

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES ET PHOTOS

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : MATERIELS ET METHODE

CHAPITRE I : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE II : PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET MATERIELS UTILISES

CHAPITRE IV : LES RESULTATS

CHAPITRE V : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante	11
Tableau 2 : Colorants et rejets de l'ennoblissement textile.....	13
Tableau 3 : Normes de rejets d'eaux usées à MADAGASCAR	15
Tableau 4 : Réactions de réduction d' Al^{3+}	24
Tableau 5 : Essai de traitement au chlorure ferrique à l'état liquide.....	51
Tableau 6 : Essais de traitement au chlorure ferrique avec chaux	52
Tableau 7 : Essai de traitement au sulfate ferreux.....	53
Tableau 8 : Essais de traitement à la chaux avec sulfate ferreux	54
Tableau 9 : Essai de traitement au sulfate ferreux et chlorure ferrique.....	55
Tableau 10 : Essai de traitement à la chaux puis au sulfate ferreux à la JIRAMA	56
Tableau 11 : Essais de traitement au sulfate ferreux puis à la chaux	57
Tableau 12 : Essais de traitement à la chaux et au sulfate ferreux à la JIRAMA	58
Tableau 13 : Essai de traitement à la chaux et au sulfate ferreux à la JIRAMA	59
Tableau 14 : Paramètres physiques déterminés après l'essai N°9	59
Tableau 15 : Essai de traitement à la chaux +sulfate ferreux et à la soude normale+ sulfate ferreux à la JIRAMA	60
Tableau 16 : Essai de traitement à l'hypochlorite et au sulfate d'alumine à la JIRAMA	62
Tableau 17 : Essai de traitement au polymère AN905 et au sulfate ferreux à la JIRAMA	63
Tableau 18 : Paramètres physiques des eaux du bécher N°33	64
Tableau 19 : Relevé des données sur site en 2004	65
Tableau 20 : Données relevées sur le site à Ankorondrano le 30/01/15	67
Tableau 21 : Données sur site à Ankorondrano le 12/02/15	68
Tableau 22 : Données sur site à Ankorondrano le 13/02/15	69

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Diagramme de Pourbaix de l'aluminium (Bensadok et al, 2007).....	24
Figure 2: Diagramme de Pourbaix du sel montrant la région de l'EC (Moreno et al, 2007)...	27

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Phénomène de coagulation/flocculation	28
Photo 2: Conductivimètre.....	44
Photo 3 :pH-mètre	44
Photo 4 : Balance de précision	45
Photo 5 : Evaporateur rotatif	45
Photo 6 : Incubateur Thermostatique	46
Photo 7 : Spectrophotomètre	47
Photo 8 : Jar-test.....	48
Photo 9: Turbidimètre	48
Photo 10: Mélangeur électromagnétique.....	49
Photo 11 : Résultat de l'essai N°10- Comparaison entre chaux et soude	61
Photo 12 : Résultats de l'essai N°11 des béchers 30 et 31	62
Photo 13 : Résultat de l'essai N°12.....	63

LISTE DES ABREVIATIONS

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

ERATECH : Etude Réalisation et Appui en Technologie

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

MES : Matières En Suspension

NTU :Nephelométrique Turbidity Units

pH : Potentiel Hydraulique

SIM : Sciences et Ingénierie des Matériaux

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

aq : aqueuse

INTRODUCTION

Depuis plusieurs siècles, l'eau a toujours été considérée comme l'un des éléments essentiels à la vie sur terre. Elle est utilisée dans divers domaines pour différentes finalités bien distinctes.

Pratiquement tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau. La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs. Cela provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique beaucoup plus prononcé.

A Madagascar, l'industrie textile est considérée comme l'une des industries la plus polluante. Elle dégage des pollutions toxiques importantes telles que les effluents toxiques, des déchets solides,... Mais la pollution la plus alarmante dégagée par ce secteur concerne les eaux usées.

L'entreprise ERATECH s'occupe de l'étude et de l'installation de l'unité de traitement des eaux usées jusqu'à l'essai de mise en action. Elle utilise du sulfate d'alumine, de l'hypochlorite et de l'acide sulfurique pour l'étape de clarification de l'eau. Ces produits donnent un bon rendement de traitement de l'eau mais trouver d'autres méthodes de traitement plus efficace et/ou moins cher constitue un défi pour la société. Ces divers raisons nous ont incité à choisir comme thème : **«UTILISATION DES SELS DE FER COMME COAGULANT-FLOCULANT DANS LE TRAITEMENT DES EAUX USEES D'UNE INDUSTRIE DE TEINTURERIE TEXTILE SISE A ANKORONDRANO».**

Le travail consiste à vérifier l'efficacité des sels de fer sur le traitement des eaux usées d'industrie textile pratiquant de la teinturerie, d'examiner les décolorations et de vérifier la conformité des paramètres aux normes de rejets .

Dans l'étude, les sels de fer : le chlorure ferrique et le sulfate ferreux sont supposés respectivement plus ou moins efficace et efficace. Ces derniers ont été introduits dans des eaux brutes et les résultats sont de suite comparer avec les produits classiques.

Sur ce, l'ouvrage se divise en deux parties:

- Première partie : Matériels et méthodes ;
- Deuxième partie : Etudes expérimentales

PREMIERE PARTIE : MATERIELS ET METHODE

Rapport Gratuit.com



CHAPITRE I: ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

I-1-La pollution des eaux

I-1-1-Généralités [1]

Les eaux usées, aussi appelées eaux polluées sont constituées par toutes les eaux de nature à contaminer les milieux dans lesquels elles sont déversées. Ces eaux sont généralement formées du sous-produit d'une utilisation humaine, domestique, industrielle, artisanale, agricole ou autre d'où l'usage du terme eau usée. Ce sont des eaux résiduaires d'une communauté ou d'une industrie rejetées après usage. Ce sont des eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur pureté initiale, et devenues improches à d'autres utilisations de qualité. Ces pollutions sont à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau et rendent souvent son utilisation dangereuse entravant l'usage normale du milieu récepteur et perturbant beaucoup le milieu aquatique). C'est dans la détérioration de sa qualité que réside le risque.

I-1-2-Principaux polluants des eaux [1]

Par définition, le polluant est un agent physique, chimique ou biologique qui entraîne une gêne ou une nuisance dans le milieu aquatique. Au sens large, le terme désigne des agents qui sont à l'origine d'une altération des qualités du milieu, même s'ils y sont présents à des niveaux inférieurs au seuil de nocivité. Pour les polluants qui ont un effet nocif sur les organismes vivants, on réserve le terme de contaminants.

Il existe plusieurs classifications possibles suivant les auteurs. Mais nous retenons les suivantes, pour leur simplicité et parce qu'elles englobent ce qui nous concerne.

Les polluants physiques :

Les polluants physiques sont des éléments qui ont été transportés par l'eau, ou ajoutés dans ce dernier. On peut les regrouper en trois catégories suivant leurs tailles et leurs natures :

• *Les éléments grossiers :*

Ce sont des éléments d'assez grande taille qui flottent sur la surface de l'eau. Ces éléments sont généralement des feuilles des branches, des sachets plastiques...



- *Les sables :*

Les sables sont en général des particules minérales à base de silice, leurs diamètres varient de quelques millimètres.

- *Les particules et les matières en suspension (MES) :*

Les particules sont toujours présentes dans les eaux naturelles et dans les eaux superficielles en général, ce sont des particules d'origines minérale, organique, ou biologique. Leurs tailles sont comprises entre quelques centièmes de micromètres et quelques millimètres.

Les matières en suspensions sont des petits éléments insolubles en suspension dans l'eau et qui sont difficilement décantables. C'est la fraction non dissoute dans la pollution. Ces MES se différencient par leurs natures ou leurs dimensions, les particules en suspensions appelées aussi particules colloïdales sont de tailles plus petites que les matières en suspension (MES), elles varient de $0,01\mu\text{m}$ à quelques μm .

Les polluants thermiques :

Cette forme de pollution se traduit par une élévation anormale de la température de l'eau qui devient alors impropre à la vie aquatique. Comme solution, il faut aménager un bassin de stockage de l'eau pour l'homogénéiser et réduire la température par contact avec l'air ambiant.

Les polluants chimiques :

Ils font partie des polluants les plus dangereux et les plus difficiles à éliminer du fait de la grande variété des substances qui pourraient être mises en cause, des risques de toxicité qu'ils présentent et, surtout, parce qu'ils sont sous forme dissoute. Les éléments chimiques présents dans l'eau sont nombreux. Par exemples :

- Les nitrates qui sont présents naturellement dans l'eau. Les apports excessifs ou mal maîtrisé d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources
- Les matières organiques qui résultent de la décomposition des végétaux des microorganismes. Elles participent à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau, comme la couleur, l'odeur, les sous-produits de désinfection, etc. ;



I-1-3-Les différentes sources de pollution par les industries [2]

Les effluents provenant d'une unité de production peuvent provenir de différentes sources : lavage de matières premières, de produits, des cuves et réacteurs, refroidissement des différentes machines utilisées, nettoyage du sol, vidange et purge de certains récipients (réservoirs,...), déversement accidentel de produit, rejet de liquides résiduaires résultant d'une opération quelconque, etc.

I-1-4-Principaux paramètres de caractérisation [2]

La composition des eaux usées industrielles s'apprécie à travers de différents paramètres. Rigoureusement parlant, 5 groupes de paramètres devraient être étudiés pour leur caractérisation.

Facteurs organoleptiques

- *Couleur :*

La couleur vraie d'une eau est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales. Elle est dite couleur apparente quand les substances en suspensions y ajoutent leur propre coloration. La couleur vraie correspond à la mesure effectuée sur des échantillons d'eau débarrassés par centrifugation des particules en suspension.

Pour les eaux industrielles, la coloration dépend du type de fabrication c'est-à-dire suivant la coloration des polluants chimiques déversés

- *Odeur :*

L'odeur est due au dégagement du gaz du plan des eaux usées. Il faut savoir que même la quantité très réduite peut être fortement perceptible par l'odorat. Elle est généralement produite par des composés organiques. Au fur et à mesure que le temps passe, l'odeur augmente en raison du dégagement du gaz sulfhydrique H_2S et CH_4 (odeur d'œuf pourri). Ce paramètre aussi a un lien avec la couleur, c'est-à-dire avec les éléments dissous dans l'eau. Plus la couleur est foncée, plus l'odeur est forte.

Pour le cas des eaux résiduaires industrielles, l'odeur se dégage du produit présent dans les processus.



- *Turbidité :*

En relation avec les matières en suspension, la turbidité donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique.

 Facteurs physico-chimiques :

- *pH :*

Il s'agit évidemment d'un paramètre fondamental de caractérisation des eaux résiduaires. En effet, l'efficacité des opérations de traitement nécessite une zone de pH spécifique (norme NF-T-90-006). Il mesure la concentration en ions hydrogène (H^+) dans l'eau.

Un pH élevé révèle un faible taux de concentration d'ions H^+ ($pH > 7$) qui indique l'alcalinisation de l'eau. Tandis qu'un pH bas ($pH < 7$) caractérise l'acidification du milieu et la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre.

Remarque : L'acidité des eaux usées industrielles est due à la dissolution des composés organiques et inorganiques comme les acides sulfuriques (H_2SO_4), les acides chlorhydriques (HCl), les acides phosphoriques (H_3PO_4) et les acides carboxyliques ($R-COOH$).

- *Température :*

La température de l'eau joue un rôle important, par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont l'oxygène. La température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques. Elle est à mesurer à l'aide d'un thermomètre en général, et s'exprime en degré Celsius.

Pour une eau résiduaire, elle est relativement plus élevée compte tenu des activités de l'industrie qui utilisent le plus souvent des eaux de chaudières.

- *Matières en suspension*

Les matières en suspension (M.E.S.), exprimées en milligrammes par litre, sont mesurées par pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C (norme NFT-90-105). Les M.E.S. comprennent:

- **les matières décantables** qui se déposent au repos pendant une durée fixée conventionnellement à 2 heures ;
- **les matières colloïdales** qui représentent la différence entre les M.E.S. et les matières décantables.



- *Conductivité électrique :*

Toute eau est plus ou moins conductrice du courant électrique. Cette conductivité est liée à l'existence des charges électriques des ions présents dans l'eau.

La conductivité dépend de la concentration en sels minéraux ou minéralisation de l'eau. A vrai dire, elle indique la teneur en sel des électrolytes minéraux dissous. D'où la conductivité élevée de l'eau résulte de sa forte salinité.

- *Dureté : [3] [4]*

Elle caractérise une eau contenant des sels de calcium et de magnésium (sels incrustants). Une eau trop chargée de calcaire va provoquer des tâches sur les supports et abîmer les joints des matériels. Elle s'exprime en degrés français dureté (1 °F dureté = 10 mg/l de CaCO_3)

- *Alcalinité [3] [4]*

Pour une eau naturelle, elle traduit la somme des anions hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes alcalins (Na) ou alcalino-terreux (Ca , Mg).

Les réactions chimiques qui interviennent au cours de la mesure sont les suivantes:

- $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^-$
- $\text{HCO}_3^- + (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+) \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2, \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2, \text{Na}(\text{HCO}_3);$
- $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$.

Sa connaissance présente un intérêt particulier lorsque des traitements physico-chimiques sont envisagés, car elle traduit la présence en solution d'espèces chimiques susceptibles d'exercer une influence directe sur les conditions techniques de l'épuration.

L'alcalinité représente le pouvoir tampon de l'effluent et est exprimée par le titre alcalimétrique complet (TAC).

Pour des eaux résiduaires industrielles, de nombreux autres ions peuvent également intervenir au cours de la titration (ions des acides gras volatils, de l'acide acétique, de l'acide phosphorique, de l'acide cyanhydrique, de certains composés azotés ou soufrés).



Les principales réactions complémentaires sont les suivantes:

- $\text{PO}_4^{3-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4$;
- $\text{S}^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{S}$;
- $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HSO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$;
- $\text{CN}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCN}$.

L'unité la plus souvent employée pour exprimer le TAC est le degré français ($^{\circ}\text{F}$), qui correspond à la concentration d'une solution N/5000 et vaut donc un cinquième de meq/l. (Le meq/l est le millième de l'unité de quantité de matière d'un ion déterminé).

- *Les caractéristiques chimiques :*

Elles sont directement liées à la concentration des différents éléments chimiques présents dans l'eau : sulfates, chlorures, nitrites, nitrates, ammoniac, NTK (azote total Kjeldahl)...

 Facteurs biologiques :

- *Demande biochimique en oxygène (DBO).*

La demande biochimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu.

La demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO_5) représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pendant cinq jours pour décomposer la matière organique des eaux usées à une température de 25°C .

Elle s'exprime en milligramme de l'oxygène par litre (mgO_2/L). Il s'agit donc d'une consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire. La DBO_5 permet aussi d'évaluer l'impact des rejets sur le milieu naturel.

- *Demande chimique en oxygène (DCO) :*

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en mg d' O_2 /l correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique de la matière organique ou inorganique contenue dans l'eau. Elle représente donc, les teneurs totales des matières oxydables dans l'eau.



La DCO est utilisée pour qualifier les eaux usées qui ne sont pas biodégradables, ou qui renferment des composants qui freinent l'activité des micros –organismes.

- *Oxydabilité au permanganate [4]*

Une autre méthode normalisée de la détermination de l'oxydabilité utilise comme oxydant le permanganate de potassium (norme NF-T-90-050). On ne parle plus dans ce cas de demande chimique en oxygène mais d'oxydabilité au permanganate de potassium à chaud en milieu acide. Cette méthode a pour inconvénient majeur de ne pas oxyder ou de n'oxyder que partiellement de très nombreux composés organiques.

Elle est généralement réservée à des eaux susceptibles d'être peu polluées comparativement aux charges véhiculées par les eaux résiduaires industrielles (eaux de surface, eaux potables).

 Facteurs indésirables ou toxiques et micropolluants [4]

- *Micropolluants :*

Le terme "micropolluants" désigne un ensemble de substances qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance, de leur bioaccumulation, sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités.

Les principaux micropolluants sont certains métaux et métalloïdes (mercure, cadmium, arsenic, plomb, chrome, sélénium, cuivre, thallium, ...), des composés phénoliques, des organohalogénés, des organophosphorés, certaines huiles minérales et certains hydrocarbures (HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques,...), ou encore certains dérivés nitrés.

Les substances dont l'élimination doit être prioritairement recherchée dans les rejets d'eaux résiduaires sont les 132 substances proposées à l'inscription sur la liste I annexée à la directive 76/464/CEE du 4 mai 1976 concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la communauté. Hormis les métaux, les métalloïdes et certains hydrocarbures, la presque totalité des micro-polluants sont des molécules de synthèse dont la diffusion vers le milieu naturel peut se faire, entre autres, à partir des effluents industriels. Les secteurs concernés sont très divers:

- industrie chimique;
- industrie des métaux;



- industrie papetière (synthèse d'organochlorés par blanchiment de la pâte au chlore);
- industrie du textile (colorants);
- industrie de la tannerie (chrome);
- industrie du bois (phénols, crésols);
- etc.

