

1 EX

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ELIMINATION DES M.E.S. ET RECYCLAGE
DES EAUX DE REFROIDISSEMENT

UNITE NOUVELLE CONSERVERIE ALGERIENNE (ROUIBA)

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

D^r Ing. KETTAB A.

M^r TOURE O.

Prom. D^r Ing. KETTAB A.

directeur dpt hydraulique

Co-Prom. M^{lle} ARAR J.

PROMOTION : JUIN 1986

///) E D I C A C E S

///-) LA M E M O I R E D E :

///) ES P A R E N T S

///) ON A M I D E M B A

REMERCIEMENTS

Il n'aurait été impossible de mener à bien ce travail sans l'assistance et les conseils précieux du Dr Ing KETTAB AHMED chef du département d'hydraulique ; qu'il trouve ici l'expression de ma profonde de gratitude.

Mes remerciements vont également à Mr NA ~~MASSE~~ chef de département, Melle ARAR, Mr NOUAR et tout le corps enseignant du département de Génie de l'environnement .

Enfin que MM. ABDOULKARIM MAIGA, BOCAR AGALY TOURE, ALY MAMANE , JOVITE DAKONO, OUSMANE TANGARA et tout ceux, parents, amis ou connaissances, ayant participé à ma formation trouvent ici le témoignage de toute ma reconnaissance.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I. PRESENTATION DES CONSERVERIES DE FRUITS ET LEGUMES

1.1. Caractéristiques générales des eaux résiduaires des conserveries

1.1.1. Origine des eaux résiduaires

1.1.2. Composition, volume, caractéristiques

1.1.3. Effets des eaux résiduaires des conserveries sur l'Environnement

1.1.4. Procédés classiques d'épuration des eaux usées de conserveries.

1.2. La nouvelle conserverie algérienne

1.2.1. Présentation de la N C A

1.2.2. Composition des matières premières

1.2.3. Procédés de fabrication et rejet correspondant

II. ETUDES THEORIQUES DES PROCÉDES DE TRAITEMENT CHOISIS

2.1. Traitement d'élimination de MES

2.1.1. La ~~décantation~~ - flocculation et flocculation

2.2. Le recyclage

III. METHODE ET MOYENS D'ETUDE

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

4.1. Présentation des résultats

4.2. Interprétation

V. PROPOSITION D'AMENAGEMENT ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

5.1. Proposition d'aménagement

5.2. Dimensionnement des ouvrages de traitements

5.2.1. Ouvrages d'élimination des MES

5.2.2. Ouvrage de recyclage des eaux de refroidissement

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES.

TABLE DES FIGURES

- FIG.2.1 : Répartition des vitesses dans un decanteur rectangulaire
- FIG.2.2 : Répartition des vitesses dans un decanteur circulaire
- FIG.2.3.: Essai de décautation en éprouvette
- FIG.2.4.: Courbe des différentes étapes de la décautation en éprouvette
- FIG.2.5 : Décauteur à flux verticaux
- FIG.2.6 : Evolution du flux de particule en fonction de leur concentration
- FIG.2.7 : Double couche et potentiel ZETA
- FIG.2.8.: Forces d'attraction et de répulsion d'exerçant sur une particule
- FIG.2.9 : Corrosion en milieu desaéré
- FIG.2.10: Corrosion en milieu aeré
- FIG.4.1 : Courbes d'élimination des MES en fonction des doses de $Fe_2(SO_4)_3$
- FIG.4.2 : Courbes d'évolution du pH en fonction des doses de $Fe_2(SO_4)_3$
- FIG.4.3 : Courbe d'élimination des MES en fonction des doses $Fe_2(SO_4)_3$
- FIG.4.4 : Evolution du pH en fonction des doses de charbon en poudre
- FIG.4.5 : Courbes d'élimination des MES en fonction des doses de $Al_2(SO_4)_3$
- FIG.4.6 : Courbes d'évolution du pH en fonction des doses de $Al_2(SO_4)_3$
- FIG.4.7 : Courbe d'élimination des MES en fonction des doses de $Al_2(SO_4)_3$
- FIG.4.8 : Evolution du pH en fonction des doses de charbon en poudre
- FIG.4.9 : Courbes d'élimination des MES en fonction des doses de $FeCl_3$
- FIG.4.10: Courbes d'évolution du pH en fonction des doses de $FeCl_3$
- FIG.4.11: Courbe d'élimination des MES en fonction des doses de $FeCl_3$
- FIG.4.12: Courbe d'évolution du pH en fonction des doses de charbon
- FIG.4.13: Courbe d'élimination des MES en fonction des doses de charbon
- FIG.5.1 : Disposition des lames d'agitateur.

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 : Résultats de l'estimation de la pollution aux points de rejet

Tableau 4.2 : Moyenne des résultats du tableau 4.1

Tableau 4.3 : Analyse qualitative des MES d'échantillon moyen (regard de l'égout principal)

Tableau 4.4 : Résultats des essais de traitement avec $Fe_2(SO_4)_3$

Tableau 4.5 : Résultats des essais de traitement avec $Fe_2(SO_4)_3$

Tableau 4.6 : Valeurs du pH en fonction des doses de charbon en poudre avec $Fe_2(SO_4)_3$

Tableau 4.7 : Résultats d'essai de traitement avec $Al_2(SO_4)_3$

Tableau 4.8 : Résultats des essais de traitement avec $Al_2(SO_4)_3$

Tableau 4.9 : Valeurs du pH en fonction des doses de charbon en poudre (avec $Al_2(SO_4)_3$)

Tableau 4.10: Résultats d'essais de traitement avec $FeCl_3$

Tableau 4.11: Résultats d'essais de traitement avec $FeCl_3$

Tableau 4.12: Valeurs du pH en fonction des doses de charbon en poudre (avec $FeCl_3$)

Tableau 4.13 : Résultats d'essai de traitement avec le charbon

Tableau 5.1 : Caractéristiques principales des produits dispersants

Tableau 5.2 : Caractéristiques principales des produits alcalins

Tableau 5.3 : Caractéristiques principales des inhibiteurs de corrosion.

// EGENDE DES SYMBOLES ET ABREVIATION

- ρ - Densité (kg/m³)
- M - Viscosité dynamique (Pa.s)
- G - Accélération de la pesanteur (m/s²)
- V - Vitesse (m/s)
- Re - Nombre de Reynolds
- ν - Viscosité cinématique (m²/s)
- R_h - Rayon hydraulique (m)
- Q - Débit (m³/s)
- L - Longueur (m)
- H - Hauteur (m)
- L - Largeur (m)
- S_h - Surface horizontale (m²)
- C - Concentration
- T, t - Température, temps (°C, s)
- MES - Matières en suspension (mg/l)
- MVS - Matières volatiles en suspension (mg/l)
- MnB - Matières non décautables (mg/l)
- MD - Matières décautables (mg/l)
- M.m - Matières minérales (mg/l)
- DBO - Demande biochimique en oxygène (mg/l)
- CCO - Demande chimique en oxygène (mg/l)
- N.C.A - Nouvelle conserve Algérienne
- V - Volume (m³)
- W - Vitesse périphérique (m/s)
- U - Différence de vitesse (m/s)
- a, b - Longueur et largeur d'un agitateur (m)
- P - Puissance (W)
- G - Gradient de vitesse (s⁻¹)
- B_e - degré BAUME (unité de densité)

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION :

A notre époque où le développement de la démographie et de la croissance industrielle conditionnent notre environnement et notre manière de vivre, il importe plus que jamais de nous inquiéter de tout ce qui peut nuire à notre bien-être et à nos conditions de vie. Il est vrai que l'accroissement industriel comporte d'immenses bénéfices aussi bien sur le plan économique et social, et apporte une nette amélioration du niveau social. Cependant, le revers de la médaille fait que cet essort industriel s'accompagne de nuisances de natures biologiques et chimiques (pesticides, additifs alimentaires, hydrocarbures etc...) qui se repercutent à court terme ou à long terme sur notre organisme à travers la chaîne alimentaire de laquelle nous dépendons (12).

Depuis une dizaine d'années, les techniques mises en oeuvre pour améliorer la qualité des eaux sont passées du niveau d'un art à celui d'une science(18). Le besoin de contrôler la pollution des eaux se fait de plus en plus sentir ; pour y répondre, des recherches ont été entreprises. Elles ont permis de mettre au point des méthodes nouvelles et perfectionnées de traitement des eaux résiduaires et de mieux connaître les effets, à court terme et à long terme, des ces eaux sur le milieu aquatique (18).

Pour épurer l'eau, il faut généralement combiner plusieurs traitements élémentaires dont les bases peuvent être physiques, chimiques ou biologiques et dont l'effet est d'éliminer les divers polluants.

Les traitements physico-chimiques peuvent être considérés aussi bien comme un procédé d'épuration indépendant que comme un stade de traitement préliminaire à une épuration biologique.

Dans cette étude, nous quantifierons la pollution au niveau de chaque source de rejet d'eaux résiduaires au sein de la nouvelle conserverie algérienne (NCA) de Rouiba. Nous procéderons à des essais de décantabilité des échan-

.../...

tillons prélevés au niveau du collecteur principal, puis des tests de traitement physico-chimiques (coagulation - floculation). Tout ceci dans le but de trouver la solution la plus adéquate au problème de rejet d'eaux résiduaires dans cette industrie.

