevées [34].

II.8.3 PH [17] :

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+) :

$$pH = -\text{Log} [H^+] \quad (\text{II.11})$$

Le **pH** d'une eau naturelle peut varier de **4** à **10** en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le **pH** joue un rôle primordial à la fois dans :

- Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) ;

- Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de **pH** ;
- L'efficacité et les mécanismes de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration).

II.8.4 Turbidité :

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (**MES**) présentes dans l'eau [18].

II.8.5 DCO :

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elles représentent la plupart des composés organiques (détergents, matières fécales) [19].

La **DCO** est la concentration, exprimée en **mg.L⁻¹**, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme [20].

II.8.6 DBO₅ :

Exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à **20°C** à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées [19].

II.8.7 Oxygène dissous :

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en **mg O₂.L⁻¹** [20].

II.8.7.1 Dénitrification :

Ces phénomènes ont lieu uniquement si les composés azotés ont été nitrifiés. Dans le décanteur, l'absence d'oxygène favorise le phénomène de dénitrification, entraînant un dégagement d'azote gazeux (N_2) qui s'accompagne de remontées de particules de boue par adsorption sur les microbulles d'azote [13].

II.8.7.2 Anaérobiose :

Absence d' O_2 provoquant la fermentation des matières organiques avec un dégagement de méthane, ce gaz entraînant la flottation des boues [13].

II.9 Conclusion :

La décantation lamellaire est l'un des procédés que l'on peut mettre en œuvre pour séparer la pollution véhiculée dans les eaux de ruissellement. Les décanteurs lamellaires présentent l'avantage d'être à la fois des ouvrages compacts comparativement aux bassins de retenues, mais également, d'offrir des performances élevées du fait de leur surface de décantation très étendue. L'optimisation de leur fonctionnement hydraulique devrait permettre d'obtenir un écoulement homogène sur toute la surface de décantation, et des conditions d'écoulement proche d'un régime laminaire [31].

Les décanteurs lamellaires sont ici des ouvrages destinés au traitement des eaux de ruissellement polluées. Le « traitement » consiste à séparer les matières solides véhiculées en suspension dans l'eau. Il a lieu dans une structure lamellaire composée de lames juxtaposées et inclinées par rapport au plan horizontal. L'objectif recherché est le piégeage des éléments pollués sur la surface des lames puis au fond de l'ouvrage [31].

CHAPITRE III

Etude expérimentale

III.1 Matériels et méthodes :

Le but de notre travail est d'étudier expérimentalement l'efficacité d'un décanteur lamellaire utilisé pour l'épuration des eaux usées urbaine. Pour ce faire le pilote **TE-600** du laboratoire de traitement et d'épuration des eaux qui est un mini clarificateur équipé par des lamelles sera modifié pour nous servir de support d'expérimentation.

Pour étudier l'efficacité de ce procédé en utilisant la liqueur mixte de la STEP de Ain El Houtz, nous avons mené une série d'expériences au niveau du laboratoire de traitement et épuration des eaux du département d'hydraulique de l'université de Tlemcen pour l'objectif de décanter la liqueur mixte par le procédé de décantation lamellaire, le but sera d'avoir finalement une eau clarifiée avec le rendement le meilleur possible.

III.1.1 Objectifs principaux des expériences :

Les objectifs principaux des expériences que nous avons menés se résument dans les points suivants :

- Faire fonctionner le pilote ;
- Elimination les **MES** ;
- Etudier l'impact de la **DBO₅**, **DCO**, **O₂**, **T°**, **pH** et la **Turbidité** sur le rendement ;
- Etude de Colmatage.

III.1.2 Composition de l'équipement :

L'équipement est composé :

- Pilote de l'épuration des eaux usées (**TE-600**) ;
- Des appareils de mesures des paramètres physico-chimique de l'eau.

III.1.3 Description du pilote TE-600 :

III.1.3.1 Construction [21] :

L'appareil consiste essentiellement en un décanteur statique, montée sur un châssis, ainsi que ses organes de stockage de contrôle et de mesure :

1 : Cuve d'alimentation de la suspension, en **PVC** transparent, cylindrique, capacité utile **300 litre**, avec vanne de vidange et vanne d'alimentation de type a boisseau sphérique.

2 : Canalisation d'alimentation de la suspension en PVC avec vanne de réglage à pointeau en laiton chromé.

3 : Cuve d'alimentation du coagulant, capacité utile 30 litre, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en **PVC**.

4 : Cuve d'alimentation du flocculant, capacité utile 1 litre, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en **PVC**.

5 : Réacteur de mélange de la suspension et des réactifs chimiques, de type cylindro-conique en verre borosilicaté, capacité utile 20 litre, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en **PVC**.

6 : Agitateur du réacteur.

7 : Surverse de prélèvement de la suspension sortant de réacteur en **PVC**, réglable en hauteur.

8 : Décanteur statique de section rectangulaire avec cône de récupération des boues décantées en altuglas :

- Vanne d'alimentation de type trois voies en « **L** » à boisseau sphérique en **PVC** ;
- Chicane de passage du liquide clarifié ;
- Evacuation du liquide clarifié supérieure ;
- Chicane amovible d'évacuation du liquide clarifié pour fonctionnement à Contre-courant ;
- Chicane amovible d'évacuation du liquide clarifié pour fonctionnement à Co-courant ;
- Vanne de vidange des boues du décanteur de type à boisseau sphérique en **PVC**.

9 : Lamelles de décantation, amovibles, pour fonctionnement à Contre-courant et Co-courant, en altuglas, à démontage et inversion rapides (inclinaison des lamelles **30°**).

10 : Canalisation de recyclage éventuel des boues du décanteur vers le réacteur avec vanne d'arrêts de type à boisseau sphérique en **PVC** et vanne de réglage à pointeau en laiton chromé.

11 : Charpente de supportage en tube carrés en acier inoxydable.

III.1.3.2 Manipulations [21] :

Le pilote de coagulation floculation-décantation permet d'étudier deux types de traitements : la coagulation-floculation et la décantation. On peut facilement étudier les deux séparément ou bien simultanément.

Le produit est préparé dans le bac d'alimentation (1) sous l'agitation permanente grâce à une pompe centrifuge immergée, puis alimenté à travers un débitmètre et une vanne de réglage (2) dans le réacteur (5) par une pompe centrifuge.

Le coagulant est stocké dans un bac spécifique (3) puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une seconde pompe péristaltique.

Le floculant est également stocké dans un bac spécifique (4) puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une seconde pompe péristaltique.

Le réacteur est maintenu sous agitation permanente (6) par un agitateur à hélice à vitesse variable. Le produit de la réaction est soutiré par surverse (7) puis alimenté dans le décanteur statique (8) muni de lamelles orientables (9).

Une partie des produits décantés peuvent être recyclés par l'intermédiaire d'un circuit (10) avec pompe centrifuge, vanne de réglage et débitmètre.

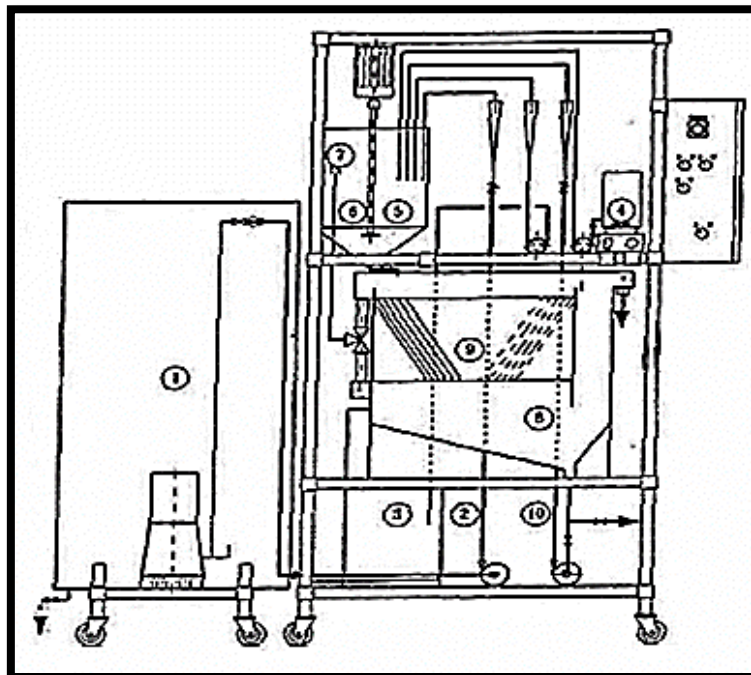


Figure III.1 : Construction du pilote TE-600 [21].



Figure III.2 : Pilote de coagulation-floculation et décantation (TE-600) (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen).

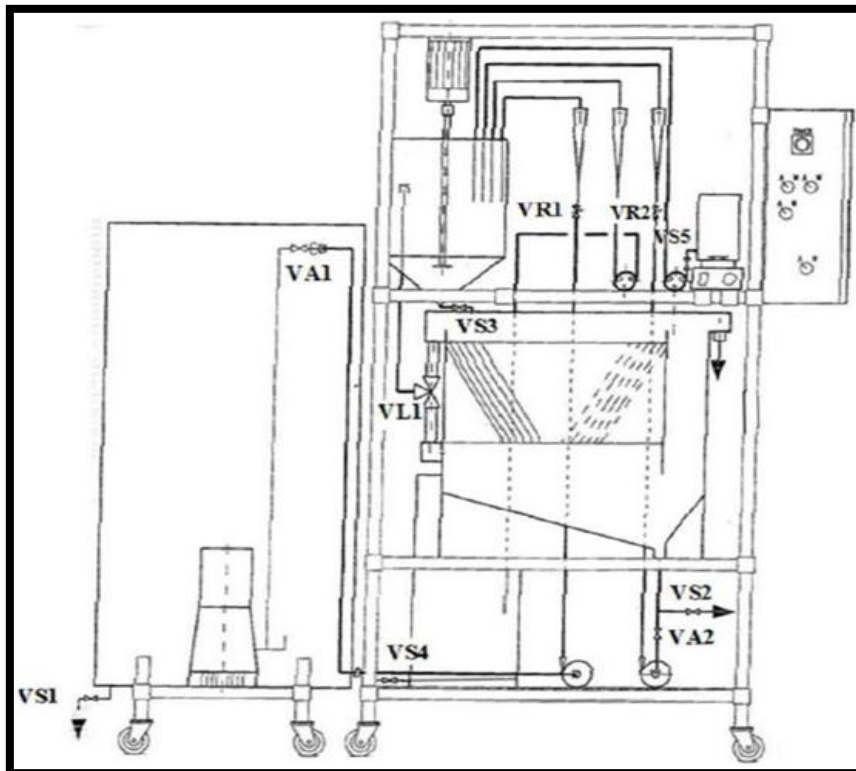


Figure III.3 : Liste des vannes du pilote TE600 [21].

III.1.3.3 Liste des vannes « Figure III.3 » :

- VA1 : Vanne manuelle bac d'alimentation ;
- VA2 : Vanne manuelle recyclage boues ;
- VS1 : Vanne manuelle sortie bac d'alimentation ;
- VS2 : Vanne manuelle sortie boues ;
- VS3 : Vanne manuelle sortie réacteur ;
- VS4 : Vanne manuelle sortie bac coagulant ;
- VS5 : Vanne manuelle sortie bac flocculant ;
- VR1 : vanne manuelle de réglage alimentation ;
- VR2 : Vanne manuelle de réglage recyclage boues ;
- VL1 : Vanne trois alimentations décanteur.

III.1.4 Prélèvements et échantillonnages :

Le prélèvement est l'opération qui consiste à prendre une partie d'eau du milieu à étudier, alors que l'échantillonnage consiste à retenir une fraction du prélèvement sur laquelle sera effectuée l'analyse [31].

L'échantillonnage peut se faire sans prélèvement intermédiaire, l'eau est prise directement dans des flacons par une bouteille de prélèvement. Avant de commencer le prélèvement, il convient de nettoyer le matériel avec de l'eau puis le rincer à l'eau distillé. On peut avant utilisation, rincer le matériel d'échantillonnage dans l'eau dans laquelle sera effectué le prélèvement, afin de réduire au minimum le risque de contamination [31].

III.1.5 Mesures à effectuer sur l'échantillon :

Les mesures à effectuer avant et après la décantation sont les suivantes :

- MES ;
- La température ;
- PH ;
- DCO ;
- DBO₅ ;
- Turbidité ;
- Oxygène dissous.

III.1.5.1 Matières en suspensions (MES) :

Mesures de poids des matières flottantes et décantables contenues dans les eaux épurées biologiquement, dans le but de contrôler le fonctionnement du bassin de décantation [18].

La détermination des matières en suspension dans l'eau est réalisée soit par filtration, soit par centrifugation, séchage à **105 C°** et pesée [31].

La centrifugation est préférée pour les eaux chargées (colmatage du filtre). Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode par séchage [31].

➤ La filtration :

Dans le cas de l'analyse des eaux usées, il est recommandé de procéder par filtration sur couche d'amiante ou sur filtre en fibre de verre pour les échantillons d'eaux traitées et par centrifugation pour les échantillons d'eaux brutes et chargées afin d'éviter le colmatage des filtres [18].

Le choix de la filtration sous vide avec membrane filtrante en fibre de verre s'est imposé, dans notre cas, d'une part, en raison de sa rapidité et de sa simplicité à mettre en œuvre, et d'autre part, de la possibilité de récupérer le filtrat (fraction dissoute) nécessaire pour la détermination de la pollution résiduelle [18].

III.1.5.1.1 Principe de la filtration :

Cette méthode se base sur le passage d'un échantillon d'eau de volume **V** à travers un filtre en fibre de verre de **0,47 µm**. Le poids de matière retenue par le filtre, noté **P**, est déterminé par pesée différentielle (avant et après filtration). La concentration des matières en suspension (**MES**) ne sera donc que le rapport de ce poids sur le volume d'eau analysé [18].

➤ Matériels utilisés :

- Dispositif de filtration ;
- Balance ;
- Capsules ;
- Papier filtres ;
- Étuve.



Figure III.4 : Etuve.



Figure III.5 : Dispositif de filtration.



Figure III.6 : Balance.



Figure III.7 : Capsule et papier filtre.

➤ **Mode opératoire [18] :**

- ✓ Rincer le filtre à l'eau distillée et le sécher à l'étuve à **105 °C** environ **30 à 60 min** ;
- ✓ Laisser refroidir puis peser le filtre sec et noter son poids **P (1)** ;
- ✓ Homogénéiser l'échantillon à analyser ;
- ✓ Filtrer sous vide un volume **V** de l'échantillon mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée ;
- ✓ Sécher, refroidir et peser une seconde fois le filtre. Son poids est noté **P (2)**.

Note : Ne mettre l'eau que petit à petit, toujours en homogénéisant bien pour ne pas avoir à filtrer de trop grands volumes sur un filtre colmaté.

➤ **Description des résultats [18] :**

La concentration de la matière en suspension en mg/l dans l'échantillon analysé est obtenue par la relation suivante :

$$MES = \frac{(P2-P1)}{V} \times 1000 \quad (III.1)$$

Où :

P1 : Poids du filtre sec avant filtration (en mg) ;

P2 : Poids du filtre sec après filtration (en mg) ;

P2 - P1 : Poids de la matière retenue par le filtre sec ;

V : Volume de la prise d'eau (en ml).

III.1.5.2 Température :

La température joue un grand rôle dans la solubilité des gaz dans l'eau et sur la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [32].

➤ **Mesure de la température :**

Pour bien mesurer ce paramètre, on a utilisé un pH mètre électronique qui donne des résultats très précises du pH accompagné de la température [32].

➤ **Mode opératoire :**

La température de l'eau sera prise en même temps que le prélèvement de l'échantillon. On prélèvera l'eau dans un bécher de **100 ml** de capacité et on y

plongera immédiatement l'appareil de mesure (**pH mètre**). On procédera à la lecture de la température, dès que la stabilisation est observée [32].

III.1.5.3 Mesure du pH :

Le **pH** est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau destinée à la consommation [32].

➤ **Principe :**

La détermination du **pH** est effectuée à l'aide d'un appareil (**pH mètre**), cet appareil de mesure est constitué d'une électrode de **pH** que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité [32].

➤ **Etalonnage :**

L'étalonnage se fait par une solution d'étalonnage d'un **pH** le plus proche du pH des solutions à analyser. Dans ce travail on a utilisé une solution d'étalonnage de **pH=7** [32].

➤ **Mode opératoire :**

L'étalonnage dans une solution se fait comme suit : en prolongeant l'électrode préalablement rincée à l'eau distillée puis en solution tampon et en effectuant la lecture de la valeur du **pH=7**, rincé celle-ci à l'eau distillée et la plongé dans l'échantillon, effectué la mesure du **pH** après avoir légèrement agité l'électrode [32].



Figure III.8 : pH mètre.

III.1.5.4 Demande chimique en oxygène DCO :

La demande chimique en oxygène (**DCO**) c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie chimique certaines matière organique ou inorganique contenue dans l'eau. Elle représente donc, la teneur totale de l'eau en matières oxydables [18].

➤ Principe :

La détermination de la **DCO** se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium « **K₂Cr₂O₇** » en milieu acide dans une solution portée à ébullition à reflux pendant **2 heures** en présence d'ions **Ag⁺** comme catalyseurs d'oxydation et d'ions **Hg²⁺** permettant de complexer les ions chlorures. L'oxygène consommé en **mg/l** est calculé après détermination de l'excès de dichromate de potassium par titration avec du sulfate de fer ferreux et d'ammonium (sel de Mohr) [18].

➤ Matériels utilisés [18] :

- ✓ Un réacteur pour le chauffage à **105C° ECO6** ;
- ✓ Pipette graduée double trait ;
- ✓ Matras à goulot large ;
- ✓ Ballons gradués ;
- ✓ Burette ;
- ✓ Cylindres gradués.