I-1-5-Pollution des eaux : cas particulier des industries textiles [5]

Ces industries sont très diversifiées. Les types de pollution qu'elles peuvent engendrer varient selon leurs activités respectives.

Les principales activités polluantes sont les suivantes :

- Lavage de fibres ou de tissus (en particulier la laine) :

Ces fibres peuvent être très chargées d'impuretés (graisse, terre et sable).

- Les prétraitements avant ennoblissemement textile :

Les opérations de prétraitement concernent surtout les fibres naturelles. Il s'agit du mercerisage du coton, des lessives de cuisson et de rinçage, débouillissage du coton et lin et du désencollage des tissus (élimination d'amidon et féculles).

- Ennoblissemement textile [4] :

Précisons en premier lieu le terme d'ennoblissement textile. Il comporte les opérations suivantes : blanchiment, teinture, impression, apprêt.

C'est une activité très polluante en général.

Les charges polluantes varient en fonction :

- Du type de fibres : naturelle ou synthétique ;
- Des procédés de teinture et d'impression ;
- Des produits utilisés selon leur solubilité dans l'eau



- Blanchisseries industrielles

Ces industries peuvent avoir des charges polluantes importantes constituées surtout par les produits de lavage utilisés.

Des rejets massifs importants peuvent survenir lors de lavage de jeans à partir de pierre ponce.

I-1-6-Les colorants textiles

Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. Cette propriété résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors des traitements. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critères afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils sont appliqués : résistance à l'abrasion, stabilité photolytique des couleurs, résistance à l'oxydation chimique (notamment les détergents) et aux attaques microbiennes. L'affinité du colorant pour la fibre est particulièrement développée pour les colorants qui possèdent un caractère acide ou basique accentué. Ces caractéristiques propres aux colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation [6].

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (380-750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromomorphe ; la molécule colorante étant le chromogène. Plus la facilité du groupe chromomorphe à donner un électron est grande plus la couleur sera intense (groupes chromophores classés par intensité décroissante dans le tableau 1). D'autres groupes d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore : ce sont les groupes auxochromes.

Les chromophores sont des groupes aromatiques (système π), conjugués (liaison π), comportant des liaisons non-liantes (électron n) ou des complexes des métaux de transition. Les colorants différents les uns des autres par des combinaisons d'orbitales moléculaires. La coloration correspond aux transitions possibles après absorption du rayonnement lumineux entre ces niveaux d'énergie propres à chaque molécule [7].

De manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéiques,



anthracène, perylène, etc). Lorsque le nombre de noyau aromatique augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît et le système conjugué s'élargit. L'énergie des liaisons π diminue tandis que l'activité des électrons π ou n augmente et produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy...) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison des doubles liaisons s'accroît et le système conjugué s'élargit.

Tableau 1 : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante

Groupes chromophores	Groupes auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons

Source : [9]

Classification tinctoriale [10]

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant - substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes.

- ❖ Les colorants acides ou anioniques : Très solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonate ou carboxylate, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant - fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles.
- ❖ Les colorants basiques ou cationiques : Classe des colorants porteurs d'ions positifs et reconnus pour leurs nuances brillantes. Les colorants basiques se composent de grosses molécules et ce sont des sels solubles dans l'eau. Ils ont une affinité directe pour la laine et la soie et peuvent être utilisés sur le coton. La solidité des colorants basiques sur ces



fibres est très faible. Ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes.

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau, appliqués sur la fibre après transformation par réduction alcaline en leucodérivés. La teinture se termine par la réoxydation *in situ* du colorant sous sa forme insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation (lavage, rayons solaires), les colorants de cuve sont largement utilisés sur le coton, le lin, la rayonne et autres fibres cellulosiques, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim. Les colorants directs contiennent ou sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule.

- ❖ Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile. On peut distinguer deux types :
- ❖ Colorants à complexe métallifère type 1:1 : colorants ayant un ou des éléments métalliques dans leur structure moléculaire. Requièrent l'utilisation de l'acide sulfurique.
- ❖ Colorants à complexe métallifère type 1:2 : deuxième génération des colorants acides traités avec des métaux de mordançage tels que le chrome. Ce type de colorant teint les fibres beaucoup plus solidement que les colorants acides courants. Ils sont appliqués en milieu légèrement acide, soit en pH 4,5 à 5.
- ❖ Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïque, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone, assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Solubles dans l'eau, ils entrent de plus en plus fréquemment dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides.



- ❖ **Les colorants développés ou azoïques insolubles**, appelés aussi colorants au naphtol, sont formés directement sur la fibre. Au cours d'une première étape, le support textile est imprégné d'une solution de naphtol ou copulant. Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser dans les pores et les fibres sont ensuite traités avec une solution de sel de diazonium qui, par réaction de copulation, entraîne le développement immédiat du colorant azoïque. Puisque le composé phénolique est dissous dans une solution basique, ces colorants ne sont utilisés que sur les fibres cellulosiques bien que d'autres fibres soient susceptibles d'être teintes en modifiant le procédé.
- ❖ **Les colorants dispersés** appelés aussi plastosolubles sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer. Les colorants dispersés sont largement utilisés dans la teinture de la plupart des fibres manufacturées, surtout le polyester.
- ❖ **Les colorants au soufre** sont insolubles dans l'eau mais appliqués sous forme d'un dérivé soluble après réduction par le sulfure de sodium. Ils sont ensuite réoxydés à leur état insoluble dans la fibre. Les colorants au soufre sont généralement employés sur le coton pour produire des teintes foncées économiques, dont la solidité au lavage et à la lumière va de moyenne à bonne.

Tableau 2 : Colorants et rejets de l'ennoblissement textile [7]

Produits	Soluble eau	Insoluble eau
Minéraux et organiques	Acides minéraux ; Acides organiques (acétique, citrique, formique, tartrique) ; Oxydants (NaOCl, H ₂ O ₂ , borates) ; Réducteurs	
Colorants	Acides (laines) Basiques Leuco-esters (indigosols) Directs* (coton) Colorants métallifères (Ni, Co, Cr) Colorants au chrome Réactifs	Pigments et dispersion Au soufre* (pH<8,5) Azoïques* + Naphtols Noir d'aniline
Produits auxiliaires textiles	Alginate (impression) C.M.C. (impression) Retardateur Détergents	Gomme Amidon



*Ces colorants donnent lieu à de fortes pertes dans les eaux pouvant dépasser 20%.

Les colorants directs et réactifs sont préparés en saumures de NaCl ou de Na₂SO₄.

Avec les effluents de prétraitement, les rejets sont plus dilués et caractérisés par les valeurs typiques suivantes : [6]

- pH : 4 à 12, le plus souvent basique ; 4,5 en laine tricotée ; 11 en coton ;
- DCO : 250 à 1500 mg/l ;
- DBO₅ : 80 à 500 mg/l, avec un rapport DCO/DBO₅ en général entre 3 et 5 ;
- MES : 30 à 400 mg/l (peu abondantes, fibres, bourre, duvet), mais pouvant quelquefois atteindre 1000 mg/l ;
- Cr(VI) : 1 à 4 mg/l et S2-: 0 à 50 mg/l.

I-2-Les eaux usées

I-2-1-Définitions des eaux usées [16]

Les eaux usées sont des eaux salies, impures et rejetées après usage. Ce sont des eaux ayant acquis une charge minérale ou organique en fonction de leur utilisation. Elles constituent une principale source de pollution. La plupart des pollutions sont de nature chimique, avec différents types de rejets. Les polluants les plus fréquents sont des molécules organiques. Celles-ci sont biodégradables, mais leur disparition nécessite de l'oxygène qui est alors diminué dans les milieux aquatiques.

I-2-2-Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les eaux résiduaires et les liquides résiduaires de certaines industries.

Les eaux résiduaires sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, qui ont servi à nettoyer ou à laver des appareils, des machines, des installations, des matières



premières ou des produits d'une usine, ou qui ont servi à retenir des poussières de fumées. Elles peuvent contenir des substances chimiques utilisées au cours des fabrications. Les liquides résiduaires sont des liquides résultant des fabrications; c'est le cas des solutions de produits chimiques, des solutions de sous-produits, c'est le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux (Edline, 1979).

Selon Baumont et al, (2004), les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- directement rejetés dans le réseau domestique;
- prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

I-2-3-Norme de rejet des eaux usées industrielles

Tableau 3 : Normes de rejets d'eaux usées à MADAGASCAR

PARAMETRES	UNITES	NORMES
FACTEURS ORGANOLEPTIQUES ET PHYSIQUES		
PH		6,0 - 9,0
Conductivité	µS/cm	200
Matières en suspension	mg/l	60
Température	°C	30
Couleur	échelle Pt/Co	20
Turbidité	NTU	25
FACTEURS CHIMIQUES		
Dureté total comme CaCO ₃	mg/l	180,'0
Azote ammoniacal	mg/l	15
Nitrates	mg/l	20
Nitrites	mg/l	0,2
NTK (Azote total Kjeldahl)	mg/l-N	20
Phosphates comme PO ₄ ³⁻	mg/l	10
Sulfates comme SO ₄	mg/l	250
Sulfures comme S ²⁻	mg/l	1
Huiles et Graisses	mg/l	10



PARAMETRES	UNITES	NORMES
FACTEURS CHIMIQUES		
Phénols et cresols	mg/l	1
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	mg/l	1
Agents de surface (ionique ou non)	mg/l	20
Chlore libre	mg/l	1
Chlorures	mg/l	250
FACTEURS BIOLOGIQUES		
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	150
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	mg/l	50
FACTEURS INDESIRABLES		
METAUX		
Aluminium	mg/l	5
Arsenic	mg/l	0,5
Cadmium	mg/l	0,02
Chrome hexavalent	mg/l	0,2
Chrome total	mg/l	2
Fer	mg/l	10
Nickel	mg/l	2
Plomb	mg/l	0,2
Etain	mg/l	10
Zinc	mg/l	0,5
Manganèse	mg/l	5
Mercure	mg/l	0,005
Sélénium	mg/l	0,02
AUTRES SUBSTANCES		
Cyanures	mg/l	0,2
Aldéhydes	mg/l	1
Solvants aromatiques	mg/l	0,2
Solvants azotés	mg/l	0,1
Solvants chlorés	mg/l	1
Pesticides organochlorés	mg/l	0,05



PARAMETRES	UNITES	NORMES
AUTRES SUBSTANCES		
Pesticides organophosphorés	mg/l	0,1
Pyréthrinoïdes	mg/l	0,1
Phénylpyrazoles	mg/l	0,05
Pesticides totaux	mg/l	1
Antibiotiques	mg/l	0,1
Polychlorobiphényles	mg/l	0,005
RADIOACTIVE	Bq	20
FACTEURS MICROBIOLOGIQUES		
Coliformes totaux		500
Escherichia coli	colonie	100
Streptocoques fécaux		100
Clostridium sulfito-réducteurs.		100

Source: Décret 2003/464 de la 15/04/03 portant classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides

I-3-Le Traitement des eaux usées

I-3-1-Généralités sur le traitement des eaux usées industrielles

Caractérisation générale des effluents [5] :

Pour bien définir une station de traitement d'eaux résiduaires, il est nécessaire de pouvoir disposer des éléments suivants :

- fabrications types, capacité et cycles, matières premières consommées ;
- composition de l'eau d'appoint à l'usine ;
- possibilité de séparation des rejets, et/ou recyclages ;
- volumes journaliers d'effluents par catégorie ;
- débits horaires moyens et maximaux (durée et fréquence par catégorie) ;
- flux de pollution moyen, maximal (fréquence et durée) par catégorie de rejet ;
- flux de pollution pour une pollution spécifique de l'industrie considérée.



Il faut s'informer sur l'éventualité de pollutions secondaires, même occasionnelles, pouvant perturber gravement le fonctionnement de certains organes de traitement (colles, goudrons, fibres, huiles, sables...).

Dans le cadre de l'étude d'une usine nouvelle, ces données, recueillies après l'analyse des fabrications, sont à comparer aux données provenant d'usines existantes similaires.

Le choix des méthodes de traitement :

Le choix des méthodes de traitement dépend principalement des caractéristiques des eaux usées mises en question. Ces eaux peuvent être classées de plusieurs manières, mais nous retiendrons la classification suivante à cause de sa simplicité. En outre, elle est suffisamment explicite :

- *Pour les eaux usées à caractère minéral dominant :*

Ces eaux sont franchement non biodégradables et les traitements qui leur sont appliqués sont généralement de nature mécanique et/ou physico-chimique.

- *Pour les eaux usées à caractère organique dominant :*

Ce caractère particulier favorise le développement d'un phénomène naturel tendant à transformer et à minéraliser la matière organique que l'on appelle « biodégradation ».

Etant donné leur biodégradabilité et qu'elles se prêtent souvent difficilement à des opérations physiques comme la filtration, une épuration biologique leur est plus adaptée.

- *Pour les effluents à caractère mixte :*

Ces eaux contiennent à la fois des matières organiques (huiles et graisses, hydrocarbures divers et composés organiques en général) et minérales (particules colloïdales, sels divers, oxydes, etc.). Elles proviennent d'unités industrielles telles que les papeteries, les tanneries, les unités textiles (filature, tissage, délavage, etc.).

Etant donné leur caractère mixte, leur épuration nécessite souvent la combinaison de différentes méthodes : mécaniques, physico-chimiques et/ou biologiques.



 Conception des installations [5] :

- *Organisation des égouts et des circuits [5] :*

Elle est liée à la nature des industries et des situations très diverses sont possibles. Il est essentiel d'éviter les dilutions inutiles et les principes suivants doivent être respectés :

- les eaux pluviales non polluées sont rejetées en réseau séparé ;
- les eaux de procédé présentant des concentrations élevées ou des polluants spécifiques sont collectées séparément. (eaux cyanurées, eaux chromatées, eaux salines, etc.) ;
- les eaux pluviales pouvant être polluées sont dirigées vers la station de traitement ;
- les eaux contenant des matières valorisables et/ou recyclables sont prétraitées avant mélange avec les autres effluents contaminés.

- *Traitements séparés des effluents [5]*

Les effluents d'ateliers particuliers sont traités séparément.

- *Traitements préliminaire [5]*

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques.

Les opérations de prétraitement sont : le dégrillage, la dilacération, le dessablage, le dégraissage, le déhuilage, le tamisage, l'évacuation et le traitement des sous-produits.

- *Traitements physico-chimique [5] :*

Le traitement physico-chimique a une ou plusieurs fins :

- précipitation des métaux et des sels toxiques ou indésirables ;
- élimination des huiles en émulsion ;
- clarification avec réduction concomitante de la DBO₅ colloïdale et de la DCO correspondante.

Il suppose le maintien du pH dans une zone assez étroite.



Les opérations suivantes sont les plus courantes :

- Coagulation/flocculation :

Le processus de coagulation implique d'ajouter du fer ou de l'aluminium à l'eau comme du sulfate d'aluminium, sulfate ferrique, chlorure ferreux ou des polymères. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants et ont une charge positive. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau.

La coagulation peut enlever un grand nombre de particules organiques. La coagulation peut également enlever les particules suspendues, y compris les précipités inorganiques, tel que le fer. Le carbone organique dissout peut donner une odeur et un goût à l'eau désagréable. Tandis que la coagulation peut enlever des particules et des matières dissoutes, l'eau peut encore contenir des microbes pathogènes. Dans un rapport international édité en 1998, on a constaté que la coagulation et la sédimentation peut enlever entre 27 et 84% des virus et entre 32 et 87% des bactéries. Habituellement, les microbes pathogènes sont enlevés à l'eau parce qu'ils sont attachés aux substances dissoutes qui sont enlevées par coagulation.

La flocculation permet l'agglomération de ces particules neutralisées en micro-flocs, puis en flocons volumineux et décantables : **les flocs**. L'ajout d'un autre réactif, **le floculant** ou **adjuvant de flocculation**, peut améliorer cette flocculation.

Les floculants peuvent être des polymères minéraux (silice activée), des polymères naturels (amidon, ...), ou des polymères de synthèse.

- Précipitation chimique [5] :

Les précipitations chimiques les plus fréquentes sont celles de carbonate de calcium et d'hydroxydes métalliques. Elles sont obtenues en ajoutant des réactifs spécifiques.

- Décantation [5] :

C'est la méthode de séparation la plus utilisée de MES et des colloïdes (rassemblés sous forme de flocs) sous l'effet de la gravité.



- Flottation [11] :

Le floc ou agglomérat de déchets, ou graisse est remonté à la surface à l'aide d'air comprimé. Il est ensuite raclé puis éliminé ou traité.

- Filtration [11] :

C'est un procédé de séparation d'un mélange liquide-solide à travers un milieu poreux, de façon à retenir les particules solides et à laisser passer le liquide.

- Centrifugation [11] :

C'est un système qui permet l'élimination de MES et des boues. L'eau chargée entre dans le corps cylindrique de l'appareil, les particules sont projetées vers les parois par rotation du rotor et évacuées par un convoyeur ou autre système.

- Electrolyse (électrocoagulation) [5] :

Le principe de base consiste à appliquer une différence de potentiel entre deux électrodes dans un bain électrolytique créant ainsi un champ électrique orienté dans lequel les ions se mettent en mouvement : les cations se dirigent vers la cathode où il y a réduction avec capture d'électron, et les anions vers l'anode où il y a oxydation avec émission d'électrons.

