

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des eaux d'après leur pH

Tableau 2 : La matière en suspension du Pax 18

Tableau 3 : La matière en suspension du sulfate ferrique

Tableau 4 : La demande chimique en oxygène

Tableau 5 : La DBO₅ en mg O₂/L

Tableau 6 : Le potentiel Hydrogène pH

Tableau 7 : La conductivité en ms/cm

Tableau 8 : Les tensioactifs en mg/l

Liste des abréviations

STEP : Station d'épuration des eaux usées de Fès

E-H : Equivalent Habitant

DBO₅ : demande biochimique en oxygène à 5 jours

DCO : demande chimique en oxygène

MES : matière en suspension

pH : Potentiel hydrogène

GES : gaz à effet de serre

MW : Méga Watt

Sommaire

Introduction Générale :	1
Chapitre I : Présentation de la STEP et Généralités sur les eaux usées	3
I. Présentation de la STEP	4
1. Présentation Générale	4
2. Traitement des eaux usées :	5
➤ Filière Eau :.....	5
a) Réception des eaux usées et pompage.....	5
b) Prétraitement :.....	6
c) Décantation primaire :	7
d) Traitement biologique avec aération de surface :	8
e) Dégazage :	9
f) Décantation secondaire :	9
➤ Filière Boue.....	10
a) Epaississeurs des boues primaires :	10
b) Flottateurs des boues secondaires :.....	10
c) Digestion des boues mixtes.....	11
d) Déshydratation :.....	11
e) Stockage des boues déshydratées :	11
➤ Filière biogaz :.....	11
a) Récupération du biogaz :.....	12
b) Désulfurisation	12
c) Stockage de biogaz :	12
d) Cogénération du biogaz :	12
e) Torchère :	12
II. Généralités sur les Eaux Usées :	13
1. Définition :.....	13
2. Origine des Eaux Usées :	13
a. Origine industrielle :.....	13
b. Origine domestique :.....	14
c. Origine agricole :	14
3. Impact des eaux usées sur la santé.....	19
Chapitre II : Les Caractéristiques des Eaux Usées	16
I. Paramètres Physiques :	17

1. Température :.....	17
2. MES : matière en suspension (mg/L).....	17
II. Paramètres Physico-chimiques :	18
1. Le potentiel Hydrogène (pH) :	18
2. La Conductivité :	18
3. L'Oxygène Dissous :	18
4. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :.....	19
5. DBO : demande biochimique en oxygène	19
6. Les détergents :	19
• Tensio-actifs anioniques :.....	19
• Tensio-actifs cationiques :.....	20
• Tensio-actifs non ioniques :.....	20
Chapitre III : Procédé de Coagulation	21
I. La Coagulation :	22
1. Les particules en suspension :	22
2. Structure :.....	22
3. Le principe de la coagulation :.....	23
4. Forces mises en jeu :	23
5. Déstabilisation des colloïdes	24
II. Méthodologie :	25
1. Jar-test :	25
2. Techniques expérimentales :	26
a) Objet des essais :.....	26
b) Procédure :	26
3. Techniques analytiques :.....	27
a) Analyses physico-chimiques :	27
b) Paramètres d'analyses :	28
➤ Mesure des matières en suspension (MES) :	28
➤ Détermination de la DCO (demande chimique en oxygène) :	31
➤ Détermination de la DBO ₅ (demande biologique en oxygène) :	32
➤ Déterminer le pH :	34
➤ Détermination de la conductivité :	35
Conclusion.....	40

Introduction Générale :

Les eaux usées contiennent divers polluants organiques et inorganiques. Leur rejet direct dans la nature sans traitement s'avère très néfaste sur l'environnement et l'Homme d'où l'importance de ce traitement.

Pendant les dernières années plusieurs stations d'épurations des eaux usées (STEP) ont été mises en place au Maroc vue la croissance démographique, la consommation humaine, industrielle, agricole et les sécheresses répétées.

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès, est la plus grande station au Maroc, d'une capacité de 1,2 million Équivalent Habitant, et traite tout type d'eau usée (domestique, agricole, industrielle). A la sortie de STEP-Fès l'eau épurée, jetée dans le milieu naturel, est accompagnée par une production de quantités non négligeables de boues dont il faut s'en débarrasser, ainsi STEP-Fès a choisi de les éliminer en les mettant en décharge.

La mise en décharge s'avère une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays. L'incinération de boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine. La valorisation énergétique et agricole des boues sont des techniques vertes permettant de transformer les boues considérées des déchets industriels à un produit de valeur minimisant la pollution.

Ce travail, a pour objectif principal de faire une étude de coagulation sur les eaux usées après déshuileage d'Oued Sebou de Fès en utilisant deux types de coagulants à savoir le Polychlorure d'Aluminium et le Sulfate ferrique. Ce procédé de coagulation permet l'élimination des matières colloïdales et par conséquent l'amélioration de la décantation des eaux.

L'expérience permet à la fois d'améliorer les connaissances pratiques d'un individu, et tester ses informations. Certes, mon stage s'est déroulé pendant un mois et demi dans la station d'épuration des eaux usées de Fès m'a permis d'acquérir cette expérience.

Le présent rapport est organisé de la façon suivante :

- Dans la première partie on donne un bref aperçu sur la station d'épuration des eaux usées de Fès, et des généralités sur les eaux usées.
- Dans la deuxième partie est consacrée à décrire les analyses effectuées au sein du laboratoire pour assurer la surveillance du réseau d'approvisionnement en eau potable : analyses des paramètres physiques et chimiques.
- Dans la dernière partie on s'intéresse à étudier la coagulation réalisée dans une installation appelée Jar-Test, Ce procédé de coagulation permet l'élimination des matières colloïdales et par conséquent l'amélioration de la décantation des eaux.

Chapitre I :

Présentation de la

STEP et Généralités

sur les eaux usées

I. Présentation de la STEP

1. Présentation Générale



Figure 1 : Vue générale de la station d'épuration des eaux usées de Fès

Maillon clé du système d'assainissement liquide de la ville, la nouvelle station assurera l'épuration de la totalité des eaux usées de Fès avant leur rejet dans l'Oued de Sebou, contribuant ainsi à la résolution des problèmes liés à la gestion intégrée des ressources en eau.

Répondant aux standards internationaux et utilisant les dernières technologies en matière de traitement des eaux usées, la nouvelle station d'épuration de Fès adopte un procédé d'épuration de type "boues activées moyenne charge" dont la capacité de traitement est de 1,2 million Equivalent Habitant avec un débit de 155.400 m³/jour et une charge polluant de 64 t/jour de DBO₅.

Conformément aux exigences de l'appel d'offres, la station est conçue en 4 files (ou modules) de même capacité.

Chaque module est constitué de :

- Un dégrillage fin
- Un dessableuse – déshuileur
- Un décanteur primaire
- Un bassin à boues activées

- Deux clarificateurs

La file eau est complétée par :

- La station de réception des eaux usées avec dégrillage grossier
- La station de pompage assurant l'écoulement gravitaire entre les différentes étapes unitaires à partir du dégrillage fin
- L'alimentation électrique de l'ensemble
- Les services généraux nécessaires à la gestion de l'entretien de la station.