➤ Réactifs [18] :

- ✓ Solution de dichromate de potassium (**K₂Cr₂O₇**) à **0,04 mol/l** et contenant du sulfate de mercure ;
- ✓ Solution d'acide sulfurique ;
- ✓ Solution sulfate d'argent ;
- ✓ Solution sulfate de fer ferreux et d'ammonium (sel de Mohr) [**(NH₄)₂Fe(SO₄)₂[6H₂O]**] à **0,12 mol/l** ;
- ✓ Solution indicateur Féroïen.

➤ Mode opératoire [18] :

❖ Digestion de l'échantillon :

- Transvaser **10 ml** de l'échantillon pour l'analyse (diluer si nécessaire) dans le tube de l'appareil, ajouter **5 ml** de solution de dichromate de potassium ;

- Ajouter avec précaution **15 ml** d'acide sulfurique et sulfate d'argent et raccorder immédiatement le tube au réfrigérant ;
- Répéter les deux étapes précédentes pour tous les échantillons à analyser mais aussi pour deux échantillons à blanc (**10 ml d'eau distillée**) ;
- Amener le mélange réactionnel à l'ébullition pendant **120 minutes** à **150°C** ;
- Rincer les réfrigérants à l'eau distillée et refroidir les tubes.

❖ **Titrage de l'échantillon :**

- Transvaser le contenu de chaque éprouvette en matras à goulot large, rincer avec l'eau distillé **3** ou **4** fois ;
- Ajouter **5** ou **6** goutte l'indicateur coloré Féroïen ;
- Après le refroidissement titrer avec une solution de sulfate de fer ferreux et ammonium jusqu'au moment où la couleur de la solution change de vert bleu à orangé.

➤ **Expression des résultats [18] :**

La **DCO** exprimée en mg d'**O₂/l** est donnée par la formule :

$$DCO = 8000 \times C_{Fe} \times \frac{(V_t - V_e)}{E} \quad (III.2)$$

Où :

C_{Fe} : Concentration de la solution de sel Mohr déterminée par étalonnage, soit dans le cas présent **0,12 mol/l**.

E : Volume de la prise d'essai en **ml**.

V_t : Volume en ml de la solution de sulfate de fer et d'ammonium titré pour l'essai à blanc.

V_e : Volume en ml de la solution de sulfate de fer et d'ammonium titré pour l'échantillon.

8000 : Masse molaire en **mg/l** de **1/2 O₂**.



Figure III.9 : Billes de verre.



Figure III.10 : Réacteur DCO.



Figure III.11 : Pipette graduée.



Figure III.12 : Réactifs.

III.1.5.5 Turbidité :

La turbidité est un paramètre important pour qualifier la qualité de l'eau. Une eau turbide peut sembler presque opaque à la vue, mais laisse passer peu de lumière pour la faune et la flore aquatique. Les unités de mesure sont les **NTU** (unités de turbidité néphélogétries) [23].

➤ **Matériels utilisés :**

L'appareil utilisé pour la mesure de la turbidité c'est « turbidimètre », il donne une lecture directe en **NTU** (Unit Turbidité Néphélogétrie). Dans notre travail la mesure est effectuée au moyen d'un spectrophotomètre. Le spectrophotomètre est un appareil qui mesure l'absorbance qui est définie par le ratio entre la lumière incidente I_0 qui traverse un milieu à une longueur d'onde λ , et la lumière transmise I exprimé en logarithme de base 10 [23].

➤ **Mode opératoire : [23]**

- Mettre en marche le spectrophotomètre **on/off** ;
- Sélection de la longueur d'onde (**720**) ;
- Mesure en mode absorbance ;
- Introduire la cuve de référence (blanc) dans la porte cuve ;
- Programmer la longueur d'onde désirée ;
- Enlever la cuve de référence ;
- Introduire la cuve du premier échantillon a mesuré ;
- L'appareille affiche en contenu la valeur en absorbance des échantillons ;
- Tracé du spectre d'absorption.



Figure III.13 : Turbidimètre.

III.1.5.6 Oxygène dissous :

L'oxygène est l'un des paramètres chimiques importants, il sert à contrôler le fonctionnement du traitement biologique [24].

➤ **Appareillage :**

L'appareil de mesure de l'oxygène dissous c'est l'oxymètre. Les mesures couramment utilisées sont les suivantes : parties par million (**ppm**) ou la saturation en pourcentage (%), laquelle est définie comme étant le pourcentage d'oxygène dissous dans **1 litre** d'eau [24].

➤ **Mode d'opérateur [24] :**

- Etalonner l'appareil avec des solutions tampons.
- Rincer l'électrode de l'oxygène dissous et les immerger dans la solution à mesurer. Lire la valeur sur l'écran une fois le signal se stabilise.



Figure III.14 : Oxymètre.

III.1.5.7 Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours (DBO₅) :

La demande biochimique en oxygène (**DBO**) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisé pour la dégradation de matière organique décomposable par des processus biochimiques [35].

➤ **Principe**

Une quantité d'eau est versée dans une bouteille d'incubation de **300 ml**, reliée à un manomètre de mesure ou fermé avec un bouchon muni d'un capteur de pression (**Oxytop**). Le volume choisie st fonction de la gamme de mesures souhaitée. L'appareil de mesure est placé dans un réfrigérateur maintenu à **20°C**. On suit ensuite, en fonction de du temps, soit tous les jours pendant **5 jours** pour la **DBO₅** [35].

➤ **Mode opératoire [35]**

- ✓ Mesurer la quantité avec le ballon jaugé de trop plein et verser dans la bouteille propre ;
- ✓ Introduire l'agitateur magnétique dans chaque bouteille ;
- ✓ Ajouter une pincé de l'allyle thio-urée ;
- ✓ Mettre **2** pastilles d'hydroxyde de potassium dans chaque bouchon intérieur (**noir**) avec deux pincettes ;
- ✓ Visser sans fermer hermétiquement le bouchon ;
- ✓ Mettre sur le système d'agitation à **20 C°** ;
- ✓ Laisser s'établir l'équilibre pendant **30min** et fermer hermétiquement le bouchon ;
- ✓ Relever les valeurs après **5 jours**.

➤ **Quantité à analyser**

La demande biochimique en oxygène pour une analyse dépend de la charge en substance organique .la mesure de la **DBO₅** est évaluée à **80%** de la **DCO**.

Tableau III.1 : Facteurs de conversion de la DBO₅ en fonction du volume de prise [35].

Porté de mesure	Quantité (ml)	Facteur
0-40	432	1
0-80	365	2
0-200	250	5
0-400	164	10
0-800	97	20
0-2000	43.5	50
0-4000	22.7	100



Figure III.15 : Armoire thermostatique (Incubateur).



Figure III.16 : DBO mètre.

III.2 Etude expérimentale de la décantation lamellaire :

III.2.1 Objectifs du travail :

Dans un but de clarifier efficacement l'eau épurée par boues activées, nous nous sommes proposé d'étudier expérimentalement l'opération de la clarification en utilisant un décanteur lamellaire.

Notre étude expérimentale à été faite au niveau du laboratoire de traitement et d'épuration des eaux de département d'hydraulique de l'université de Tlemcen.

Pour chaque expérience effectuée, nous avons ramené un volume de liqueur mixte de la station d'épuration d'Ain El Houtz, prise après le bassin d'aération pour remplir la cuve d'alimentation du pilote. Nous avons démarré le pilote et suivi le protocole indiqué dans le manuel dudit pilote afin d'étudier la procédure de décantation.

Nos expériences ont été menées en jouant sur plusieurs paramètres : le type de décantation lamellaire, la position des lamelles, l'espace entre les lamelles, le débit d'alimentation, le débit de recyclage et le débit d'évacuation,

Les MES ont été mesurés avant et après l'opération de décantation, pour pouvoir apprécier et évaluer l'efficacité d'élimination de cette dernière en fonction des dispositions des lamelles et des conditions des opérations. Ainsi que les autres paramètres physico-chimiques tel que la **DBO₅**, la **DCO**, le **pH**, la **température**, la **turbidité** et l'**oxygène** dissous.

Les objectifs visés de ce travail sont :

- L'étude de l'efficacité de la décantation lamellaire à contre-courant par rapport à celle lamellaire à co-courant ;
- L'étude de l'efficacité de la décantation lamellaire à contre-courant par rapport à celle position des lamelles ;
- L'étude de l'efficacité de la décantation lamellaire à co-courant par rapport à celle position des lamelles ;
- L'étude de l'influence de l'angle d'inclinaison des lamelles de 60° (**figure III.17**) par rapport à la décantation lamellaire co-courant et contre-courant ;
- L'étude de l'influence de l'angle d'inclinaison des lamelles de 120° (**figure III.18**) par rapport à la décantation lamellaire à co-courant et à contre-courant ;
- L'étude de l'influence de problème du colmatage sur la décantation classique par rapport à celle lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° et une distance entre les lamelles de **2 cm** ;
- L'étude de l'influence d'évacuation sur la décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° et une distance entre les lamelles de **1 cm** ;
- L'étude de l'influence d'évacuation sur la décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° et une distance entre les lamelles de **2 cm** ;
- Etude pour but de diminuer le problème de colmatage entre les lamelles pendant la décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° et une distance entre les lamelles de **1 cm**.

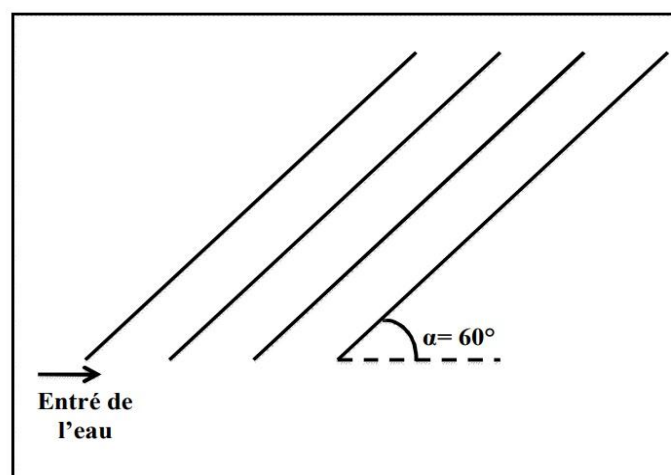


Figure III.17 : Position A, angle d'inclinaison des lamelles 60° .

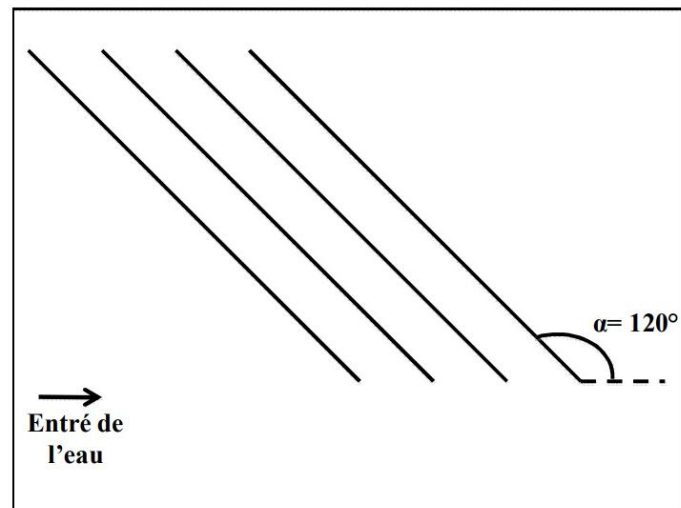


Figure III.18 : Position B, angle d'inclinaison des lamelles 120° .

Pour réaliser ces objectifs, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Pour la phase de décantation :

Il s'agit d'étudier l'efficacité du décanteur lamellaire à contre-courant par rapport à celle lamellaire à co-courant.

- Pour la phase de position des lamelles :

Il s'agit d'étudier l'efficacité de la **position A** avec un angle d'inclinaison 60° par rapport à celle de la **position B** avec un angle d'inclinaison 120° .

- Pour la phase de distance entre les lamelles :

Il s'agit d'étudier l'efficacité de la distance entre les lamelles de **1 cm** par rapport à celle de **2 cm**.

- Pour la phase de colmatage entre les lamelles :

Il s'agit d'étudier l'efficacité du débit d'alimentation, d'évacuation et de recyclage pour le problème de colmatage.

Notre but dans cette étude, consiste d'une part à voir la performance de ce type de décantation et d'autre part de chercher la disposition pratique qui nous donne de meilleurs résultats.

III.2.2 Mode opératoire de la décantation sur le pilote :

L'eau à traiter est maintenue dans le bac d'alimentation de la suspension sous agitation permanente grâce à une pompe centrifuge immergée, puis alimenté à travers un débitmètre et une vanne de réglage **VR1** dans le réacteur par une pompe centrifuge.

Le réacteur est maintenu sous agitation permanente grâce à un agitateur à hélice à vitesse variable.

L'alimentation de décanteur qu'on veut faire soit classique, soit lamellaire à co-courant ou à contre-courant [21].

III.2.2.1 Décantation lamellaire à Co-courant :

Le mode opératoire de la décantation lamellaire à Co-courant impose les étapes suivantes :

- Nous avons réglé le débit d'alimentation à un débit fixe de **120 l/h** ;
- Nous avons positionné les lamelles de telle manière que leur tige support supérieur soit introduite dans les rainures inférieures latérales des décanteurs vers la droite ;
- Nous avons positionné les lamelles en deux positions ;
- Nous avons positionné la vanne de distribution de décanteur **VL1** de manière à alimenter celui-ci par le haut ;
- Nous avons positionné la plaque verticale de fermeture du circuit hydraulique dans le décanteur de manière à éviter le passage direct d'eau aérée vers la surverse d'eau clarifiée ;
- Nous avons pris un échantillon d'une eau à traiter du bac d'alimentation et nous avons mesuré ensuite les paramètres suivants : les **MES**, la **turbidité**, la **DCO**, la **DBO₅**, l'**oxygène** dissous et la **température** ;
- Lorsque le décanteur est plein après une heure, nous avons pris des échantillons d'eau décantée et nous avons mesuré ensuite les paramètres précédents.

III.2.2.2 Décantation lamellaire à Contre-courant :

Le mode opératoire de la décantation lamellaire à Contre-courant est pratiquement le même que celui de la décantation lamellaire à Co-courant, sauf que la différence se résume en la manière avec laquelle est alimenté le bassin de décantation. Son mode opératoire s'effectue comme suit :

- Nous avons positionné les lamelles de telle manière que leur tige support supérieur soit introduite dans les rainures du décanteur vers la droite et leur base inférieure reposant sur les supports inférieurs latéraux du décanteur vers la gauche ;
- Nous avons positionné les lamelles en deux positions ;
- Nous avons positionné la vanne de distribution du décanteur **VL1** de manière à alimenter celui-ci du bas ;
- Nous avons positionné la plaque horizontale de fermeture du circuit hydraulique dans le décanteur de manière à éviter le passage direct d'eau aérée vers la surverse d'eau clarifiée sans passer par les lamelles ;
- Nous avons pris un échantillon d'une eau à traiter du bac d'alimentation et nous avons mesuré ensuite les paramètres suivants : les **MES**, la **turbidité**, la **DCO**, la **DBO₅**, l'**oxygène** dissous et la **température** ;
- Lorsque le décanteur est plein après une heure, nous avons pris des échantillons d'eau décantée et nous avons mesuré ensuite les paramètres précédents.

III.2.2.3 Décantation classique :

Le mode opératoire de la décantation classique est le même que celle lamellaire, sauf que cette technique impose l'enlèvement total des lamelles. Notons que ce mode opératoire s'effectue de la manière suivante :

- Nous avons pris un échantillon d'une eau à traiter du bac d'alimentation et nous avons mesuré ensuite les paramètres suivants : les **MES**, la **turbidité**, la **DCO**, la **DBO₅**, l'**oxygène** dissous et la **température** ;
- Lorsque le décanteur est plein après une heure, nous avons pris des échantillons d'eau décantée et nous avons mesuré ensuite les paramètres précédents.

III.3 Résultat et interprétation :

Les expériences que nous allons réaliser dans cette étude sur le décanteur lamellaire va assurer les résultats du travail qui a été fait par **Mr. M. KERBICHE** et **Mr M. AMARA** en **2014**.

III.3.1 Caractéristiques de la liqueur mixte :

La liqueur mixte utilisée dans les différents essais est une liqueur mixte de la station d'épuration d'Ain El Houtz. Le tableau (**III.2**) représente les caractéristiques physico-chimiques de chaque prélèvement d'eau.

Tableau III.2 : Les caractéristiques de la liqueur mixte dans la **STEP**.

Prélèvement	Date	Volume	MES	DCO	DBO ₅	O ₂	T°	pH	Tur
		l	g/l	mg/l	mg/l	mg/l	°c		Ntu
1	12/03/2018 18/03/2018	300	4,29	/ 195	/ 129	36,25	19,1	7,11	2251
2	14/03/2018 19/03/2018	300	5,02	/ 201	/ 189	34,33	19,9	7,32	2374
3	20/03/2018 25/03/2018	300	6,20	/ 189	/ 98	37,81	18,7	7,17	2607
4	25/03/2018 29/03/2018	300	5,91	/ 101	/ 69	39,23	18,9	6,90	2516
5	01/04/2018 05/04/2018	300	6,13	/ 209	/ 92	34,87	18,8	6,94	2572
6	08/04/2018 12/04/2018	500	5,53	/ 242	/ 188	31,53	19,5	6,81	2439
7	10/04/2018 15/04/2018	500	4,97	/ 202	/ 150	30,78	18,7	7,24	2327
8	27/04/2018	600	5,05	-	-	31,51	19,7	7,59	2548
9	29/04/2018	500	5,10	-	-	33,78	21,5	7,29	2421
10	31/04/2018	400	5,22	-	-	30,06	22,1	7,09	2926

III.3.2 Type de décantation lamellaire et la position des lamelles :

Dans cette partie nous avons étudié les types de la décantation lamellaire (à contre-courant et à co-courant). Les lamelles sont fixées sur deux positions (**A** et **B**). Le débit d'alimentation a été stable (**120 l/h**) pour déterminer le rendement plus efficace correspondant à cette décantation.