L'électrochloration est une des applications industrielles de cette méthode qui permet la production *in situ* d'une solution d'hypochlorite de sodium à partir d'une solution de chlorure de sodium (sel de mer ou saumure).

- Adsorption,

Certains matériaux ont la capacité de fixer à leur surface des molécules (gaz, ions métalliques, molécules organiques, ...) d'une manière plus ou moins réversible.

Le charbon actif est l'adsorbant le plus utilisé en traitement des eaux. Il peut être sous forme de poudre ou de grain. Les charbons en grain présentent l'avantage de pouvoir être régénéré. Ils sont utilisés sous forme de lit filtrant.

La capacité utile d'un charbon actif (consommation en charbon pour obtenir un effet déterminé) dépend de la profondeur du lit et de la vitesse d'échange entre charbon et eau polluée.



D'après le Mémento Technique de l'Eau, « l'expérience montre que l'on peut rarement excéder 3 volumes d'eau par volume de charbon et par heure pour les cas de pollution élevée ».

- Oxydation

En traitement des eaux, l'oxydation est généralement utilisée pour la désinfection de germes pathogènes soit par chloration ou par ozonation. Le chlore pose des problèmes environnementaux, d'une part, parce qu'il est très毒ique pour les organismes aquatiques et, d'autre part, parce qu'il réagit avec la matière organique présente dans l'eau pour former des composés organochlorés, tels les trihalométhanes (THM) et les acides haloacétiques (AHA), également toxiques pour l'environnement.

D'autres procédés comme l'aération ou l'utilisation du permanganate de potassium sont plus utilisés pour les précipitations chimiques.

- Neutralisation

C'est une mesure de correction du pH. Elle peut avoir plusieurs objectifs : ramener le pH d'un effluent à une valeur voisine de la neutralité avant rejet ; corriger le pH avant un stade de traitement ultérieur, ou corriger l'équilibre calco-carbonique, pour protéger les conduites contre la corrosion ou l'entartrage.

- *Traitemenbt biologique :*

Le recours à l'épuration biologique dépend de la biodégradabilité des effluents.

- *Traitemenbt tertiaire :*

Le traitement tertiaire permet d'améliorer la qualité des eaux traitées en éliminant par exemple les DCO résiduelles, la couleur et/ou d'autres éléments spécifiques.

- *Traitemenbt des boues :*

Le traitement des eaux génère parfois des boues dont il faut s'occuper. La méthode de traitement des boues est donc à intégrer dans le processus de traitement.

I-3-2 Electrocoagulation par sel d'alumine et sel de fer [14]

L'électrocoagulation est une méthode de traitement des eaux basée sur la dissolution électrochimique d'un métal sacrificiel qui, une fois dans l'effluent et moyennant les autres réactions connexes telle que l'électrolyse de l'eau, donne des complexes d'hydroxydes



métalliques qui vont assurer l'adsorption puis la flocculation des particules et des composés polluants dissous.

Les métaux les plus couramment utilisés en électrocoagulation, puisqu'ils possèdent des formes ioniques trivalentes, sont l'aluminium et le fer. Afin de maîtriser le procédé d'électrocoagulation, il est nécessaire de mieux connaître le comportement et les caractéristiques chimiques et électrochimiques de ces deux métaux que nous avons utilisés dans nos travaux.

L'ALUMINIUM : [14]

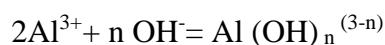
L'aluminium est utilisé le plus souvent sous forme d'alliage dont les propriétés et les caractéristiques dépendent globalement des éléments ajoutés. Selon l'élément ajouté, on trouve sept familles d'alliages d'aluminium.

L'aluminium réagit avec l'air pour former un oxyde Al_2O_3 protecteur.

L'aluminium pur ne réagit pas avec l'eau mais les alliages pourraient réagir avec l'eau si l'oxyde d'aluminium protecteur ne se formait pas.

L'aluminium peut être attaqué par les acides minéraux. Plus l'acide est concentré, plus la dissolution est rapide. Il se dissout aussi dans la soude 0.5N.

Dans l'eau l'ion trivalent Al^{3+} se présente sous la forme hydratée $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ mais on l'écrit Al^{3+} pour simplifier l'écriture. L'ion Al^{3+} réagit avec l'eau en attirant les ions OH^- pour former des complexes anioniques, cationiques ou neutres selon la réaction suivante :



Les ions hydroxyles proviennent de l'électrolyse de l'eau ou de l'ajout d'une solution basique à l'effluent.

En ne considérant que les espèces mononucléaires, les réactions de l' Al^{3+} sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Réactions de réduction d' Al^{3+}

Réactions	pKi
$\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al(OH)}^{2+} + \text{H}^+$	5,03
$\text{Al(OH)}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al(OH)}_2^{+} + \text{H}^+$	3,7
$\text{Al(OH)}_2^{+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al(OH)}_3 + \text{H}^+$	6,5
$\text{Al(OH)}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Al(OH)}_4^- + \text{H}^+$	8,1

Source : [6]

En considérant ces réactions, on peut établir la prédominance des espèces d'aluminium en fonction du pH.

Pourbaix (1963) a établi les diagrammes potentiel-pH de nombreux métaux en déterminant leur réactivité en fonction du pH et du potentiel E pour les réactions électrochimiques à l'équilibre thermodynamique. Le diagramme potentiel-pH représente les relations entre deux espèces en solution, une espèce en solution et une espèce dissoute ou bien deux espèces solides. Ce diagramme est valable en absence des espèces formant avec l'aluminium des complexes solubles ou des sels insolubles. Le domaine de stabilité de l'aluminium est situé en dessous de celui de l'eau (zone comprise entre les courbes a et b).

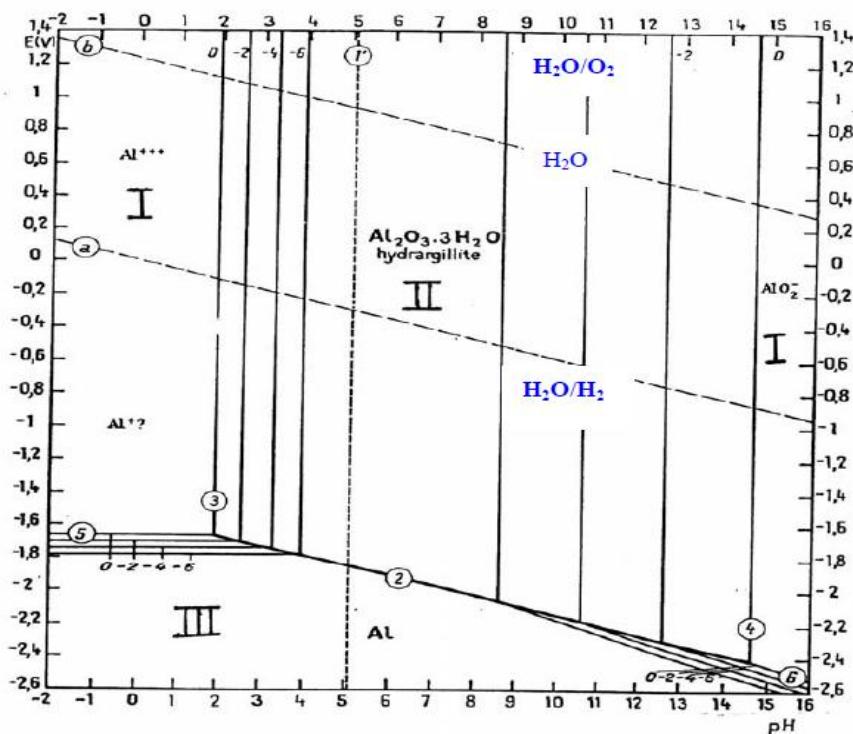


Figure 1: Diagramme de Pourbaix de l'aluminium (Bensadok et al, 2007)



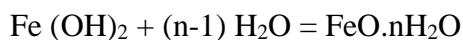
LE FER [14]

Tout comme l'aluminium la plupart des formes de fer utilisées sont des alliages de fer obtenus par coulage ou trempe, ce qui leur confèrent une dureté conséquente par la présence d'une certaine quantité de carbone.

Selon les différents stades d'oxydation, le fer présente des couleurs différentes (Moreno et al. 2007) :

- ❖ l'oxyde ferreux hydraté ou l'hydroxyde ferreux ;

Ce composé consiste en une oxydation de fer en présence d'eau pour former dans un premier temps l'hydroxyde ferreux. Et ensuite la réaction se poursuit toujours en présence d'eau pour donner l'oxyde ferreux hydraté. Les réactions sont les suivantes :



Les sels ferreux ont une couleur verte mais du fait de la présence de l'oxygène, l'oxyde prend une couleur verte très sombre.

- ❖ l'oxyde ferrique hydraté ou l'hydroxyde ferrique.

A la surface extérieure soumise aussi à la corrosion, l'exposition à l'air par la présence d'oxygène convertit l'oxyde ferreux en oxyde ferrique selon la réaction suivante :

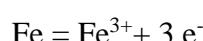
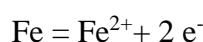


Cet oxyde est de couleur orange à tendance rouge-brune pouvant être très sombre. Il existe plusieurs formes d'oxydes ferriques, non magnétique $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ou magnétique $\delta\text{-Fe}_2\text{O}_3$. La forme α - possède une énergie libre de formation négative.

En électrocoagulation nous avons les réactions suivantes :

- ❖ Génération des ions métalliques :

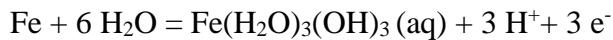
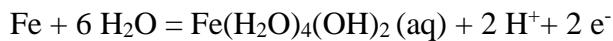
A l'anode :





- ❖ Hydrolyse des ions métalliques et générations des hydroxydes métalliques et des polyhydroxydes :

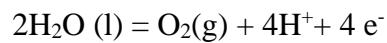
Cela a été souvent étudié et expliqué dans la coagulation dans le traitement des eaux. Les réactions sont les suivantes :



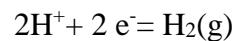
- ❖ Electrolyse de l'eau:

L'électrolyse de l'eau se déroule en parallèle à l'anode et à la cathode, ce qui est à l'origine de la flottation des polluants par les bulles de gaz.

Anode:



Cathode:



Nous pourrions penser que le dégagement d'oxygène à l'anode est responsable de l'oxydation du fer en magnétite et magnésite. Cette supposition est erronée. La formation de ces oxydes provient de la déshydratation des hydroxydes de fer et la formation de la rouille se passe à la surface de la boue en flottation. La formation de l'oxygène n'a pas été clairement mise en évidence durant l'électrocoagulation.

- ❖ Déstabilisation et agrégation:

C'est la déstabilisation des polluants, en particulier les suspensions, les émulsions et la déstabilisation des phases pour former les flocs par la compression de la double couche et de la neutralisation des espèces ioniques présentes. Ainsi, les matières en suspension et les colloïdes sont éliminés par électrocoagulation.

Les réactions physicochimiques se produisant pendant l'électrocoagulation sont : la réaction chimique et la précipitation des hydroxydes métalliques avec les polluants, la réduction cathodique des impuretés ou des ions présents, la migration électrophorétique des ions, parfois

l'oxydation des polluants en des espèces que l'on espère moins toxiques et d'autres réactions électrochimiques et processus chimiques.

Le diagramme suivant donne les réactions possibles en fonction du pH par le diagramme de Pourbaix.

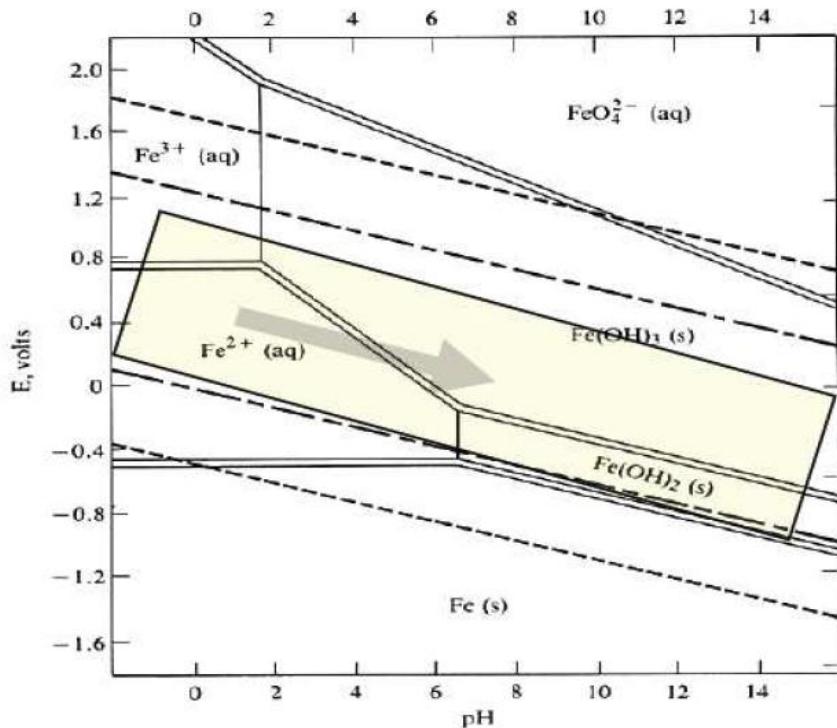


Figure 2: Diagramme de Pourbaix du sel montrant la région de l'EC (Moreno et al, 2007) : [15]

I-4-Le traitement par coagulation flocculation

I-4-1-Généralités [13]

Dans le domaine de traitement des eaux, la coagulation est par définition le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, qui peut notamment être obtenue par neutralisation de leurs charges électriques. Le produit utilisé pour cette neutralisation est appelé coagulant.

L'agrégation des particules déchargées par transport et mises en contact les unes avec les autres constitue la flocculation, elle conduit à la formation de flocons, ou flocs, capables d'être retenus dans une phase ultérieure de traitemant de l'eau. Certains produits peuvent favoriser la formation de floc, ce sont les flocculants.

La coagulation et la flocculation interviennent fréquemment dans le traitement des eaux destinées à la consommation et dans la préparation des eaux industrielles de fabrication.

Dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, la concentration en matière en suspension est souvent telle qu'une floculation peut être obtenue par simple agitation. Nous pouvons aussi introduire un coagulant, afin de favoriser l'élimination de la pollution dissoute.

Les eaux résiduaires industrielles ont des compositions très variables selon l'industrie considérée. Dans certaines cas, il suffit de floculer les eaux car elles contiennent déjà un constituant capable de floculer par simple agitation d'un floculant. Dans d'autre cas, il est nécessaire d'utiliser un coagulant capable de donner naissance à un précipité que nous pourrons ensuite floculer.(Degrémont 1978)

I-4-2-Principe de la coagulation / floculation :[13]

Les particules colloïdales ayant un diamètre très faible et étant chargées électronégativement (ce qui engendre une répulsion intercolloïdale) ont une vitesse de sédimentation extrêmement faible : c'est à dire que les polluants contenues dans l'eau se repoussent et ne décantent pas naturellement.

La coagulation / floculation permet donc de pallier à ce problème :

1. l'adjonction de coagulant ainsi qu'une agitation rapide du volume à traiter, supprime les répulsions intercolloïdales et permet aux colloïdes de se rencontrer. C'est la coagulation.
2. l'adjonction de floculant ainsi qu'une agitation lente du volume à traiter, provoque l'agglomération des colloïdes se transformant dès lors en une masse suffisante permettant la sédimentation nécessaire pour un traitement appelé "floc". C'est la floculation.

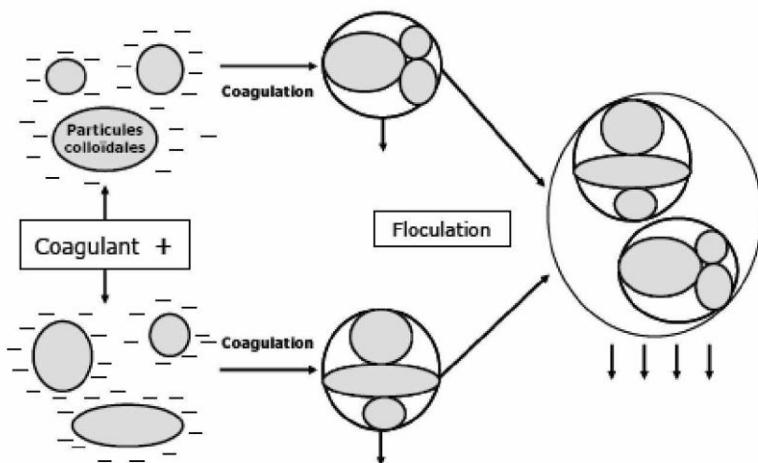


Photo 1: Phénomène de coagulation/flocculation [13]

Les coagulants principalement utilisés sont à base de sel d'aluminium ou sel de fer.



SELS D'ALUMINIUM [13]

Sulfate d'aluminium (forme liquide ou solide)

Dose :

En clarification : 10 à 150 g/m³(exprimée en produit commercial) suivant la qualité de l'eau brute.

En traitement des eaux résiduaires : 100 à 200 g/m³ suivant la quantité de l'eau usée et l'objectif de qualité.