I. PRESENTATION DES CONSERVERIES DES FRUITS ET LEGUMES :

1.1. Caractéristiques générales des eaux résiduaires des conserveries :

Etant donné que la fabrication des conserves fait suite à la récolte des légumes et des fruits, ces industries ont donc un caractère saisonnier et leurs matières premières varient suivant les livraisons, ou sont travaillées à des moments différents. Par la suite des eaux résiduaires des usines varient aussi, en composition et en volume. Elles varient suivant le traitement de la matière première (9).

1.1.1. Origine des eaux résiduaires :

Les rejets des eaux résiduaires ont lieu :

- au lavage des matières premières fraîchement livrées ;
- lors de la dilacération et du traitement ultérieur de la marchandise ;
- Ces eaux sont appelées eaux de fruits ou de blanchissement
- au nettoyage des ateliers et des installations
- au niveau des circuits de refroidissement dans le cas d'un cycle ouvert.

1.1.2. Volume, composition et caractéristiques des eaux résiduaires :

- volume des effluents : ils sont en général très importants et très variables. Environ 1 à 2m³ par tonne de produits bruts, parfois jusqu'à 3,6m³ par tonne de produit (9).

- composition et caractéristiques :

Les eaux résiduaires contiennent des matières terreuses, des épluchures, des débris de fruits et légumes. La BOD est très élevée. Selon la nature de la matière première, travaillée et suivant le mode de fabrication, la composition des eaux résiduaires peut présenter de très grosses fluctuations (9).

1.1.3. Effets des eaux résiduaires de conserveries sur l'environnement :

Toutes les eaux résiduaires dans l'industrie de conserve, ont en commun une nette tendance à s'acidifier ; tendance qu'il faut attribuer à leur teneur en sucre et autres hydrates de carbone (9). Ce fait rend l'épuration beaucoup plus difficile. C'est aussi pour cette raison que l'on a dû mettre au point des méthodes particulières pour le traitement des eaux résiduaires et ce type (9).

Du fait de leur teneur élevée en substances décomposables, les eaux résiduaires de conserveries, qui sont souvent rejetées de façon intermittente, se manifestent fréquemment de manière très désagréable, soit, dans les émissaires peu importants, par des dépôts de boues, un épuisement considérable de l'oxygène et de forts développement de champignons, avec tous les inconvénients qui en découlent, soit dans les réseaux urbains d'égouts, par des phénomènes gênants, tels que dégagements d'odeurs, corrosion, etc...

Dans les cours d'eau les matières en suspension (MES) empêchent la pénétration de la lumière, diminuent l'oxygène dissous et limitent ainsi la vie aquatique ; L'asphyxie des poissons par colmatage des branchies, est souvent ^{une} conséquence de teneur élevée en MES (12).

1.1.4. Traitement des eaux résiduaires :

Une séparation des eaux de lavage et de blanchissement, plus polluées, avec les eaux de refroidissement et de condensation peut être indiquée lorsqu'on manque de place.

Pour l'épuration il est important que les eaux résiduaires soient reçues fraîches. Les matières non dissoutes séparées rapidement.

Nous citerons les méthodes d'épurations les plus usuelles.

- degrossissement au moyen de grille ou tamis
- décantation pour les MES les plus fines ; la simple décantation ne donnant pas les résultats attendus, il est toujours nécessaires d'utiliser des procédés chimiques (coagulation - floculation).

- etangs a^e eaux résiduaires : utilisées aux U.S.A. sans aération sont souvent les causes de sérieuses nuisances.
- épuration biologique artificielle : par mélange des eaux résiduaires aux eaux usées ménagères.

1.2. La Nouvelle Conserverie Algérienne :

Situé dans la zone industrielle de Rouiba, la Nouvelle Conserverie Algérienne est ouverte depuis 1966. Elle appartient au secteur privé et emploie environ 180 travailleurs hommes et femmes.

L'activité de la N.C.A. est axée sur la production de jus, Nectar et alimentation pour bétails à partir de fruits et légumes. Comme toutes les conserveries, ses activités sont saisonnières.

1.2.1. Composition des matières premières :

- fruits divers 40t/j (10)
- légumes divers 60t/j

La consommation journalière en eau est de 200m³ environ dont une fraction provient du réseau urbain d'eau potable, une autre, d'un forage de capacité maximale de 70m³/h.

1.2.2. Procédés de fabrication et rejets correspondants :

- colonnes de refroidissement : eaux chaudes à 60°C
- lavage des produits : eau très chargée en M.E.S.
- cuisson : eau chargée en M.E.S. due aux différentes fuites
- lavage des aires de travail : eau chargée en M.E.S.
- il faut noter les résidus solides : pelures et pépins de fruits ; pelures et grain de piments et tomates : environ 40t/j.

Ces eaux résiduaires sont évacuées par un réseau d'égout répartie dans toutes l'unité et aboutissant à un collecteur principal d'amener vers le réseau d'égout communal. Hormis les grilles présentent aux points de rejet, il n'existe aucune installation de traitement des eaux résiduaires.

Voir planche 1. (page 7)

II. ETUDE THEORIQUE DES PROCÉDES DE TRAITEMENT :

2.1. Etude théorique des procédés d'élimination des M.E.S. :

2.1.1. La décantation :

Les M.E.S. sont des matières qui ne sont ni solubilisées, ni colloïdales. On peut considérer qu'elles représentent un intermédiaires entre les particules minérales du type sable ou poussière de charbon et les particules minérales du type mucilagineuse (19). Leur diamètres varient entre $1 \mu\text{m}$ à $10^6 \mu\text{m}$ (12). La décantation permet de séparer les M.E.S. des eaux par simple gravité. Elle dépend à la fois des propriétés des particules et des régimes hydrauliques.

Il faut distinguer les particules grenues, dont la décantation s'effectue indépendamment les unes des autres, et les particules coalescentes qui décauent selon des mécanismes différents. En effet, elles s'agglomèrent pendant la sédimentation (16).

a) Les particules grenues :

Dans un liquide au repos, une telle particule chute du fait de son propre poids, mais subit en retour une force résistante.

Pour un sphère, deux formules fournissant v ont été obtenues, la première valable aux faibles valeurs de Re , l'autre aux fortes valeur de Re (nombre de Reynolds)

$$v = \frac{1}{18} g \frac{\rho_s - \rho_l}{\mu} d^2 \quad (16) \quad \begin{array}{l} g : \text{accélération de la pesanteur} \\ v : \text{vitesse de chute des particules} \end{array}$$
$$v^2 = 3,3g \frac{\rho_s - \rho_l}{\mu} d \quad \begin{array}{l} \rho_s, \rho_l : \text{resp. densités des particules et} \\ \text{de l'eau.} \\ d : \text{diamètre des particules} \\ \mu : \text{viscosité dynamique l'eau.} \end{array}$$

En fait le liquide est en mouvement, il faut tenir compte de la nature de l'écoulement. Si R_h est rayon hydraulique du bassin, Re , nombre de Reynolds s'en déduit.

$$Re = \frac{4 V_e R_h}{\nu}$$

V_e : vitesse du flot

ν : viscosité cinématique de l'eau

Si $Re > 2000$, l'écoulement est turbulent

Si $Re < 800$, l'écoulement est laminaire (16)

En régime laminaire la vitesse de chute de la particule ne sera pas modifiée. Il n'en sera pas de même en régime turbulent et la vitesse de chute V_r peut s'obtenir à partir de la vitesse de chute au repos V , en tenant compte de la vitesse d' l'eau ($V_e - V_r$) et V étant des vitesses relatives eau-grain

$$V_r = V - \frac{V_e}{K} ; 20 < K < 20 \quad (6)$$

Une particule introduite dans un décanteur possède une vitesse absolue \vec{w} fonction de V_e vitesse du flot et de V vitesse de la particule

$$\vec{w} = \vec{V_e} + \vec{V}$$

* Si le décanteur est rectangulaire, à écoulement horizontal avec les notations de la figure 2.1, V_e s'obtient par

$$V_e = Q/lH$$

l, H resp. largeur et hauteur du décanteur

Q : débit traité.

Comme la particule est retenue si elle touche le fond du bassin, la condition limite sera obtenue pour le grain introduit à une hauteur H du fond, qui touche ce fond juste avant la sortie. La position de cette particule est définie par deux équations ; t étant le temps, compté après l'introduction dans le bassin

$$x = V_e t = Q/Hl \cdot t$$

$$y = -Vt + H$$

La condition limite correspondant à $x = L$ et $y = 0$ et, si Sh désigne la surface horizontale du décantateur, elle aboutit à :

$$V_0 = Q/Sh \quad \text{où } V_0 : \text{vitesse seuil}$$

V_0 caractérise le pouvoir séparateur du décanteur

Si V est supérieur à V_0 la particule sera retenue.

Quand $V < V_0$, la particule qui sera retenue sera introduire à une hauteur h_{\max} telle que :

$$(x = L ; y = 0) ; (x = Q/1H.t = L ; y = -Vt + h = 0)$$

$$V = \frac{Q}{Sh} \quad \frac{h}{H} = V_0 \frac{h}{H}$$

Si la particule de vitesse de chute V ($V < V_0$) est admise dans le bassin à une hauteur $h' > h$, elle n'est pas retenu ; quand $h' < h$ elle est retenue.