Dans ces expériences nous avons travaillé avec quatre prélèvements de liqueur mixte d'un volume de **300 litre** à chaque prélèvement.

III.3.2.1 Décantation lamellaire à contre-courant :

III.3.2.1.1 Décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 60° « Position A » :

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de **120 l/h** et un temps de séjour de **t = 50 min**. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux (III.3 et III.4) et représentés dans les figures (III.19,20,21,22).

Tableau III.3 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant « Position A ».

Essai	MES Avant	MES Après	Rendement
	g/l	g/l	%
1	5,52	0,51	90,76
2	4,35	0,22	94,94
3	4,74	0,37	92,19
4	4,49	0,28	93,76
Moyennes	4,78	0,35	92,91

Pour le système de décantation lamellaire à contre-courant avec des lamelles en position A, nous avons fait quatre essais sur un échantillon qui a une concentration moyenne de MES de **4,78 g/l**, la teneur en MES après décantation est de **0,35 g/l** ce qui nous donne un rendement moyen de **92,91 %**. Ces résultats mis en évidence l'efficacité de ce procédé dans la réduction des MES.

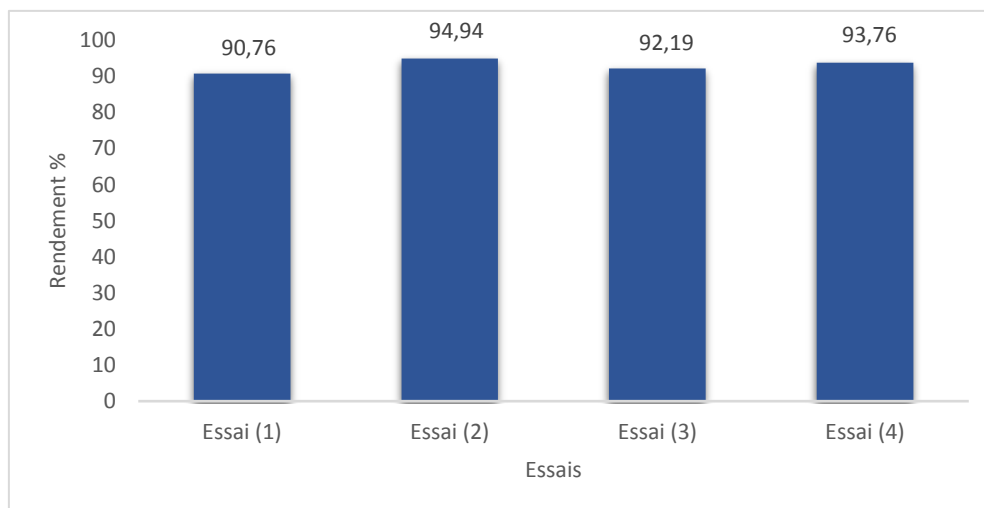


Figure III.19 : Histogramme de rendement pour une décantation à contre-courant avec des lamelles en « Position A ».

Tableau III.4 : Evolution de la **DBO₅, DCO, O₂, T°**, **pH** et la Turbidité pour la décantation lamellaire à contre-courant « **Position A** ».

		Avant	Après
DCO	mg/l	201	54
DBO ₅	mg/l	189	21
Tur	mg/l	2251	142
O ₂	mg/l	36,25	4,52
T°	°c	19,1	17
pH	-	7,11	6,94

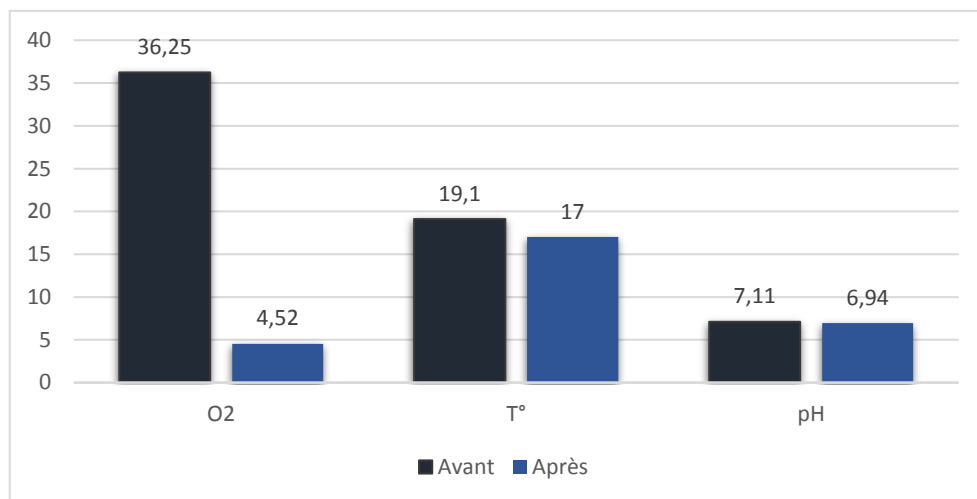


Figure III.20 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (**O₂, T°**, **Ph**) avant et après la décantation à contre-courant avec des lamelles en « **Position A** ».

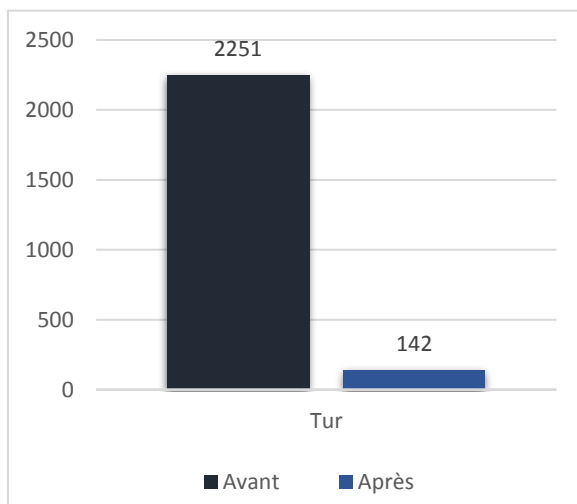


Figure III.21 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à contre-courant « **Position A** ».

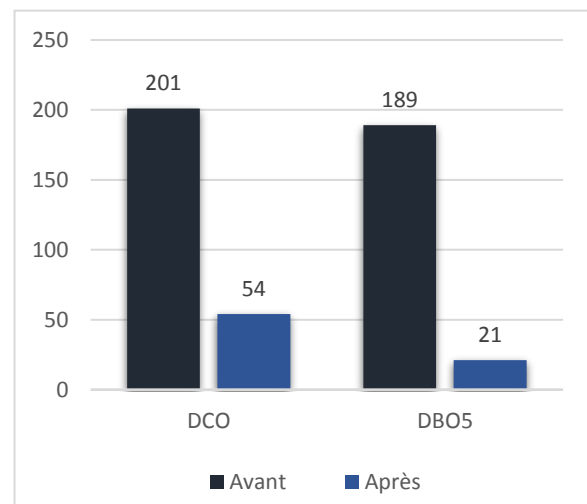


Figure III.22 : Histogramme de la variation de la **DCO** et la **DBO₅** avant et après la décantation à contre-courant « **Position A** ».



Figure III.23 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à contre-courant « **Position A** »

A partir de la figure (III.20,21,22) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de **19,1°C** à **17,2°C**. Cette variation est due au contact eau-air.
- On remarque qu'il y a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (avant et après la décantation) varié entre **7,11** et **6,94**.
- La concentration de l'**O₂** dissous à l'entrée était de **36,25 mg/l** et selon la figure (III.20) elle a diminué à **4,52 mg/l** après la décantation à la fin de l'expérience.
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2251 NTU**, cette dernière a été diminuée à **142 NTU**. Cette diminution est due à la décantation lamellaire à contre-courant avec des lamelles en « **Position A** », le procédé élimine **93,69 %** de la turbidité de l'eau.
- La **DCO** dans l'eau usée brute est de **201 mg/l**. On voit que la **DCO** dans l'eau épurée diminue. Nous enregistrons **54 mg/l** de **DCO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).
- La **DBO** dans l'eau usée brute est de **189 mg/l**. On voit que la **DBO** dans l'eau épurée diminue. À sa stabilisation (**après 5 jours**) nous enregistrons **21 mg/l** de **DBO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).

III.3.2.1.2 Décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° « Position B » :

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de **120 l/h** et un temps de séjour de **t = 50 min**. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux (III.5 et III.6) et représentés dans les figures (III.24,25 ,26,27).

Tableau III.5 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant « Position B »

Essai	MES Avant	MES Après	Rendement
	g/l	g/l	%
1	4,39	0,21	95,21
2	4,72	0,18	96,19
3	5,41	0,14	97,41
4	4,57	0,12	97,37
Moyennes	4,77	0,16	96,55

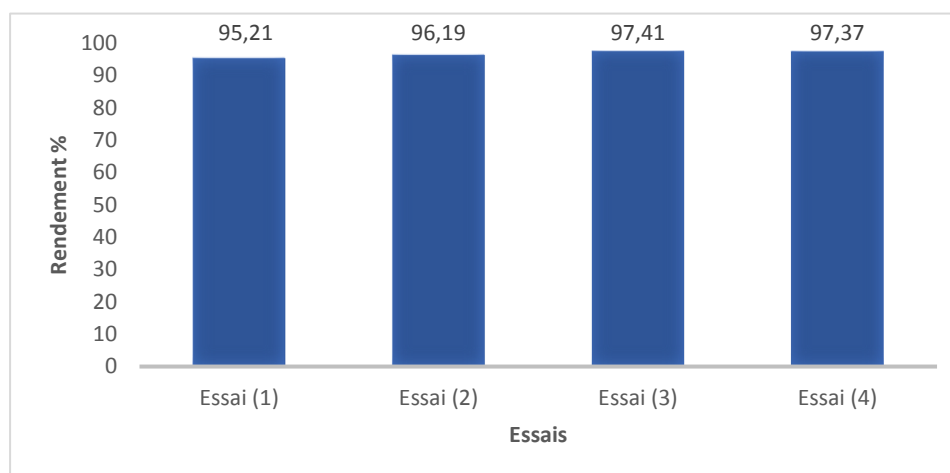


Figure III.24 : Histogramme de rendement pour une décantation à contre-courant avec des lamelles en « Position B »

Tableau III.6 : Evolution de la DBO₅, DCO, O₂, T°, pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à contre-courant « Position B »

		Avant	Après
DCO	mg/l	195	39
DBO ₅	mg/l	129	17
Tur	mg/l	2374	101
O ₂	mg/l	34,33	4,33
T°	°c	19,9	17,5
pH	-	7,32	7,03

Pour le système de décantation à contre-courant avec des lamelles en « **Position B** », nous avons fait quatre essais pour un débit de **120 l/h** sur un échantillon qui a une concentration moyenne de **MES** de **4,77 g/l**. Après la décantation, la concentration moyenne des **MES** a diminué, sa valeur a atteint **0,16 g/l**. Ce qui nous donne un rendement moyen de **96,55 %**.

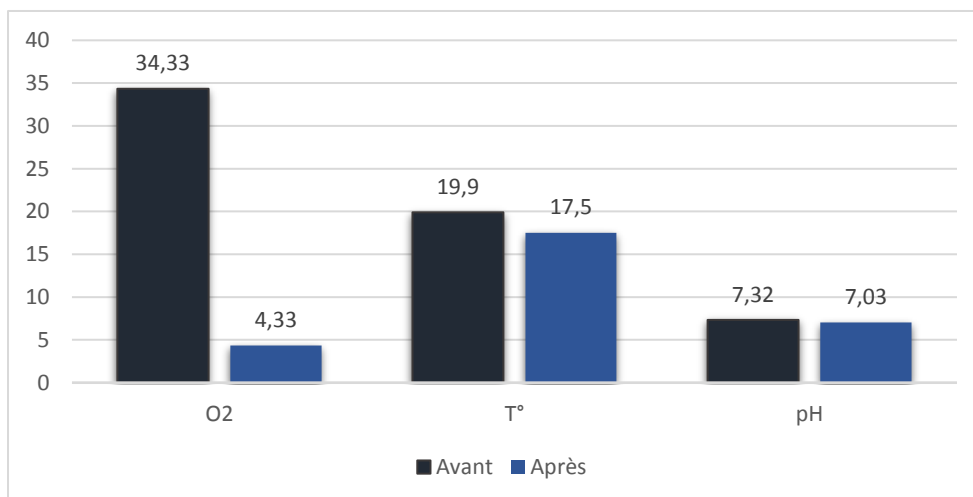


Figure III.25 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (O₂, T°, Ph) avant et après la décantation à contre-courant avec des lamelles en « **Position B** ».

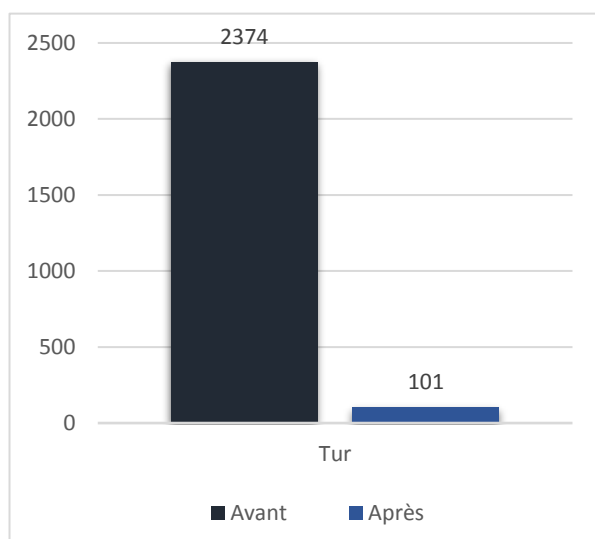


Figure III.26 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à contre-courant « **Position B** ».

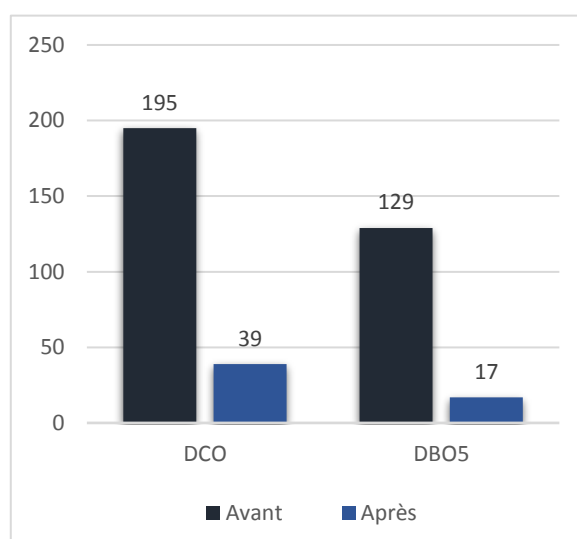


Figure III.27 : Histogramme de la variation de la DCO et la DBO₅ avant et après la décantation à contre-courant « **Position B** ».

A partir de des figures (III.25, 26, 27) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de **19,9 °C** à **17,5 °C**. Cette variation est due au contact **eau-air**.

- On remarque qu'il y a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (**avant et après la décantation**) varié entre **7,32** et **7,03**.
- La concentration de l'**O₂** dissous à l'entrée était de **34,33 mg/l** et selon la figure (III.25) elle a diminué à **4,33 mg/l** après la décantation à la fin de l'expérience.
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2374 NTU**, cette dernière a été diminuée à **101 NTU**. Cette diminution est due à la décantation lamellaire à contre-courant avec des lamelles en « **Position B** », le procédé élimine **95,74 %** de la turbidité de l'eau.
- La **DCO** dans l'eau usée brute est de **195 mg/l**. On voit que la **DCO** dans l'eau épurée diminue. Nous enregistrons **39 mg/l** de **DCO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).
- La **DBO** dans l'eau usée brute est de **129 mg/l**. On voit que la **DBO** dans l'eau épurée diminue. À sa stabilisation (**après 5 jours**) nous enregistrons **17 mg/l** de **DBO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).



Figure III.28 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à contre-courant « **Position B** »

Remarque :

On constate que la configuration de décantation lamellaire à contre-courant avec des lamelles en « **Position B** » donne un rendement meilleur que celui d'une configuration avec des lamelles en « **Position A** ».

III.3.2.2 Décantation lamellaire à co-courant :

III.3.2.2.1 Décantation lamellaire à co-courant pour l'angle d'inclinaison des lamelles 60° « Position A » :

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de **120 l/h**. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux (**III.7** et **III.8**) et représentés sur les figures (**III.29,30,31,32**).