Sulfate d'aluminium + chaux

Dose :

En clarification : il faut, en chaux Ca(OH)₂, le tiers de la dose de sulfate d'aluminium commercial Al₂(SO₄)₃ 18H₂O.

En traitement des eaux résiduaires : il faut 100 à 200 g/m³ de chaux pour 150 à 500g/m³ de sulfate d'aluminium commercial.



SELS DE FER [12]

Chlorure ferrique seul (sous forme liquide)

Dose :

En clarification : 5 à 150 g/m³ de chlorure ferrique commercial FeCl₃, 6H₂O.suivant la qualité de l'eau brute.

En traitement des eaux résiduaires urbaines : 100 à 500 g/m³ de chlorure ferrique.





Chlorure ferrique + chaux :

Dose :

En traitement des eaux résiduaires urbaines : il faut 1000 à 800 g/ m³ de chaux pour 100 à 600 g/m³ de chlorure ferrique commercial FeCl₃, 6H₂O



Sulfate ferreux seul :

Dose :

En clarification : 10 à 100 g/m³ de réactif FeSO₄, 7H₂O

En traitement des eaux résiduaires : il faut 200 à 400 g /m³ de réactif commercial FeCl₃, 6H₂O.



Sulfate ferreux + chaux

Dose :

En clarification, il faut, en chaux Ca(OH)₂, 26% de la dose de sulfate de fer FeSO₄, 7H₂O.

En traitement des eaux résiduaires, il faut 100 à 150 g/m³ de chaux pour 250 à 350 g /m³ de sulfate ferreux.



I-5-Le traitement des eaux usées à partir de produit à base de fer

I-5-1-Généralités sur le fer

Les sels de fer sont utilisés dans de nombreuses applications municipales et industrielles. Dans les opérations de traitement des eaux et eaux usées, les sels de fer sont utilisés comme coagulant/floculant pour la clarification de l'eau, le contrôle des odeurs, pour minimiser la libération des sulfures d'hydrogène, pour l'élimination du phosphore, et comme agent épaisseur de boues, de conditionnement et de déshydratation.



 Chlorure ferrique :

Le chlorure ferrique est aujourd'hui amplement utilisé sur les applications de précipitation des phosphates ainsi que pour le conditionnement des boues issues du traitement des eaux usées.

Il est par ailleurs de plus en plus utilisé pour des applications de coagulation et d'abattement de la matière organique en conditionnement des eaux potables. A ce titre le chlorure ferrique produit et commercialisé par Feracid est conforme à la réglementation des eaux potables : EN 888 de mai 2005

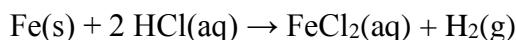
 Chlorure ferreux :

Formule : FeCl_2 ;

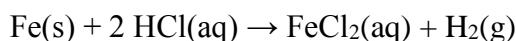
Aspect : cristaux ou poudre, blanc à vert selon l'humidité, hygroscopique ;

Préparation : Le chlorure de fer (II) s'obtient

- Par attaque de fer métallique pur et en poudre par de l'acide chlorhydrique avec dégagement de dihydrogène et de chaleur, selon :



- Par chauffage modéré, éliminons l'excès d'acide, évaporons l'eau et récupérons le sel :



 Ferrate

Ce procédé vise la synthèse de ferrates stables à l'état solide. Les ferrates sont de superoxydants et de puissants décontaminant dans le domaine notamment de traitement des eaux. En tant qu'oxydant, l'union ferrate possède un potentiel d'oxydation ($E^\circ \text{FeO}_4^{2-}/\text{Fe}^{3+} = 2,2 \text{ V}$) plus élevé que celui de l'ozone ($E^\circ \text{O}_3/\text{O}_2 = 2,07 \text{ V}$), du peroxyde d'hydrogène, ($E^\circ \text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O} = 1,7 \text{ V}$), du permanganate ($E^\circ \text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+} = 1,50 \text{ V}$), et du chlore ($E^\circ \text{Cl}_2/\text{Cl}^- = 1,36 \text{ V}$).

Le procédé de fabrication consiste à faire réagir (à température ambiante) un sel de fer, un hydroxyde de métal alcalin ou alcalino-terreux et du chlore gazeux dans un réacteur rotatif, dans des conditions stœchiométriques et par voie solide/sèche.

Le procédé vise également la stabilisation des dits ferrates, par substitution partielle du fer à haut degré d'oxydation par un cation stable, menant ainsi à l'obtention de ferrates mixtes.



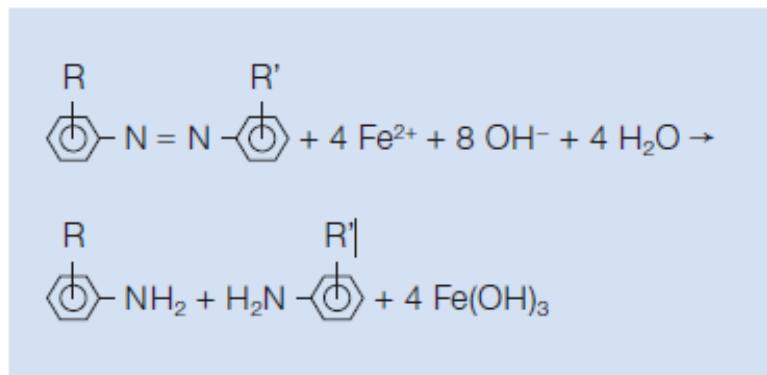
La préparation et la production à grande échelle de granulés de ferrates est rendue possible par un procédé simple d'enrobage de particules solides de taille millimétrique d'un hydroxyde de métal alcalin ou alcalinoterreux, par des particules solides de taille micrométrique d'un ou plusieurs sels ou oxydes de fer (Fe(II)et/ou Fe(III)) et suivi par leur conversion en Fe(VI) dans un réacteur à lit fluide dans un gaz de fluidisation contenant du chlore.(Pascal ROCKLIN)

Pour les effluents de teinturerie textile, les sels de fer sont utilisés à pH voisin de 11 et donne des résultats importants

I-5-2 Précipitation et floculation réductrices (cas particulier du sel ferreux pour le traitement des effluents de teinturerie) [15]

Le procédé de décoloration réductrice des eaux usées a été mis au point par Kolb et Funke dès 1984. Plusieurs installations expérimentales étaient en service à la fin des années quatre-vingts et de nombreuses publications sont parues entre temps, le procédé a fait ses preuves de manière pratique auprès de beaucoup d'utilisateurs.

La fission réductrice de la molécule de colorants (colorant azoïque) est provoquée par des ions ferreux dans le domaine alcalin.



Source : [16]

I-6-Généralité sur la chaux et polymère

I-6-1-La chaux [17]

En termes de quantités, la chaux se classe en tête parmi les produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau potable et de l'eau destinée aux industries. La chaux est utilisée par plusieurs municipalités pour améliorer la qualité de l'eau, spécialement pour adoucir l'eau et éliminer



l'arsenic. En fait, l'American Water Works Association a émis des normes qui prévoient l'utilisation de la chaux dans le traitement de l'eau potable.

Rôles de la chaux dans le traitement des eaux usées

- ☞ **Ajustement du pH/coagulation :** La chaux éteinte est couramment utilisée pour ajuster le pH de l'eau en vue d'un traitement subséquent. La chaux est également utilisée pour combattre les « eaux rouges » en neutralisant l'eau acide, réduisant ainsi la corrosion des tuyaux et des conduits par les eaux acides. Les eaux corrosives contiennent des quantités excessives de dioxyde de carbone. La chaux a pour effet de précipiter le CO₂ pour former du carbonate de calcium, qui fournit un enduit protecteur à l'intérieur des canalisations d'eau.
La chaux est utilisée de concert avec l'alun ou les sels de fer pour coaguler les solides en suspension afin d'éliminer la turbidité de l'eau. Elle sert à maintenir un pH adéquat pour fournir des conditions favorisant la coagulation. Dans certaines usines de traitement des eaux, les boues d'alun sont traitées avec de la chaux pour faciliter l'épaisseur des boues sur les filtres sous pression.
- ☞ **Effet sur la croissance des organismes pathogènes :** En augmentant le pH de l'eau à 10.5-11 grâce à l'ajout de chaux et en conservant l'eau en contact avec la chaux pendant 24 à 72 heures, la chaux contrôle l'environnement nécessaire à la croissance des bactéries et de certains virus. Cette application de la chaux est utilisée là où l'on retrouve de « l'eau phénolique », car le traitement au chlore a tendance à produire une alcalinité excessive, élimine également la plupart des métaux lourds.
- ☞ **Elimination des impuretés :** Une des méthodes les plus courantes pour éliminer la silice de l'eau consiste à utiliser la chaux dolomitique. La composante active dans l'élimination de la silice est l'élément de magnésium de cette chaux. On utilise aussi la chaux pour éliminer le manganèse, le fluorure, les tannins organiques et le fer des approvisionnements en eau

I-6-2-Le polymère [18]

- a) Les polyélectrolytes anioniques.

Ils appartiennent à la série AN et se présentent sous forme de poudre:AN905, AN910, AN923, AN934, AN945, AN956, AN34SH.



Le floculant le plus anionique étant affecté du numéro le plus élevé AN34'S H est un floculant fortement anionique.

A la dose de 0,0 5% de floculant, les teneurs en M.E.S. des surnageants se situent entre 185 et 250mg/1, ce qui représente un abattement de 80 à 85% des M.E.S., sauf pour l'anionique le plus faible AN9 05, qui ne présente qu'un abattement de 65%.

La décantation est rapide et les flocons nettement plus gros que tous ceux obtenus jusqu'à présent ont une taille qui est de l'ordre de quelques millimètres.

b) Les polyélectrolytes cationiques

Deux séries de floculants peuvent servir:

- ✚ la série FO qui se présente en poudre:FO107C, FO9125, FO9190, FO290, FO9350, FO9650. Le floculant est d'autant plus cationique que son numéro est élevé.
- ✚ La série EM est une série de floculant en solution très concentrée et de concentration variable selon la solubilité de chaque produit : EM170, EM175, EM270, EM370, EM470, EM979, EM1175.

I-7-Traitement des eaux : Cas des industries textiles en général [14]

Suivant le rendement d'épuration imposé par les caractéristiques des effluents, il peut faire appel à des traitements physico-chimiques ou biologiques, ou à une combinaison des deux systèmes. La chaîne de traitement comprend les stades décrits ci-après :

I-7-1-Pré traitements [13]

✚ Dégrillage – tamisage

La présence de duvet et de bourre de coton impose, à l'aval du dégrillage habituel, la mise en place d'un tamisage fin. Un déshuillage, en cas de présence de fortes quantités de white spirit, peut être nécessaire.

✚ Homogénéisation

Il est impératif de prévoir une capacité tampon dont le volume doit correspondre à 6 à 12 heures de temps de séjour pour le débit moyen traité, permettant d'étaler sur 24 heures le traitement de rejets généralement produits sur 16 heures (au besoin).



 Neutralisation

Après homogénéisation, le pH des effluents reste généralement alcalin, compris entre 9 et 10. Aussi convient-il de procéder à leur neutralisation ? Celle-ci est effectuée soit par l'acide sulfurique, soit au moyen de gaz de fumée disponible.

I-7-2-Traitements

 Traitement physico-chimique :

Ce traitement ne trouve son intérêt que si l'effluent brut contient une grande quantité de MES, des substances toxiques ou s'il exige un haut rendement de décoloration. Il peut comprendre l'une ou les étapes suivantes :

- Floculation par dosage, dans un réacteur lentement agité, de sels de fer ou d'aluminium, puis ajout d'un polymère organique destiné à améliorer le rendement de la décantation ;
- Clarification par décantation ou flottation.

 Traitements biologiques :

Selon la charge polluante et le rendement d'épuration souhaité, plusieurs schémas sont possibles : lit bactérien suivi ou non d'un décanteur, boues activées,...

 Traitements tertiaires

Ils trouvent leur utilité pour l'élimination de la DCO non biodégradable et en particulier, pour la décoloration.

Ces traitements spécifiques peuvent être : une précipitation chimique, une oxydation (les produits les plus utilisés sont : le chlore, l'hypochlorite de calcium et l'ozone), une adsorption sur charbon actif ou sur d'autres adsorbants (comme la latérite activée).

Il est toujours préférable d'effectuer un essai de traitabilité pour choisir et dimensionner le procédé le plus approprié.

 Boues :

Les boues produites sont épaissies puis déshydratées. Parfois, elles peuvent aussi faire l'objet de traitements particuliers : production de biogaz, ...



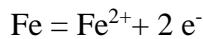
Electrocoagulation(14)

A l'anode :

On a l'oxydation et le métal va passer de l'état solide à l'état ionique selon la réaction :



La dissolution du fer se fait à travers la réaction suivante:



Les ions ferreux précipitent sous forme de $Fe(OH)_2$ à un pH supérieur à 6. Cependant, les ions ferreux sont instables dans un environnement contenant de l'oxygène comme en présence d'oxygène dissout dans l'eau (Irdemez et al. 2006).



Les ions ferriques à des niveaux variés d'hydratation forment dans l'effluent les hydroxydes ferriques qui sont responsables des flocs bruns qui précipitent. Même s'il est souvent ressorti que les hydroxydes ferriques favorisent le traitement.

Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH du milieu.

Dans le sel de fer, on a les complexes tels que $FeOH^{2+}$, $Fe(OH)^{2+}$, $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)^{4-}$ et $FeO(OH)$, $Fe_2(OH)_2^{4+}$, $Fe_2(OH)_4^{2+}$ (Gomes et al. 2007).

Les complexes s'adsorbent sur les particules et annulent aussi leurs charges colloïdales, ce qui conduit à déstabiliser l'émulsion. Cela se passe de cette manière dans le cas de la coagulation chimique. Notons les différences au niveau de la source de coagulant chimique et électrochimique, et au niveau de la présence du champ électrique dans le cas de l'électrocoagulation qui facilite la migration des espèces.

Dans le cas des électrodes en fer, l'oxydation de l'eau à l'anode par la formation d'oxygène contribue à oxyder les ions ferreux en ferriques pour rendre efficace la flottation (Drogu et al. 2007).



CHAPITRE II: PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

II-1 Brève historique

Nous avons effectué ce travail au sein de la société ERATECH.

La société ERATECH, Etude Réalisation et Appui en Technologie est une Sarl dont la raison sociale est résumée par son nom c'est à dire Etude, Réalisation et Appui dans le domaine de la Technologie en général.

Elle emploie une quinzaine de personnes en permanence, et fait appel à des consultants spécialisés en cas de besoin.

Pour le cas particulier de l'industrie de teinturerie textile T1 située à Ankorondrano, ERATECH s'est chargée en 2001 de l'étude et de l'implantation de l'unité de traitement des eaux usées jusqu'à l'essai de mise en marche. Ensuite, le suivi de l'unité de traitement lui a été confié; et elle est même devenue le représentant de cette entreprise en matière d'environnement.

Quant à l'industrie, son activité principale est la teinturerie textile, accompagnée de lavage.

Avant la création de l'usine, le promoteur a effectué les démarches nécessaires dans le cadre de l'application du décret MECIE (Mise En Compatibilité des Investissements avec l'Environnement) pour les projets d'investissement assujettis à l'Etude d'Impact Environnemental. Dans le cadre de ces démarches, la construction de l'unité de traitement d'eaux usées a été entreprise en même temps que la construction de l'usine elle-même. Ces constructions ont débuté en 2001. Le cahier de Charges Environnemental a été signé en septembre 2001 et le permis environnemental lui a été délivré en janvier 2002, sous réserve du respect du Cahier de Charges Environnemental. (Source : enquête auprès des responsables de l'entreprise ERATECH).

Cette station de traitement n'a pas cessé de fonctionner depuis 2002 même pendant les périodes de crise.



II-2-Description de l'unité de traitement d'eaux usées industrielles textiles sis à Ankorondrano

L'unité de traitement des eaux usées était conçue pour traiter 50 m^3 d'eau par heure au début, mais actuellement elle peut traiter jusqu'à 100 m^3 par heure.

Elle comprend :

- ✚ Un bassin tampon de 350 m^3 ;
- ✚ Des pompes telles que :
 - Pompe N°1 de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ de débit,
 - Pompe N°2 de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ de débit ;
- ✚ Deux mélangeurs ;
- ✚ Un décanteur de 160m^3 entouré d'un caniveau ;
- ✚ Un flottateur de 80 m^3 ;
- ✚ Une filtre de $12 \times 20 \text{ m}^3$;
- ✚ Fosse à boue de 10 m^3 chacune.

II-3-Matières premières utilisées par l'industrie pour la teinturerie :

Selon les agents sur site, les produits utilisés par l'usine sont :

- colorants azoïques
- colorants basiques
- colorants acides
- Ammoniac ;
- Sel marin ;
- Soude caustique ;
- Acide acétique ;
- Carbonate.

II-4-Choix de la méthode de traitement :

D'après la caractérisation, le traitement sera de type physico-chimique.

II-5-Choix des installations : type de traitement physico-chimique

Les opérations suivantes ont été retenues : Coagulation/flocculation, décantation, flottation, filtration.