Lorsque l'homogénéité est réalisée à l'entrée du décanteur, les particules de vitesse V ($V < V_0$) sont retenue dans le bassin dans le rapport V_0/V , et il décantera une partion h/H . Le calcul consiste alors à :

- classer les particules selon leur vitesse de sédimentation
- calculer le pourcentage retenu par chaque classe
- sommer les résultats

* Dans le cas d'un décanteur horizontal circulaire, l'origine du repère est pris au centre et au fond de l'appareil (fig. 2.2).

Si Q est le débit à traiter et H la hauteur on a :

$$V_e = Q/2 \pi xH$$

à dx : $dx/dt = Q/2 \pi xH$ en intégrant on a :

$$x^2/2 = Q/2 \pi H.t$$

Lorsque h désigne la hauteur d'introduction de la particule au centre du bassin, sa position est définie par deux équations

$$x^2 = Qt/ \pi H$$

$$y = -Vt + h$$

Pour éliminer une particule avant sa sortie du décanteur de rayon R , il faut qu'elle touche le fond, la condition limite correspond à :

$$(x = R, y = 0) : \pi R^2/Q = t = h/V$$

$V = Q/Sh$. h/H donc la relation reste inchangée

Dans ce qui précède, il est implicite que les décanteurs sont à fond plat. Si le radier possède une pente α non nulle la hauteur d'eau diminue de l'introduction jusqu'à la sortie du bassin ce qui fait varier \overline{Ve} .

Cependant une telle considération ne modifie pas la méthodologie de l'approche de dimensionnement.

Ainsi à chaque vitesse V correspond un diamètre d donné par exemple, par la

loi de Stokes :
$$V = \frac{1}{18} g \frac{\rho_s - \rho_l}{\mu} d^2$$

A V_0 correspond donc d_0 , appelé pouvoir de coupure du décanteur (pour ρ_s donné) alors que Q/Sh représente le pouvoir séparateur du décanteur ;

$$V_0 = Q/Sh = \frac{1}{18} g \frac{d_0^2}{\mu} (\rho_s - \rho_l)$$

$$V = \frac{Q}{Sh} \frac{h}{H} = \frac{1}{18} g \frac{d^2}{\mu} (\rho_s - \rho_l)$$

il découle $d = (h/H)^{1/2} d_0$

Comme h/H représente la proportion de particules de vitesse V (donc de diamètre d , si la densité ρ_s est fixée) captées ;

Le calcul de l'efficacité d'un bassin est ainsi possible connaissant

- son pouvoir de coupure d_0 (pour un débit donné)
 - la courbe granulométrique des particules en suspension et leur densité
- Si $d > d_0$, les particules sont captées en totalité. Lorsque $d < d_0$, n segments $0 - d_1, d_1 - d_2, \dots$ sont créés et l'on attribue à chaque segment
- le poids des particules concernées (la densité ρ_s est supposée uniforme)
 - la valeur moyenne d/d_0 des particules captées.

$$y = x + (d_1/d_0 + d_2/d_0 + \dots) 10$$

Bien entendu, les particules ne sont pas sphériques. La correction à apporter s'obtient en attribuant aux grains, le diamètre de la sphère de même densité et de même vitesse de chute. Dans le cas d'un écoulement vertical, les particules de vitesse de chute dans un liquide au repos, supérieure à la vitesse ascendante du liquide \overline{Ve} , seront décantées là encore, \overline{Ve} vaut Q/Sh mais, par contre, le pouvoir de coupure est total car si $V < \overline{Ve}$, la particule n'est pas arrêtée.

b) Les particules coalescentes :

Les particules coalescentes s'agglomèrent pendant la sédimentation. La vitesse de chute est donc liée à la probabilité de rencontre des grains entre eux. Il est usuel de distinguer entre la décantation diffuse, obtenue si les particules sont peu concentrées et la décantation freinée correspondant aux fortes concentrations. Tant qu'il y a coalescence, la chute est accélérée du fait des agglutinations, et la profondeur du bassin intervient comme variable opératoire. Cependant, il ne faut pas négliger pour autant la concentration en particules, la granulométrie et la répartition des densités des grains. L'approche, expérimentale peut être privilégiée, et la méthodologie décrite précédemment (décantation grenue) employée, surtout dans le cas d'une décantation diffuse. La décantation freinée, dite en piston, s'accompagne en effet d'une séparation nette entre phase boue et la phase eau, résultant de la chute des grains.

Souvent lors d'un essai en éprouvette, plusieurs étapes se succèdent (voir Fig. 2.3) : la première (section AB) dite de coalescence, est quasistatique, mais pendant la seconde (section BC), l'interface eau-boue chute avec une vitesse constante. Ensuite, cette vitesse décroît (section CD) car la concentration de la phase "boue" devient importante et aboutit à une compactation (section DE).

Expérimentalement, il apparaît que la vitesse de chute d'une particule, soit V , dépend de la concentration en particule de son voisinage, soit $C.V = K C^n (n > 3)$. Ainsi si $t = 0$ correspond au point B ; il est relatif à une concentration uniforme C_0 dans toute la colonne, et à une vitesse de chute V_0 . Ensuite, la concentration augmente au fond de l'éprouvette, où la vitesse diminue cette variation de C aboutit à l'interface au temps t_e , et entraîne alors la diminution de la vitesse de chute : le point C est atteint.

Quand F désigne le flux des particules traversant l'unité de surface pendant l'unité de temps, F par hypothèse est égal à VC . Entre deux niveaux h et $h + dh$ il est accumulé des M.E.S., dont la masse est par définition, Cdh :

$$F(h+dh) - F(h) = \frac{\partial F}{\partial t} (C dh) = dh \frac{\partial C}{\partial h}$$

$$\frac{\partial F}{\partial h} = \frac{F(h + dh) - F(h)}{dh} = \frac{\partial C}{\partial t} ; \frac{\partial F}{\partial h} = \frac{\partial F}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial h}$$

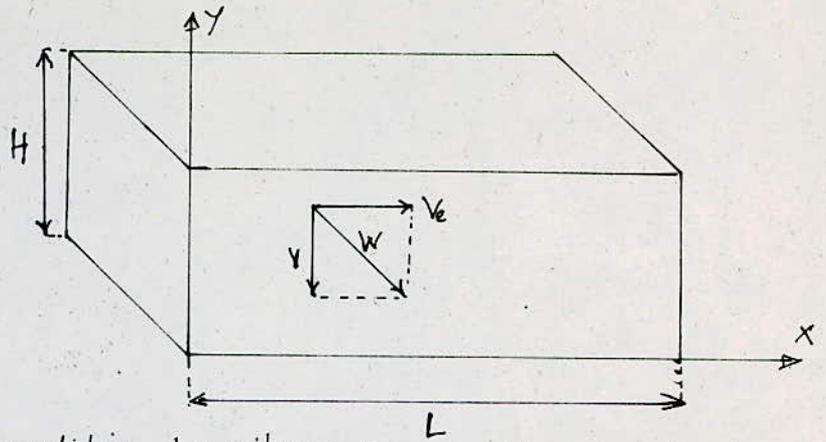


Fig 2.1 : Repartition des vitesses dans un decanteur (rectangulaire) à écoulement horizontal [16]

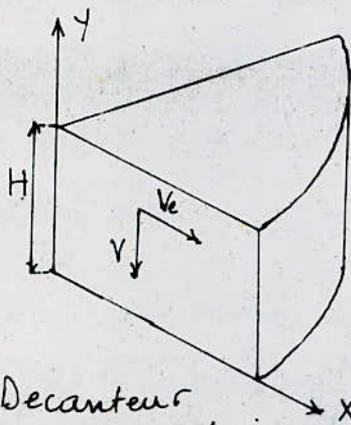
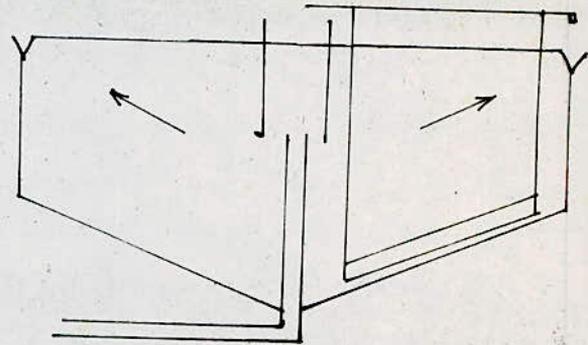


Fig 2.2 : Decanteur circulaire horizontal [16]



Bassin de decantation

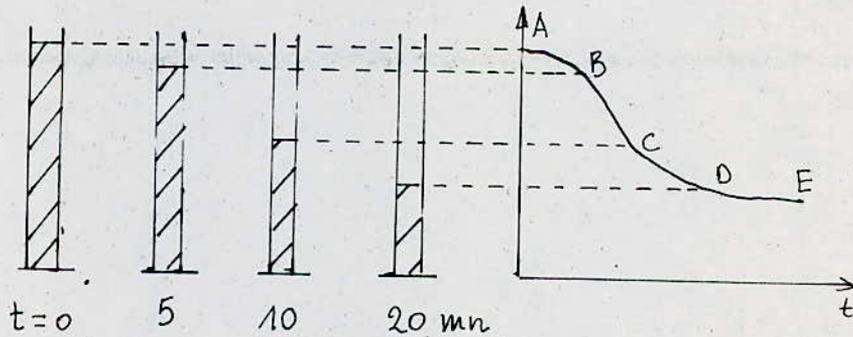


Fig 2.3 : Essai de decantation en éprouvette [16]

comme $F = VC$, n'est fonction que de C seul, il vient :

$$\frac{\partial F}{\partial h} = \frac{dF}{dC} \frac{\partial C}{\partial h} \quad \text{pour poursuivre l'étude, Kynch, qui l'a conçu pose :}$$

$$\frac{dF}{dC} = V(C) \quad \text{l'équation précédente devient alors} \quad \frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial h} = 0$$

La concentration C , d'après ce qui précède dépend de h et de t :

$$dC = \frac{\partial C}{\partial h} dh + \frac{\partial C}{\partial t} dt$$

$$dC = 0 \implies \frac{\partial C}{\partial h} dh + \frac{\partial C}{\partial t} dt = 0 \implies V = \frac{dh}{dt}$$

Dès le début, les boues du fond passent par toutes les valeurs de C permises, ce qui implique que les courbes d'isoconcentration passent par l'origine.