Tableau III.7 : Evolution des **MES** pour la décantation lamellaire à co-courant « **Position A** »

Essai	MES Avant	MES Après	Rendement
	g/l	g/l	%
1	5,61	0,81	85,56
2	6,13	0,87	85,80
3	5,94	0,93	84,34
4	5,72	0,91	84,09
Moyennes	5,85	0,88	84,95

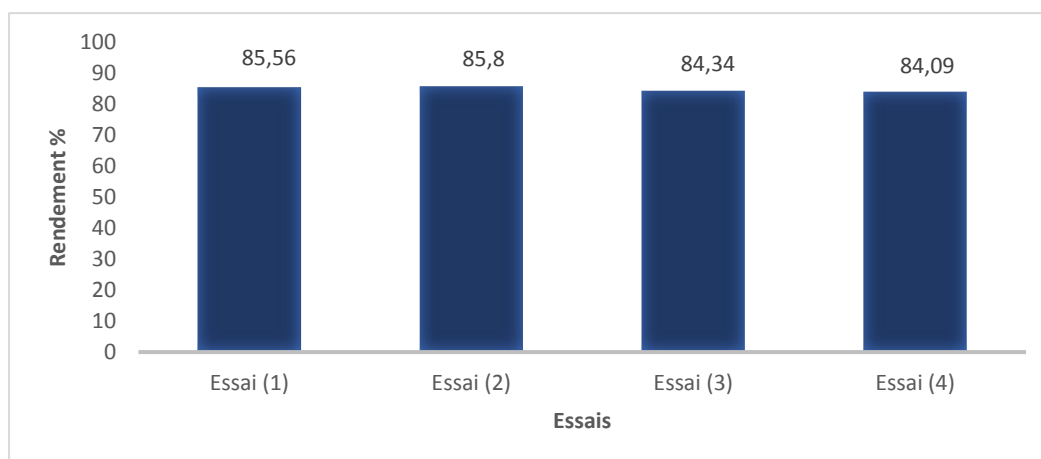


Figure III.29 : Histogramme de rendement pour une décantation à co-courant avec des lamelles en « **Position A** »

Pour le système de décantation à co-courant avec des lamelles en « **Position A** », nous avons fait quatre essais pour un débit de **120 l/h** sur un échantillon qui a une concentration moyenne de **MES** de **5,85 g/l**. Après la décantation, la concentration moyenne de **MES** a diminué, sa valeur a atteint **0,88 g/l**. Ce qui nous donne un rendement moyen de **84,95 %**.

Tableau III.8 : Evolution de la **DBO₅, DCO, O₂, T°, pH** et la Turbidité pour la décantation lamellaire à co-courant « **Position A** »

		Avant	Après
DCO	mg/l	189	42
DBO ₅	mg/l	98	18
Tur	mg/l	2607	254
O ₂	mg/l	37,81	3,80
T°	°c	18,7	17,6
pH		7,17	6,91

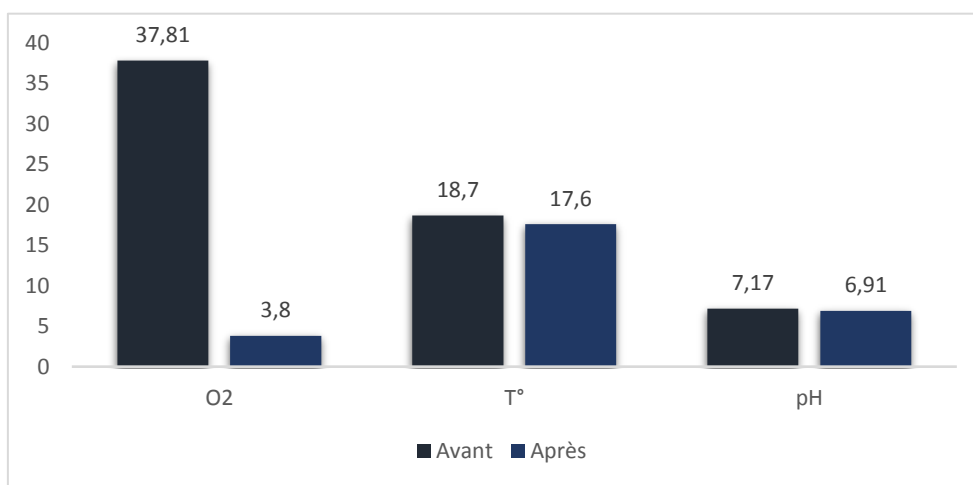


Figure III.30 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (**O₂, T°, Ph**) avant et après la décantation à contre-courant avec des lamelles en « **Position A** ».

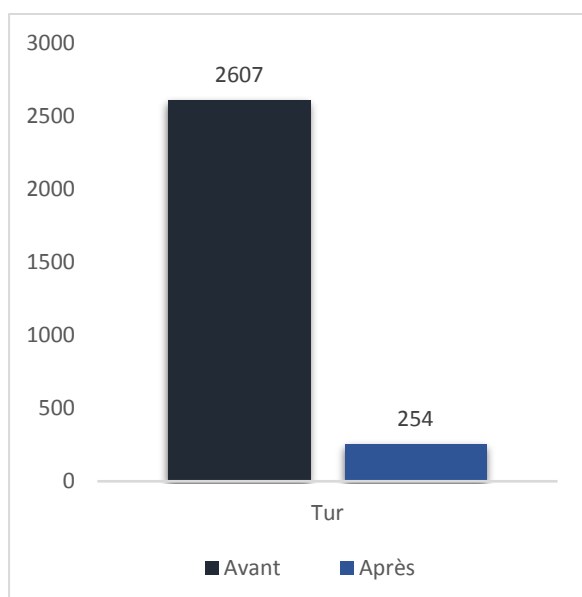


Figure III.31 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à contre-courant « **Position A** ».

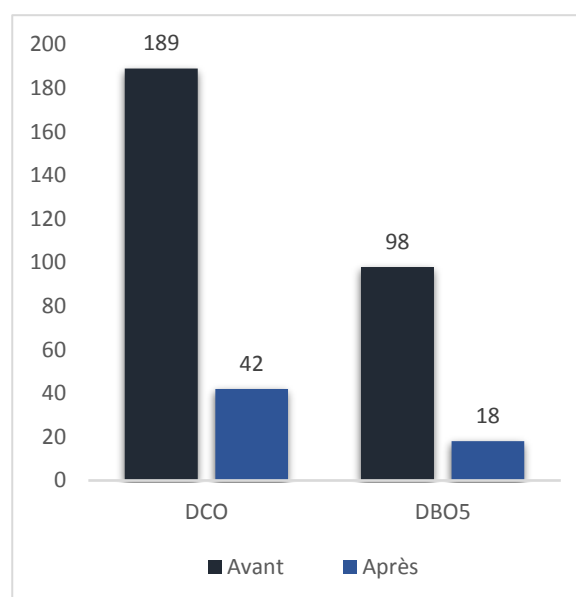


Figure III.32 : Histogramme de la variation de la **DCO** et la **DBO₅** avant et après la décantation à contre-courant « **Position A** ».

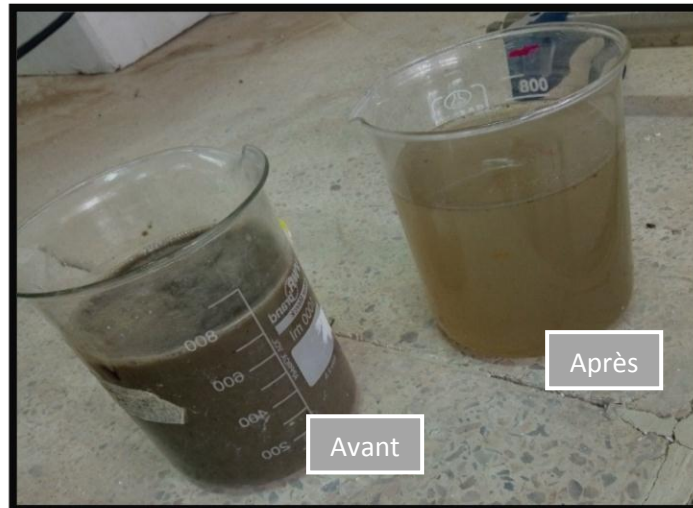


Figure III.33 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à co-courant « **Position A** ».

A partir des figures (III.30,31,32) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de **18,7 °C** à **17,6 °C**. Cette variation est due au contact **eau-air**.
- On remarque qu'il y a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (**avant et après la décantation**) varié entre **7,17** et **6,91**.
- La concentration de l'**O₂** dissous à l'entrée était de **37,81 mg/l** et selon la figure (III.30) elle a diminué à **3,80 mg/l** après la décantation à la fin de l'expérience.
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2607 NTU**, cette dernière a été diminuée à **254 NTU**. Cette diminution est due à la décantation lamellaire à co-courant avec des lamelles en « **Position A** », le procédé élimine **90,26 %** de la turbidité de l'eau.
- La **DCO** dans l'eau usée brute est de **189 mg/l**. On voit que la **DCO** dans l'eau épurée diminue. Nous enregistrons **42 mg/l** de **DCO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).
- La **DBO** dans l'eau usée brute est de **98 mg/l**. On voit que la **DBO** dans l'eau épurée diminue. À sa stabilisation (**après 5 jours**) nous enregistrons **18 mg/l** de **DBO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).

III.3.2.2.2 Décantation lamellaire à co-courant pour l'angle d'inclinaison des lamelles 120° « Position B » :

Durant cette expérience le débit d'alimentation est de **120 l/h** et un temps de séjour de **t = 50 min**. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux (III.9 et III.10) et représenté sur les figures (III.34,35,36,37).

Tableau III.9 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à co-courant « Position B »

Essai	MES Avant	MES Après	Rendement
	g/l	g/l	%
1	5,91	0,58	90,19
2	6,43	0,73	88,65
3	6,57	0,71	89,19
4	6,84	0,69	89,91
Moyennes	6,44	0,68	89,49

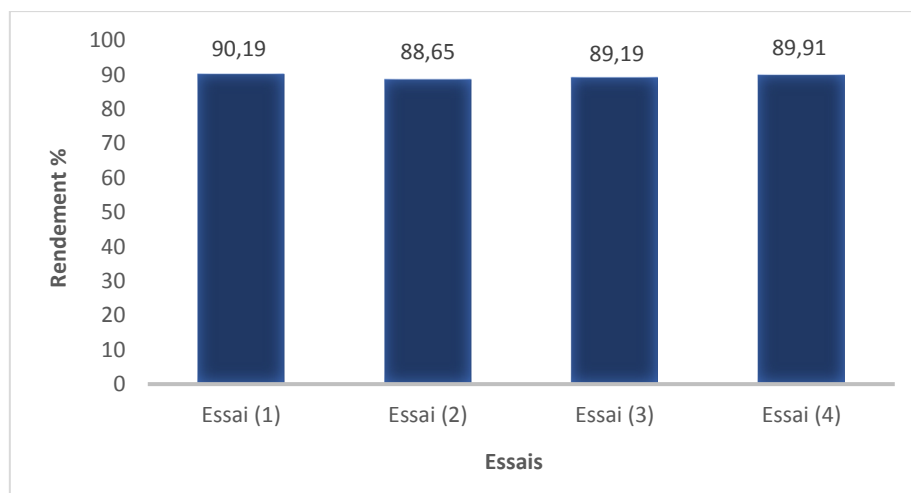


Figure III.34 : Histogramme de rendement pour une décantation à co-courant avec des lamelles en « Position B »

Tableau III.10 : Evolution de la DBO₅, DCO, O₂, T°, pH et la Turbidité pour la décantation lamellaire à co-courant « Position B »

		Avant	Après
DCO	mg/l	101	32
DBO ₅	mg/l	69	11
Tur	mg/l	2516	203
O ₂	mg/l	39,23	5,50
T°	°c	18,9	17
pH	-	6,90	6,83

Pour le système de décantation lamellaire à co-courant avec des lamelles en « Position B », nous avons fait quatre essais avec un débit de **120 l/h**, la teneur en **MES** de **6,44 g/l**. après décantation, la concentration de **MES** a diminué à une valeur de **0,68 g/l**, ce qui nous donne un rendement d'élimination des **MES** de l'ordre de **89,49 %**.

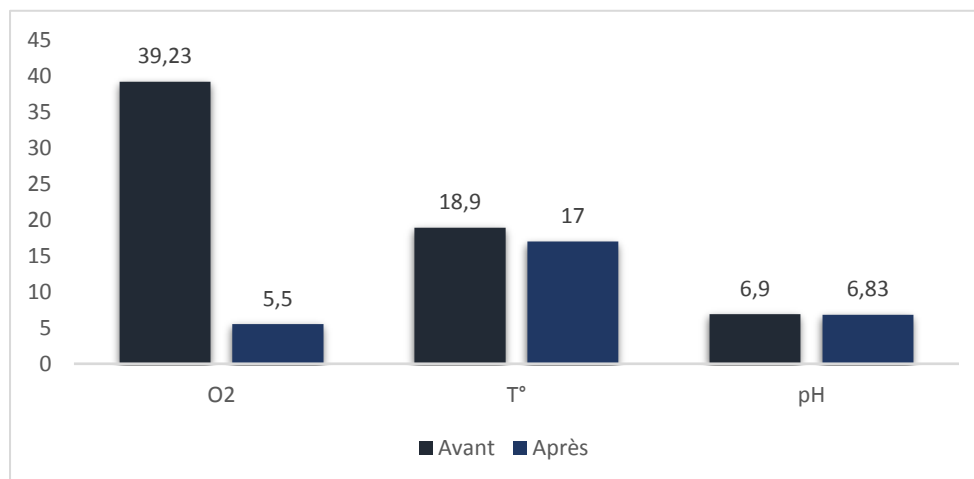


Figure III.35 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (O₂, T°, Ph) avant et après la décantation à co-courant avec des lamelles en « Position B ».

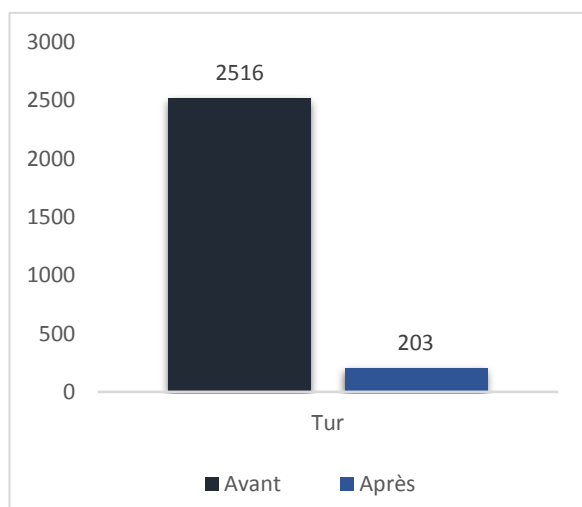


Figure III.36 : Histogramme de la variation de la turbidité avant et après la décantation à co-courant avec des lamelles en « Position B ».

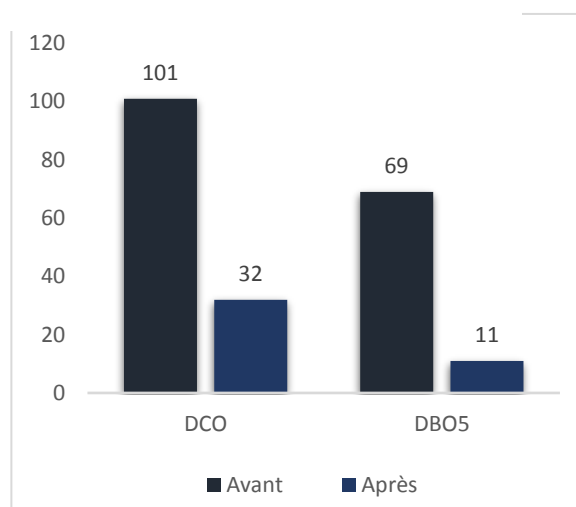


Figure III.37 : Histogramme de la variation de la DCO et la DBO₅ avant et après la décantation à co-courant avec des lamelles en « Position B ».

A partir des figures (III.35,36,37) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de **18,9 °C** à **17 °C**. Cette variation est due au contact **eau-air**.
- On remarque qu'il y a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (**avant et après la décantation**) varié entre **6,9** et **6,83**.

- La concentration de l' O_2 dissous à l'entrée était de **39,23 mg/l** et selon la figure (III.35) elle a diminué à **5,50 mg/l** après la décantation à la fin de l'expérience.
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2516 NTU**, cette dernière a été diminuée à **203 NTU**. Cette diminution est due à la décantation lamellaire à co-courant avec des lamelles en « **Position B** », le procédé élimine **91,93 %** de la turbidité de l'eau.
- La **DCO** dans l'eau usée brute est de **101 mg/l**. On voit que la **DCO** dans l'eau épurée diminue. Nous enregistrons **32 mg/l** de **DCO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).
- La **DBO** dans l'eau usée brute est de **69 mg/l**. On voit que la **DBO** dans l'eau épurée diminue. À sa stabilisation (**après 5 jours**) nous enregistrons **11 mg/l** de **DBO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).

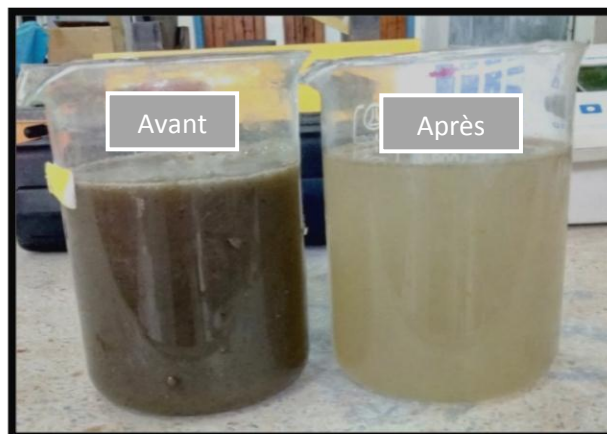


Figure III.38 : Eau à l'entrée et la sortie du décanteur lamellaire à co-courant « **Position B** »

Remarque :

On constate que la configuration de décantation lamellaire à co-courant avec des lamelles en « **Position B** » donne un rendement meilleur que celui d'une configuration avec des lamelles en « **Position A** ».

Conclusion :

D'après tous les résultats obtenus dans les histogrammes précédents, nous avons remarqué que le système à co-courant avec des lamelles en « **Position B** » donne une élimination de (**89,49 %**) des **MES**. Il est vrai que cette disposition donne un meilleur rendement par rapport à un système en « **Position A** » (**84,95 %**), sauf que ce rendement reste inférieur à celui d'un système de décantation lamellaire à contre-courant avec des lamelles en « **Position B** » (**96,55 %**). Donc, la décantation lamellaire à contre-courant est plus efficace que la décantation lamellaire à co-courant.