Cet ensemble est complété par la file « boue » qui est constituée de deux modules similaires, chacun constitué de :

- Un épaississeur gravitaire pour les boues primaires par module
- Un flottateur pour les boues secondaires par module
- Un réservoir tampon et de mélange amont à la digestion, commun aux deux modules
- Deux digesteurs mésophiles et ses utilitaires par module
- Un réservoir tampon amont à la déshydratation, commun aux deux modules
- Une déshydratation commune aux deux modules constituée de plusieurs unités en parallèle
- Un conditionnement des boues à la chaux commun aux deux modules
- Une aire de stockage des boues.

2. Traitement des eaux usées :

Le processus d'épuration des eaux usées est composé de trois filières : eau-boue-biogaz.

➤ Filière Eau :

a) Réception des eaux usées et pompage

Les eaux usées arrivent gravitairement à la station de pompage.

Elles sont alors dégrillées au moyen d'un dégrillage grossier de 60 mm installé pour protéger la station de pompage.

Elles sont ensuite relevées à l'aide d'un ensemble de pompes qui alimentent les prétraitements.

La fosse de pompage est dimensionnée pour assurer 6 démarrages à l'heure par pompe correspondant à un volume de la fosse de pompage de 255 m³.

La station de pompage est équipée d'une station d'alerte mesurant la teneur en éléments toxiques tels que les métaux lourds. Les métaux lourds analysés sont : Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, As. La station d'alerte est constituée de deux de deux analyseurs. L'un dédié à Ar, Hg et Cu, l'autre pour le Zn, Cd, Cr et Ni.

La station de pompage est équipée d'un trop plein qui évacue les eaux usées vers l'oued Fès.



[Figure 2 : Photo d'un dégrillage grossier](#)

b) Prétraitement :

Les prétraitements sont constitués de deux étapes unitaires :

- Un dégrillage fin pour protéger les équipements électromécaniques de la filière de traitement et limiter les risques d'obstruction des tuyauteries et chenaux.
- Un dessablage – déshuillage combiné qui réduit une fraction à bon compte, et limite les désagréments liés à la présence des sables, huiles et graisses dans les étapes unitaires suivantes

• Dessablage :

Le sable ou le gravier est un composé inorganique à base de silice, qui peut provoquer l'érosion des pompes, des tuyaux et des vannes. En outre, il n'est pas biodégradable et donc augmente la fraction non-active matière en suspension dans le bassin d'aération, ce qui augmentera leurs couts supplémentaire d'énergie.

La meilleure façon d'enlever les grains est par sédimentation gravitaire. Il est toutefois important que seulement les grains se déposent, et non pas les composés organiques, en raison de

problèmes d'odeurs par la suite. Par conséquent, à côté de la conception précise, le grain sédimenté sera lavé de temps en temps.

- **Déshuillage :**

Un des paramètres influençant la plus fatale du système de la biomasse active est l'entrée des huiles et des graisses. Ils sont difficilement biodégradables et ils causent des couches flottantes à la surface des bassins d'aération et de sédimentation, dans lequel une énorme quantité des boues peuvent être conservées, avec la conséquence de moins de boues en suspension est plus solides en suspension dans l'effluent. Les huiles et graisses peuvent formées une mince couche autour du flocon de boue, de sorte que la diffusion de l'oxygène et de composés organiques dans le flocon sont inhibés. Tous les faits mentionnés ci-dessus réduisent l'efficacité du traitement biologique.

Cause de la nature flottante d'huiles et graisses, les techniques de suspension sont basées sur la flottation de ces composés sur la surface de l'eau, suivie par raclage de cette couche dans un puits ou un déversoir. Si nécessaire, l'ajout d'agents chimiques (coagulation – flocculation) peut améliorer l'efficacité de ce processus.



Figure 3 : Photos d'un dégrillage Fin

- c) **Décantation primaire :**

Les eaux usées prétraitées arrivent à un premier ouvrage où les particules lourdes et les matières en suspension se déposent et subissent donc une décantation primaire.

Ceci se passe dans des décanteurs primaires qui peuvent éliminer 70% de matières minérales et organiques en suspension. Elles se déposent au fond du bassin ou elles constituent les boues primaires. Elles sont ensuite récupérées par raclage au fond du bassin puis envoyées dans des épaisseurs qui assurent le tassemement des boues pour y être traitées.



[Figure 4 : Photo d'un bassin de décantation primaire \(système laminaire\) de la STEP Fès](#)

d) Traitement biologique avec aération de surface :

Dans un bassin d'aération, la matière organique est dégradée par des microorganismes qui sont des bactéries floculées dans un milieu appelé " boues activées ".

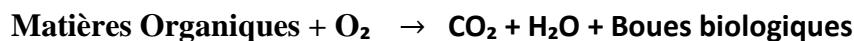
Le principe de traitement biologique consiste à réaliser par voie biologique l'élimination de la pollution dissoute contenue dans les eaux usées. Pour cela, les microorganismes sont mis en contact et de l'eau à traiter



[Figure 5 : Photo d'un bassin d'aération](#)

Après la décantation, l'effluent est introduit dans des bassins équipés de dispositif d'aération (turbines, insufflation de l'air) ou des microorganismes naturellement présents dans l'effluent, dégradent les matières organiques dissoutes. L'air insufflé leur fournit l'oxygène nécessaire pour respirer. Les microorganismes se développent en se nourrissant de la pollution organique et se ressemblent pour faire des flocs grâce à leur propension par l'air.

Il faut signaler que la transformation de la pollution en matière vivante provoque un accroissement de la biomasse et donc une production de boues. Pour assurer un équilibre biologique, il est nécessaire de limiter cette quantité de biomasse, ce qui implique d'extraire des boues.



e) Dégazage :

Il consiste à éliminer l'excès d'oxygène présent dans l'eau avant son passage vers l'étape de clarification dans les ouvrages profonds. Le but de cette élimination est d'éviter le phénomène de corrosion.



Figure 6 : Photo d'un dégazeur de la STEP Fès

f) Décantation secondaire :

C'est la dernière étape de l'épuration des boues. Elle consiste à laisser reposer l'eau pendant 6 heures pour que les dernières impuretés se déposent au fond de l'eau et donc séparer l'eau des boues ou des résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux : **Les Clarificateurs**.

Les boues biologiques se déposent au fond du bassin, où elles sont raclées et évacuées.

Les effluents clarifiés sont renvoyés vers le milieu récepteur qui est Oued Sebou tandis que les boues biologiques décantées sont recirculées vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation



[Figure 7 : Photo d'un Clarificateur \(décantation secondaire\)](#)

➤ **Filière Boue**

Les boues sont composées d'éléments recueillis à différents stades d'épuration d'une eau usée : matières minérales en suspension, matières organiques non biodégradables et microorganismes, ces derniers résultants de l'épuration biologique.