Ces courbes correspondent à V constant donc sont des droites d'équation $h = V(C) t$ (bien entendu les points compris dans BOC sont représentatifs de la même concentration) voir Fig. 2.4.

Puisque les particules chutent à la vitesse V , le flux de masse à travers la couche de concentration C sera, à l'instant t quelconque :

$C(v + V).t$. Lorsque cette couche arrive à la surface, toute la boue l'a traversée, ce qui représente une masse $h_0 C_0$: $\frac{h_0 C_0}{C} = (v + V)t$

Par définition, v vaut dh/dt et V , h/t donc :

$$h_0 C_0 / C = h - (t dh), \text{ soit graphiquement } ohC = o_h C_0 / C$$

De telles données s'interprètent différemment selon le type de décanteur choisi. En général, il s'agit de décanteur à flux verticaux et reprise des boues par le fond. Une particule est alors soumise à son propre poids, donc à sa vitesse de chute en eau calme v ; mais aussi à l'appel dû au recyclage des boues, donc à une vitesse additive v' (Fig. 2.5). Si Q_r désigne le débit de reprise et $S(A)$ la surface utile dans la section A , le flux de particules en A s'écrit Q_0 , caractérisant le débit entrant : $(v + v') C S(A) = \left[V(C) + V(C) + \frac{Q_r}{S(A)} \right] C S(A)$

comme le flux de matière est conservée, $Q_0 C_0 = C_r Q_r$

$$Q_r C_r = \left[V(C) + \frac{Q_0 C_0}{S(A) C_r} \right] C S(A) = Q_0 C_0$$

$$\frac{S(A)}{Q_0 C_0} = \frac{1}{V(C)} \left[\frac{1}{C} - \frac{1}{C_r} \right]$$

A chaque valeur de C correspond donc une valeur S(A) minimale sur le graphe précédent, il est possible de préciser $\frac{S(A)}{Q_0 Co}$

En effet, par continuité, $h_0 c_0 = h_r C_r$; si K est l'intersection de l'horizontale d'ordonnée h_r avec la tangente en M, il vient :

$$V = \frac{h_0 c_0 - h_r C_r}{t_k} ; \frac{1}{C} = \frac{h}{h_r C_r} ; S(A) = \frac{t_k}{C_r h_r} \quad (\text{Fig. 2.4})$$

En fait, S(A) dépend de Q_0 , Co , Cr , h_r et t_k et sera maximal si K est l'intersection de h_r avec la courbe tr tel que C soit égal à Cr en fond de décanteur. Comme Cr est atteint instantanément, il faut empiriquement déterminer une valeur t_k . Pour cela TALMADGE et FITCH ont proposé de choisir un point moyen de la courbe CD (Fig. 2.4).

Ce point M est l'intersection de la bissectrice de l'angle dû aux droites BC, et DE. La tangente en M à la courbe coupe l'horizontale d'ordonnée h_r en un point d'abscisse tr . La valeur de tr permet alors le calcul de S(A) ; $S(A) = Q_0 tr. Co / Cr h_r = Q_0 tr / h_0$.

En pratique l'éprouvette n'a pas la hauteur h_0 du décanteur. Si l'expérience est faite avec une éprouvette de hauteur h_0 , comme V et \bar{V} ne dépendent que de C, la courbe à prendre en compte s'obtiendra par une homothétie de rapport h_0/h_0 par rapport à l'origine.

DICK a poursuivi, cette recherche en déterminant un flux maximale admissible, fonction de Q_r et de Cr . En effet, le flux, égal à $(V + V') C S(A)$ présente un minimum qui est visible sur la Fig. 2.6, en ce point

$$\frac{\partial F}{\partial C} = 0 ; \frac{\partial (VC)}{\partial C} + \frac{\partial (V'C)}{\partial C} = 0$$

$$\frac{\partial (VC)}{\partial C} = \frac{Q_r}{S(A)} = 0 \implies \frac{\partial (VC)}{\partial C} = - \frac{Q_r}{S(A)}$$

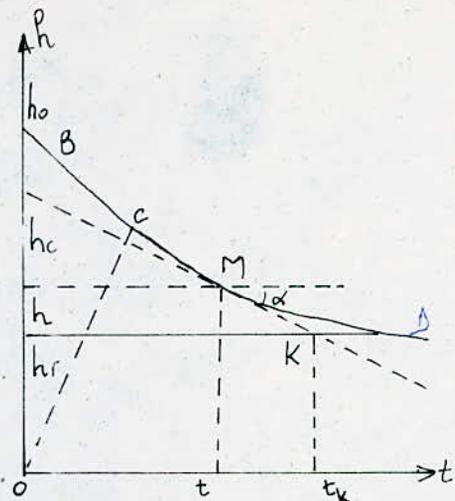


Fig: 2.4 Courbe des differentes etapes de la decantation eprouvette [15]

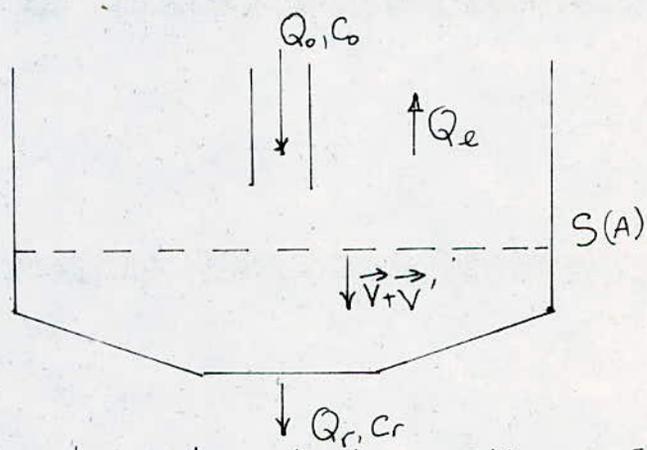


Fig 2.5 : decanteur a flux verticaux [16]

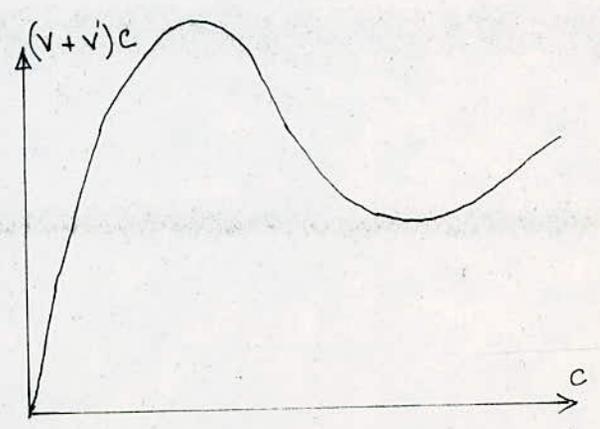


Fig2.6 : Evolution du flux en fonction de la concentration c. [16]

2.1.2. Theorie de la coagulation-floculation :

La coagulation et la floculation sont des traitements physico-chimiques de l'eau qui précèdent la phase de séparation, liquide-solide. Ils ont pour effet de créer des agrégats facilement séparables(8). Le choix du coagulant est déterminé par la nature de l'eau qu'on veut traiter, le résultat qu'on cherche à obtenir, le mode de séparation qu'on utilise (décantation par exemple) et surtout le coût qu'il représente(5).

Il a été démontré qu'un double traitement améliorerait sensiblement l'efficacité de la coagulation tout en réduisant considérablement les doses (5).

2.1.2.1. Coagulation :

Est par définition, le phénomène de destabilisation des particules colloïdales qui peut-être obtenu par neutralisation de leur charge électrique. Les coagulants sont donc des produits qui neutralisent ou inversent les charges de surface des M.E.S (diminution ou inversion du potentiel zeta) (8). Ce sont surtout des composés minéraux : $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, chaux $Fe(SO_4)$ etc... Ils réagissent avec les charges de surface des particules unitaires.

2.1.2.2. Le potentiel Zeta :

C'est le potentiel que prend une particule ou plus généralement, un colloïde, lorsqu'il est mis en suspension dans un milieu aqueux. Ce potentiel est créé par l'environnement du colloïde. La densité de la charge électrique est d'autant plus importante que le colloïde est petit et qu'il présente des fonctions chimiques actives (17).