II-6-Schéma

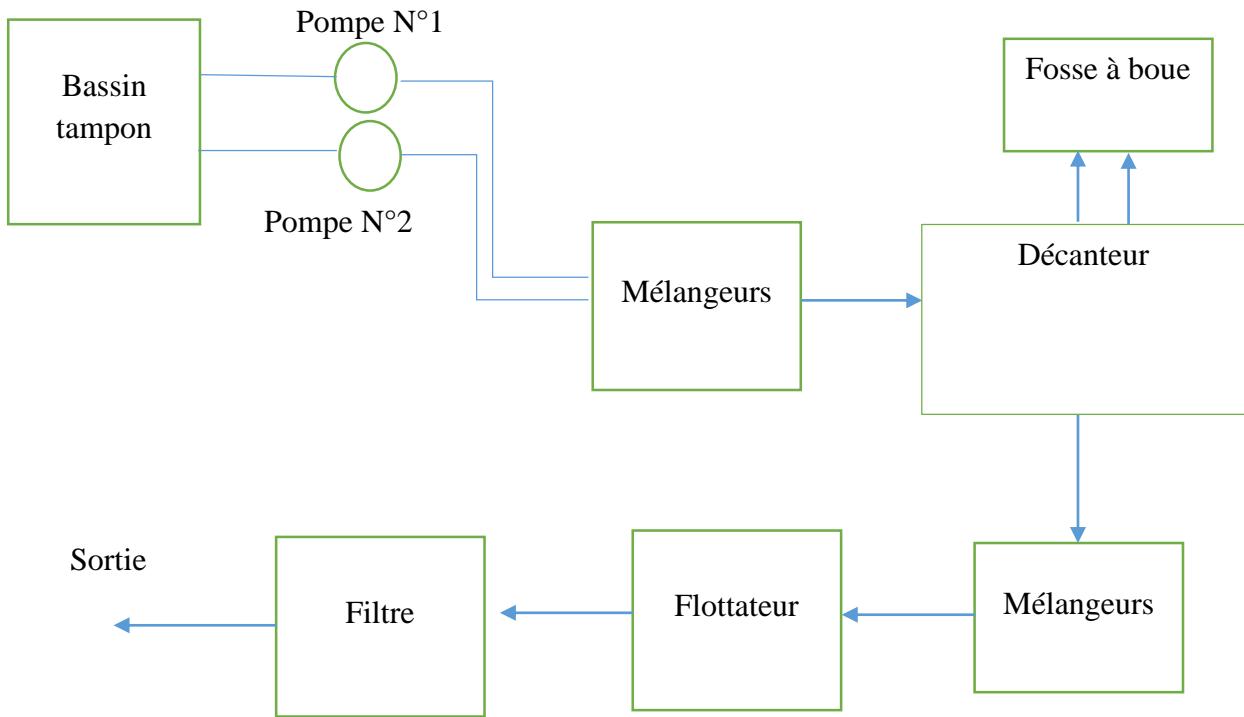


Figure 3 : Schéma de déroulement du traitement



Conclusion partielle

En se référant aux données bibliographiques que nous avons recueillies, la conception d'une telle unité oblige de connaître les différents types d'effluents. Les traitements physico-chimiques sont adaptés pour des eaux à caractère minéral dominant tandis que des traitements biologiques seront destinés aux effluents biodégradables.

Le traitement physico-chimique des effluents industriels se fait en général avec les sels d'alumine et de fer.

Pour le cas particulier des effluents d'industrie de teinturerie textile, des recherches récentes montrent que les sels ferreux à pH 11 donnent des résultats intéressants sur la décoloration.

Dans le cas de l'unité de traitement sis à Ankorondrano, les effluents de l'industrie effectuant de la teinturerie textile sont non biodégradables et le traitement est de type physico-chimique.

DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES



CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET MATERIELS UTILISES

III-1-Méthode

Cette partie sera consacrée à la méthodologie adoptée pour mener à bien l'investigation. Il s'agit des démarches que nous avons effectuées depuis la proposition du sujet à la présentation des résultats de l'étude. Les travaux de recherche ont été conduits selon une approche systématique.

La Société ERATECH nous a proposé d'effectuer l'étude de traitement des eaux usées sortant de l'industrie textile d'Ankorondrano avec des produits à base de sel de fer. La problématique posée a été étudiée pour le cas de cette Société.

Des **recherches bibliographiques** ont été menées ainsi que des recherches sur **Internet** complétées par les cours reçus au mention SIM, ces données nous ont permis d'une part d'effectuer la synthèse des connaissances sur le traitement des effluents.

Pour la partie pratique, la planification et la préparation ont consisté à effectuer l'inventaire et l'expertise des besoins en matériels, en outils de travail et en personnel après avoir reçu l'échantillonnage de l'eau usée à étudier. Les recherches ont été effectuées au laboratoire de Vontovorona puis de la JIRAMA Mandroseza suivant des protocoles définis pour chaque paramètre mesuré.

Des essais et expérimentations en laboratoire sont nécessaires pour simuler certaines réactions chimiques avant l'application à l'échelle pilote ou à grande échelle

Nous avons commencé par effectuer **des essais de traitement** de quelques échantillons d'eaux usées. Nous les avons traités avec des sels de fer, ferriques et ferreux. Pour le sel ferrique, nous avons utilisé le **chlorure ferrique** disponible au sein de la société ERATECH (sous forme liquide) et auprès de la JIRAMA (sous forme solide et liquide) et pour le sel ferreux, nous avons utilisé le **sulfate ferreux**, seul produit disponible trouvé à Vontovorona et utilisé aussi à la JIRAMA. Ces derniers ont été utilisés en tant que coagulants floculants. Des essais avec les produits déjà utilisés sur site ont été aussi effectués pour servir de témoin.

Afin de voir l'efficacité des produits, des analyses de quelques paramètres comme le pH, la DCO, la turbidité, le fer total, la conductivité, la salinité, la température,... ont été réalisées. Le choix des paramètres a été d'une part déterminé par l'importance de celui-ci et d'autre part, par la possibilité de les réaliser. En effet, nous avons été limités dans le temps.

Et nous avons travaillé avec les appareils disponibles dans les laboratoires.



III-2-Matériels

A Vontovorona, l'objectif est de voir l'efficacité des traitements avec chlorure ferrique et sulfate ferreux en addition de la chaux ou non, les appréciations ont été visuelles ; les eaux brutes utilisées étaient de 3 couleurs.

Les matériels utilisés au laboratoire de Vontovorona sont les suivants :

- Bécher ;
- Papier pH ;
- Balance de précision ;
- Mélangeur manuel.

Dans le laboratoire de JIRAMA, l'objectif est de vérifier l'efficacité de ces produits selon les essais de Vontovorona et de déterminer la meilleure condition de traitement.

Les matériels utilisés ont été :

- Jar-test ;
- Balance de précision ;
- pH-mètre ;
- Conductivimètre ;
- Spectrophotomètre ;
- Turbidimètre.

III-3-Méthodes d'analyses

L'objectif est de comparer les différences entre eaux brutes et eaux traitées pour savoir l'efficacité des produits.

Outre, des appréciations visuelles (couleur et MES), des paramètres ont été déterminé en utilisant des matériels selon les normes en vigueur.

III-2-1-Phénomènes organoleptiques

Les paramètres organoleptiques sont la couleur, la saveur, l'odeur et la turbidité de l'eau. Ce sont les qualités sensibles de l'eau.

- La couleur, après filtration, est due, le plus souvent, à la présence des matières organiques colorées dissoutes ou colloïdales (substances chimiques, métaux ou rejets industriels). Il n'y a pas de relation entre la couleur et la concentration en



matières organiques. Elle est mesurée par comparaison à une solution de référence.

- La croissance en micro-organismes et la présence de substance organochlorés peuvent provoquer une mauvaise saveur de l'eau.
- L'odeur est liée à la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz dans l'eau.
- La turbidité provient de la présence de matières en suspension telles que l'argile, le limon, les particules fibreuses, les particules organiques colloïdales, le plancton. En relation avec la mesure des matières en suspension, elle fournit une première indication sur les matières colloïdales d'origine minérale ou organique. La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre.

III-2-2-Paramètres physiques

Les paramètres physiques sont la température, la conductivité et le pH.

- La température de l'eau est un paramètre très important. Elle doit être mesurée. En effet, elle influe sur beaucoup de paramètres comme le pH, la conductivité, l'oxygène dissout, etc. Plus la température de l'eau est élevée, plus la quantité d'oxygène dissoute n'augmente. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.
- La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet alors de déterminer la quantité des sels minéraux dans l'eau. En outre, la conductivité permet d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

Rappelons que la conductivité est fonction de la température de l'eau. Les mesures doivent être effectuées à 20 °C ou à 25 °C. Un appareil conductimètre est utilisé pour la mesure de la température et de la conductivité.



Photo 2: Conductivimètre

Source : auteur

- ✚ Le pH ou potentiel hydrogène mesure la concentration en ion H⁺ présent dans l'eau. Il traduit ainsi la balance acide/base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre est mesuré par un pH-mètre.



Photo 3 :pH-mètre

Source : auteur

Pour que les résultats soient fiables, l'appareil doit être étalonné avant utilisation. Le pH-mètre doit être calibré à pH = 4, à pH = 7 ou à pH = 10. Pour la mesure de la conductivité, la calibration doit être effectuée à 1413 µS.

III-3-1-Balance de précision

Balance de précision model 214 C

MAX: 210 g; d: 0,1 mg

Temperature range +10°C / +40°C

Power requirements 12 V /1 A



Photo 4 : Balance de précision

Source : auteur

III-3-2-La DCO

La DCO ou demande chimique en oxygène d'une eau peut être définie comme la quantité d'oxygène requise pour l'oxydation des matières organiques au moyen d'un réactif chimique.

Pour déterminer la concentration en mg.L^{-1} de DCO, un volume de 10 mL d'échantillon, plus une pincé de HgSO_4 , plus 5mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ et 15mL d' Ag SO_4 est versé dans le ballon à réaction prêt à l'emploi. Le tube est agité puis placé dans un réacteur qui est préalablement chauffé à 150°C. Apres 2 heures, on le met dans un portoir pour le refroidir.

Pour vérifier la contamination, il faut procéder à la préparation d'un échantillon blanc. Pour cela, un volume de 2 mL d'eau distillée est versé dans un autre tube. Le mode opératoire est similaire à celui utilisé pour l'échantillon. La lecture se fait à l'aide d'un spectrophotomètre programmable DR 2800 pour donner la valeur de la concentration en mg.L^{-1} de DCO.



Photo 5 : Evaporateur rotatif

Source : auteur

III-3-3-La DBO5

La DBO5 ou demande biochimique en oxygène pendant cinq jours est l'un des paramètres spécifiques de l'eau. Elle mesure la quantité de matières organiques biodégradables contenues dans une eau. Cette quantité de matière organique est évaluée par l'intermédiaire de l'oxygène consommé par les micro-organismes impliqués dans les mécanismes d'épuration naturelle. Ce paramètre est exprimé en milligramme d'oxygène nécessaire pendant cinq jours pour dégrader les matières organiques biodégradables dans un litre d'eau.

La mesure du DBO5 se fait par méthode manométrique. Un volume V d'échantillon est versé dans un flacon (couleur brune) spécial pour la détermination de la DBO qui contient un barreau magnétique et quelques gouttes de thiosulfate de sodium 2 %. Un godet en caoutchouc est inséré dans le goulot du flacon et deux pastilles de soude sont mises pour piéger le dioxyde de carbone. La bouteille est fermée de façon à avoir une étanchéité totale. La mesure peut être commencée. La bouteille est mise par la suite dans un incubateur thermostatique pour maintenir la température à 20 °C pendant cinq jours. Après la période d'incubation, on procède à la lecture de la valeur enregistrée sur le petit écran du goulot. La valeur obtenue doit être multipliée par un facteur de dilution K pour avoir la masse d'oxygène consommé par les micro-organismes.



Photo 6 : Incubateur Thermostatique

Source : auteur

III-3-4-Spectrophotomètre

Fabriqué en France par SECOMAM PB106, 95334 Domont cedex, type S 750 I/70 ST 0191 N°1542 ;

Voltage : 110-250 V ;

Fréquence : 50/60 Hz ;

Puissance : 75 W.

Le spectrophotomètre est utilisé pour déterminer les paramètres chimiques comme : nitrate, nitrite, ammonium, sulfate, fer total, alumine, chlore libre, chrome6, chrome3.



Photo 7 : Spectrophotomètre

Source : auteur

III-3-5-Jar test

Buts:

- Les essais sont destinés à déterminer la nature et les doses de réactif (coagulant et adjuvant éventuels) à utiliser pour assurer la clarification d'une eau ;
- Les essais consistent à apprécier la qualité de la flocculation ainsi que la turbidité minimale après introduction de quantité croissante de coagulant en solutions de 6 bêchers de 1 litre.



Photo 8 : Jar-test

Source : auteur

III-3-6-Turbidité

L'objectif est de voir l'évolution de la turbidité avant et après, ce paramètre est mesuré par le turbidimètre



Photo 9: Turbidimètre

Source : auteur

Remarque :

Vers la fin des essais de produit, la détermination de pH a été arrêté au risque de détériorer le matériel du laboratoire à cause des pH trop élevés des eaux brutes.

III-3-7-Mélangeur électromagnétique

Le mélangeur électromagnétique est nécessaire pour homogénéiser la solution désirée.



Photo 10: Mélangeur électromagnétique

Source : auteur



CHAPITRE IV : LES RESULTATS

Dans ce chapitre nous allons voir successivement les différents résultats des essais de traitement au laboratoire de Vontovorona, ensuite les résultats des essais de traitement et d'analyses de paramètres physico-chimiques à la JIRAMA et enfin les résultats des enquêtes sur site.

IV-1-Les résultats des essais et analyses de paramètres physico-chimiques

IV-1-1 Résultats des essais de traitement au laboratoire de Vontovorona

Les premiers essais de traitement de ces eaux usées à Vontovorona ont été faits sans appareil « JAR-TEST », mais avec des bêchers et des agitateurs manuels en verre. L'objectif de ces essais a été de vérifier l'efficacité des produits à base de sel de fer et de trouver la quantité de sel de fer et de chaux à utiliser pour ce traitement.

Les premiers échantillons présentaient les caractéristiques suivantes :

EAU BRUTE UTILISEE :

Provenance : station de traitement à Ankorondrano

Couleur : bleue très foncée

Odeur : inodore

pH : 11



ESSAI N°1: Traitement au chlorure ferrique à l'état liquide (à Vontovorona)

Couleur de l'eau brute : bleue foncée ;

Quantité d'échantillon: 250 ml.

La concentration en chlorure ferrique n'est pas définie.

Tableau 5 : Essai de traitement au chlorure ferrique à l'état liquide

Chlorure ferrique ajouté	Changement de couleur de l'eau traitée	Floc formé
2 gouttes	Aucun changement	Petit floc de couleur vert sombre
4 gouttes	Aucun changement	Gros floc de couleur rouge brique
6 gouttes	Aucun changement	Gros floc de couleur rouille

Source : Auteur

Ce résultat nous montre qu'à partir d'une quantité de chlorure ferrique ajouté sans chaux, il n'y a pas de changement de couleur mais nous remarquons la formation des flocs.

Nous avons prélevé 130ml d'eau décantée de l'essai de traitement au chlorure ferrique à l'état liquide et ajouté une goutte de polymère .Ce mélange a provoqué un trouble au niveau de ce prélèvement.



ESSAI N°2 : Traitement au chlorure ferrique avec chaux (à Vontovorona)

Couleur de l'eau brute : bleue très foncée ;

Quantité d'échantillon: 500 ml.

Tableau 6 : Essais de traitement au chlorure ferrique avec chaux

Chaux ajoutée (g)	Chaux cumulée (g)	Chlorure ferrique cumulé(g)	Changement de couleur	Floc formé
4	4	0,45	Pas de changement de couleur	Formation de floc bleu
6	10	0,90	Bleu clair	petit floc vert
5	15	1,45	Bleu clair	
10	25	1,45	Violet	Petit floc bleu foncé
5	30	1,45	Violet clair	Petit floc bleu claire
5	35	1,45	Rose	Petit floc bleu
5	40	1,45	Rose	Petit floc bleu
5	45	1,45	Rose clair	Petit floc bleu
5	50	1,45	Rose très clair	Petit floc bleu
5	55	1,45	Rose très clair	Petit floc bleu

Source : Auteur

Lors de ces essais, nous avons pu remarquer que pour le traitement avec chlorure ferrique, les quantités de flocs augmentent à chaque fois que nous ajoutons de la chaux et il y a un changement de couleur, mais pas très prononcé. En outre, la durée de décantation est lente.



ESSAI N°3 : Traitement au sulfate ferreux (à Vontovorona)

Couleur de l'eau brute : bleue claire ;

pH : 10 ;

Quantité d'échantillon : 500 ml.

Tableau 7 : Essai de traitement au sulfate ferreux

Sulfate ferreux ajouté (g)	Changement de couleur de l'eau traitée	Floc formé
0,00	Bleu clair	aucun
0,16	Aucun changement	Petit floc marron clair
0,32	Vert clair	Gros floc marron foncé
0,48	Vert un peu foncé	Gros floc vert
0,64	Marron clair	Gros floc vert foncé

Source : Auteur

Pour cet essai, nous remarquons que pour le traitement au sulfate ferreux avec l'eau de couleur bleue claire, la formation de flocs est rapide et volumineux et il y a un changement de couleur progressif.