La production des boues se situe au niveau de la décantation primaire et au niveau du traitement biologique, et la quantité des boues liée à la quantité de pollution éliminée.

a) Epaississeurs des boues primaires :

L'épaississement, qui constitue la première étape du traitement de boues a pour but de réduire le volume et augmenter la concentration des boues issues des traitements primaires des effluents urbains.



[Figure8 : Photo d'un Epaississeur](#)

Le temps de séjour de la boue doit être court afin de limiter les fermentations. Il doit être compris entre 24 à 48 heures maximums.

Les boues issues des décanteurs primaires sont épaissies au niveau des épaississeurs par gravité. Sous la seule action de la force pesanteur ; ces boues se concentrent, jusqu'à des niveaux de quelques dizaines de g/L en vue d'une digestion, d'une déshydratation ultérieure ou d'un stockage à des fins d'épandage. L'épaississeur statique est un ouvrage circulaire de béton avec une pente du radier comprise entre 10 et 20 % et une hauteur cylindrique de 4 à 7 m.

b) Flottateurs des boues secondaires :

Après avoir récupéré les boues secondaires décantées, une partie sera recyclée pour maintenir la concentration des boues dans le réacteur biologique proche de sa valeur nominale. L'autre partie va être dirigée vers les flottateurs ou on injecte un polymère en présence de l'eau saturée en air

appelée : eau pressurisée (ou eau boueuse) afin d'agglomérer les flocs qui se collent aux bulles d'air pour faciliter leur remontée en surface.

c) Digestion des boues mixtes

Les boues ayant subi un épaississement et une flottation sont pompées vers le digesteur anaérobique. Ce dernier consiste à assurer les conditions de développement des bactéries spécifiques à la digestion, absence d'oxygène, température et temps de séjour, pour produire le biogaz. Ce biogaz sera utilisé pour le réchauffage des boues jusqu'à 37° C dans le digesteur et pour la production de l'énergie.



[Figure 9 : Photo d'un digesteur](#)

d) Déshydratation :

C'est la deuxième étape de traitement des boues qui consiste à réduire le volume des boues de manière à les rendre solides.

Pour la déshydratation, La STEP utilise comme technique : la déshydratation par des filtres à bandes.

e) Stockage des boues déshydratées :

Les boues ainsi déshydratées et chaulées peuvent être stockées jusqu'à 3 mois sur une aire équipée d'un réseau de reprise de lexiviats avant leur mise en décharge contrôlée.

➤ Filière biogaz :

Le biogaz est produit pendant la digestion anaérobie par transformation des matières organiques contenues dans les boues en méthane et gaz carbonique. Sa qualité dépend d'une part, de la matière volatile sèche et des matières nutritives que les boues contiennent, et d'autre part, de la cinétique des bactéries.

a) Récupération du biogaz :

Les boues ainsi digérées produisent du biogaz qui va servir à la fois au brassage des boues ; aux digesteurs au chauffage des boues et à la production de l'énergie électrique.

b) Désulfuration

Le biogaz ainsi produit contient du soufre et de l'eau sous forme d'acide sulfurique, H_2S en plus du méthane et du gaz carbonique. Il faut faire une désulfurisation pour éviter les corrosions dans les tuyauteries, les armatures et les moteurs des différents équipements.



Figure 10 : Photo de la tour de désulfurisation

c) Stockage de biogaz :

Le biogaz est stocké dans des gazomètres à membrane souple constituée par une double membrane avec une capacité de 3000 m³ sous pression contrôlée.

d) Cogénération du biogaz :

La cogénération consiste en la production de chaleur et de l'électricité à partir du biogaz. Le module de cogénération est constitué d'un moteur qui entraîne un alternateur – générateur du courant électrique. Dans le cas de la station d'épuration, la cogénération génère une capacité de production de 2 MW d'énergie électrique. Elle contribue ainsi à la couverture de plus 50 % des besoins d'énergie électrique de la station et à la réduction des émissions des gaz à effet de serre de 100 000 tonnes CO₂/an. Ceci constitue l'un des aspects distinctifs de la station d'épuration de Fès.

e) Torchère :

Dans le cas où on se trouve devant une production excessive du biogaz qui dépasse la capacité du générateur, on brûle l'excès dans une torchère à flamme invisible.

II. Généralités sur les Eaux Usées :

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition et son origine, ainsi que son impact sur la santé.

1. Définition :

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).

2. Origine des Eaux Usées :

On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines ; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole.

L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. En plus des eaux de pluies, les eaux résiduaires urbaines sont principalement d'origine domestique mais peuvent contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle d'extrême diversité. Donc les eaux résiduaires urbaines (ERU) sont constituées par :

- Des eaux résiduaires ou eaux usées d'origine domestique, industrielle et/ou agricole
- Des eaux pluviales ou de ruissellement urbain.

a- Origine industrielle :

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie le

reste est rejeté. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés...);
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...);
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques...);

b- Origine domestique :

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : urines, fèces (eaux vannes) et eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères).

Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension.

Elles proviennent essentiellement :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses;
- Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents;
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires, très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganismes.

c- Origine agricole :

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des

risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation);
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides...).

3. Impact des eaux usées sur la santé :

Les rejets des eaux usées dans les milieux récepteurs sans traitement au préalable engendrent des répercussions sur :

- La santé : en causant des maladies hydriques, telles que le choléra, la malaria, le typhoïde... etc.
- La qualité d'eaux d'irrigation : hors classe ; sur plusieurs tronçons.
- La potabilisation de l'eau.
- L'abreuvement des animaux.
- Les conditions socio-économiques des habitants.
- Les pertes économiques annuelles liées à la pollution d'Oued Sebou estimés à plus d'un milliard de centimes.

La participation de la ville de Fès aux rejets d'eaux usées domestiques et industrielles est estimée à environ 38 millions m³/an.

Chapitre II :

Les Caractéristiques

des Eaux Usées

Dans ce chapitre je passerai en revue les principaux paramètres physicochimiques analysés au cours de la partie expérimentale des eaux usées.

I. Paramètres Physiques :

1. Température

La température de l'eau usée a une influence majeure sur le taux de biodégradable dans le bassin tampon (hydrolyse des polymères) et dans le bassin d'aération (conversion en CO_2 , H_2O et composés minéraux).

Plus la température est élevée, plus le processus de biodégradation est rapide ($10^\circ\text{C} = \text{vitesse de réaction} \times 2$).

2. MES : matière en suspension (mg/L)

La concentration de matière en suspension dans un échantillon d'eau usée correspond à la quantité de matière non dissoutes présente dans cette eau.

Les matières en suspension sont mesurées par pesée après filtration et séchage à 105°C pendant 24h.