Cette charge électrique crée un déséquilibre par attraction mutuelle entre les charges positives et négatives dans le milieu qui entoure le colloïde. Il s'enveloppe ainsi, à très faible distance d'un nuage de particules, dont le signe est celui de sa charge électrique. C'est ce nuage de particules qui donne naissance au potentiel Zeta (17) fig.2.7.

2.1.2.3. La floculation :

Les flocculants sont des produits qui ont des actions interparticulaires par pontage. On conçoit que ces flocculants soient pour la plupart constitués de polymères à haut poids moléculaire possédant des groupes réactifs de charge inverse de celle de la suspension à traiter. Ainsi un flocculant anionique réagira sur une suspension électropositive et inversement (8).

* Stabilité et floculation (2)

- Origine de la stabilité : les suspensions de particules de faible dimension sont généralement stables ; et cette stabilité est due à des forces de répulsions électrostatiques. Cependant il existe également des forces d'attraction entre particules, forces de plus courte portée mais telles que si deux particules viennent en contact, elles s'agglomèrent en un flocon stable qui se comporte comme une particule unique.

On peut représenter ainsi les forces d'attraction et de répulsion s'exerçant à la distance r du plan de la particule (Fig. 2.8).

$R = a/r^6 + b/r^{12}$ où le premier terme représente les forces de répulsion électrostatiques liées à l'existence d'une "double couche" ionique autour de la particule et le deuxième terme les forces de LONDON V.D WALLS.

Les forces de LONDON V.D. WALLS sont les forces de cohésion entre les atomes et les molécules qui forment la matière. Bien que globalement sur le plan électrique, leurs charges sont inégalement réparties dans l'espace de sorte qu'elles peuvent induire des déplacements de charges dans les voisins ou voisines.(2).

Il en résulte des dipôles et une attraction réciproque des pôles de signe opposé, causant la cohésion de la matière. Ce sont des forces qui croissent avec la taille des particules. Les particules se comportent en fait comme de gros ions, généralement négatifs dans les conditions naturelles, et sont entourées d'une couche d'ions adsorbés formant écran aux attractions de la force de LONDON.

Comme la portée de ces deux forces est différente, leur résultante passe généralement par un maximum répulsif appelé barrière d'énergie. Si on se rapproche suffisamment de la particule, les forces attractives l'emportent.

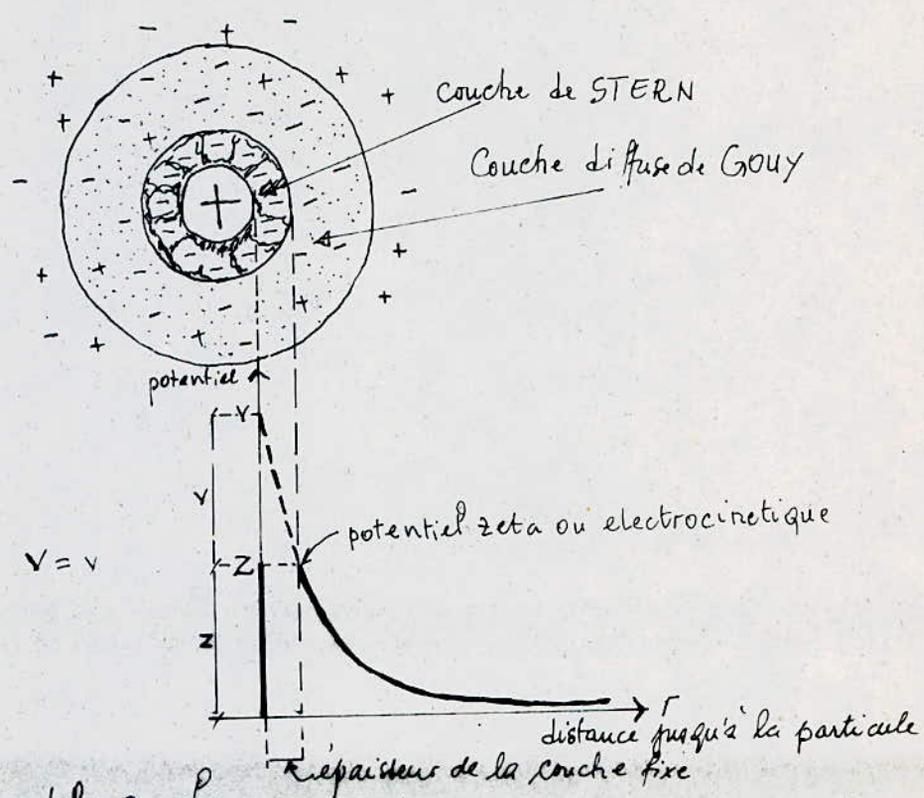


Fig 2.7: Double couche et potentiel zeta [15]

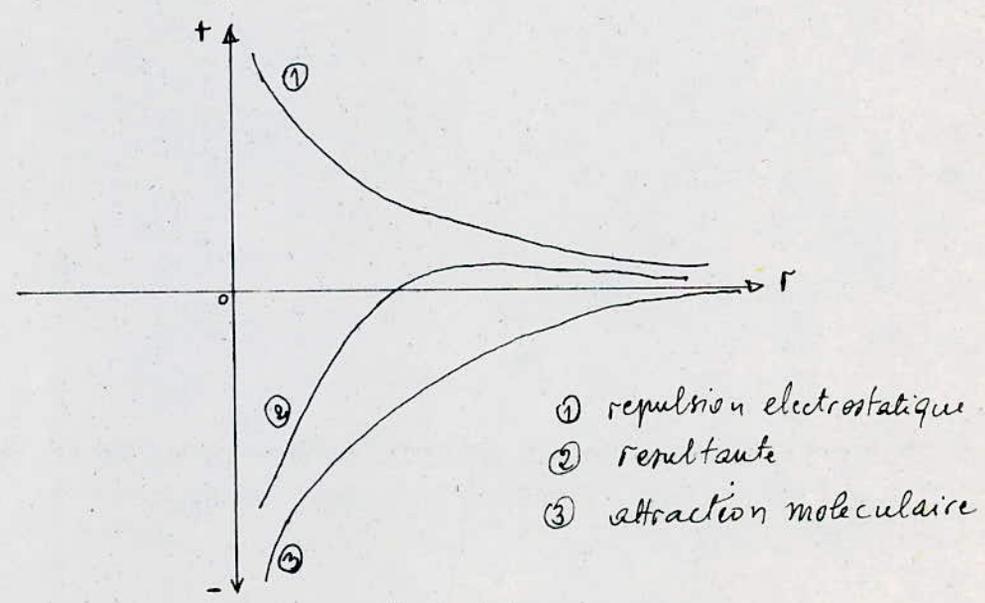


Fig 2.8 : Forces d'attraction et de repulsion s'exerçant à la distance r d'un particule [2]

- Les différents types de floculation :

- . La floculation mécanique bien décrite par les équations de V. SMOLUCHOWSKI.
- . La floculation péricinetique : concerne des particules de l'ordre du micron. c'est la floculation grâce à l'énergie brownienne.
- . La floculation orthocinétique : elle concerne les particules de grande dimension, supérieure au micron ; dans ce cas la surface du contact devient prépondérante.

2.2. Le recyclage :

L'eau douce étant rare il est indispensable d'accorder une grande importance à son économie. Dans certains circuits industriels tels que les colonnes de refroidissement l'eau est rejetée après un seul usage très peu polluée. Quelques précautions permettront sa réutilisation dans des conditions satisfaisantes ; c'est le recycle. Cette technique joue également un grand rôle dans la protection de l'environnement, dans la mesure où elle évite le rejet dans la nature de grandes quantités d'eau à haute température.

* Effet des eaux chaudes sur l'environnement :

Les eaux rejetées à haute température dans la nature, perturbent les phénomènes biologiques (vie aquatique, activité des microorganismes épurateur) ; elles accélèrent les réactions chimiques conduisant à des produits très toxiques (complexation des métaux lourds, cinergie etc...).

2.2.1. Les circuits de refroidissement (3) :

Ce sont des installations dans lesquelles, l'eau froide à l'entrée, ressort à une température élevée après contact avec les parois chaudes. A la sortie des circuits trois cas peuvent se présenter :

- l'eau chaude est rejetée en rivière ou en égout : c'est un circuit ouvert
- elle est refroidie par contact avec un fluide secondaire (air, eau) et retourne sans contact avec l'air, aux appareils : c'est un circuit fermé ;
- elle est refroidie par évaporation partielle dans une tour atmosphérique, puis retourne aux appareils : c'est un circuit semi-ouvert à recirculation sur refroidisseur atmosphérique.

Pour les raisons citées plus haut (économie, environnement), le premier type de circuit est exclus de cette étude. Le circuit fermé à son tour exige des installations parfois coûteuses et surtout difficiles à entretenir pour ces raisons, nous l'évitons. Notre choix porte sur le dernier circuit semi-ouvert qui présente l'avantage d'une grande souplesse.