ESSAI N°4 : Traitement à la chaux avec sulfate ferreux (à Vontovorona)

Couleur de l'eau brute : bleue foncée ;

Quantité d'échantillon : 200 ml.

Tableau 8 : Essais de traitement à la chaux avec sulfate ferreux

Essais N°4	B1	B2	B3	B4	B5
Eau brute (ml)	200	200	200	200	200
Couleur de l'eau brute	Bleu foncé	Bleu foncé	Bleu foncé	Bleu foncé	Bleu foncé
Chaux ajoutée (g)	1	1	1	1	1
Sulfate ferreux (g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Aspect des flocs	Petit	Petit	Moyen	Moyen	Moyen
Couleur de l'eau	Aucun changement	Aucun	Marron	Marron	Marron clair

Source : Auteur

D'après ce résultat, la variation de couleur est définie à partir de 0.3 g de sulfate ferreux pour un pH de l'eau traitée compris entre 11 et 12 déterminé à partir d'un papier pH.



ESSAI N°5: Traitement au sulfate ferreux et chlorure ferrique (à Vontovorona)

Couleur de l'eau brute : rouge ;

Quantité d'échantillon : 250 ml.

Tableau 9 : Essai de traitement au sulfate ferreux et chlorure ferrique

Sulfate ferreux ajouté (g)	Chlorure ferrique ajouté	Changement de couleur de l'eau brute	Floc formé
0.15	4 gouttes	Violet	Petit floc
0.25	8gouttes	Violet	Gros floc vert
0.45	12 gouttes	Vert (surdose)	Gros floc vert foncé

Source : Auteur

La surdose des produits ajoutés montre qu'il y a une formation de gros floc. Mais aucun résultat n'est observé sur la décoloration de l'eau.



IV-1-2-Essais à la JIRAMA

ESSAI N°6 : Traitement à la chaux puis au sulfate ferreux à la JIRAMA

Couleur de l'eau brute : violette ;

Quantité d'échantillon : 1 litre ;

pH de l'eau brute : 8,52.

Ajoutons la chaux puis le sulfate ferreux.

Après avoir ajouté 0,5g de chaux, le pH devient 11,15.

Tableau 10 : Essai de traitement à la chaux puis au sulfate ferreux à la JIRAMA

Essais N°6	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Eau brute (litre)	1	1	1	1	1	1
Couleur eau brute	violet	violet	violet	violet	violet	violet
Chaux ajoutée (g)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Sulfate ferreux (g)	0,005	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075
pH avant jar test	11,15	11,15	11,15	11,15	11,15	11,15
pH après jar test	11,13	11,11	11,10	10,99	10,98	10,94
Aspect des flocs	Petit floc	Petit floc	Floc moyen	Gros floc	Gros floc	Gros floc
Couleur de l'eau traitée	Aucun changement	Marron foncé	Marron claire	Un peu clair	incolore	incolore

Source : Auteur

Gardons la même quantité de chaux en accroissant le sulfate ferreux à chaque essai. Les flocs, de couleur marron et rouge, deviennent nombreux au fur et à mesure que l'on augmente la quantité de sulfate ferreux.



ESSAI N°7 : Traitement au sulfate ferreux puis à la chaux à la JIRAMA

Couleur de l'eau brute : violette ;

Quantité d'échantillon : 1 litre.

Versons en premier lieu le sulfate ferreux, et en second lieu la chaux.

Tableau 11 : Essais de traitement au sulfate ferreux puis à la chaux

Essais N°7	B12	B13	B14	B15	B16	B17
Eau brute (litre)	1	1	1	1	1	1
Couleur de l'eau brute	Violet	Violet	Violet	Violet	Violet	Violet
Sulfate ferreux (g)	0,005	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075
Chaux ajoutée	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
pH avant jar test	8.50	8.49	8.47	8.41	7.96	7.94
pH après jar test	10.99	10.95	10.94	10.91	10.88	10.85
Couleur du floc	Marron	Marron	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Couleur de l'eau traitée	Aucun changement					

Source : Auteur

Quelle que soit la quantité de sulfate ferreux ajoutée dans l'eau, nous remarquons que l'eau n'a pas été clarifiée. La formation de floc est plus lente.



Essais N°8 : Traitement à la chaux et au sulfate ferreux à la JIRAMA

Couleur de l'eau brute : bleue foncée ;

Quantité d'échantillon : 900 ml ;

pH initial : 9.25.

Tableau 12 : Essais de traitement à la chaux et au sulfate ferreux à la JIRAMA

Essais N°8	B36	B37	B38
Eau brute	300	300	300
pH initial	9.25	9.25	9.25
Couleur de l'eau brute	Bleu foncé	Bleu foncé	Bleu foncé
Chaux ajoutée (g)	2	2	2
pH après ajout de chaux	11.04	11.04	11.04
Sulfate ferreux (mg)	200	250	300
Couleur du floc	Vert	Vert clair	Bleu
Couleur de l'eau traitée	Marron clair	incolore mais un peu translucide	incolore mais un peu translucide

Source : Auteur

L'augmentation de la dose de chlorure ferreux peu à peu appliquée au traitement entraîne progressivement la disparition de la couleur de l'eau brute.



ESSAI N°9: Traitement à la chaux et au sulfate ferreux à la JIRAMA

Couleur de l'eau brute : bleue claire ;

Quantité d'échantillon : 1 litre ;

pH initial : 8,16 ;

pH après ajout de chaux : 11,01.

Mettons 1,5 g de chaux dans chaque bêcher contenant l'eau brute. Et ajoutons après du sulfate ferreux de quantité croissante à l'ordre de 0,05.

Tableau 13 : Essai de traitement à la chaux et au sulfate ferreux à la JIRAMA

Essai N°9	B24	B25	B26	B27
Eau brute (L)	1	1	1	1
Couleur de l'eau brute	Bleu clair	Bleu clair	Bleu clair	Bleu clair
Chaux ajoutée (g)	1,5	1,5	1,5	1,5
pH initial	8,16	8,51	8,52	8,54
pH après l'ajout de chaux	11,03	11,01	11,01	11,01
Sulfate ferreux ajouté (g)	0,15	0,20	0,25	0,30
pH après jar test d'eau décantée	11,09	11,05	11,05	11,04
Couleur du floc	Marron	Vert	Vert	Vert clair
Couleur de l'eau traitée	Rose claire	Incolore	Incolore	incolore

Source : Auteur

Pendant cet essai nous pouvons dire qu'il y a une décoloration totale avec des flocs moyens de couleur verte.

Tableau 14 : Paramètres physiques déterminés après l'essai N°9

Essai N°9	B24	B25	B26	B27
Turbidité (NTU)	9,75	12,2	14,9	11,1
Salinité	4,3	4,2	4,2	4,2
Conductivité (mS /cm)	7,76	7,64	7,64	6,81
Température (°C)	24,06	24,8	24,7	24,8
pH	11,09	11,05	11,05	11,04

Source : Auteur

Ces données montrent que la turbidité la moins élevée est constatée pour l'eau qui n'est tout à fait incolore.



ESSAI N°10 : Traitement à la chaux + sulfate ferreux et à la soude normale + sulfate ferreux à la JIRAMA

Couleur de l'eau brute : violette (Ankorondrano) ;

Sulfate ferrique ajouté dans chaque bécher : 30 mg, 45 mg, 60 mg.

a) Chaux+ sulfate ferreux

Ajoutons 20 ml de solution de chaux 10g/l dans les 3 derniers bêchers contenant 300 ml d'eaux brutes chacun.

pH initial : 9,12 ;

pH après l'ajout de chaux : 11,02.

b) Soude normale +sulfate ferreux

Ajoutons 4,5 ml de solution de soude dans les 3 premiers bêchers contenant 300 ml d'eaux brutes chacun.

pH initial : 9,12 ;

pH après l'ajout : 11,08.

Tableau 15 : Essai de traitement à la chaux +sulfate ferreux et à la soude normale+ sulfate ferreux à la JIRAMA

Essais N°10	B18	B19	B20	B21	B22	B23
Eau brute (ml)	300	300	300	300	300	300
Couleur de l'eau brute	Violet	Violet	Violet	Violet	Violet	Violet
Solution de chaux ajoutée (ml)	20	20	20			
Soude ajoutée (ml)				4,5	4,5	4,5
pH initial de l'eau	9,12	9,12	9,12	9,12	9,12	9,12
pH après	11,02	11,02	11,02	11,8	11,8	11,8
Sulfate ferreux ajouté (mg)	30	45	60	30	45	60
pH après 22 mn de jar test	10,91	10,83	10,77	9,81	9,88	9,81
Couleur de l'eau traité	Incolore	Incolore	Incolore	Marron	Marron	Marron

Source : Auteur

Ce résultat montre que dans le cas d'utilisation **de la chaux pour éléver le pH, avant ajout de sulfate ferreux**, l'eau devient **incolore**. Tandis que **pour la soude**, la couleur de l'eau vire au **marron orangée**.

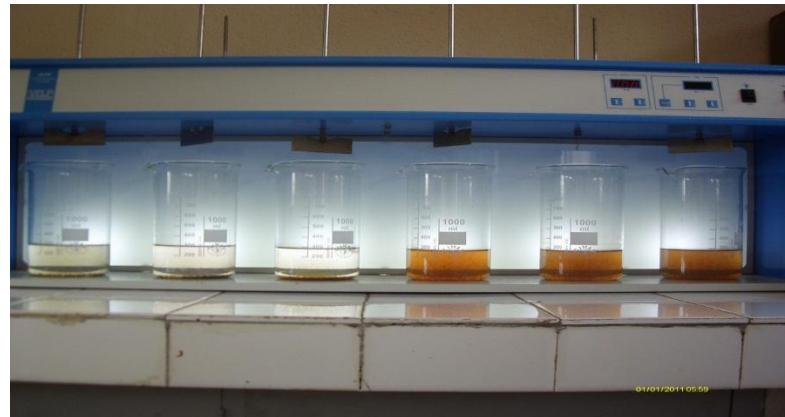


Photo 11 : Résultat de l'essai N°10- Comparaison entre chaux et soude

Source : auteur

ESSAI N°11 : Traitement à l'hypochlorite et au sulfate d'alumine à la JIRAMA**Couleur de l'eau brute :** bleue claire ;**Quantité d'échantillon :** 1 litre ;**pH initial :** 8,13 ;**pH après l'ajout de sulfate d'alumine :** 7,26.

Ajoutons d'abord 0,05 g de sulfate d'alumine. Après, on ajoute l'hypochlorite de l'ordre de 0,15 g.

Tableau 16 : Essai de traitement à l'hypochlorite et au sulfate d'alumine à la JIRAMA

Essai N°11	B28	B29	B30	B31
Eau brute (l)	1	1	1	1
Couleur de l'eau brute	Bleu clair	Bleu clair	Bleu clair	Bleu clair
pH initial	8,13	8,13	8,13	8,13
Sulfate d'alumine ajouté (g)	0,05	0,05	0,05	0,05
pH après l'ajout	7,31	7,27	7,29	7,28
Hypochlorite ajouté (g)	0,45	0,60	0,75	0,90
pH après jar test	7,85	7,84	7,81	7,84
Couleur de floc	Marron	Marron	Vert foncé	Vert foncé
Couleur de l'eau traitée	Marron clair	Marron clair	Incolore	Incolore

Source : Auteur



Photo 12 : Résultats de l'essai N°11 des bêchers 30 et 31

Source : auteur

Ce résultat montre que le traitement avec le sulfate d'alumine et l'hypochlorite donne de l'eau incolore et que la décoloration s'améliore avec l'augmentation de l'hypochlorite. La formation de flocs est un peu plus rapide par rapport aux autres essais mais la décoloration est progressive.

ESSAI N°12 : Traitement au polymère AN905 et au sulfate ferreux à la JIRAMA

Couleur de l'eau brute : bleue foncée ;

pH de l'eau brute : 9,25 ;

Quantité d'échantillon : 1 Litre.

Il faut préparer une solution de 1g/l de polymère.

Ajoutons une goutte de cette solution plus 0,1 g de sulfate ferreux dans les deux premiers bêchers, et une goutte plus 0,2 g de sulfate ferreux dans le reste.

Tableau 17 : Essai de traitement au polymère AN905 et au sulfate ferreux à la JIRAMA

Essai N°12	B32	B33	B34	B35
Eau traitée (l)	1	1	1	1
Couleur de l'eau brute	Bleu foncé	Bleu foncé	Bleu foncé	Bleu foncé
Sulfate ferreux ajouté (g)	0,2	0,2	0,1	0,1
Polymère ajouté (goutte)	1	1	1	1
Floc formé	Floc verdâtre	Floc verdâtre	rougeâtre	Rougeâtre
Couleur de l'eau traitée	Marron	Marron	Grenat	Grenat

Source : Auteur

Il se forme beaucoup de flocs après ajout de polymère même sans ajout de chaux et la décantation est plus lente. L'addition de sulfate ferreux entraîne la décoloration et une différence de couleur est observée quand la dose est augmentée.



Photo 13 : Résultat de l'essai N°12

Source : auteur



Après l'essai réalisé nous avons pris l'eau du bécher B33 pour voir les paramètres physico-chimiques suivants :

Tableau 18 : Paramètres physiques des eaux du bécher N°33

Essai N°12	B33
Conductivité	7.38
Salinité	4.5
pH	9.31
Température	22.8
Minéralisation	0.83

Source : Auteur

Ces résultats nous donnent les valeurs de quelques paramètres que nous avons pu analyser. Ils nous montrent aussi que le pH de l'eau a légèrement augmenté.



IV-2-Résultats des enquêtes

Les enquêtes au niveau de la station de traitement ont donné les résultats ci- après.

Tableau 19 : Relevé des données sur site en 2004

Date	Heure	Durée	Couleur à l'entrée	pH	pH sortie	Couleur sortie	Eau (m ³)	Quantité (eau/jour)
03/03/2004	05:25	01:00	violet foncé	10	6	incolore	60	
	06:25:00	01:00	violet foncé	10	6	incolore	60	
	07:25:00	01:00	violet foncé	9,5	6	incolore	60	
	08:25:00	01:00	violet foncé	9,5	6	incolore	60	
	09:25:00	01:00	violet foncé	9,5	6	incolore	60	
	10:25:00	01:00	violet foncé	9,5	6	incolore	60	
	11:25:00	01:00	violet	9,5	6	incolore	60	
	12:25:00	01:00	violet	9,5	6	incolore	60	
	13:25:00	01:00	rouge	9	6	incolore	60	
	14:25:00	00:35	rouge	9	6	incolore	35	
	15:00:00	01:05	rouge foncé	9,5	6	incolore	65	
	16:05:00	01:00	rouge foncé	9,5	6	incolore	60	
	17:05:00	00:55	rouge foncé	9,5	6	incolore	55	
	18:00:00	00:30	rouge foncé	9,5	6	incolore	30	785
04/03/2004	05:10:00	01:00	rouge clair	9	6	incolore	60	
	06:10:00	01:00	rouge clair	9	6	incolore	60	
	07:10:00	01:00	rouge clair	8	6	incolore	60	
	08:10:00	01:00	rouge clair	8	6	incolore	60	
	09:10:00	01:00	rose	7,5	6	incolore	60	
	10:10:00	01:00	rose	7,5	6	incolore	60	
	11:10:00	01:00	bleu clair	8	6	incolore	60	
	12:10:00	01:00	rose	8	6	incolore	60	
	13:10:00	01:00	rouge	11,5	6	incolore	60	
	14:10:00	01:35	rouge	11,5	6	incolore	95	
	15:45:00	01:00	bleu foncé	12	6	incolore	60	
	16:45:00	00:45	bleu foncé	12	6	incolore	45	
	17:30:00	00:30	bleu foncé	12	6	incolore	30	770



Date	Heure	Durée	Couleur à l'entrée	pH	pH sortie	Couleur sortie	Eau (m3)	Quantité (eau/jour)
05/03/2004	04:55:00	01:15	bleu foncé	11	6	incolore	75	
	06:10:00	01:00	bleu	11	6	incolore	60	
	07:10:00	01:00	bleu foncé	11,5	6	incolore	60	
	08:10:00	01:00	bleu	9,5	6	incolore	60	
	09:10:00	01:45	bleu	11	6	incolore	105	
	10:55:00	01:00	bleu	11	6	incolore	60	
	11:55:00	01:00	bleu	9,5	6	incolore	60	
	12:55:00	01:00	bleu	9,5	6	incolore	60	
	13:55:00	01:00	bleu	8,5	6	incolore	60	
	14:55:00	01:00	bleu	8,5	6	incolore	60	
	15:55:00	01:00	bleu foncé	11	6	incolore	60	
	16:55:00	00:20	bleu foncé	10,5	6	incolore	20	
	17:15:00	00:30	bleu foncé	9,5	6	incolore	30	
	17:45:00	00:30	bleu foncé	9,5	6	incolore	30	800

Source : Société ERATECH



Date : Le 30/01/15

En cette date de notre descente, les produits utilisés sur site pour le traitement des effluents sont :

- Sulfate d'alumine comme coagulant floculant ;
- Acide sulfurique pour la neutralisation ;
- Hypochlorite de calcium comme oxydant.