Un volume connu d'échantillon d'eau préalablement mixé est filtré sur un filtre sec standard en fibre de verre. Les particules trop grosses pour passer sans retenues sur le filtre ; les composés dissous (sels, acides aminés, etc.) peuvent passer sans contraintes. Le filtre est ensuite rincé à l'aide de l'eau déminéralisée puis séché à 105°C . L'augmentation de poids correspond à la concentration de matière en suspension.

$$\text{MES} = \frac{P_2 - P_1}{V} \times 1000$$

Avec : MES = matières en suspensions totales (mg/l)

P_1 = poids du filtre avec résidu (mg)

P_2 = poids du filtre propre (mg)

II. Paramètres Physico-chimiques :

1. pH : Le potentiel Hydrogène

Le pH est le degré d'acidité d'une eau ou d'une boue. Cette valeur détermine si la solution aqueuse en question (eau usée, boue ou effluent) est acide, basique ou neutre. Une valeur de pH est calculée à partir de la concentration en ions hydrogène présent dans l'eau usée, selon la formule suivante :

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

pH < 5	Acidité forte \Rightarrow Présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée \Rightarrow majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Tableau 1 : Classification des eaux d'après leur pH

Pour un traitement biologique, un pH plus au moins neutre est requis. Dans un traitement aérobio, le pH doit être gardé entre 6,5 et 8,5. Dans un traitement anaérobio, le pH optimal est entre 6,5 et 7,5. Les fluctuations de pH (plus qu'une unité de pH) doivent absolument être évitées.

2. La Conductivité :

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm².

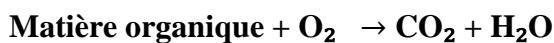
3. L'Oxygène Dissous :

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.

4. DCO : Demande Chimique en Oxygène

La DCO est une mesure de la quantité total d'oxygène (exprimée en mg O₂/L = 10⁻³ kg DCO/m³) nécessaire pour oxyder toute la matière organique (et inorganique oxydable) d'une eau usée :



Une solution de dichromate de potassium est utilisée pour la détermination de la concentration en DCO d'une eau. Le dichromate de potassium est un oxydant fort, capable de casser la plupart des liaisons organiques à l'exception des chaînes carbone linéaires et aromatiques.

La précision de la mesure en DCO est très bonne (5-10%) et le temps d'analyse relativement court (environ 3 heures). Les valeurs de DCO peuvent être utilisées comme mesure de la quantité totale de contamination organique (et inorganique) dans une eau usée.

5. DBO : Demande Biochimique en Oxygène

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épurateur et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration.

La demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

6. Les détergents :

Les détergents sont des agents tensioactifs classés en détergents anioniques, cationiques et non ioniques. On les trouve dans les eaux usées communales ou industrielles.

Tensio-actifs anioniques :

Les détergents anioniques forment dans les conditions appropriées avec le bleu de méthylène un complexe coloré qui sera extrait par une phase organique.

Tensio-actifs cationiques :

Les tensio-actifs cationiques réagissent avec le bleu de disulfine pour former un complexe coloré extrait au chloroforme.

Tensio-actifs non ioniques :

Les tensioactifs non ioniques réagissent avec un indicateur (TBPE) pour former un complexe coloré extrait du dichlorométhane. Si l'eau contient des détergents cationiques et anioniques, les quantités équivalentes se combinent et échappent à l'analyse.

Chapitre III :

Procédé de

Coagulation

I. La Coagulation :

1. Les particules en suspension :

Les particules en suspension qui se retrouvent dans les eaux usées sont le résultat de l'activité humaine, qu'elle soit domestique, industrielle, artisanale ou encore agricole. Elles se trouvent sous forme de substances minérales et de matières organiques en décomposition. Il s'agit de matière polluante qui doit être éliminée.

2. Structure :

Ces fines particules, ou colloïdes, ont une taille inférieure au micron, ce qui rend leur surface spécifique élevée. Il en résulte que les phénomènes superficiels comme les forces électrostatiques de répulsion et/ou d'attraction jouent un rôle prépondérant dans leur stabilité. Elles possèdent plusieurs couches comme le montre la Figure11. La première couche qui se situe à la surface du colloïde est chargée négativement. Ces charges attirent les ions positifs (+) en solution dans l'eau.

Ceux-ci sont liés aux colloïdes et forment donc la couche liée, aussi appelée couche de Stern.

Cette couche attire à son tour les anions de charge négative (-) et une faible quantité de cations. C'est la couche diffuse ou encore couche de Gouy. Il existe donc deux couches ioniques, l'une liée à la particule lors de ces déplacements dans son milieu, l'autre se déplaçant indépendamment de la première et avec un certain retard.

Entre ces deux couches existe un potentiel de Nernst, qui peut varier en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde. Comme les cations qui constituent la couche de Stern sont uniformément répartis, le potentiel de Nernst décroît linéairement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la surface du colloïde. Le mélange hétérogène des charges qui se trouvent dans la couche de Gouy résulte en une variation non linéaire du potentiel de Nernst.

On appelle potentiel zéta (ζ) la valeur que prend le potentiel de Nernst à l'interface entre les deux couches. Il prend une valeur négative étant donné que les colloïdes sont chargés négativement. Il en découle que les colloïdes à zéta négatif se repoussent fortement.