III.3.3 Rendement épuratoire du pilote pour les différentes phases de décantation lamellaires :

Après avoir effectué l'ensemble des expériences en fonction du système d'alimentation de l'eau dans le décanteur (**co-courant ou contre-courant**) et de l'angle d'inclinaison des lamelles (**60° ou 120°, selon les conditions opératoires**), nous avons rassemblé tous les résultats dans le tableau suivant :

Tableau III.11 : Les rendements du pilote pour les différents types de décantation lamellaire (à contre-courant et à co-courant) et les positions des lamelles (**A** et **B**).

Types de décantation lamellaire	Rendement moyen (%)
Contre-courant (Position « B » 120°)	96,55
Contre-courant (Position « A » 60°)	92,91
Co-courant (Position « B » 120°)	89,49
Co-courant (Position « A » 60°)	84,95

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, nous permettent de tirer les remarques suivantes :

- En principe, la concentration des **MES** à l'entrée du décanteur est constants vu que le bac de sédimentation est alimenté à partir de la même eau chargée. Mais dans nos expériences, on a constaté qu'il y'a eu des variations de quelques valeurs à cause de :
 - Les types de décantation lamellaire.
 - La position des lamelles.
- En observant la variation du rendement en fonction de la position des lamelles, nous remarquons que ce rendement est très important en position à contre-courant avec une inclinaison des lamelles de **120°**. L'effet des lamelles a été évalué principalement à l'aide des mesures du **MES**. Ces mesures montrent que les lamelles réduisent considérablement les **MES**.

III.4 Décantation classique :

L'expérience a été menée dans le décanteur lamellaire sans lamelles avec un débit d'alimentation de **120 l/h** et un temps de séjour de **t = 50 min**. Les résultats obtenus sont résumés dans les **tableaux (III.12 et III.13)** et représentés sur les **figures (III.39,40,41,42)**.

Tableau III.12 : Evolution des **MES** pour la décantation Classique.

Essai	MES Avant	MES Après 1h	MES Après 2h	Rendement après 1h	Rendement après 2h
	g/l	g/l	g/l	%	%
1	4,13	0,92	3,41	77,72	17,43
2	4,07	1,01	3,46	75,18	14,99
3	5,52	1,13	4,70	79,53	14,86
4	5,64	1,27	4,82	77,48	14,54
Moyennes	4,84	1,08	4,10	77,75	15,46

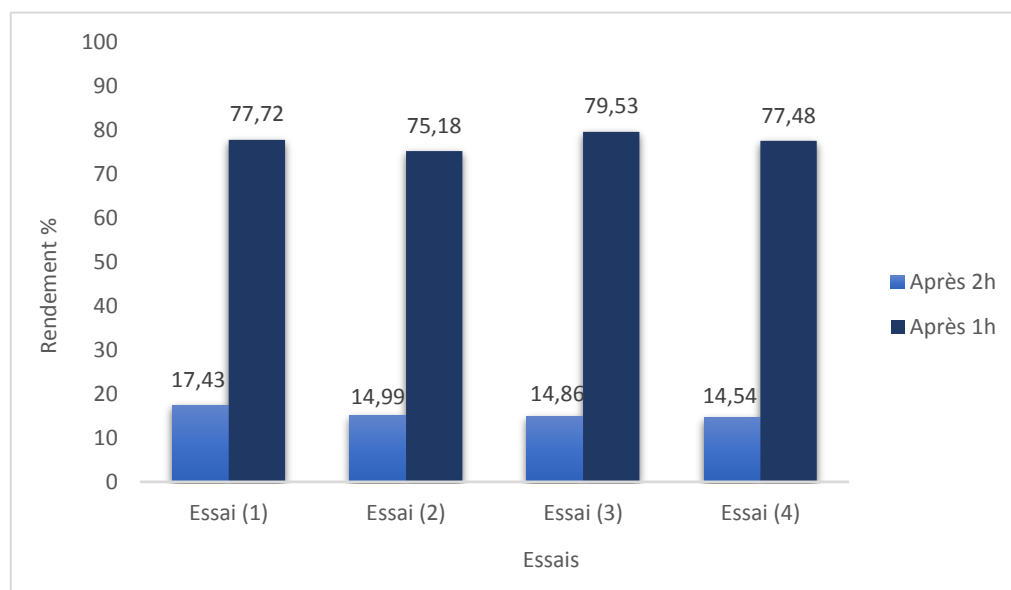


Figure III.39 : Histogramme de rendement après une décantation classique.

Dans cette expérience on a obtenu une concentration moyenne en **MES** de **4,84 g/l** avant la décantation. Après 1 heure, la concentration en **MES** était de **1,08 g/l** avec un rendement de **77,75 %**. Après 2 heure, la concentration en **MES** était de **4,10 g/l** avec un rendement de **15,46 %**, la raison de la diminution du rendement est la présence de grandes quantités de boues dans le décanteur.

Tableau III.13 : Evolution de la **DBO₅, DCO, O₂, T°, pH** et la Turbidité pour la décantation classique.

		Avant	Après 1h	Après 2h
DCO	mg/l	209	-	58
DBO ₅	mg/l	92	-	22
Tur	mg/l	2572	458	1463
O ₂	mg/l	34,87	7,56	4,37
T°	°c	18,8	17,4	17,1
pH	-	6,94	6,87	6,82

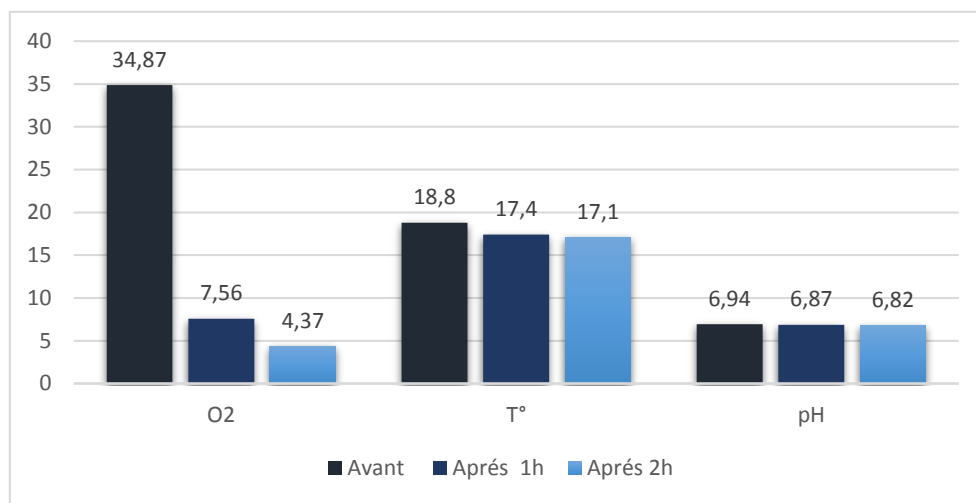


Figure III.40 : Histogramme de la variation de tous les paramètres (**O₂, T°, Ph**) avant et après la décantation classique.

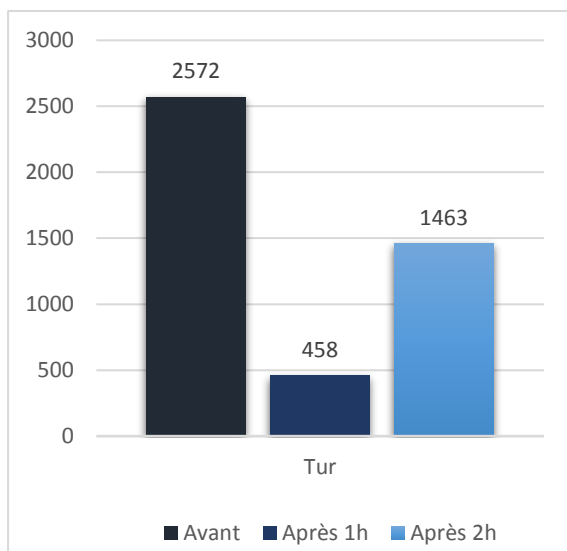


Figure III.41 : Histogramme de la variation de la **turbidité** avant et après la décantation à classique.

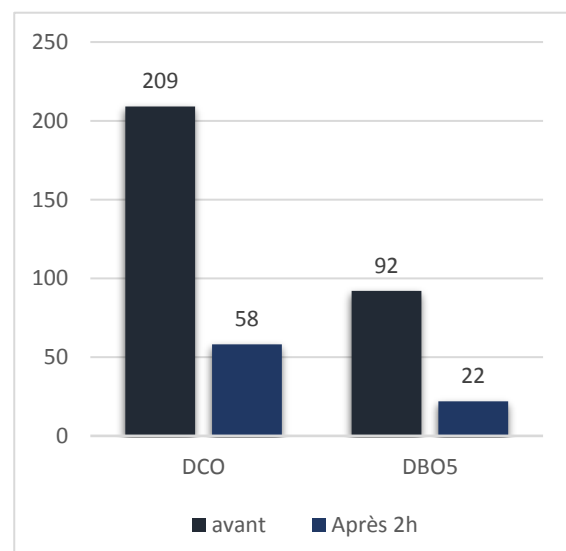


Figure III.42 : Histogramme de la variation de la **DCO** et la **DBO₅** avant et après la décantation à classique.

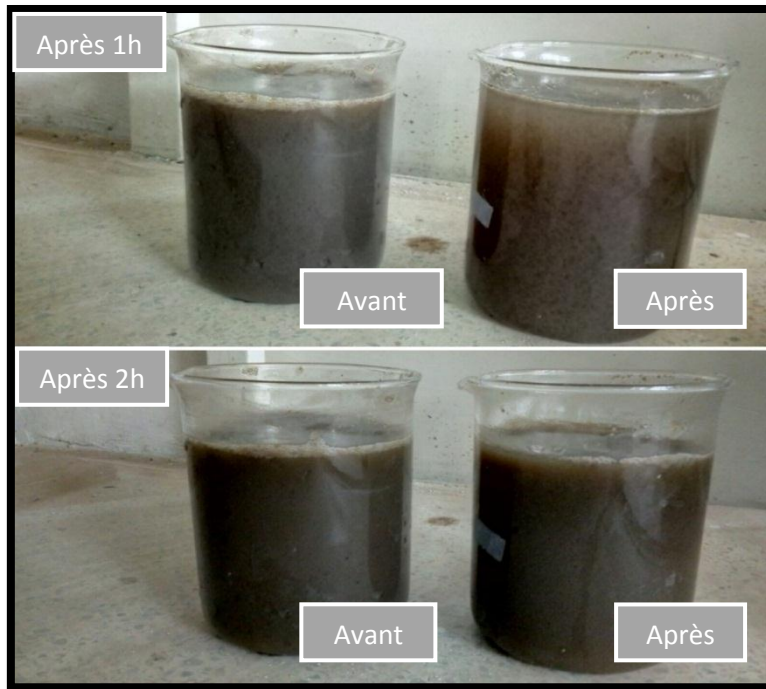


Figure III.43 : L'eau avant et après la décantation classique.



Figure III.44 : Colmatage du décanteur (Décantation classique).

A partir des figures (III.40,41,42) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de **18,8 °C** à **17,4 °C** (après 1 heure) et de **18,8 °C** à **17,1 °C** (après 2 heures). Cette variation est due au contact **eau-air**.

- On remarque qu'il y a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (**avant et après la décantation**) varié entre **6,94** et **6,87** (après 1 heure) et entre **6,94** et **6,82** (après 2 heures).
- La concentration de l'**O₂** dissous à l'entrée était de **39,23 mg/l** et selon la figure (III.40) elle a diminué à **7,56 mg/l** (après 1 heure) et à **4,37 mg/l** (après 2 heures).
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2572 NTU**, cette dernière a été diminuée à **458 NTU** (après 1 heure) et a augmenté à **1463 NTU** (après 2 heures). Cette augmentation de la turbidité est due à la saturation des boues qui engendre le déversement de ce dernier au niveau de la sortie, le rendement de turbidité diminue de **82,19 %** à **43,12 %**.
- La **DCO** dans l'eau usée brute est de **209 mg/l**. On voit que la **DCO** dans l'eau épurée diminue. Nous enregistrons **58 mg/l** de **DCO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).
- La **DBO** dans l'eau usée brute est de **92 mg/l**. On voit que la **DBO** dans l'eau épurée diminue. À sa stabilisation (**après 5 jours**) nous enregistrons **22 mg/l** de **DBO** dans l'eau épurée (**après la décantation**).

III.5 Etude de colmatage :

III.5.1 Recyclage et l'évacuation :

Dans cette partie, nous avons opéré avec le système de décantation lamellaire à contre-courant, les lamelles sont fixées en « **Position B** ». Nous avons varié le débit d'alimentation et d'évacuation, mais le débit de recyclage reste constant **50 l/h**.

Le changement des débits d'alimentation nous a exigé de calculer le temps de séjour du décanteur pour chaque essai.

Afin, nous avons mesuré la concentration des **MES** avant et après décantation pour déterminer le rendement le plus efficace. Dans ces expériences nous avons acquis trois prélèvements des eaux usées épurées biologiquement d'un volume de **600 litre** à chaque prélèvement.

III.5.2 Décantation lamellaire à contre-courant avec un angle d'inclinaison des lamelles de 120° (position B), d'un espace entre les lamelles de 1 cm et avec un débit de recyclage et un débit d'évacuation :

Pour avoir la possibilité de mesurer le débit sortant d'eau clarifié aussi bien que le débit des boues évacuées, Nous avons ajouté 2 débitmètres à chaque sortie provisoirement, comme la **figure (III.45)** suivante le montre :

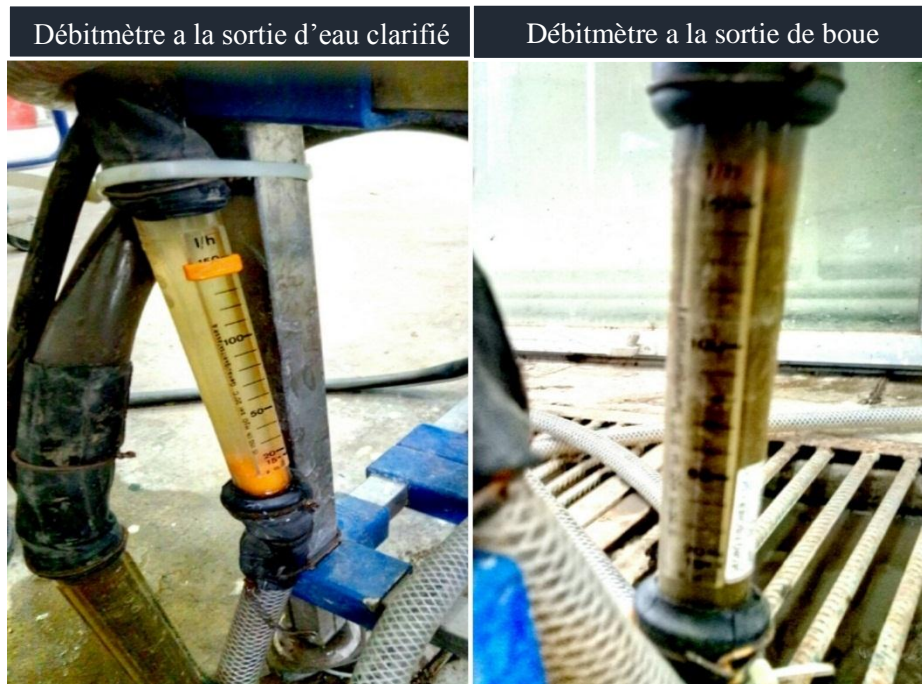


Figure III.45 : Emplacement des débitmètres ajouté à chaque sortie du décanteur lamellaire.

III.5.4.1 Expérience « 1 » :

Dans cette partie nous avons opéré avec le système de décantation lamellaire à contrecourant. Les lamelles sont fixées en « **Position B** ». Le débit d'alimentation est constant et est de **150 l/h**, par contre nous avons opté pour un débit de recyclage de **50 l/h**, un débit d'évacuation de **80 l/h** et un débit de **70 l/h** d'eau clarifiée. Les résultats obtenus sont résumés dans les **tableaux (III.14 et III.15)** et représentés sur les **figures (III.46,47,48)**.

Tableau III.14 : Evolution des **MES** pour la décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 1** ».

Essai	MES Avant	MES Après 1h	MES Après 2h	MES Après 3h	MES Après 4h	Rendement après 1h	Rendement après 2h	Rendement après 3h	Rendement après 4h
	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	%	%	%	%
1	4,95	1,25	1,15	0,97	0,89	74,75	76,77	80,40	82,02
2	5,25	1,29	1,14	0,99	0,87	75,43	78,29	81,14	81,52
3	5,32	1,27	1,11	0,94	0,92	76,13	79,14	82,33	82,71
4	4,99	1,16	1,05	0,92	0,84	76,75	78,96	81,56	83,17
Moyennes	5,13	1,24	1,11	0,96	0,88	75,77	78,29	81,36	82,36

Dans cette expérience on a obtenu une concentration moyenne en **MES** de **5,13 g/l** avant la décantation. Après 1 heure, la concentration en **MES** était de **1,24 g/l** avec un rendement de **75,77 %**. Après 2 heure, la concentration en **MES** était de **1,11 g/l** avec un rendement de **78,29 %**, Après 3 heure, la concentration en **MES** était de **0,96 g/l** avec un rendement de **81,36 %**. Après 4 heure, la concentration en **MES** était de **0,88 g/l** avec un rendement de **82,36 %**, la raison d'augmentation du rendement est la présence de faibles quantités de boues dans le décanteur, due à son évacuation excessive continue.