Consommation journalière des produits :

- Acide sulfurique : 55 kg
- Sulfate d'alumine : 06 kg
- Hypochlorite : 22,5 kg

Eau traitée : bleue

Tableau 20 : Données relevées sur le site à Ankorondrano le 30/01/15

Heures	Tampon		Pompe utilisé		Filtre	
	Couleur	pH	Pompe n°1	Pompe n°2	Couleur	pH
7h05	Bleu	11	P1	P2	Incolore	7
8h05	Bleu	11	P1	P2	Incolore	7
9h05	Bleu	11	P1	P2	Incolore	7
10h05	Bleu	11	P1		Incolore	7
11h05	Bleu	11	P1		Incolore	7
13h05	Bleu	11	P1		Incolore	7
14h05	Bleu	11	P1		Incolore	7
15h05	Violet	11	P1		Incolore	7
16h05	Grenat	11	P1		Incolore	7
17h05	Grenat	11	P1		Incolore	7
18h05	Grenat	11	P1		Incolore	7

Source : Auteur



Date : Le 12 /02/15

- Acide sulfurique : 55 kg
- Sulfate d'alumine : reste + 06 kg
- Hypochlorite : reste + 22.5 kg

Tableau 21 : Données sur site à Ankorondrano le 12/02/15

Heures	Tampon		Pompe utilisé		Finale	
	Couleur	pH	Pompe n°1	Pompe n°2	Couleur	pH
7h55	Bleu clair	10.59	P1	P2	Incolore	6.81
8h55	Bleu clair	10.59		P2	Incolore	6.78
9h55	Bleu clair	10.59		P2	Incolore	6.90
10h55	Gris	11.01		P2	Incolore	7.
11h55	Gris	11.06		P2	Incolore	7.
13h55	Gris	11		P2	Incolore	7
14h55	Gris	11.02		P2	Incolore	7
15h55	Gris	11		P2	Incolore	7
16h55	Bleu	11		P2	Incolore	7
17h55	Bleu	11		P2	Incolore	7

Source : Auteur



Date : 13/02/15

- Acide sulfurique : 55 kg
- Sulfate d'alumine : reste+ 06 kg
- Hypochlorite : reste+22.5 kg

Tableau 22 : Données sur site à Ankorondrano le 13/02/15

Heures	Tampon		Finale	
	Couleur	pH	Couleur	pH
8h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
9h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
10h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
11h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
13h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
14h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
15h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
16h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
17h05	Bleu foncé	11	Incolore	7
18h05	Bleu foncé	11	Incolore	7

Source : Auteur

Ces résultats représentent des valeurs des paramètres relevés sur site pendant quelques jours en 2004 et en ce 2015.

Les valeurs de pH sur site sont quelques fois relevées par un pH-mètre électronique donnant alors des résultats précis. Mais à cause de la difficulté et des risques de manipulation de ces appareils, la plupart du temps, les pH sont déterminés avec des papiers pH, donc avec des valeurs arrondies.

Ces données montrent que la couleur peut changer en quelques heures et que différentes couleurs sont traitées par la station. Les pH sont généralement basiques variant de 7 à 13. Les eaux de pH 7 et 7,5 sont de couleur rose donc pas très foncées. Les eaux de même couleur peuvent avoir des pH tout à fait différents. Les eaux traitées sont toutes incolores et de pH 6 en 2004 et 7 en 2015.



CHAPITRE V : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Les essais montrent que les traitements avec les sels de fer, ferrique ou ferreux peuvent provoquer des changements de couleur sous certaines conditions.

La couleur bleue claire réagit plus rapidement au traitement que l'eau de couleur bleue foncée. Les traitements à effectuer dépendent donc de chaque eau et ne peut pas être standardisé.

Les essais de Vontovorona ont montré que le traitement avec le sulfate ferreux est plus efficace que celui avec le chlorure ferrique que ce soit en présence de chaux ou non. Ceci est montré par la grandeur de son floc et le virage de couleur lors de la flocculation. La combinaison de ce coagulant/floculant avec la chaux facilite la décoloration vers le pH 11.

La comparaison de ces deux sels de fer nous montre que l'eau traitée par le chlorure ferrique présente un micro floc qui flotte. Par contre, le traitement par le sulfate ferreux entraîne la décantation totale des flocs obtenus.

Nous avons aussi aperçu que la vitesse de formation de floc est différente. D'une part, le floc se forme très vite et nous observons le virage de couleur à chaque augmentation de la quantité de sulfate ferreux. D'autre part, pour le chlorure ferrique, le floc se forme mais le résultat de la décoloration n'est pas évident.

Pendant l'essai, nous avons constaté que la chaux joue un rôle important puisque avec la soude normale même à pH 11 l'eau n'est pas décolorée.

Le traitement de l'eau brute par le sulfate ferreux nous montre que lorsque les eaux traitées sont incolores, la couleur des flocs est généralement verte. Nous avons pu constater que les flocs de couleur verte obtenus après surdosage de sulfate ferreux, ont encore le pouvoir de décolorer d'autres eaux brutes, jusqu'à un certain niveau où la couleur des flocs devient marron puis rouge brique. Ceci nous laisse penser qu'une partie du sel ferreux reste dans les flocs et que quand ses effets sont estompés, il ne reste plus que les sels ferriques de couleur rouge brique.

Dans la pratique, ceci peut présenter l'avantage de pouvoir réutiliser les flocs pour réduire la quantité de sulfate ferreux utilisée. Il y aura alors économie de produit. Ceci reste toutefois à confirmer par des recherches plus poussées et plus précises avec si possible, des essais sur site.



Les résultats nous montrent en outre que pour un pH voisin de 11, l'augmentation de la quantité de sulfate ferreux rend les flocs plus grands et améliore la décoloration. Ceci peut s'expliquer du fait que la quantité de colorants entrant dans la réaction de précipitation réductrice augmente comme il est dit dans la littérature.

Nous remarquons que le dosage de chaux utilisé pour élever le pH de chaque type d'eau autour de 11 varie d'une eau à une autre, c'est pour cette raison que nous n'avons pas obtenu une valeur optimale précise pour les traitements.

D'après l'étude que nous avons effectuée, il est mieux d'ajouter la chaux en premier pour rectifier le pH avant d'ajouter le sulfate ferreux pour avoir un bon résultat. En effet, pendant les essais, nous avons essayé d'inverser ce mode de traitement, mais les résultats montrent que les traitements sans ajout de chaux avec de l'eau brute à pH autour de 8 à 9, ne donnent pas de décoloration, même si le sulfate ferreux augmente.

Les quantités dosées de sel ferreux et de chaux nécessaire à la décoloration dépendent du degré de pollution des eaux usées, des procédés techniques mis en œuvre et de l'effet de la décoloration désiré. En général, dans nos essais, la quantité ajoutée est de l'ordre de 0,15mg jusqu'à 0,75 g de sulfate ferreux et 0,5 g jusqu'à 3,5 g de chaux pour 1 litre d'eau brute.

Les résultats du laboratoire de Vontovorona ont montré qu'il est possible de traiter ces eaux avec des sels ferreux, sans utilisation d'hypochlorite de calcium, mais avec de la chaux.

Ces résultats ont été confirmés en une partie par les essais au laboratoire de la JIRAMA. Les analyses des paramètres physico-chimiques ne donnent pas assez de résultats interprétables puisque les paramètres qui ont pu être déterminés ne sont pas les plus importants, à savoir, la DCO et les métaux lourds comme le chrome. Pour la DCO, les analyses étaient possibles à la JIRAMA mais leur nombre était limité.

Outre l'insuffisance de temps, nous avons eu des problèmes pour la manipulation des matériels au labo de la JIRAMA à cause de la trop forte basicité des eaux qui a provoqué une défaillance matérielle. Nous n'avons pas pu achever de mesurer tous les paramètres et les pH de certains essais.

L'analyse de l'eau brute nous montre une présence de fer. Mais dans l'eau décantée limpide après traitement au sulfate ferreux et à la chaux, il n'y a plus de fer. Ces résultats sont



obtenus à partir du comparateur hydrocure On peut donc dire que dans les conditions de traitement, tous les fers présents dans l'eau ont réagi et ont été éliminés avec les flocs.

Le traitement avec le polymère AN905 et le sulfate ferreux entraîne une formation des gros flocs avec une vitesse de réaction rapide et la couleur de l'eau brute varie selon la dose du sulfate ferreux utilisé. Des essais avec ces polymères ont dû être entrepris mais les eaux en notre disposition ont manqué et la période pour les essais touchait à sa fin. C'est donc une ouverture à d'autres recherches plus approfondies.

A cause du manque de produit pour évaluer la DCO des eaux brutes et traitées à Vontororona, nous nous sommes rendus au laboratoire de la JIRAMA. Toutefois, nous n'avons pu réaliser que quelques analyses. Nous avons donc constaté d'après ces expérimentations qu'il y a une diminution importante de la DCO de l'eau brute par rapport à l'eau traitée après traitement au sulfate de fer et à la chaux, mais la valeur de cette diminution n'est pas encore dans les normes.

Des essais pour la correction de pH après traitement des eaux clarifiées auraient dû être effectués, mais faute de temps, nous nous sommes limités aux résultats après coagulation-flocculation.

Ces différents essais montrent qu'il est envisageable de remplacer l'utilisation de l'hypochlorite de calcium dans le traitement de ces eaux usées de teinturerie textile, mais des recherches plus approfondies devraient toutefois être entreprises avec des matériels plus performants et des essais avec toutes les gammes de couleur.

Les valeurs sont les suivantes :

- DCO de l'eau brute : 750,3
- DCO de l'eau traitée : 557,32

Si éventuellement les recherches effectuées montrent l'efficacité de ce produit, il faudrait adapter le système de traitements avec les infrastructures déjà mise en place. Ceci ne semble pas poser de problèmes puisque les infrastructures existantes peuvent s'adapter à ce type de traitement.

Trouver du sulfate ferreux sur le marché, même pour des essais au laboratoire nous a posé des problèmes; le peu de produits trouvés à la JIRAMA a donc été utilisé de façon à



économiser les produits. Pour avoir des quantités utilisables sur le site pour les essais, il est nécessaire de négocier avec les fournisseurs de produits.



Conclusion partielle

Les résultats des essais avec le sel de fer disponible au sein de la société ERATECH et au JIRAMA combiné avec d'autres produits comme la chaux, les acides, la soude, les polymères nous montrent que :

Le sel ferrique n'est pas efficace suffisamment efficace pour décolorer les effluents de teinturerie textile, dans les conditions de nos essais. Par contre, le sulfate ferreux est capable d'éliminer la couleur de ces eaux à certaine quantité et sous certaines conditions, notamment en présence de chaux et à pH autour de 11

Le choix de la chaux au lieu de la soude pour éléver le pH a une importance capitale.

Ces essais ont toutefois été effectués dans des conditions assez difficiles. Nous pensons que des recherches plus approfondies dans de meilleures conditions, donneront des résultats plus précis.



CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est de vérifier, par des essais pratiqués dans les laboratoires, que le sulfate ferreux peut être utilisé dans la décoloration lors du traitement des eaux usées issues des usines de teinturerie textile.

L'application du chlorure ferrique dans les conditions de l'expérience ne donne pas de résultats satisfaisant, mais utilisé avec la chaux, il y a quand même changement de couleur. La formation de flocs et leurs décantations réclament beaucoup de temps.

Le sulfate ferreux additionné de la chaux pourrait remplacer les produits utilisés sur le site par la société ERATECH tels que le sulfate d'alumine, l'hypochlorite et l'acide sulfurique, mais des essais plus approfondis devraient être effectués afin de trouver la condition optimum. Nous pouvons dire que l'emploi de ce produit serait bénéfique si la méthode de traitement est efficace et pourrait être rentable. Le prix est à déterminer puisque trouver le produit sur le marché local pose encore des problèmes. Le but de la recherche est atteint ce qui concerne la décoloration.

Ayant analysé les résultats des essais, le chlorure ferrique n'expose pas assez de points positifs par rapport au sulfate ferreux.

Les produits nécessaires pour le traitement des eaux usées sont coûteux surtout l'hypochlorite. L'utilisation d'un nouveau produit comme le sulfate ferreux est donc souhaitable, cela contribuerait en outre à améliorer la protection de l'environnement.

Nous dirons que ce travail mérite d'être approfondi et que l'importance du sujet tant pour le domaine du traitement des eaux en général que pour les industries de teinturerie en particulier est telle que trouver des moyens pour le réaliser serait un investissement rentable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] RANDRIANANTOANINA Misa Andriantsoa « *processus d'analyses et tests d'efficacités de traitements des eaux* » mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de licence professionnelle en technique de l'eau
- [2] Société DEGREMONT. – *Mémento technique de l'eau*. Edition du cinquantenaire, 9^{ème} édition Tome 1 et 2 (1989).
- [3] KOLLER .E – *Aide-mémoire, Génie chimique, l'usine nouvelle*. DUNOD (2001)
- [4] C. GOMELLA et H. GUERREE – « *Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales* »: 2 - *le traitement*. 2^{ème} édition mise à jour, Edition EYROLLES, 61 boulevard Saint-Germain – 75005 Paris (1983).
- [5] RODIER.J – « *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* ». Dunod, 7^{ème} édition.
- [6] Pagga, U., Brown, D., « *The degradation of dyestuffs part II: behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests* », Chemosphere, V.15, n°4, (1986), 479-491.
- [7] CAPON, M., COURILLEU, V., VALETTE, C., « *Chimie des couleurs et des odeurs* », Nantes, S.N., (1999)
- [8] ZHENWANG, L., ZHENLU, C., JIANYAN, L., « *The PT dye molecular structure and its chromophoric luminescences mechanism* », Rome, 15th World Conference on Non-Destructive Testing, (October 2000). V.15-21,
- [9] GUIVARACH, E., « *traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée « Electro-Fenton »*. Application à la minéralisation des colorants synthétiques, Thèse de doctorat de l'université de Marne-la-vallée, (2004)
- [10] MANSOUR F .B, « *criblage de la toxicité et des méthodes de traitement.* » les colorants textiles sources de contamination de l'eau
- [11] DEGREMONT— *Mémento technique de l'eau*. Huitième édition (1200 pages)
- [13] RAKOTOMARIA Hantanirina, « *traitement des eaux usées d'une teinturerie textile de zone franche* » Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Chimie Minérale Appliquée à l'Industrie et à l'Environnement

[14] ZONGO.I THESE EN COTUTELLE, « *application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simule de tannerie*» Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation :

[15] Jean BONTOUX, « *Introduction à l'étude des eaux douces-Eaux naturelles-Eaux usées* », Cebedoc s.p.r.l, Liège 1983.

[16] VILLE DE PARIS, « *traitement des surverses des épaisseurs a boue digérée* » Usine et centre expérimental 82, Avenue Kléber 92700 Colombes

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

[12] <http://www.aquaportal.com/definition-4161-eauxusees.html>

[17] www.kronos.ecochem@kronosww.com

[18] <http://www.gedo.fr/ficheconseil/traiteau/guidee.htm>

[19] www.graymont.com/fr/marches/environnemental/traitement-de-l-eau

ANNEXES

ANNEXE 1 : Méthode de dosage du FER TOTAL (en mg/l)

Principe :

En milieu ammoniacal, le diméthylglyoxime donne en présence du fer Fe²⁺, un complexe de coloration rose dont l'intensité est fonction croissante de la concentration.

Matériels utilisés :

- Comparateur standard
- Cuvettes gradués A/B
- Plaquettes « FER 0,06 à 1 mg/l » et « 0,3 à 5 mg/l »
- Bécher ou flacon de 100 ml
- Jauge
- Pipette de 2 ml

Réactifs utilisés :

- Hydrosulfite de sodium (dithionite de sodium)
- Diméthylglyoxime
- Ammoniaque 10%

Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau
- Ajouter 1 jauge de dithionite de sodium. Agiter jusqu'à dissolution du réactif. Laisser reposer 10 mn.
- Ajouter 16 à 20 gouttes de diméthylglyoxime. Agiter, laisser reposer 2 mn.
- Ajouter encore 16 à 20 gouttes d'ammoniaque. Agiter, laisser reposer 2 mn.
- Remplir l'une des cuvettes avec l'eau colorée et la placer dans le comparateur du côté repère « réactif »
- Comparer la couleur de cette solution avec celle des plaquettes étalons. Lire la teneur en fer correspondante en mg/l.

Remarques :

1- La comparaison se fait :

- à la partie supérieure pour « FER 0,06 à 1 mg/l »
- sous la face antérieure pour « FER 0,3 à 5 mg/l »

2- Si l'intensité de couleur est supérieure à celle des écrans, faire une dilution préalable et tenir compte du facteur de dilution dans l'expression des résultats.

Le facteur de dilution k étant défini comme le rapport V/v où

V : Volume du flacon pour faire la dilution.

v : Volume de la prise d'essai.

ANNEXE 2 : Mesure de la turbidité

L'appréciation de l'abondance des matières en suspension finement divisées dans l'eau mesure son degré de turbidité.

Les mesures de turbidité ont un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes.

La turbidité est d'autant plus faible que le traitement de l'eau été plus efficace.