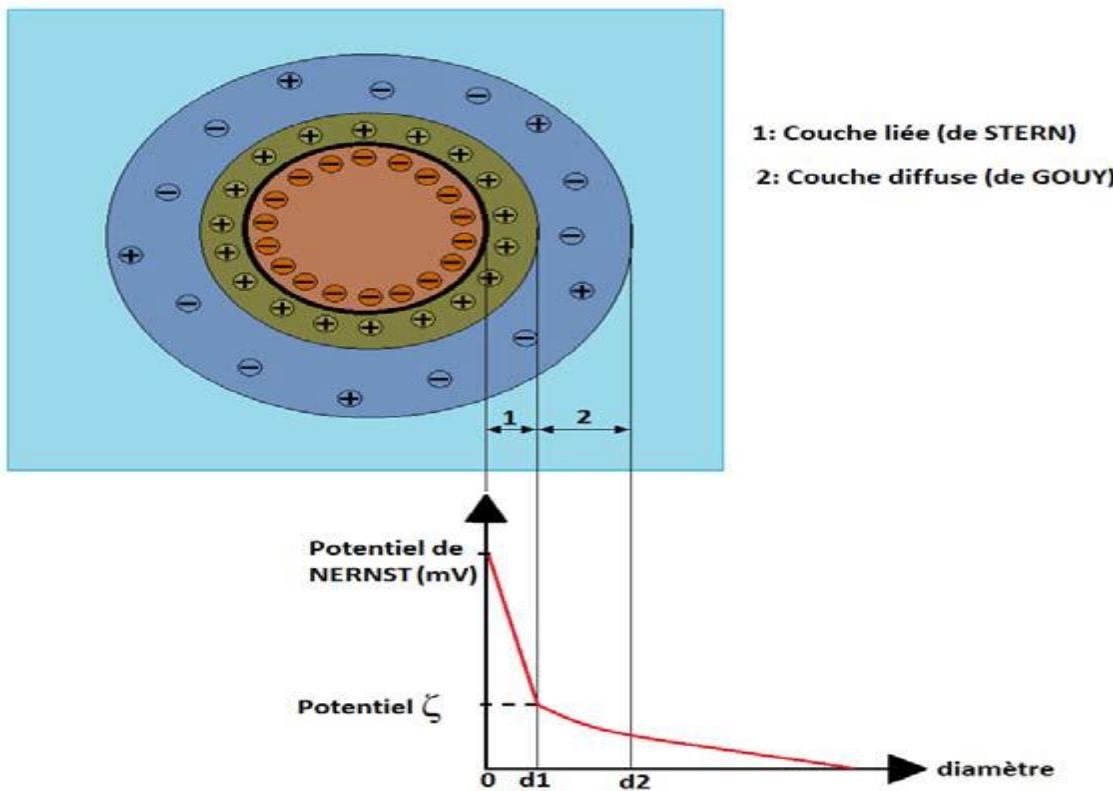


Figure 11 : Structure des colloïdes

Ces colloïdes en suspension sont donc très stables et récalcitrants à toute agglomération. Plus zêta est négatif, plus la solution est stable et donc la décantation difficile. Pour annuler ces forces de répulsion, il faut donc annuler le potentiel zêta.

3. Le principe de la coagulation :

Le terme coagulation décrit uniquement le phénomène qui consiste à déstabiliser une solution stable contenant des particules en suspension. Cela se fait par la réduction des forces qui tendent à garder les particules éloignées les unes des autres, par ajout de produits chimiques (coagulants).

La durée de coagulation est généralement assez courte, compte tenu d'une agitation importante permettant un temps de contact efficace entre les réactifs et les particules. La coagulation résulte d'interactions entre différentes forces électrostatiques et/ou électriques entre particules voisines.

4. Forces mises en jeu :

Ces colloïdes subissent essentiellement deux types de forces dans leur milieu aqueux. Il s'agit des forces d'attraction de type Van der Waals, électriques – liées aux tensions superficielles dans le milieu – et des forces de répulsion de type électrostatique présentes à leur surface.

En fonction de la distance entre elles, deux particules en suspension sont soumises à des forces

de répulsion, résultante des charges négatives à leur surface. L'énergie potentielle d'interaction entre ces particules est la résultante de l'énergie d'attraction de Van der Waals et de l'énergie de répulsion électrostatique, comme la montre la Figure10.

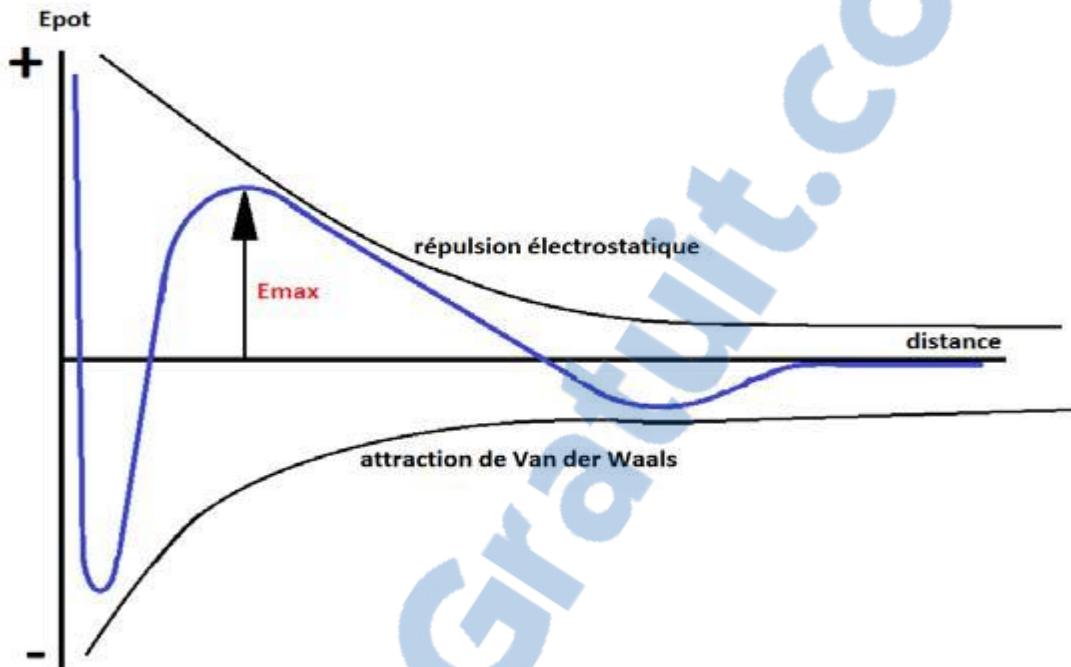


Figure 12 : Résultante de l'interaction entre deux particules

Quand les particules sont fort éloignées les unes des autres, l'interaction est quasi nulle. Sous l'effet d'une agitation, la distance qui les sépare diminue. Cette énergie devient négative. Si la distance continue à diminuer, les forces de répulsions deviennent plus importantes. L'énergie de répulsion prend une valeur maximale à un niveau qui correspond à l'énergie d'activation aussi appelée barrière d'énergie, E_{max} . Plus sa valeur est élevée, plus la solution de matière en suspension est stable. Tout l'enjeu est d'abaisser cette barrière en ajoutant à la solution des cations susceptibles de déstabiliser l'équilibre en neutralisant la charge négative à la surface des particules par adsorption sur ces dernières.

5. Déstabilisation des colloïdes

En faisant varier certains paramètres électrochimiques, il est possible de diminuer le potentiel zéta et donc les forces de répulsion. Cela a pour conséquence d'augmenter l'influence des forces de types Van der Waals et donc de permettre l'agglomération des particules.

Pour diminuer le potentiel zéta, il existe plusieurs solutions :

- Ajuster le pH pour atteindre le point de charge nulle des particules ;
- Augmenter la salinité du milieu pour comprimer la couche diffuse ;
- Neutraliser la charge de surface par des cations polyvalents ;

- Adsorber les colloïdes sur des polymères chargés à longue chaîne.

II. Méthodologie :

1. Jar-test :

Ce sont des tests permettant d'évaluer différents paramètres de ce processus comme :

- Le dosage de produits chimiques ajoutés ;
- Les temps nécessaires pour la coagulation ;
- Les vitesses d'agitation du milieu.

Ainsi, il est possible de déterminer leurs valeurs optimales pour l'amélioration des performances de la station.

Un banc de jar-test est composé de 6 bêchers d'un litre chacun, tous muni d'un axe au bout duquel se trouve une pale rotative. Les axes sont reliés à un même moteur, ce qui permet de maintenir la même vitesse dans chaque bêcher, comme illustré dans la Figure 11.



Figure 13 : Dispositif expérimental de l'essai de coagulation (Jar-test)

Le test passe par 3 phases distinctes :

- Il y a d'abord la phase de coagulation, qui nécessite une vitesse relativement rapide. Elle requiert l'ajout d'un coagulant d'une certaine concentration. Quand le contact entre le coagulant et l'eau est efficace, la solution d'eau et de particules en suspension est déstabilisée ; les charges de répulsions sont annulées, et les particules peuvent alors s'attirer.
- Ensuite vient la phase de floculation, qui nécessite une vitesse plus lente, pour permettre un contact suffisant, mais sans casser les flocs en formation. Elle requiert l'ajout d'un agent flocculant (polymère) d'une certaine concentration, souvent basse.