2.2.2. Définition des paramètres nécessaires à l'étude de la recirculation dans un circuit semi-ouvert : (3)

- volume en circulation (V en m^3) : c'est la quantité d'eau totale contenue dans le circuit (bassin eaux, chaudes et froide, échangeurs de température, canalisation de liaison).
- débit de recirculation (Q en m^3/h) : c'est le débit d'eau chaude envoyée au réfrigérant atmosphérique.
- ΔT ($^{\circ}C$) : différence des températures de l'eau entrant et sortant du réfrigérateur.
- température de "peau" (T_{mx} $^{\circ}C$) : température du film d'eau au contact de la paroi la plus chaude du circuit.
- la puissance du réfrigérant atmosphérique (W en $KCal/h$) : elle s'exprime par la relation $W = 100 Q \Delta T$; Q et ΔT définis plus haut (3)
- le débit d'évaporation (E en m^3/h) : c'est le débit d'eau évaporée pour produire le refroidissement du débit principal. Il est constitué d'eau pur n'entraînant aucun sel dissous, approximativement $E = Q \Delta T / 500$ (3) relation établie en estimant qu'un litre d'eau évaporée correspond à 500 $KCal$ (3)
- le débit d'entraînement vésiculaire (E_v m^3/h) : c'est l'eau entraînée dans le courant d'air sous forme de gouttelettes liquides. Il est de l'ordre de 0,01% du débit principal Q (3) d'où $E_v = Q / 1000$.
- le débit des purges de déconcentration (P en m^3/h) : l'évaporation entraîne une augmentation de la concentration en sels dissous. Pour éviter des désordres dus aux dépôts divers de ces sels, on doit extraire et rejeter à l'égout une partie de l'eau en circulation. Il est prit en général égal à 8 ou 10 fois le débit d'entraînement vésiculaire (3).
- le débit de déconcentration total D (m^3/h) : est défini $D = E + P$ (3).

- le temps de séjour t définit par : $t = V/D \ln 2 \sim 0,7 V/D$
- le taux de concentration C définit par : $C = A/D$ (3)

Lorsque l'exploitation du circuit ne comporte pas d'exigences particulières (cas du circuit de la NCA), tous les paramètres se déterminent par des calculs (3).

2.2.3. Problèmes posés par la récirculation des eaux de refroidissement :

Les problèmes rencontrés dans les circuits recyclés sur aérorefrigerant sont presque tous liés au contact intime de l'eau avec l'air au cours du passage dans les appareils. Outre l'évaporation d'eau pure, ce contact conduit aux effets secondaires suivants : (11).

a) Saturation en gaz dissous :

A des températures comprises entre 20 et 35°C, l'O₂ et CO₂ sont, dans l'eau, en équilibre de saturation avec l'air aux valeurs suivantes :

CO₂ : 10 - 20 mg/l ; O₂ = 7 - 9 mg/l. La teneur en O₂ et CO₂ des eaux recyclées tendent donc rapidement vers ces valeurs quelles que soient les concentrations des gaz dans l'eau d'appoint traitée ou non (11).

b) Lavage de l'air par l'eau :

Un aérorefrigerant joue accessoirement le rôle de laveur d'air ; l'eau de refroidissement a tendance à s'enrichir en permanence en impureté de l'air (vapeurs acides, poussières, micro-organismes).

c) Entartrage :

- tartres carbonatés : 20mg/l de CO₂ dissous permettent de maintenir en solution stable 10°F (0°F degré français) de bicarbonate de calcium à 30°C.

(1°F = 10mg de CaCO₃ par litre d'eau).

Si du fait de la dureté carbonatée de l'eau d'appoint et du taux de concentration C , la dureté carbonatée de l'eau du circuit a tendance à dépasser cette valeur, l'entartrage devient certain en l'absence de traitement.

- tartres sulfatés : un accroissement de concentration C peut également conduire à la limite de solubilité du sulfate de calcium et à la précipitation

de ce sel. L'entartrage se produit aussi bien au point le plus chaud (appareil à refroidir) que dans les canalisations et dans l'aérorefrigerant lui-même où s'élimine le CO_2 équilibrant. (11)

d) Embouage :

Les poussières introduites dans l'eau par le lavage de l'air se déposent dans les point bas et dans les zones où la circulation est faible ou épisodiquement nulle.

Il arrive aussi que certaines matières organiques apportées par l'air coagulent et adhèrent aux points chauds.

Du fait que la pollution de l'eau par les impuretés de l'air est inévitable, le risque d'embouage l'est aussi ; il est même augmenté par l'action du facteur concentration.

e) Developpement des organismes vivants :

Dans les circuits à recyclage sur aérorefrigerant, toutes les conditions favorables au développement d'organismes vivants (algues, bacteries et moisissures) sont réunies.

- température modérée : 20-30°C, apport d'éléments nutritifs (impureté de l'air), pH sensiblement constant.
- apport permanent d' O_2 nécessaire au développement de microorganismes aérobies.
- présence de dépôt boueux sous lesquels peuvent se développer des organismes anaérobies.
- exposition aux rayons ultra-violetts (aérorefrigerant, bassin des eaux froides) nécessaires au développement des algues.

Certains de ces facteurs ne peuvent pas être modifiés : apport d' O_2 , température. C'est pourquoi un traitement de désinfection est dans tous les cas nécessaire.

f) Les corrosions :

Ce sont les perturbations les plus fréquentes et les plus dangereuses rencontrées dans les installations de recirculation d'eau de refroidissement. Ils peuvent prendre différentes formes :

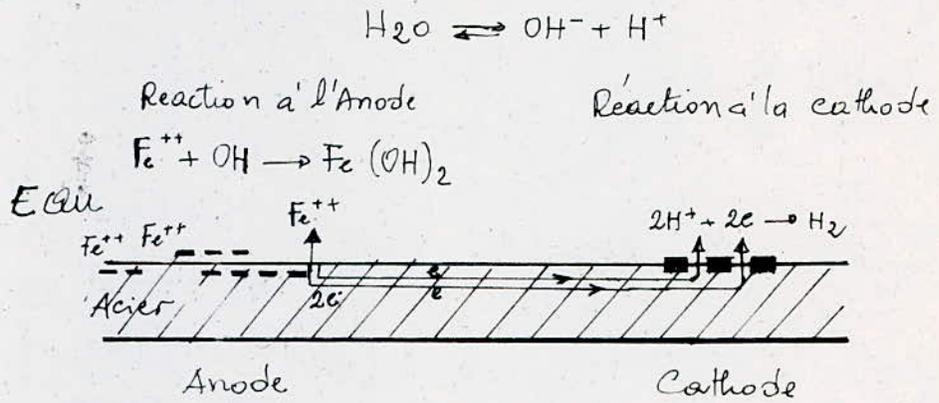


Fig: 2.9: corrosion par hydrogène
(ou en milieu désaérié) [3]

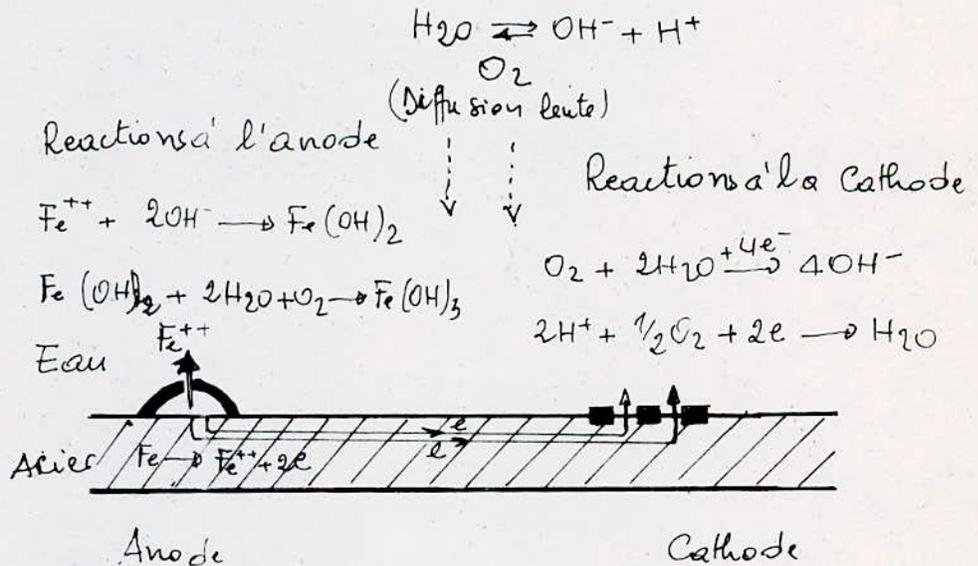


Fig 2.10: Corrosion en milieu aerié. [3]

- Corrosion chimique :

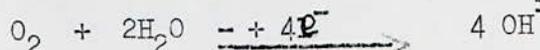
Le processus antagoniste est un processus d'électrode gazeuse d' H_2 , dans lequel l' H_2 gazeux est formé à partir des ions H^+ présents dans l'eau.

Il y a dissolution du métal ou oxydation, alors que la cathode est protégée (Fig. 2.9).

La corrosion se développe indéfiniment tant qu'elle n'est pas limitée par l'absence d'ions H^+ aux pH élevés, ou par saturation du milieu en ions Fe^{++} , qui entraînent la formation d'un dépôt protecteur par précipitation de $Fe(OH)_2$ et arrête en principe la corrosion.

- Corrosion par l' O_2 :

. Mécanisme électrochimique : En présence d'eau aérée, le processus complémentaire d'électrode est cette fois assuré par l' O_2 présent



Cette électrode est susceptible d'absorber des électrons, donc de se comporter comme une cathode (Fig. 2-10).