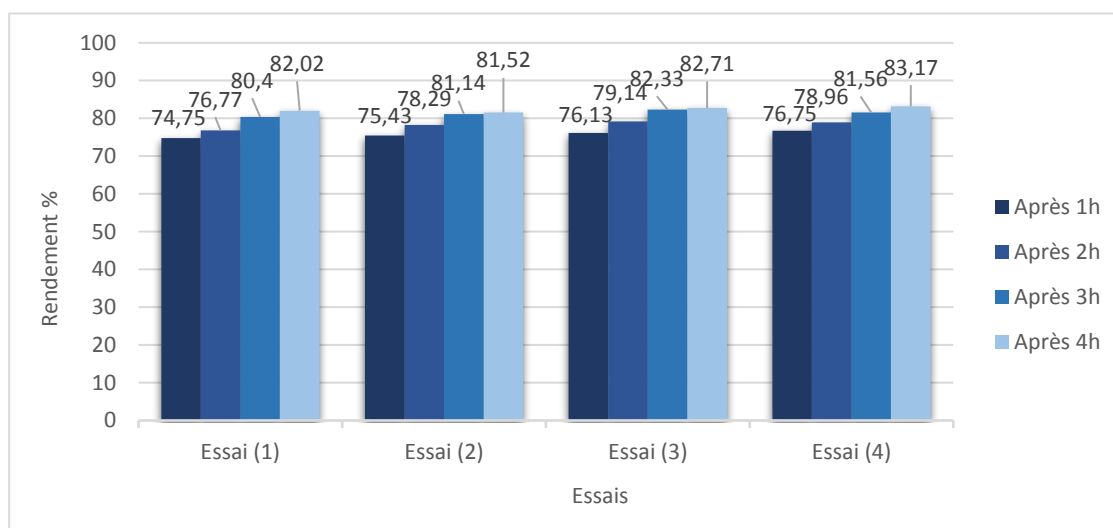


Figure III.46 : Histogramme de rendement après une décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** », et d'un espace entre les lamelles de **1 cm** (étude de colmatage) « **Expérience 1** ».

Tableau III.15 : Evolution de l'**O₂**, **T°**, **pH** et la **Turbidité** pour la décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 1** ».

		Avant	Après 1h	Après 2h	Après 3h	Après 4h
Tur	Ntu	2548	617	553	475	449
O ₂	mg/l	31,51	8,43	7,19	6,45	5,98
T	°C	19,7	19,3	18,9	18,5	18,3
pH	-	7,59	7,48	7,34	7,22	7,09

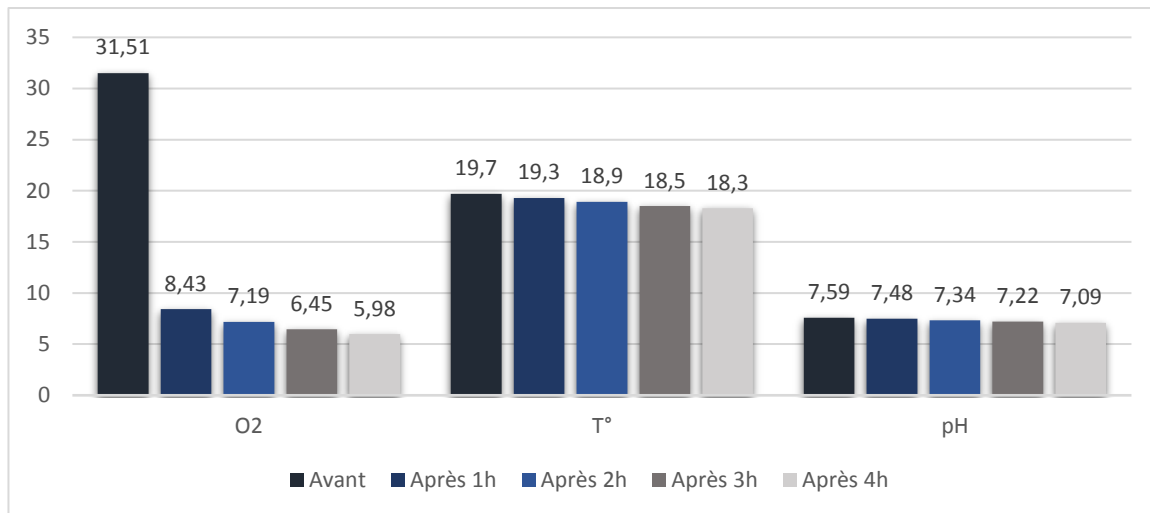


Figure III.47: Histogramme de la variation des paramètres (T°, pH, O₂) avant et après la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 1 ».

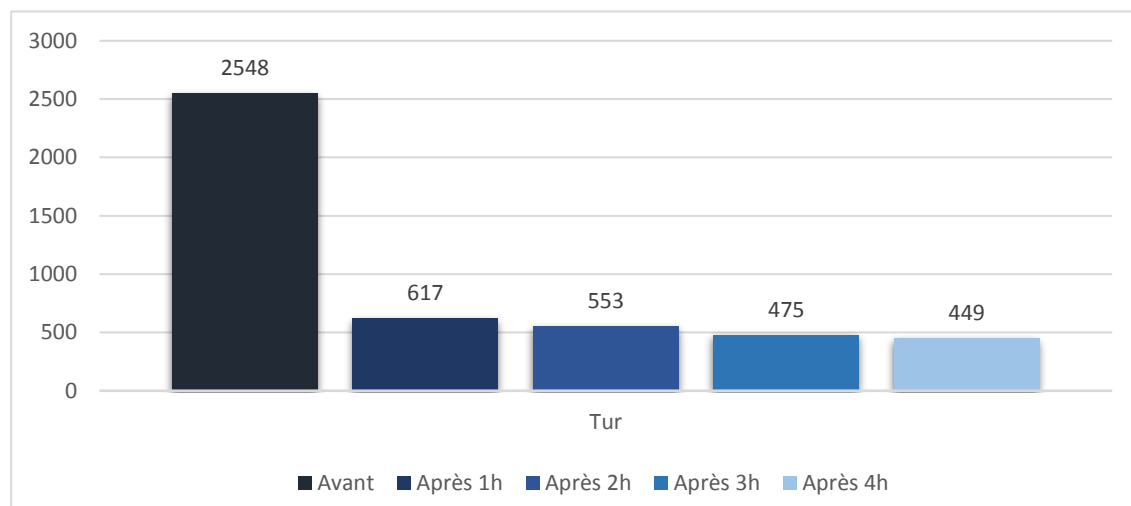


Figure III.48 : Histogramme de la variation de la Turbidité avant et après la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 1 »

A partir des figures (III.47 et III.48) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de **19,7 °C à 19,3 °C** (après 1 heure), de **19,5 °C à 18,9 °C** (après 2 heures), de **19,5 °C à 18,5 °C** (après 3 heures) et de **19,5 °C à 18,3 °C** (après 4 heures). Cette variation est due au contact eau-air.
- On remarque qu'il-y-a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (avant et après la

décantation) varié entre **7,59** et **7,48** (après 1 heure), entre **7,59** et **7,34** (après 2 heures), entre **7,59** et **7,22** (après 3 heures) et entre **7,59** et **7,09** (après 4 heures).

- La concentration de l' O_2 dissous à l'entrée était de **31,51 mg/l** et selon la figure (III.47) elle a diminué à **8,43 mg/l** (après 1 heure), à **7,19 mg/l** (après 2 heures), à **6,45 mg/l** (après 3 heures) et à **5,98 mg/l** (après 4 heures).
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2548 NTU**, cette dernière a été diminuée à **617 NTU** (après 1 heure) ensuite elle a augmenté à **553 NTU** (après 2 heures), à **475 NTU** (après 3 heures) et a augmenté à **449 NTU** (après 4 heures). Cette augmentation de la turbidité est due à la saturation des boues qui engendre le déversement de ce dernier au niveau de la sortie, le rendement de turbidité augmente de **75,78 %** à **82,38 %**.

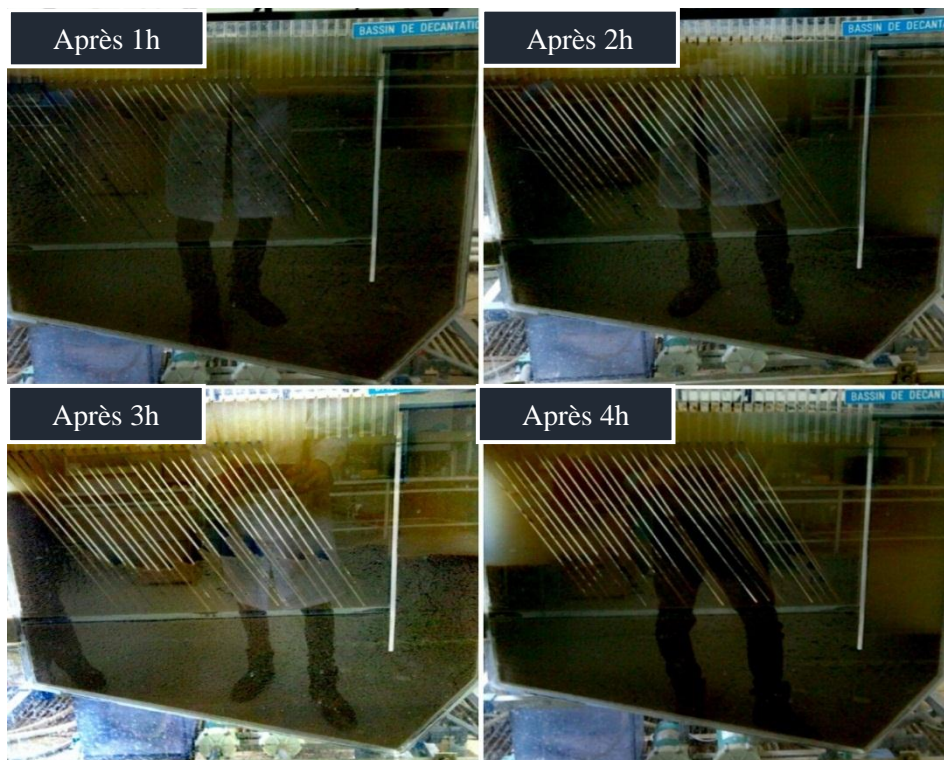


Figure III.49: Evolution de colmatage du décanteur après une période de 4h (décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 1 »

D'après la figure III.49 :

On constate qu'après une période de :

- 1 heure, le décanteur est presque totalement colmaté en boue.
- 2 heures, la quantité de boue commence à diminuer.
- 3 heures, le décanteur est à moitié colmaté.
- 4 heures, le colmatage est au-dessous de la moitié du décanteur.

Remarque :

Mauvaise configuration des débits (Le débit d'alimentation est vastement très grand que le débit d'évacuation des boues), ce qui a engendrer une grande accumulation des boues entre les lamelles du décanteur.

Temp de séjour

$$Q = \frac{V}{t} \rightarrow t = \frac{V}{Q} = \frac{100}{150} = 0.67 \text{ h} \approx 40 \text{ min}$$

Avec :

Q : le débit d'évacuation.

V : le volume de décanteur.

III.5.4.2 Expérience « 2 » :

Dans cette partie nous avons opéré avec le système de décantation lamellaire à contrecourant. Les lamelles sont fixées en **position B**. Le débit d'alimentation est constant et est de **120 l/h**, par contre nous avons opté pour un débit de recyclage de **50 l/h**, un débit d'évacuation de **80 l/h** et un débit de **40 l/h** d'eau clarifiée. Les résultats obtenus sont résumés dans les **tableaux (III.16 et III.17)** et représentés sur les **figures (III.50,51,52)**.

Tableau III.16 : Evolution des **MES** pour la décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 2** ».

Essai	MES Avant	MES Après 1h	MES Après 2h	MES Après 3h	MES Après 4h	Rendement après 1h	Rendement après 2h	Rendement après 3h	Rendement après 4h
	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	%	%	%	%
1	5,13	1,05	0,84	0,69	0,51	79,53	83,63	86,55	90,06
2	5,02	1,03	0,79	0,66	0,53	79,48	84,26	86,85	89,44
3	5,19	1,09	0,83	0,72	0,49	78,99	84,01	86,13	90,56
4	4,87	1,00	0,75	0,63	0,47	79,47	84,60	87,06	90,35
Moyennes	5,05	1,04	0,80	0,68	0,50	79,37	84,13	86,65	90,10

Dans cette expérience on a obtenu une concentration moyenne en **MES** de **5,05 g/l** avant la décantation. Après 1 heure, la concentration en **MES** était de **1,04 g/l** avec un rendement de **79,37 %**. Après 2 heure, la concentration en **MES** était de **0,80 g/l** avec un rendement de **84,13 %**, Après 3 heure, la concentration en **MES** était de **0,68 g/l** avec un rendement de **86,65 %**. Après 4 heure, la concentration en **MES** était de **0,50 g/l** avec un rendement de **90,10 %**, la raison d'augmentation du rendement est la présence de faibles quantités de boues dans le décanteur, due à son évacuation excessive continue.

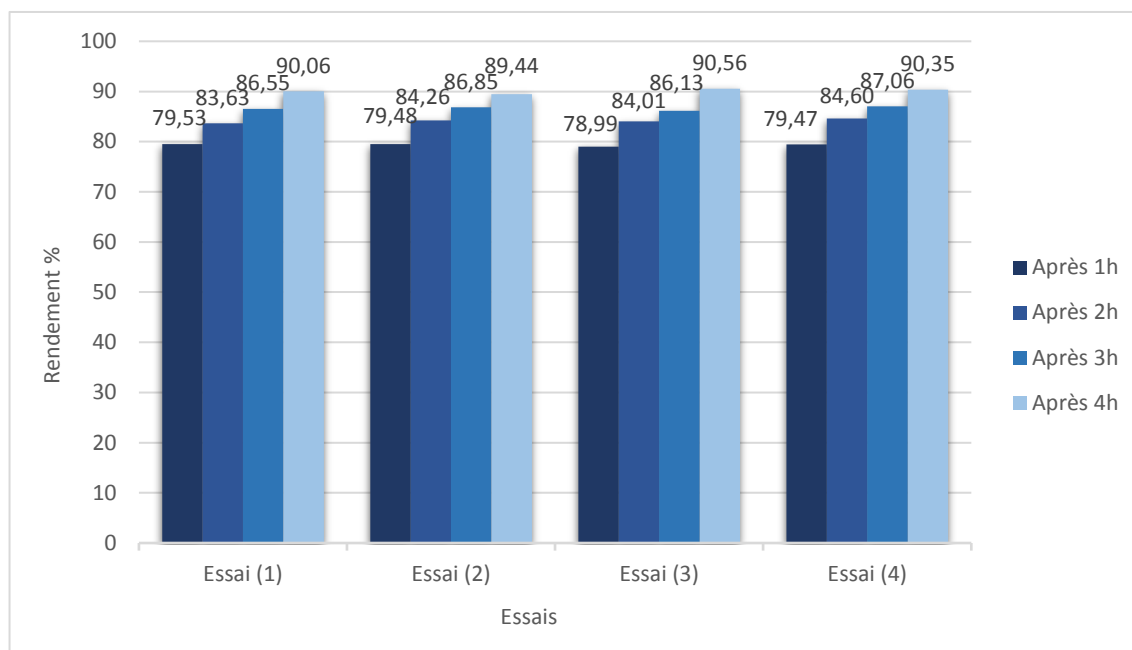


Figure III.50 : Histogramme de rendement après une décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** », et d'un espace entre les lamelles de **1 cm** (étude de colmatage) « **Expérience 2** »

Tableau III.17 : Evolution de l'**O₂**, **T°**, **pH** et la **Turbidité** pour la décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 2** ».