Les particules en suspension, préalablement déstabilisées, sont alors adsorbées sur le polymère, et forment des flocs d'une densité assez élevée pour décanter.

- Pendant la phase de décantation, la vitesse d'agitation est nulle, pour permettre la sédimentation des matières en suspension floculées/coagulées.

2. Techniques expérimentales :

a) Objet des essais :

Réalisation des essais sur deux types de coagulants, dans le but de tester leurs efficacités d'élimination des tensioactifs et d'amélioration la décantation des eaux usées.

Les deux types de coagulants sujets de l'étude sont: Le Polychlorure d'Aluminium (Pax18) et le Sulfate Ferrique.

⇒ La concentration des coagulants :

$$\text{On a : } d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = d \times V \text{ et on a aussi } C \times V = \frac{m}{M} \text{ et donc : } C = \frac{d}{M}$$

Pour le Pax 18 : On a $d(\text{AlCl}_3) = 1,36 \text{ g/ml}$, donc : $C = \frac{1,36}{133,5} \Rightarrow C = 0,01 \text{ mol/ml}$

Pour le sulfate ferrique : On a $d(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 1,6 \text{ g/ml}$, donc $C = \frac{1,6}{400} \Rightarrow C = 4 \times 10^{-3} \text{ mol/ml}$

b) Procédure :

- Dans une série de 6 bêchers de 1 L, on introduit 500 ml de l'eau usée après déshuileage. On ajoute des doses croissantes des coagulants. L'échantillon subit deux essais :
 - Essai 1 : Coagulation avec le Polychlorure d'Aluminium Liquide AlCl_3 (Pax 18) à des concentrations de 100 à 900 μl (Jar-test).
 - Essai 2 : Coagulation avec le Sulfate Ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ à des concentrations de 100 à 900 μl (Jar-test).
- On arrête l'agitation et on laisse le mélange décanter pendant 5 minutes.
- On laisse le mélange sous une agitation pendant 15 minutes à une vitesse de 10 tr/min.



Figure 14 : Essai de coagulation avec Pax 18/ Sulfate ferrique

- On prélève alors un volume v en ml du surnageant pour lequel on mesure la matière en suspension MES, les tensioactifs, la demande chimique en oxygène DCO et la demande biochimique en oxygène DBO. On détermine alors l'efficacité du traitement pour chaque dose de coagulant suite à l'abattement de ces paramètres aussi que d'amélioration la décantation des eaux.



Figure 15 : Prélèvements de surnageant

3. Techniques analytiques :

a) Analyses physico-chimiques :

Sur l'ensemble des échantillons traités, nous avons effectué les analyses physico-chimiques suivantes : pH, conductivité, MES, les Tensioactifs (surfactants), DCO, DBO₅. La détermination de l'ensemble de ces paramètres a été effectuée selon les méthodes standards pour examen des eaux usées.

b) Paramètres d'analyses :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyses dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

➤ Détermination des matières en suspension (MES) :

1- Préparation des filtres :

Les mesures MES se font sur des filtres qui ont été préalablement déshydratés. Il faut s'assurer qu'il y ait en permanence une quinzaine de filtres dans l'étuve à 105°C.

Avant la pesée initiale, les filtres sont placés dans une cupule en aluminium dans le dessiccateur 30 minutes, le temps qu'ils atteignent la température ambiante.

2- Pesée des filtres :

Les filtres sont sortis les uns après les autres du dessiccateur et immédiatement pesé. On attend que la valeur sur la balance se stabilise. On obtient la valeur du poids initial P_1 du filtre en gramme.

3- Filtration :

Le filtre est ensuite placé sur l'unité de filtration ou trompe à vide. D'une manière générale il est important de toujours filtrer autant d'échantillon que possible.



Figure 16 : L'unité de filtration à pompe

Le volume d'échantillon est mesuré à partir d'une éprouvette, plus précise que les marques indicatives sur l'unité de filtration. On obtient un volume d'échantillon $V=20 \text{ ml}$;

Une fois la filtration terminée, à l'aide d'une pissette d'eau distillée il faut nettoyer les bords de l'unité de filtration pour récupérer les matières déposées.

Le filtre est récupéré, placé sur sa cupule, qui est numérotée. L'ensemble est alors placé dans l'étuve à 105°C jusqu'au lendemain.

4- Pesée finale :

Le lendemain les filtres sont sortis de l'étuve, placés dans le dessiccateur 30 minutes, avant d'être pesés les uns après les autres.

On obtient la valeur du poids final P_2 du filtre en gramme.

5- Expression des résultats :

Volume du Pax 18 (μl)	P_1 en g	P_2 en g	MES en mg/l
Témoin	2,9086	2,9124	190
100	2,9200	2,9235	175
200	2,8558	2,8583	125
300	2,9047	2,9068	105
400	2,9004	2,9026	110
500	2,9208	2,9230	110
600	2,9214	2,9233	95
700	2,8450	2,8464	70
800	2,9083	2,9096	65
900	2,9340	2,9352	60

Tableau 2 : La matière en suspension du Pax 18

Exemple de Calcul :

$$\text{MES} = \frac{2,9124 - 2,9086}{20} \times 10^6$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{MES(Témoin)} = 190 \text{ mg/l}}$$

Volume du P ₁ en g sulfate ferrique (μl)	P ₂ en g	MES en mg/l
Témoin	2,9136	280
100	2,9146	215
200	2,9029	210
300	2,9164	200
400	2,9125	195
500	2,9192	180
600	2,9291	170
700	2,9245	160
800	2,9066	150
900	2,9116	130

Tableau 3 : La matière en suspension du sulfate ferrique

Exemple de Calcul :