Plus la concentration en O_2 dissout est élevée, plus le potentiel d'électrode est lui aussi élevé. (11)

Aussi d'une façon apparemment paradoxale, le défaut d'irrigation en O_2 d'un élément du métal le rend anodique, donc corrodable par rapport au reste de la surface, qui se trouve protégé par l' O_2 . On comprend alors les effets néfastes des dépôts de toutes natures qui, en freinant la diffusion de l' O_2 vers les surfaces sous-jacentes y développent une zone anodique.

A la cathode d' O_2 , la libération des ions OH^- augmente le pH de l'eau du moins à proximité immédiate de la surface métallique de plus les ions Fe^{++} en présence d' O_2 s'oxydent en Fe^{+++} . O_2 , $Fe(OH)_3$ est très peu soluble et entraîne des dépôts divers, accélérant ainsi la corrosion.

- Corrosion par aération différentielle :

Du mécanisme précédent, il ressort que les zones de métal exemptes d' O_2 dissous, constituent des plages anodiques, tandis que les zones avec présence d' O_2 dissous constituent les plages cathodiques.

Une différence de potentiel peut également s'établir entre les zones dans lesquelles, le gradient de concentration en O_2 dissous existe dans le film

liquide. D'où la notion, définie par EVANS, qui caractérise la présence d'un grand nombre de micropiles élémentaires constitués par aération différentielle, et que l'on peut généraliser à toutes les hétérogénéités des pièces métalliques (11).

- Corrosion bactérienne :

Il arrive que les métaux voient leur corrosion accélérée par la présence de bactéries. Cette corrosion a lieu sur des dépôts de tartres et boues servant de support aux organismes.

2.2.4. Prévention des désordres dans les circuits de refroidissement (11) :

La présence des désordres se fait, soit par un traitement préalable des eaux, soit par l'utilisation de produits de conditionnement de ces derniers. Les installations de traitement sont dans ce cas très complexes et très coûteuses ; ainsi nous optons pour le conditionnement, moins cher et assez satisfaisant.

a) Lutte contre l'entartrage :

On fait appel à des composés sequestrants et dispersants et essentiellement aux produits suivants :

- les polyphosphates, sous forme de poudre, peu coûteux
- les polyphosphonates et polyacrylates : plus coûteux que les premiers, mais ont l'avantage d'éviter le développement d'organismes.

b) Lutte contre la corrosion :

Cette lutte est réalisée par la mise en oeuvre d'inhibiteurs spécifiques des différents métaux à protéger et dont le rôle est d'assurer la formation de couches protectrices dans les conditions de pH et de température de l'eau recyclée.

On fait appel souvent aux produits mixtes du type polyphosphates-zinc ou polyphosphonates-zinc ou encore des polyphosphonates-polysulfates-zinc. On prévient la corrosion bactérienne par désinfection des eaux.

c) Lutte contre l'Embouage :

Elle peut être obtenue par les méthodes suivantes :

- chasses périodiques aux points bas des circuits
- injection des produits dispersants
- purges de déconcentration continues pour évacuer les MES
- élimination continue des MES par filtration.

d) Désinfection des circuits :

On lutte contre le développement d'organismes par l'utilisation de biocides. Les plus utilisés sont : le chlore et ses dérivés, les ammoniums quaternaires.

III. METHODES ET MOYENS DE TRAVAIL :

Au cours des travaux, nous avons employé tous moyens disponibles assurant une représentativité de l'échantillon (15). Les échantillons sont conservés pendant le transport, dans des bouteilles en PCV d'une capacité d'un litre chacun ; ces derniers sont placés dans une enceinte froide, à température constante de 4°C. Ces précautions sont indispensables pour la qualité de l'échantillon avant l'analyse au laboratoire (15). La température, la dureté et le pH sont déterminés in-situ.

Les prélèvements ont été effectués en des points de rejets judicieusement choisis pour leur représentativité : cinq points au niveau des postes d'utilisation pour la première étape visant la spécification de la pollution. La seconde étape consistant à l'analyse qualitative et la traitabilité de l'effluent, nécessite un point de prélèvement assurant un échantillon moyen ; d'où le choix du regard du collecteur principal. Nous avons effectué un échantillonnage intégré. Les prélèvements s'étalent sur deux heures en des moments précis de la journée.

La méthode utilisée pour la détermination qualitative et quantitative des MES est celle décrite dans "chimie des eaux" (15) (voir Annexes). Nous avons réalisé la coagulation floculation suivant la méthode classique (voir Annexes) (4).

Tous les échantillons sont étudiés dans les six heures qui suivent leur prélèvement.

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION :

Par souci de clarté et de meilleure compréhension, nous présentons les résultats, suivis des interprétations.

* Les tableaux de 4.1 à 4.13 et les figures de 4.1 à 4.13 montrent les divers résultats expérimentaux.

4.1. Quantification de la pollution à la source de rejet :

Nous constatons sur le tableau 4.2 que les MES proviennent essentiellement des points : P4 et P3 ; les eaux chaudes proviennent des points P1 et P2, à un degré moindre du point P5. La dureté de l'eau utilisée dans les circuits de refroidissement est 10°F, ce qui est admissible dans ce cas (3).

L'observation du tableau 4.3 conduit aux remarques suivantes :

L'ordre de grandeur de la concentration en MES est proche de celle du tableau 4.2, moyenne des compagnes du tableau 4.1. C'est le signe d'une bonne évacuation de la pollution dans les différentes canalisations. La partie organique de MES est très importante.

La décantabilité de l'effluent dépasse en général 50%^{des MES}, mais elle ne permet pas de toujours satisfaire les normes de rejet (OMS : qui sont de 30 mg/l de MES).

4.2. Essai de coagulation floculation :

- Mise en oeuvre de la coagulation floculation :

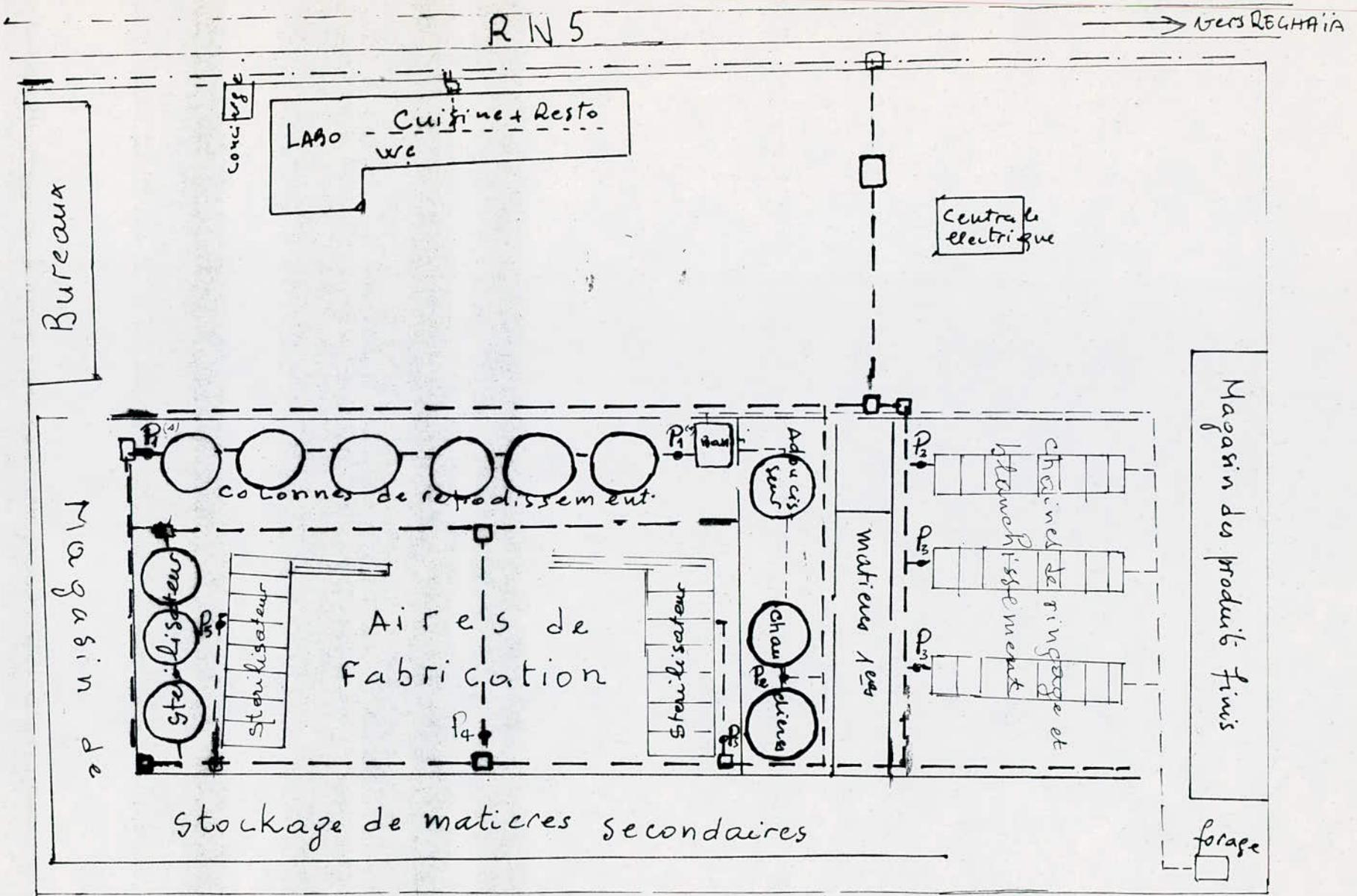
La neutralisation des charges électriques des colloïdes étant le principal but à atteindre, il importe de diffuser au plus vite le réactif utilisé, et ce, en réalisant une forte agitation (19)

- Mode d'action des coagulants-floculants :

Nous présentons seulement le mode d'action des agents utilisés dans cette étude : $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ et $Fe_2(SO_4)_3$.