		Avant	Après 1h	Après 2h	Après 3h	Après 4h
Tur	Ntu	2421	499	384	323	240
O ₂	mg/l	33,78	9,12	8,75	8,24	7,91
T	°C	21,5	19,9	19,4	19,1	18,8
pH		7,29	7,25	7,16	7,11	7,02

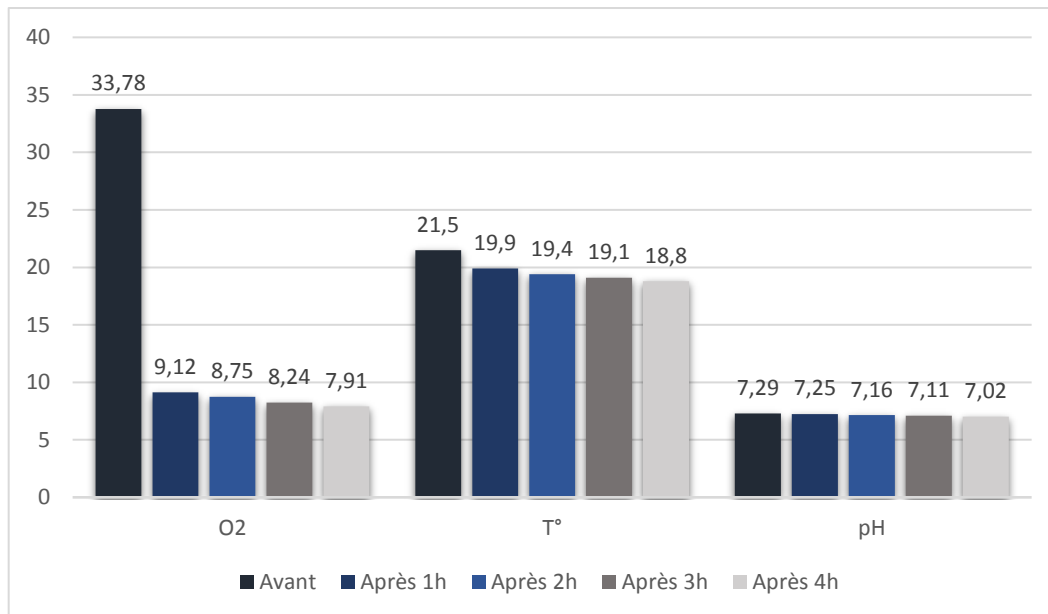


Figure III.51 : Histogramme de la variation des paramètres (T° , pH, O_2) avant et après la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 »

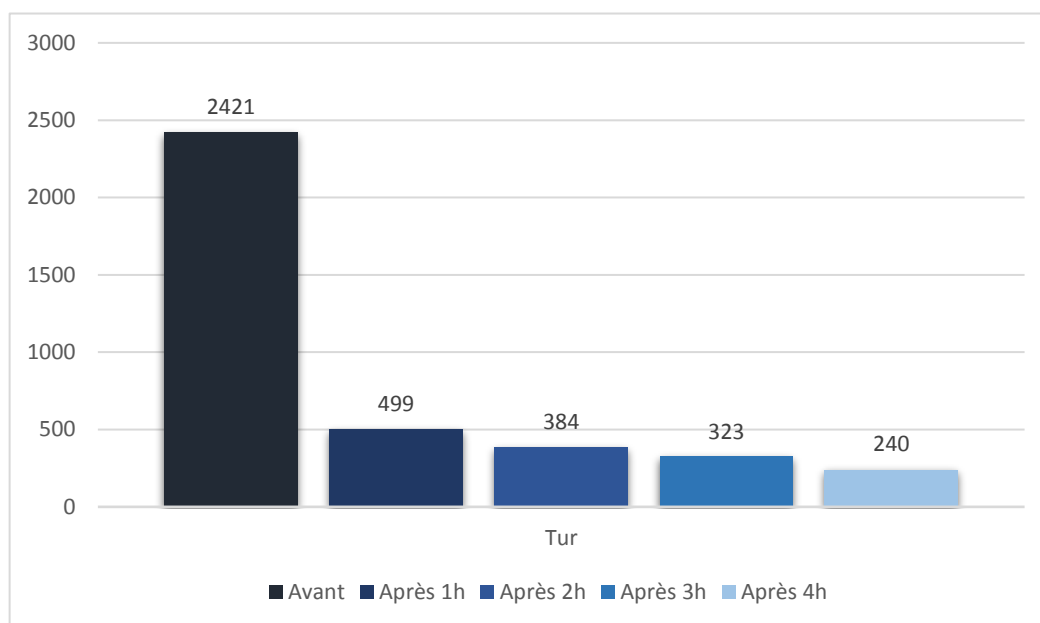


Figure III.52 : Histogramme de la variation de la Turbidité avant et après la décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 »

A partir des figures (III.51 et III.52) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de $21,5^\circ\text{C}$ à $19,9^\circ\text{C}$ (après 1 heure), de $21,5^\circ\text{C}$ à $19,4^\circ\text{C}$ (après 2 heures), de $21,5^\circ\text{C}$ à

19,1 °C (après 3 heures) et de **21,5 °C** à **18,8 °C** (après 4 heures). Cette variation est due au contact eau-air.

- On remarque qu'il y a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (avant et après la décantation) varié entre **7,29** et **7,25** (après 1 heure), entre **7,29** et **7,16** (après 2 heures), entre **7,29** et **7,11** (après 3 heures) et entre **7,29** et **7,02** (après 4 heures).
- La concentration de l'**O₂** dissous à l'entrée était de **33,78 mg/l** et selon la figure (III.51) elle a diminué à **9,12 mg/l** (après 1 heure), à **8,75 mg/l** (après 2 heures), à **8,24 mg/l** (après 3 heures) et à **7,91 mg/l** (après 4 heures).
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2421 NTU**, cette dernière a été diminuée à **499 NTU** (après 1 heure) ensuite elle a augmenté à **384 NTU** (après 2 heures), à **323 NTU** (après 3 heures) et a augmenté à **240 NTU** (après 4 heures). Cette augmentation de la turbidité est due à la saturation des boues qui engendre le déversement de ce dernier au niveau de la sortie, le rendement de turbidité augmente de **79,38 %** à **90,09 %**.

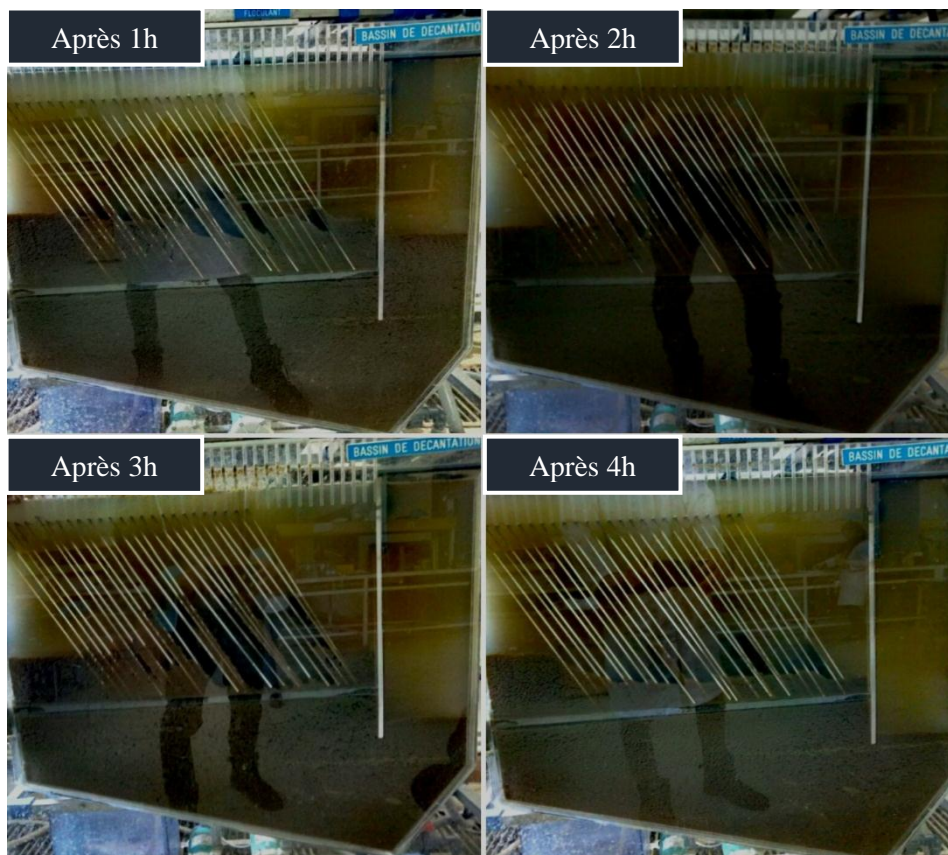


Figure III.53 : Evolution de colmatage du décanteur après 4h (décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 2 ».

D'après la figure III.53 :

On constate qu'après une période de :

- 1 heure, le décanteur est à moitié colmaté en boues.
- 2 heures, la quantité de boue commence à diminuer vers le coté aval du décanteur.
- 3 heures, la boue diminue encore plus.
- 4 heures, un colmatage mineur des lamelles du décanteur.

Remarque :

Encore une mauvaise configuration des débits (Le débit d'alimentation est à 2 tiers du débit d'évacuation des boues), ce qui a donné un résultat presque bon après 4 heures de décantation (colmatage faible des lamelles du décanteur).

Temp de séjour :

$$Q = \frac{V}{t} \rightarrow t = \frac{V}{Q} = \frac{100}{120} = 0.83 \text{ h} \approx 50 \text{ min}$$

Avec :

Q : le débit d'évacuation.

V : le volume de décanteur.

III.5.4.3 Expérience « 3 » :

Dans cette partie nous avons opéré avec le système de décantation lamellaire à contrecourant. Les lamelles sont fixées en « **Position B** ». Le débit d'alimentation est constant et est de **90 l/h**, par contre nous avons opté pour un débit de recyclage de **50 l/h**, un débit d'évacuation de **80 l/h** et un débit de **10 l/h** d'eau clarifiée. Les résultats obtenus sont résumés dans les **tableaux (III.18 et III.19)** et représentés sur les **figures (III.64, III.65 et III.66)**.

Tableau III.18 : Evolution des MES pour la décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 3** ».

Essai	MES Avant	MES Après 1h	MES Après 2h	MES Après 3h	MES Après 4h	Rendement après 1h	Rendement après 2h	Rendement après 3h	Rendement après 4h
	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	%	%	%	%
1	5,52	0,81	0,71	0,56	0,49	85,32	87,14	89,86	91,12
2	5,39	0,78	0,63	0,48	0,45	85,52	88,31	91,09	91,65
3	5,13	0,79	0,65	0,52	0,45	84,60	87,33	89,86	91,23
4	5,44	0,85	0,75	0,50	0,41	84,38	86,21	90,81	92,46
Moyennes	5,37	0,81	0,69	0,52	0,45	84,96	87,25	90,41	91,62

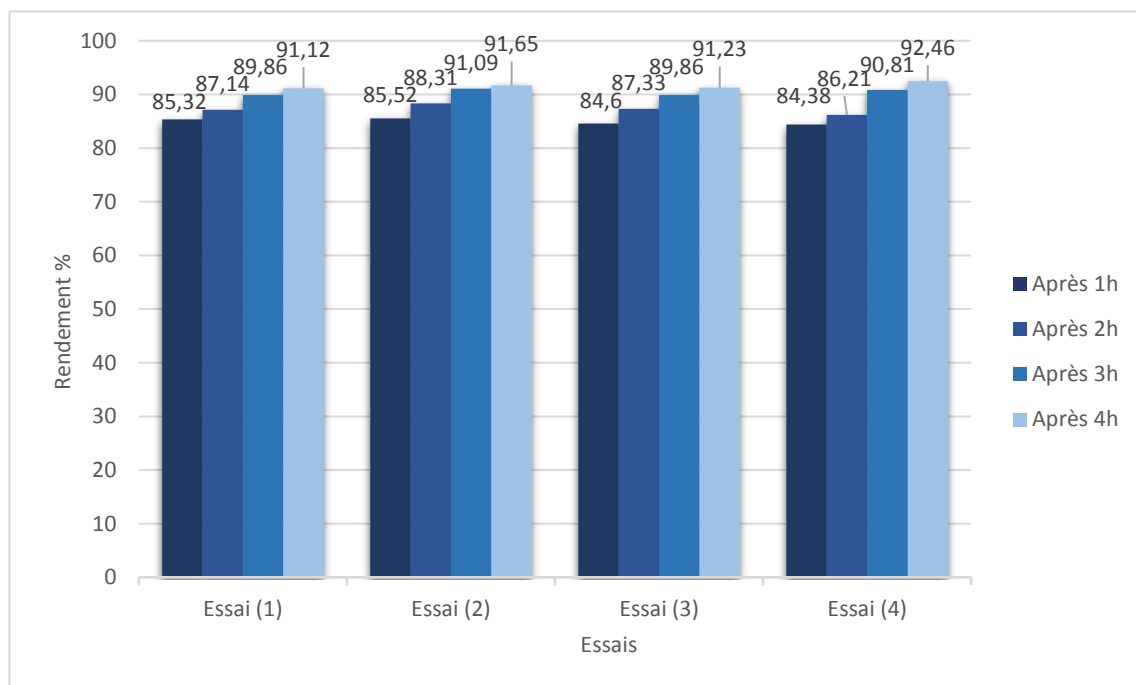


Figure III.54 : Histogramme de rendement après une décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** », et d'un espace entre les lamelles de **1 cm** (étude de colmatage) « **Expérience 3** ».

Dans cette expérience on a obtenu une concentration moyenne en **MES** de **5,37 g/l** avant la décantation. Après 1 heure, la concentration en **MES** était de **0,81 g/l** avec un rendement de **84,96 %**. Après 2 heure, la concentration en **MES** était de **0,69 g/l** avec un rendement de **87,25 %**, Après 3 heure, la concentration en **MES** était de **0,52 g/l** avec un rendement de **90,41 %**. Après 4 heure, la concentration en **MES** était de **0,45 g/l** avec un rendement de **91,62 %**, la raison d'augmentation du rendement est la présence de faibles quantités de boues dans le décanteur, due à son évacuation excessive continue.

Tableau III.19 : Evolution de l'**O₂**, **T°**, **pH** et la **Turbidité** pour la décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** » (étude de colmatage d'un décanteur lamellaire avec un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 3** ».

		Avant	Après 1h	Après 2h	Après 3h	Après 4h
Tur	NTU	2926	440	373	281	245
O ₂	mg/l	30,06	8,03	7,75	7,42	7,24
T	°C	22,1	21,5	20,8	20,2	19,7
pH		7,09	7,05	7,01	6,99	6,95

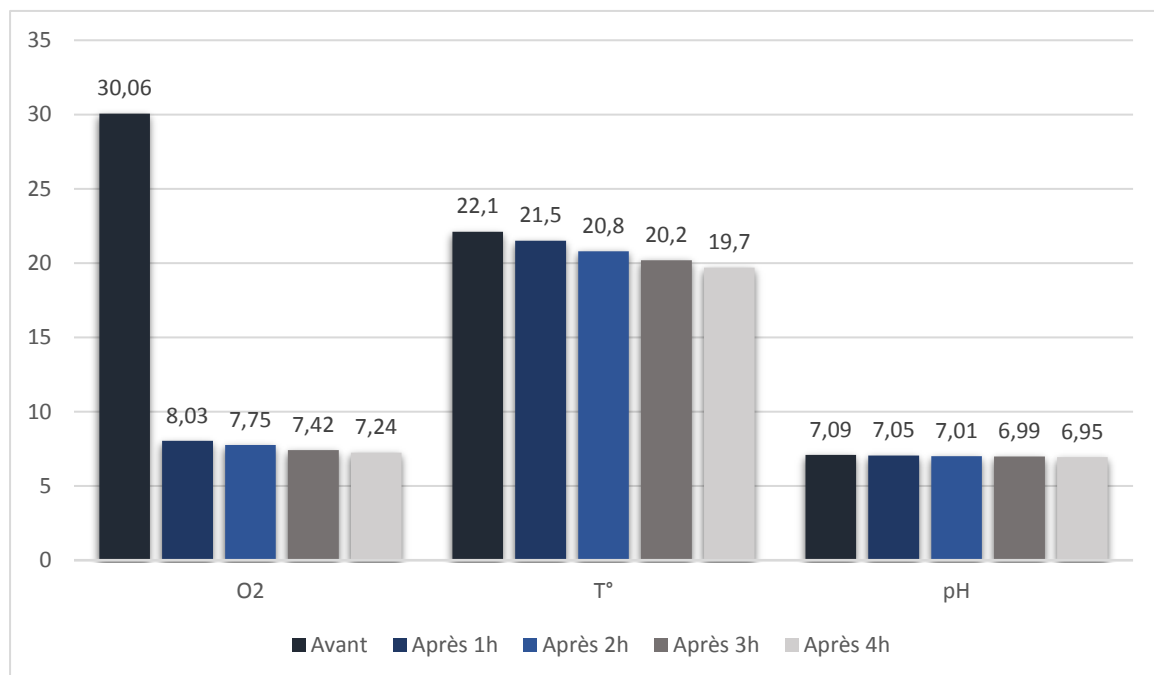


Figure III.55 : Histogramme de la variation des paramètres (**T°**, **pH**, **O₂**) avant et après la décantation lamellaire à contre-courant en « **Position B** » « **120°** » (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 3** ».

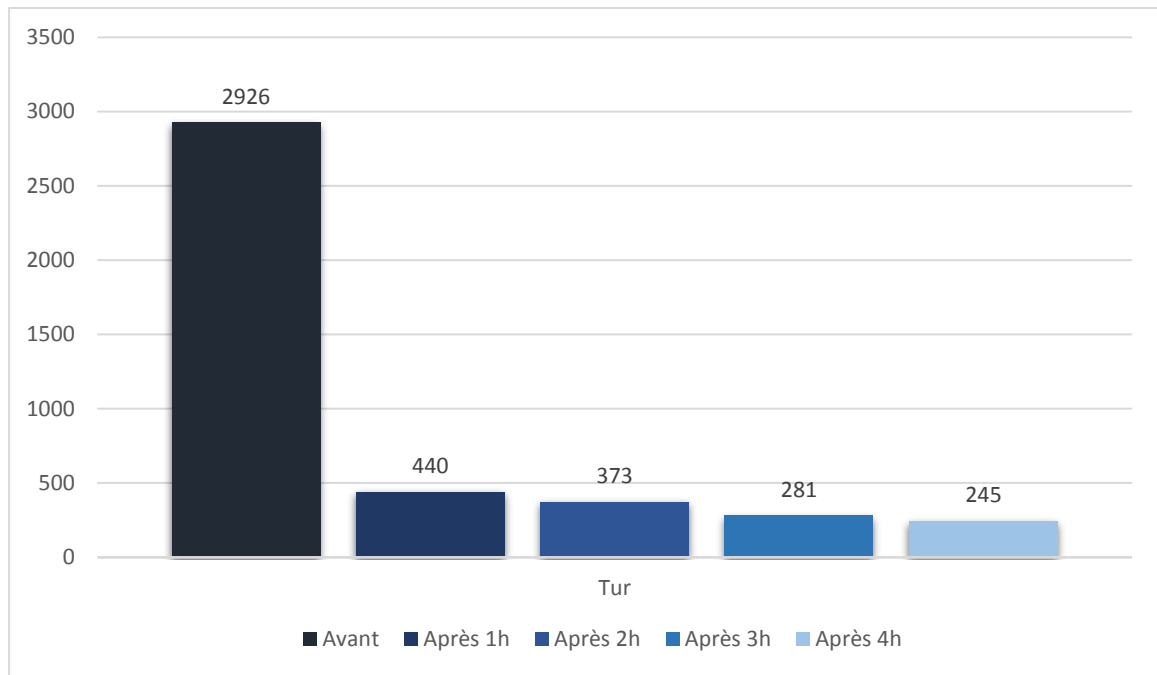


Figure III.56 : Histogramme de la variation de la **Turbidité** avant, après 1h, 2h, 3h et 4h de la décantation lamellaire à contre-courant en **Position « B » « 120° »** (étude de colmatage pour un décanteur d'un espace entre les lamelles de **1 cm**) « **Expérience 3** ».