$$\text{MES} = \frac{2,9192 - 2,9136}{20} \times 10^6$$

⇒ **MES(Témoin) = 280 mg/l**

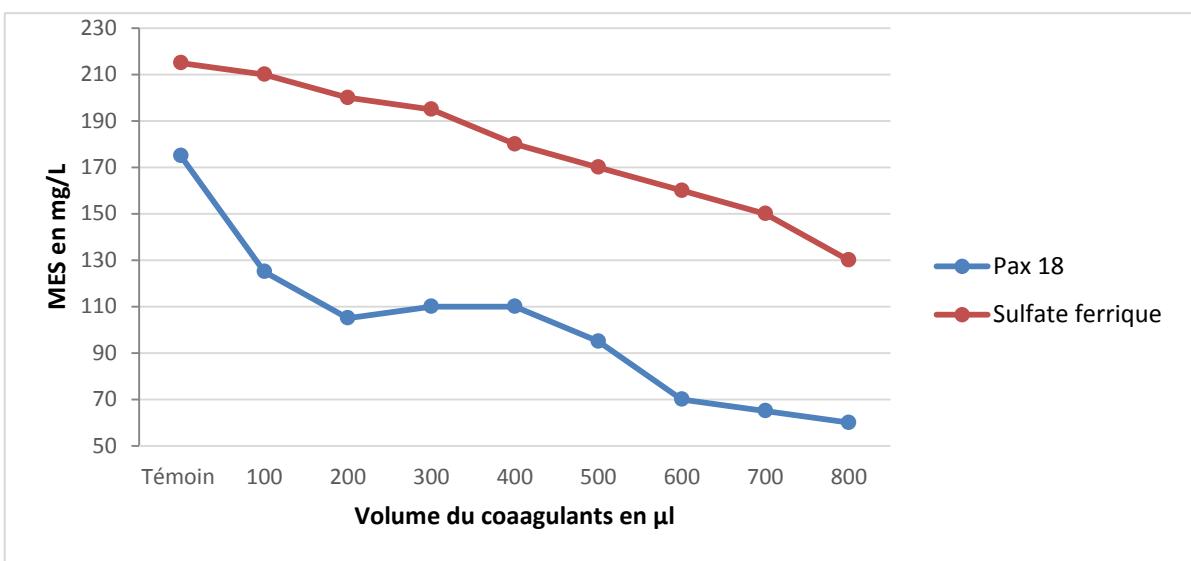


Figure 17 : L'évolution de la matière en suspension

- **Interprétation :**

La coagulation et la taille des flocs s'améliorent par rapport à l'échantillon témoin si on augmente les concentrations des coagulants et par conséquent la MES diminue d'avantage.

Nous notons que la matière en suspension (MES) diminue avec l'injection du coagulant Pax 18 plus que le Sulfate ferrique ce qui prouve que l'ajout du coagulant Pax 18 influence positivement sur la coagulation des eaux et par la suite la MES.

Donc à la lumière des résultats ci-dessus nous constatons que la matière en suspension MES diminue avec l'injection du coagulant (Pax 18) plus qu'avec le sulfate ferrique ce qui prouve que le dosage par le Pax 18 est le plus adéquat pour l'amélioration de la MES des eaux de déshuileage.

➤ **Détermination de la DCO (demande chimique en oxygène) :**

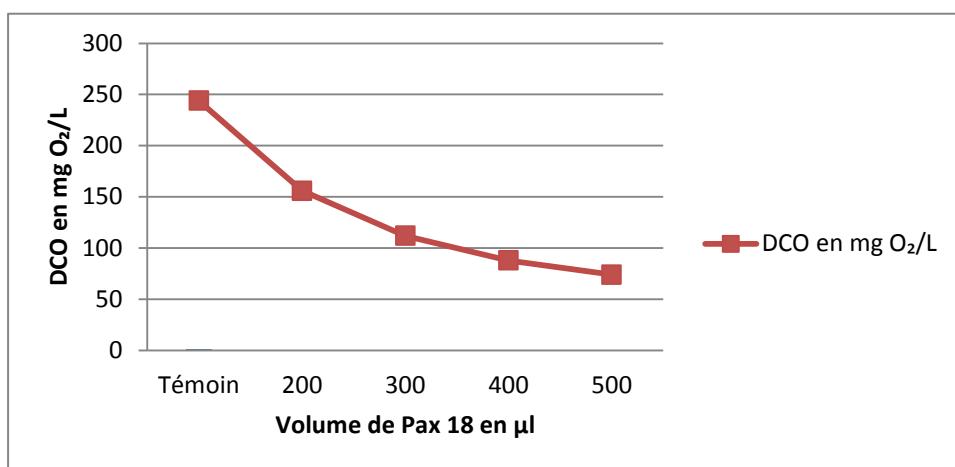
- **Mode opératoire :**

- 1- On ouvre une cuve ronde de DCO160, la tenir inclinée et on ajoute lentement, sans mélanger, 2 ml de l'échantillon à analyser avec une dilution de 2.
- 2- On ferme la cuve à fond et secouer en la tenant au bouchon (attention, la cuve s'échauffe / la solution reste trouble jusqu'à ce qu'elle soit chauffée).
- 3- On place ensuite dans la cuve du bloc chauffant, 10 min plus tard, la secouer et laisser refroidir à température ambiante.
- 4- On nettoyer la cuve à l'extérieur et on mesure.

On obtient les résultats suivants :

Volume du coagulant en μ l	DCO en mg O_2/L
Témoin	244
200	156
300	112
400	88
500	74

Tableau 4 : La demande chimique en oxygène



[Figure 18 : L'évolution de la DCO en fonction de volume du Pax 18](#)

- **Interprétation :**

En se référant sur les valeurs de la DCO des échantillons prélevés représentée dans le tableau, nous remarquerons alors l'abattement important de la charge polluante globale (matières organiques et inorganiques) de 244 à 74 mg O₂/L.

➤ **Détermination de la DBO₅ :**

- **Préparation de l'échantillon :**

- 1- Contrôler la valeur pH de l'échantillon d'eau usée. La valeur pH optimale est comprise entre 6,5 et 7,5 pH. On peut neutraliser une valeur pH trop élevée en utilisant de l'acide sulfurique dilué.
- 2- Bien mélanger l'échantillon
- 3- A l'aide de la verrerie appropriée (fiole jaugée, puis éprouvettes, puis pipettes) remplir la bouteille avec le volume défini précédemment.
- 4- Pour inhiber la nitrification : ajouter de l'inhibiteur de nitrification B. Le dosage optimal en inhibiteur de nitrification.
- 5- Placer un agitateur magnétique propre dans chaque flacon et remplir le joint caoutchouc sec avec 3-4 gouttes de solution d'hydroxyde de potassium 45%. Placer immédiatement le joint caoutchouc dans le flacon.

- **Démarrage de la mesure :**

- 1- Placer les sondes DBO sur les flacons et les vitesses avec soin. Il est primordial que le système soit absolument étanche.
- 2- Placer immédiatement les flacons avec les sondes sur le support
- 3- Démarrer l'analyse

4- Incuber l'échantillon selon la norme (sur 5 jours à 20°C)



[Figure 19 : Oxitop \(Appareil pour mesurer la DBO₅\)](#)

- **Lecture des résultats :**

Après 5 jours, sélectionner l'échantillon. Vérifier sur l'écran que la durée d'incubation (5 jours) est bien terminée. Noter alors la valeur donnée à l'écran. Les résultats s'expriment en mg d'O₂/L.

Débrancher la bouteille. Rincer la bouteille en prenant garde au capuchon en plastique qui contient une base concentrée.