La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes qui sont pratiquées suivant les nécessités sur terrain ou laboratoire.

Principe :

Mesure de l'intensité de lumière diffractée par les particules en suspension dans l'eau.

Mode opératoire :

Avant toutes mesures, étalonner l'appareil au moyen de la solution étalon.

Rincer la cuve turbidimétrique avec l'eau à analyser, la remplir avec précaution pour éviter la formation de bulles d'air.

Essuyer la cuve pour effacer toutes traces de doigts.

Effectuer la mesure en choisissant la bonne gamme.

Unités :

Plusieurs unités sont utilisées suivant le type d'appareils tels que FTU, NTU, JTU.

1 NTU = 1 JTU = 8 gouttes de mastic.

1 FTU = 10 NTU = 10 JTU = 80 gouttes de mastic.

ANNEXE 3: Le procédé « JAR-TEST »

But :

Ces essais ont pour but de déterminer la nature et les doses de réactif à utiliser pour assurer la clarification d'une eau.

Principe :

Les essais consistent à apprécier la qualité de la flocculation ainsi que la turbidité minimale après introduction de quantité croissante de floculant en solution dans cinq ou six bêchers.

Matériels :

- ♦ Floculateur à vitesse réglable de 0 à 150 tr/mn.
- ♦ 5 à 6 bêchers de 1l.
- ♦ Siphon.
- ♦ Pipette.
- ♦ Chronomètre.
- ♦ Turbidimètre.

Mode opératoire :

- ♦ Noter l'aspect, la turbidité de départ de l'eau à analyser.
- ♦ Agiter l'eau brute et en remplir les bêchers.
- ♦ A l'aide d'une pipette, introduire dans chaque bêcher des quantités croissantes de réactifs.
- ♦ Placer les bêchers sur le floculateur et abaisser les hélices dans l'eau.
- ♦ Effectuer une agitation rapide à 80 tours par minute pendant 2 mn, puis une agitation lente à 20 tours par minute pendant 20 mn.
- ♦ Laisser décanter 10 à 15 mn.
- ♦ Siphonner une certaine quantité d'eau dans chaque bêcher.
- ♦ Mesurer la turbidité des eaux siphonnées.
- ♦ Noter la quantité de flocculation dans chaque bêcher

ANNEXE 4 : Détermination de MES (Matière En Suspension) NFT 90 105

Principe :

Préparation d'un creuset filtrant garni d'une couche d'amiante cardé, lavé, séché, taré

.Séparation des matières en suspension par filtration sur ce-creuset.

Séchage à 105°C et pesée.

Mode opératoire :

Préparation du creuset filtrant en filtre de papier filtre. Mettre en suspension l'amiante dans de l'eau distillée de façon à obtenir une suspension assez fluide (par exemple 50g d'amiante dans 450ml d'eau) Placer un creuset filtrant sur l'équipement de filtration sous vide et y verser la bouillie d'amiante pour évacuer toutes les particules susceptibles d'être entraînées par l'eau.

ANNEXE 5 : Détermination de la Demande Chimique en Oxygène : NF T 90-101

Les échantillons doivent être prélevés de préférence dans des flacons en verre ou en polyéthylène. Analyser ensuite l'échantillon dès que possible, mais si il a du être conserver, avant analyse ajouter 10ml d'acide sulfurique par litre d'échantillon et stocker entre 0°C-5°C. Agiter les flacons et s'assurer que leur contenu soit bien homogénéisé avant de prélever une prise d'essai pour l'analyse.

Objet et domaine d'application:

La méthode est applicable à la plupart des eaux dont la DCO est supérieure à 30 mg/l et dont la concentration en chlorures exprimée en ion chlorure est inférieure, après dilution éventuelle, à 2000 mg/L.

Principe:

On effectue une ébullition à reflux, dans les conditions définies dans la présente norme, d'une prise d'essai de l'échantillon, en milieu acide, en présence d'une quantité de dichromate de potassium, de sulfate d'argent jouant le rôle d'un catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure(II) permettant de complexer les ions chlorures. Détermination de l'excès de dichromate avec une solution titrée de sulfate de fer(II) et d'ammonium.

Calcul de la DCO à partir de la quantité de dichromate de potassium réduite.

Réactifs :

- Acide sulfurique concentré ($p= 1;83$)
- Acide sulfurique, $c(H_2SO_4)= 4\text{mol/L}$
- Acide sulfurique-sulfate d'argent : Sulfate de fer(II) et d'ammonium, solution tirée
- $C [(NH_4)_2Fe(SO_4)_2H_2O] = 0.12 \text{ mol/l}$
- Sulfate de mercure(II) en cristaux
- Dichromate potassium, solution étalon, $c(K_2Cr_2O_7)= 0.04 \text{ mol/l}$ contenant le sulfate de mercure(II)
- Hydrogénophtalate de potassium, solution de référence $c(KC_8H_5O_4)= 2.082 \text{ mol/l}$
- Ferroïne, solution d'indicateur
- Granules régulateurs d'ébullition

Mode opératoire :

- Prise d'essai :

Introduire dans l'appareil à reflux 10 ml d'échantillon. Si la valeur de la DCO est supposée excédée 700 mg/L, procéder à une dilution de manière à avoir une valeur entre 350-700 mg/L.

- Essai à blanc :

Effectuer un essai à blanc parallèlement à la détermination en suivant le même principe que pour l'essai mais en remplaçant la prise d'essai par 10 mL d'eau distillée de pureté équivalente. La consommation de dichromate ne doit pas excéder les 0.1 mL. Dans le cas contraire, il convient de rechercher l'origine de ce résultat et d'y remédier.

- Essai témoin :

Vérifier régulièrement la technique opératoire, de même que la pureté des réactifs et la propreté des verreries par analyse de 10 mL de la solution de référence en suivant le même mode opératoire que pour la prise d'essai.

La DCO théorique de cette solution est de 500mg/l.

- Détermination :

Ajouter 5 ml de la solution de dichromate de potassium et quelques granules régulateurs d'ébullition à la prise d'essai et homogénéiser soigneusement. Ajouter lentement et avec précaution 15 ml d'acide sulfurique-sulfate d'argent en agitant soigneusement la fiole d'un mouvement circulaire et en la refroidissant sous l'eau courante froide de sorte à éviter toute perte de substance volatiles. Relier le réfrigérant à la fiole et porter à ébullition à reflux pendant 2 heures. Laisser refroidir et laver la paroi interne du réfrigérant à l'eau distillée en recueillant les eaux de lavage dans la fiole. Débrancher le réfrigérant de la fiole, compléter à environ 75 ml avec de l'eau et refroidir à température ambiante. Titrer l'excès de dichromate avec la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium en présence de 1 ou 2 gouttes de Ferroïne.

Expression des résultats :

La DCO est donnée par la formule suivante :

$$DCO = \frac{8000 c(V_1 - V_2)}{V_0}$$

c : concentration de sulfate de fer(II) et d'ammonium

V_0 : volume de la prise d'essai avant dilution éventuelle

V_1 : volume de sulfate de fer(II) et d'ammonium utilisé pour l'essai à blanc

V_2 : volume de sulfate de fer(II) et d'ammonium utilisé pour la détermination

ANNEXE 6 : Relevé des données sur site en 2008

Date	Heure	Durée	Eau entrée : couleur	pH	Débit total	Heure	Quantité d'eau traitée	Quantité d'eau par jour	Eau sortie	pH
17/01/2008	04:00	01:30	rouge	10	100	1,5	150,0	1180	incolore	
	05:30	02:00	rouge	10	100	2,0	200,0		incolore	
	07:30	06:30	rouge	10	100	6,5	650,0		incolore	
	14:00	01:00	rouge	9	40	1,0	40,0		incolore	
	15:00	01:00	rouge	9	40	1,0	40,0		incolore	
	16:00	01:00	rouge foncé	9,5	40	1,0	40,0		incolore	7
	17:00	01:00	rouge foncé	10	40	1,0	40,0		incolore	
	18:00	00:30	rouge foncé	10	40	0,5	20,0		incolore	7
18/01/2008	07:50	02:00	rouge	10	60	2,0	120,0	640	incolore	
	09:50	02:00	rouge clair	9,5	60	2,0	120,0		incolore	7
	11:50	01:10	bleu clair	9,5	60	1,2	70,0		incolore	
	13:00	00:30	bleu clair	9,5	60	0,5	30,0		incolore	7
	13:30	01:00	rose clair	9	60	1,0	60,0		incolore	
	14:30	01:00	bleu clair	9	60	1,0	60,0		incolore	7
	15:30	01:00	grenat	12	60	1,0	60,0		incolore	
	16:30	01:00	grenat	12	60	1,0	60,0		incolore	7
	17:30	00:30	bleu clair	12	60	0,5	30,0		incolore	
	18:00	00:30	violet foncé	12	60	0,5	30,0		incolore	7
19/01/2008	04:00	01:00	bleu	9	60	1,0	60,0	780	incolore	7
	05:00	02:30	bleu	9	60	2,5	150,0		incolore	
	07:30	02:00	bleu clair	9	60	2,0	120,0		incolore	7
	09:30	02:00	bleu clair	9	60	2,0	120,0		incolore	7
	11:30	01:00	bleu clair	9	60	1,0	60,0		incolore	7
	12:30	01:00	arrêt		0	1,0	0,0		incolore	7
	13:30	01:00	grenat	9	60	1,0	60,0		incolore	7
	14:30	01:00	grenat	10	60	1,0	60,0		incolore	7
	15:30	01:00	violet foncé	10,5	60	1,0	60,0		incolore	7
	16:30	01:00	violet	10	60	1,0	60,0		incolore	7
	17:30	00:30	violet	10	60	0,5	30,0		incolore	7

Date	Heure	Durée	Eau entrée : couleur	pH	Débit total	Heure	Quantité d'eau traitée	Quantité d'eau par jour	Eau sortie	pH
21/01/2008	08:00	01:00	rouge foncé	11	40	1,0	40,0	426,66667	incolore	
	10:00	02:00	rouge foncé	11	40	2,0	80,0		incolore	7
	11:00	01:00	rouge	11	40	1,0	40,0		incolore	7
	12:55	01:55	violet	11	40	1,9	76,7		incolore	7
	13:10	00:15	violet	11	40	0,2	10,0		incolore	
	14:10	01:00	rouge foncé	11	40	1,0	40,0		incolore	7
	15:10	01:00	rouge foncé	11	40	1,0	40,0		incolore	
	16:10	01:00	grenat	11	40	1,0	40,0		incolore	7
	17:10	01:00	grenat foncé	11	40	1,0	40,0		incolore	
	17:45	00:30	grenat foncé	11	40	0,5	20,0		incolore	
22/01/2008	08:05	02:00	violet clair	9,5	60	2,0	120,0	610	incolore	
	10:05	01:00	bleu clair	9,5	60	1,0	60,0		incolore	7
	11:05	02:10	bleu clair	9,5	60	2,2	130,0		incolore	
	13:15	00:15	arrêt		0	0,2	0,0		incolore	
	13:30	01:00	violet clair	9	60	1,0	60,0		incolore	7
	14:30	01:00	violet clair	9	60	1,0	60,0		incolore	
	15:30	01:00	bleu clair	10	60	1,0	60,0		incolore	7
	16:30	01:00	bleu	12	60	1,0	60,0		incolore	
	17:30	00:30	bleu	12	60	0,5	30,0		incolore	7
	18:00	00:30	bleu	11	60	0,5	30,0		incolore	7

Source : Société ERATECH

TABLE DES MATIERES

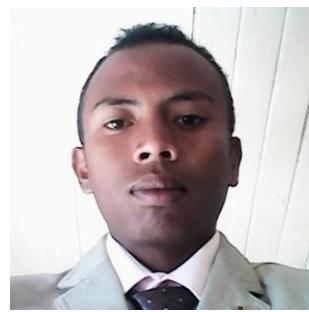
REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOS	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : MATERIELS ET METHODE	
CHAPITRE I: ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES	2
I-1-La pollution des eaux	2
I-1-1-Généralités [1].....	2
I-1-2-Principaux polluants des eaux [1]	2
I-1-3-Les différentes sources de pollution par les industries [2].....	4
I-1-4-Principaux paramètres de caractérisation [2]	4
I-1-5-Pollution des eaux : cas particulier des industries textiles [5]	9
I-1-6-Les colorants textiles.....	10
I-2-Les eaux usées	14
I-2-1-Définitions des eaux usées [16]	14
I-2-2-Les eaux usées industrielles	14
I-2-3-Norme de rejet des eaux usées industrielles.....	15
I-3-Le Traitement des eaux usées.....	17
I-3-1-Généralités sur le traitement des eaux usées industrielles	17
I-3-2 Electrocoagulation par sel d'alumine et sel de fer [14].....	22
I-4-Le traitement par coagulation flocculation	27
I-4-1-Généralités [13].....	27
I-4-2-Principe de la coagulation / flocculation :[13].....	28
I-5-Le traitement des eaux usées à partir de produit à base de fer	30
I-5-1-Généralités sur le fer	30
I-5-2 Précipitation et flocculation réductrices (cas particulier du sel ferreux pour le traitement des effluents de teinturerie) [15]	32
I-6-Généralité sur la chaux et polymère	32
I-6-1-La chaux [17]	32

I-6-2-Le polymère [18].....	33
I-7-Traitement des eaux : Cas des industries textiles en général [14]	34
I-7-1-Pré traitements [13].....	34
I-7-2-Traitements	35
CHAPITRE II: PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE	37
II-1 Brève historique	37
II-2-Description de l'unité de traitement d'eaux usées industrielles textiles sis à Ankorondrano.....	38
II-3-Matières premières utilisées par l'industrie pour la teinturerie :	38
II-4-Choix de la méthode de traitement :	38
II-5-Choix des installations : type de traitement physico-chimique	39
II-6-Schéma.....	39
DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES	
CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET MATERIELS UTILISES.....	41
III-1-Méthode	41
III-2-Matériels	42
III-3-Méthodes d'analyses.....	42
III-2-1-Phénomènes organoleptiques	42
III-2-2-Paramètres physiques	43
III-3-1-Balance de précision.....	44
III-3-2-La DCO	45
III-3-3-La DBO5	46
III-3-4-Spectrophotomètre.....	46
III-3-5-Jar test.....	47
III-3-6-Turbidité	48
III-3-7-Mélangeur électromagnétique	49
CHAPITRE IV : LES RESULTATS	50
IV-1-Les résultats des essais et analyses de paramètres physico-chimiques	50
IV-1-1 Résultats des essais de traitement au laboratoire de Vontovorona.....	50
IV-1-2-Essais à la JIRAMA	56
IV-2-Résultats des enquêtes	65
CHAPITRE V : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	70
CONCLUSION GENERALE	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

ANNEXES	i
ANNEXE 1 : Méthode de dosage du FER TOTAL (en mg/l)	- 1 -
ANNEXE 2 : Mesure de la turbidité	- 2 -
ANNEXE 3: Le procédé « JAR-TEST »	- 3 -
ANNEXE 4 : Détermination de MES (Matière En Suspension) NFT 90 105	- 4 -
ANNEXE 5 : Détermination de la Demande Chimique en Oxygène : NF T 90-101 ...	- 5 -
ANNEXE 6 : Relevé des données sur site en 2008.....	- 8 -

TABLE DES MATIERES

Auteur: ANDRIANARIVONY Tsilavo



Coordonnées :

Tél : +261330927325

E-mail : andrianarivony.tsilavo@gmail.com

Titre:

UTILISATION DES SELS DE FER COMME COAGULANT-FLOCULANT DANS LE TRAITEMENT DES EAUX USEES D'UNE INDUSTRIE DE TEINTURERIE TEXTILE SISE A ANKORONDRANO

Nombre de pages : 75

Nombre de figures : 2

Nombre de photos : 13

Nombre de tableaux : 22

RESUME

Ce mémoire a pour but de vérifier l'efficacité de l'utilisation de sel de fer dans les traitements des eaux usées d'industries de teinturerie textile.

Le sujet a été proposé par la société ERATECH qui est gérant de deux stations de traitement de ces effluents.

Différents types d'essais de traitement au laboratoire ont été effectués. L'utilisation de ces sels de fer avec la chaux donne un résultat intéressant pour la décoloration de ces eaux. Pour le sulfate ferreux, en particulier, il arrive à décolorer l'eau sous condition de pH autour de 11 et en présence de chaux.

Par rapport aux produits utilisés sur site par la société, nous pouvons donc dire que ces sels présentent une opportunité très importante pour réduire le coût et améliorer le traitement.

ABSTRACT

This memory is designed to verify the effectiveness of the use of iron salt in the treatment of wastewater from textile dyeing industries.

The topic was proposed by the ERATECH Company that is managing two treatment plants of these effluents.

Various types of laboratory processing of tests were performed. The use of iron salts with the lime gives an interesting result for the discoloration of the water. For the ferrous sulfate, in particular, it happens to discolor water under condition of pH around 11 and in the presence of lime.

Compared to the products used on-site by the company, we can say that these salts have a very significant opportunity to reduce the cost and improve the treatment.

Mots clés : Traitement, sel de fer, décoloration, effluents, teinture, essais.

Rapporteur : Madame RAKOTOMARIA Hantanirina