A partir les figures (III.55 et III.56) :

- On peut dire que la température a marqué une petite variation, elle a diminué de **22,1 °C** à **21,5 °C** (après 1 heure), de **22,1 °C** à **20,8 °C** (après 2 heures), de **22,1 °C** à **20,2 °C** (après 3 heures) et de **22,1 °C** à **19,7 °C** (après 4 heures). Cette variation est due au contact eau-air.
- On remarque qu'il y a une diminution du **pH** au cours de traitement qui n'a pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du **pH** (avant et après la décantation) varié entre **7,09** et **7,05** (après 1 heure), entre **7,09** et **7,01** (après 2 heures), entre **7,09** et **6,99** (après 3 heures) et entre **7,09** et **6,95** (après 4 heures).
- La concentration de l'**O₂** dissous à l'entrée était de **30,06 mg/l** et selon la figure (III.55) elle a diminué à **8,03 mg/l** (après 1 heure), à **7,75 mg/l** (après 2 heures), à **7,42 mg/l** (après 3 heures) et à **7,24 mg/l** (après 4 heures).
- La turbidité de l'eau à l'entrée est de **2926 NTU**, cette dernière a été diminuée à **440 NTU** (après 1 heure) ensuite elle a augmenté à **373 NTU** (après 2 heures), à **281 NTU** (après 3 heures) et a augmenté à **245 NTU** (après 4 heures). Cette augmentation de la turbidité est due à la saturation des boues qui engendre le déversement de ce dernier au niveau de la sortie, le rendement de turbidité augmente de **84,96 %** à **91,63 %**.

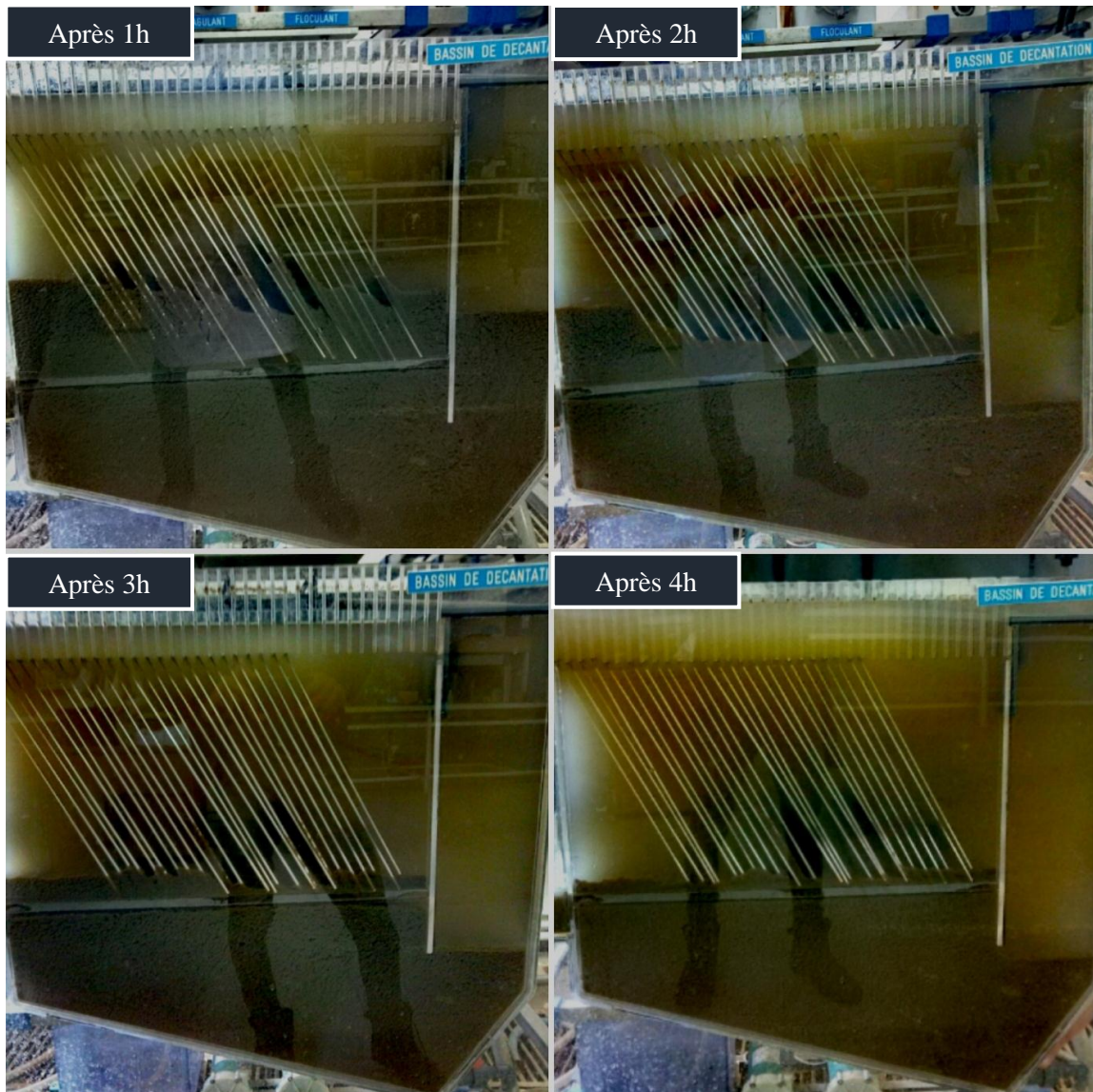


Figure III.57: Evolution de colmatage du décanteur après 4h (décantation lamellaire à contre-courant en « Position B » « 120° », d'un espace entre les lamelles de 1 cm) « Expérience 3 ».

D'après la figure III.57 :

On constate qu'après une période de :

- 1 heure, les lamelles sont peu colmatées en boues.
- 2 heures, la quantité de boue entre les lamelles du décanteur à diminuer énormément.
- 3 heures et 4 heures, presque pas de colmatage entre les lamelles.

Remarque :

On a tombé sur la bonne configuration des débits (Le débit d'alimentation est légèrement supérieur au débit d'évacuation des boues), ce qui a donné un très bon résultat juste après 3 heures de décantation (presque pas de colmatage entre es lamelles du décanteur).

Temps de séjour :

$$Q = \frac{V}{t} \rightarrow t = \frac{V}{Q} = \frac{100}{90} = 1.11 \text{ h} \approx 67 \text{ min}$$

Avec :

Q : le débit d'évacuation.

V : le volume de décanteur.

Conclusion :

D'après les résultats de Mr. M. KERBICHE et Mr M. AMARA qui ils ont déjà obtenue l'année 2014 et Suites aux différentes expériences que nous avons mené, nous avons confirmé que :

- La décantation lamellaire à contre-courant est mieux que la décantation lamellaire à co-courant en termes de clarification de l'eaux.
- La position B (inclinaison des lamelles de 120°) donne un bon rendement par rapport à la position A (inclinaison des lamelles de 60°).
- La décantation lamellaire à contre-courant avec une inclinaison des lamelles de 120° (position B) et d'un espace entre les lamelles de 1 cm donne des bons rendements de clarification par rapport à celle lamellaire à contre-courant avec une inclinaison des lamelles de 120° (position B) et d'un espace entre les lamelles de 2 cm.
- La distance entre les lamelles influe sur le rendement de la décantation de telle façon que l'augmentation de cette dernière cause la diminution de la surface de décantation et par conséquent la diminution du rendement. Par contre le rapprochement des lamelles (1 cm d'écartement) augmente la surface de décantation ce qui donne un meilleur rendement.

En termes de colmatage, ce dernier a une grande influence sur le rendement de la décantation, puisqu'il cause l'entraînement des flocs de boue vers la sortie d'eau clarifiée, ce qui réduit énormément le rendement de clarification.

Nous pouvons constater que les rendements obtenus suite à l'élimination des MES et de turbidité par décantation lamellaire à contre-courant avec les lamelles en « Position B » de la

deuxième série d'expériences (essai 1,2 et 3) sont plus haut que ceux de la premier, en prenant compte du changement du débit d'alimentation et du débit d'évacuation des boues en gardant les autres conditions opératoires constantes. Ceci est aussi causé par la combinaison de plusieurs paramètres qui entre en jeu, tels que :

- Anaérobiose ;
- Dénitrification ;
- Interruption de l'électricité dans le laboratoire.

Conclusion générale

L'épuration des eaux usées est devenue une nécessité impérieuse et exigée, aujourd'hui, des procédés plus performants qui sont utilisés pour réutilisations des eaux usées épurées.

Notre étude a pour but de participer à d'éventuelles améliorations de la qualité des eaux usées épurées par un aspect d'amélioration de la clarification. Ce travail a été réalisé sur le pilote TE-600 au niveau du laboratoire de traitement et d'épuration des eaux de la Faculté de Tlemcen.

Cette étude particulière d'un décanteur lamellaire à boue activée nous a permis en premier lieu d'analyser l'élimination de la matière en suspension qui représente un problème délicat dans le traitement des eaux usées, ainsi que quelques paramètres de qualité des eaux (Turbidité, DCO, DBO, PH, ...) qui nous a permis de revêtir au mieux la problématique du thème choisi, l'élaboration d'une synthèse bibliographique a été nécessaire.

La première partie du mémoire a donc comporté en un état des connaissances sur les différents procédés de décantation de l'eau usée en détail le procédé de décantation lamellaire.

La seconde partie de notre travail a été consacrée à la présentation des résultats d'essais expérimentaux que nous avons réalisés dans le cadre de cette étude. Structurés en plusieurs étapes, cette étude expérimentale a permis la description détaillée de pilote utilisé.

Les différentes dispositions (co-courant, contrecourant, inclinaison des lamelles), nous a permis de mieux cerner et comprendre le phénomène de la décantation lamellaire.

Suites aux différentes expériences que nous avons menées, et d'après les résultats précédents du master de Mr. KERBICHE M. et Mr. AMARA M. fait en 2014, nous avons confirmé que la décantation lamellaire à contre-courant avec une inclinaison des lamelles de 120° (position B) et d'un espace entre les lamelles de 1 cm donne le meilleur rendement en termes d'élimination des matières en suspension.

Au milieu de ce travail on a trouvé quelques difficultés, tel que le problème des appareils de mesure (Ph mètre, turbidimètre et DBO mètre), ainsi que les moyens de transport pour ramener les eaux usées de la STEP de Ain El Houtz, n'oublions pas les coupures électriques survenues durant ce semestre.

Malheureusement, la boue activée contenue dans l'eau épurée est présente en grande concentration, ce qui a entraîné des difficultés de répartition de cette dernière sur l'ensemble du bloc lamellaire, gênant le passage d'eau clarifié résultant l'entraînement des floes de boue qui a fait abattre le rendement épuratoire pour un temp de séjour assez important (3heures à 4 heures).

A l'objet de cette issue, il a fallu ajuster les débits (entrants et sortants) afin d'obtenir le moins de colmatage entre les lamelles que possible ainsi qu'un choix d'une reprise des boues par un système de recyclage devient obligatoire pour ce cas, ceci a engendré un changement de temps de séjour du décanteur.

Enfin, nous pouvons dire que le procédé de décantation lamellaire peut constituer une solution viable pour l'épuration des eaux usées, en termes de gains considérables en surfaces et coûts des stations d'épuration.

D'après nos recherches bibliographiques sur la décantation lamellaire dans le but de minimiser les risques de colmatage du décanteur lamellaire, il est préférable et conseillé d'installer des dégrilleurs automatiques d'entrefer de l'ordre de (ou inférieur à) 1 cm pour le type de plaques testées ($e = 0,10$ m et plaques planes). Ce poste est fondamental pour un bon fonctionnement de la décantation lamellaire à l'aval [13].

Bibliographie et Webographie

- [1] BEAUDRY J.P., 1984 : « Traitement des eaux ». Edition de Griffon d'argile.
- [2] OURIEMI Sina, 2014 : « Cours Traitement des Eaux » <http://enim.tn/portail/claroline/backends/download.php>, consulté le 12/04/2018.
- [3] DEGREMONT, 2016 : « processus élémentaires du génie physico-chimique en traitement de l'eau ». <https://www.suezwaterhandbook.fr>, consulté le 12/04/2018.
- [4] Melle F. MEKHALIF, 2009 : « réutilisation des eaux résiduaires Industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement », Mémoire de Magister, Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales SKIKDA.
- [5] Traitement des eaux. www.univ-ubs.fr, consulter le 14/04/2018.
- [6] <http://pravarini.free.fr/Decantation.htm>, consulter le 17/04/2018.
- [7] 2011, Ocode, « Solution de prétraitement des eaux pluviales », <http://www.separateur-decanteur-lamellaire.fr/ocido-gestion-de-l-eau/decanteur-lamellaire/>. Consulter le 15/04/2018.
- [8] Hadeb. B, 2015 : « L'effet des sels minéraux sur l'élimination du phénol par coagulation – floculation », Mémoire d'ingénieur en Génie de l'environnement, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [9] Dr. BESSEDIK Madani, « cours traitement des eaux », Licence 2016 en Hydraulique.
- [10] Chapitre III « Traitements conventionnels des eaux naturelles », <https://elearn.univ-ouargla.dz/2013-2014/main/document/document.php?cidReq=TRAIT15&curdirpath=/Traitement%20eaux>. Consulter le 04/05/2018.
- [11] OURIEMI Sina, Cours : Traitement des Eaux ‘‘Décantation’’ <http://enim.tn/portail/claroline/backends>. Consulter le 17/04/2018.
- [12] Chambéry métropole : « Techniques classiques de dépollution des eaux pluviales- Les décanteurs » <https://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/Racco/racc-biblio-guide-chambery-decanteur-13.pdf> consulter le 14/04/2018.

- [13] 1994, « Décantation lamellaire des boues activée ». Rapport du Fond National pour le développement des adductions d'eau. <http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae18.pdf> , consulté le 18/04/2018.
- [14] DANIEL THEVENOT & GILLES VARRAULT, 2005 : « Traitement des eaux usées », Université Paris-Est Créteil, ENPC, ENGREF.
- [15] A. HAKMI , 2006 : « traitement de de l'eau de source Bousfer Oran ». Université des sciences et de la technologie Oran.
- [16] F. TARMOUL. 2007. : « Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel cas de la lagune de béni-messous ». Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.
- [17] BACHA. N, 2013, : « Influence de paramètres réactionnels sur la stœchiométrie sulfate d'aluminium /substances aromatiques acides dans des eaux a minéralisation variable », Magister en : Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [18] Melle DEHBI. F, 2015, « Etude comparative des performances d'un lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf et d'un lit bactérien à garnissage plastique », Master en Hydraulique, Université Abou Bekr Belkaid.
- [19] Melle DEKHIL.W, 2012 : « Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj en Algérie effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA ». Master de chimie et microbiologie de l'eau. Université Mohamed El Bachir Elibrahimi.
- [20] BENGOUGA. Kh, 2010 : « contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides ». Mémoire de magister en Sciences Agronomiques. Université Mohammed khider – biskra.
- [21] DELTALAB : Bulletin Technique du pilote de coagulation-floculation et décantation.
- [22] M^{lle} CHERIF. L , 2012 : « L'influence de la coagulation-floculation et décantaion sue le pré traitement des eaux saumâtres », Master en hydraulique, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.
- [23] RODIER J, 2005, L'analyse de l'eau, Édition Dunod, Paris.

[24] MOKHTARI. A ET DIR. B, 2006, « Analyses physico-chimique et bactériologique des eaux potables groupement urbaine de Tlemcen », Mémoire de DEUA en hydraulique, université de Tlemcen.

[25] Emmanuel JESTIN, « La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires » AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE
Direction des Bocages Normands 1, rue de la Pompe -14200 Hérouville-Saint-Clair.

[26] RAYMOND DESJARDINS, 1997 : « Le traitement des eaux ». 2^{ème} édition revue et enrichie.

[27] <https://www.1h2o3.com/produit/dl12-12m2/> ,consulter le 07/05/2018.

[28] <http://www.degremont-industry.com/fr/nos-expertises-technologies/traitement-eaux-usees/traitement-physico-chimique/> , consulter le 06/05/2018.

[29] HYDRANET, Société des solutions clés en main pour répondre à votre demande en matière d'équipements de traitements des eaux, http://www.hydranet.fr/doc/611_Decantation.pdf ,Consulté le 29/04/2018.

[30] Documents Similaire "Traitement de l'Eau 1", animé par Mohamed. L

<https://fr.scribd.com/document/378302335/212734634-Traitement-de-l-Eau-1-pdf>. Consulter le 02/06/2018.

[31] Morin A. – Hydroconcept, Milisic V., Figue J-F., 2009. « Simulations numériques des écoulements dans un décanteur lamellaire à contre-courant », - Laboratoire de Génie des Procédés et Environnement, Université de Bordeaux II, Aires N. - Agence de l'Eau Seine Normandie.

[32] Melle SAADI. H, 2013, : « Etude des performances d'un lit bactérien classique à garnissage en pouzzolane de Beni Saf », Master en Hydraulique Option : Technologies de Traitement des Eaux, Université Abou Bekr Belkaid.

[33] GAID A., 1984 : « Épuration biologique des eaux usées urbaines ». Tome I, édition OPU,Alger.

[34] A. BETTACH, Licence 2013, « Traitement des eaux usées domestiques par biodénitrification : effet du nitrate », Université Chouaib Doukkali – Maroc.

[35] Melle W. OUHOUD, 2016, : « Etude des performances d'un lit bactérien à garnissage en brique locale concassée », Master en Hydraulique Option : Technologie de Traitement des Eaux, Université Abou Bekr Belkaid.