On Obtient les résultats suivants :

Volume du coagulant en μ	DBO ₅ en mg O ₂ /L
Témoin	170,5
200	109,2
300	78,4
400	61,6
500	51,8

[Tableau 5 : La DBO₅ en mg O₂/L](#)

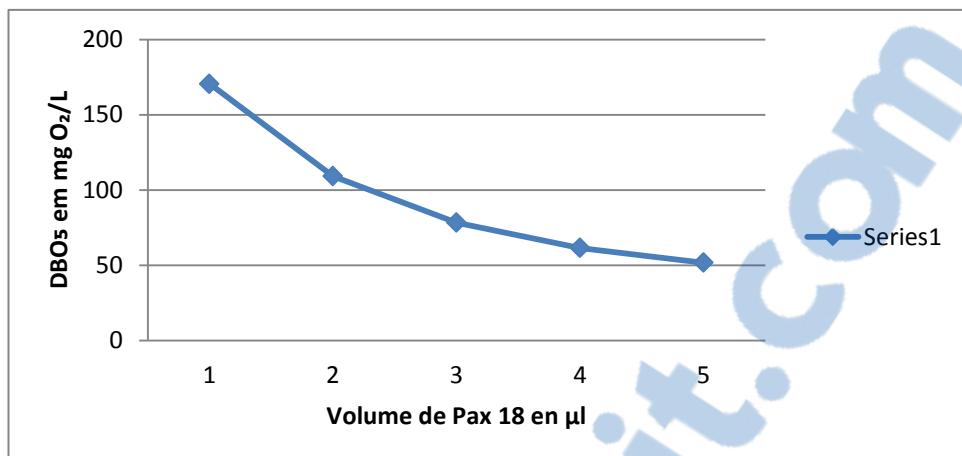


Figure 20 : L'évolution de la DBO₅ en fonction de volume du Pax 18

- **Interprétation :**

L'interprétation de nos résultats permet de constater que la DBO₅ diminue proportionnellement quand la dose du coagulant augmente, de 170,5 à 51,8 mg O₂/L. Ces valeurs alors sont liée à la dégradation de la charge organiques polluantes par le biais d'agent biologique.

➤ **Déterminer le pH :**

- **Mesurer l'échantillon**

➤ **Avant la mesure :**

- Des étalonnages réguliers sont nécessaires pour assurer la meilleure précision des mesures.
- Lorsque la sonde est immergée, la présence de bulles d'air en dessous de son point peut entraîner une lecture de la réponse ou une erreur de mesure. Si les bulles sont présentes, agitez doucement la sonde jusqu'à ce qu'elles disparaissent.

➤ **Mesure :**

Mesurer le pH d'un échantillon de l'eau.



Figure 21 : pH-mètre

Volume du coagulant en μ	pH
Témoin	8,23
200	7,44
300	7,18
400	6,88
500	6,61

Tableau 6 : Le potentiel Hydrogène pH

- **Interprétation :**

Le pH est considéré comme étant l'un des paramètres les plus importants de la qualité des eaux ; il est étroitement surveillé au cours de toute la période de prélèvement.

On remarque que le pH diminue par rapport à l'échantillon témoin si on augmente la dose du Pax 18, cette diminution est probablement due aux apports d'eaux douces ainsi que les produits chimiques rejetés par les unités industrielles.

➤ **Détermination de la conductivité :**

- **Matériel nécessaires :**

Conductimètre et L'eau déminéralisée.

- **Procédure :**

- 1- Toujours rincer la sonde à l'eau déminéralisée avant utilisation pour retirer toutes les impuretés adhérant au corps de la sonde. Secouer ou sécher à l'air. Pour éviter toute contamination ou dilution de l'échantillon, rincer la sonde avec un petit volume de la solution d'échantillon.
- 2- Plonger la sonde dans l'échantillon. Vérifier que le niveau de la solution est au-dessus de l'anneau supérieur en acier. Remuer doucement l'échantillon avec la sonde pour homogénéiser l'échantillon.
- 3- Laisser la lecture se stabiliser.

Volume de Pax 18 en μ l	Conductivité en ms/cm
Témoin	2,94
200	3,12
300	3,24
400	3,30
500	3,35

Tableau 7 : La conductivité en ms/cm

- **Interprétation :**

D'après le tableau on peut remarquer que la conductivité d'eau à une température égale 27°C augmente par rapport à l'échantillon témoin avec l'augmentation des doses du coagulant (Pax 18). C'est-à-dire la conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides dissous dans l'eau (sels minéraux). Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée.

➤ **Les Tensioactifs :**

Un tensioactif est composé de 2 parties :

Une partie qui s'accroche à l'eau : la partie hydrophile (ou encore lipophile)

Une partie qui s'accroche à la graisse : la partie lipophile (ou encore hydrophobe)

Un tensioactif est schématisé ci-dessous :

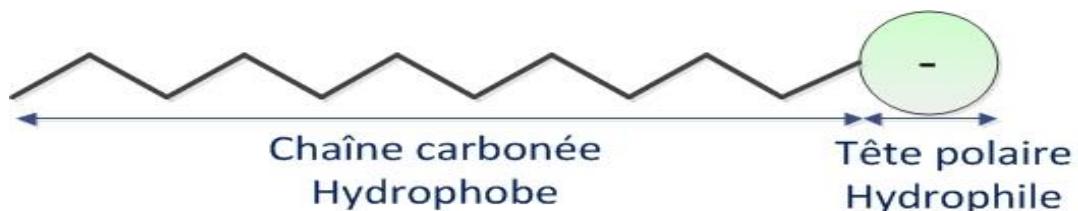


Figure 22: Schéma simplifié d'un tensioactif

	Témoin	200	300	400	500
Surfactants anionique (mg/l)	3,2	1,85	1,73	1,72	1,7
Surfactants cationique (mg/l)	0,25	0,21	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Surfactants non ionique (mg/l)	2,1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Tableau 8 : Les tensioactifs en mg/l

- **Interprétation :**

Nous constatons que les détergents diminuent par rapport à l'échantillon témoin si on augmente les doses du coagulant.

- ✓ Les surfactants anioniques diminuent pour les doses plus élevés que le premier essai.
- ✓ Les surfactants cationiques sont toujours inférieur à 0,2.
- ✓ Les surfactants non ioniques sont toujours inférieur à 0,3.

Conclusion :

Dans le demain de traitement des eaux usées de la STEP la décantation occupe une place très importante dans la filière de traitement. Dans mon travail on a pu démontrer que la décantation de l'eau brute est améliorée avec :

- L'utilisation de coagulant AlCl_3 ;
- L'optimisation de la zone du pH ;
- L'optimisation des conditions de Jar-Test.

Conclusion

Durant notre étude on a essayé d'optimiser certaines conditions de l'essai de coagulation vu son intérêt au cours du traitement. Les résultats obtenus montrent une conformité aux normes et aussi avec ceux de la station de traitement.

Ainsi, mon stage de fin d'étude « la Licence Génie chimique » est effectué au sein de la Station d'épuration des eaux usées. Lors de ce stage, on a pu mettre en pratique mes connaissances théoriques acquises durant ma formation, de plus, on a confronté aux difficultés réelles du monde du travail et du management d'équipe.

On espère avoir traité dans ce rapport les points essentiels concernant le fonctionnement du travail dans STEP, surtout le service laborantin qui a une fonction très importante au sein de cette entreprise dans le but de produire une eau potable de bonne qualité.