. Les sels de Fer

En solution aqueuse ils réagissent comme suit :



- Evacuation eaux usées
- Egoût Communal
- Aménagé eau du forage

PLANCHE 1: Réseau d'air -
Sainissement de la NCA

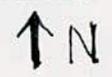


Tableau 4.1 : Resultats d'analyses au points de rejets

Prelevement Parametres etudies	4/3/86 a 13h					5/3/86 a 10h					8/3/86 a 11h				
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Temperature (°C)	22 ^(e) 70 ^(s)	72	20	22	34	21 ^(e) 70 ^(s)	70	19	22	34	21 ^(e) 71 ^(s)	70	20	21	34
Durete (°F)	36 ^(e) 45 ^(s)	/	/	/	/	36 ^(e) 50 ^(s)	/	/	/	/	35 ^(e) 49 ^(s)	/	/	/	/
PH	7 ^(e) 7 ^(s)	7	5.8	3.5	7	6.9 ^(e) 6.8 ^(s)	7	6.3	3.9	6.9	7.2 ^(e) 7.1 ^(s)	7	6.5	3.5	7.4
MES (mg/l)	0.36	0.26	2260	2160	0.47	0.42	0.55	1230	3204	0.67	0.39	0.45	142	110	0.5

- P₁ - colonnes de refroidissements
 - P₂ - Chaudières
 - P₃ - Rincage des produits et blanchissement
 - P₄ - Nettoyage des aires de travail
 - P₅ - Sterilisateurs
- (e) entree
 - (s) sortie
 - (°F) degre Faren
 - 1°F = 10 mg de CaCO₃

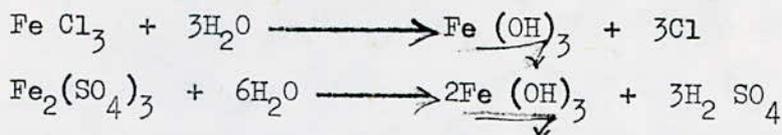
Tableau 4.2 : Moyennes des 3 Campagnes d'etude du tableau 4.1.

Prelevement Parametres etudies	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Temperature (°C)	21 ^(e) 70 ^(s)	70.7	19.7	21.7	35
Durete (°F)	35.7 ^(e) 48 ^(s)	/	/	/	/
PH	7 ^(e) 8 ^(s)	7.0	6.12	3.75	7.0
MES (mg/l)	0.39	0.42	164.2	215.0	0.52

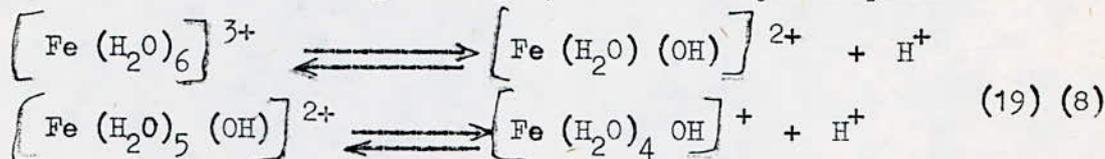
Tableau 4.3: Analyse d'échantillons prélevés au niveau de l'égoût principal de l'unité.

DATES	MES ^(*) mg/l.	M		D ^(*)		M.N.D. ^(*)		M.V.S. [*]		M.M. ^(*)	
		mg/l.	% MES	mg/l.	% MES	mg/l.	% MES	mg/l.	% MES	mg/l.	% MES
9/3/86 14 ^h 30	93.8	83.2	89.7	1.8	10.8	10.7	58.4	59.4	25.5	28.9	
9/3/86 11 ^h 30	106.3	102.5	69.7	2.0	32.2	30.3	74.9	70.4	27.6	26.0	
11/3/86 11 ^h 30	135.0	77.0	57.0	1.7	58.0	42.9	85.0	62.9	50.0	37.0	
11/3/86 12 ^h 0	68.0	45.0	68.2	1.5	23.0	33.8	60.0	88.2	8.0	11.8	
11/3/86 14 ^h 30	89.0	65.0	73.0	1.5	24.0	24.9	80.0	89.9	9.0	10.0	
Moyennes	98.43	74.5	71.5	1.7	29.6	28.9	71.3	74.2	24.0	22.7	

(*) voir légende des abréviations et symboles.

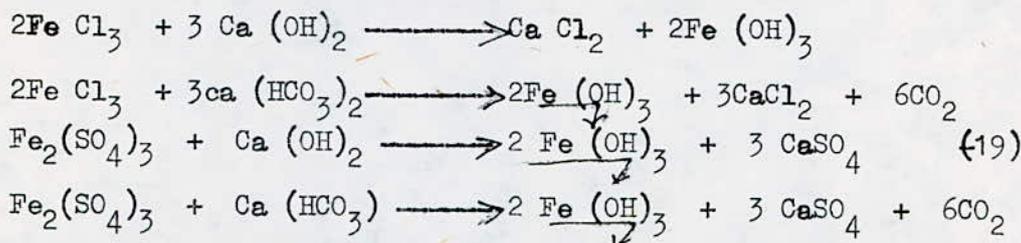


En fait l'hydroxyde métallique est polymérisé de façon complexe

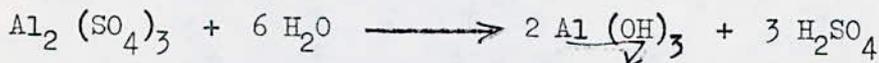


Peuvent exister aussi des formes simples telles que : Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$, $\text{Fe}(\text{OH})_6^{2-}$.

En présence de substances basiques telles que des carbonates, des bicarbonates on a les réactions suivantes :



. Les sels d'Aluminium



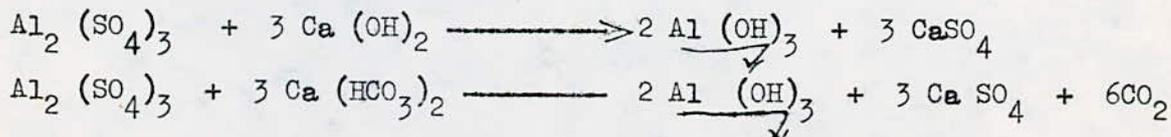
L'ions aluminium subit en fait une série de réactions complexes

Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, et polymères variés : $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^3$, $\text{Al}_3(\text{OH})_{10}^{4+}$, $\text{Al}_{24}(\text{OH})_{60}^{12+}$ etc...

Comme l'hydroxyde ferrique l'hydroxyde d'aluminium est polymérisé de façon complexe :



En présence de substance basique on a :



Pendant les essais de coagulation-floculation nous avons employé deux types d'échantillons avec chaque agent ; un échantillon préalablement décanté et un échantillon non décanté.

a) Essai avec $Fe_2(SO_4)_3$:

Caractéristiques de l'échantillon : MES : 98mg/l ; pH = 7, $T^\circ = 21^\circ C$
décantabilité 51% des MES

De cet essai nous tirons les observations suivantes

la dose de coagulant la plus efficace se situe autour de 150mg/l de $Fe_2(SO_4)_3$ (Fig. 4.1) et tableau 4.4.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec l'essai sur l'échantillon non décanté ; la raison de ce résultat est la concentration élevée de MES qui favorise toutes les formes de floculation.

L'abaissement du pH (Fig. 4.2) est dû à la libération d'ion H^+ dans l'échantillon au cours de la formation des hydroxydes de fer (voir mode d'action).

L'abaissement du pH plus marqué, dans l'essai avant décantation s'expliquerait par l'importance de la floculation.

Après utilisation de doses plus rapprochées de $Fe_2(SO_4)_2$, nous obtenons la valeur la plus efficace 145mg/l, le pH correspondant est d'environ 5,7 (Fig. 4.3 et 4.2).

La Fig (4.4) indique que le charbon permet de relever très lentement le pH à faible dose.

b) Essai avec $Al_2(SO_4)_3$:

Caractéristiques de l'échantillon étudié : MES = 75mg/l, pH = 7, $T^\circ = 22^\circ C$,
décantabilité 58 % des MES

Nous constatons que la dose la plus efficace d'élimination des MES est autour de 200mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ (Fig 4.5) Tableau 4.7.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec l'échantillon non décanté (courbe (1)) ; c'est le même phénomène qu'avec $Fe_2(SO_4)_3$ certainement pour les mêmes raisons.

Dans ce cas également nous remarquons un important abaissement du pH (Fig 4.6)

Tableau 4.4: Résultats d'essais de coagulation-floculation avec $Fe_2(SO_4)_3$

Echantillon non décanté				Echantillon décanté			
Doses de $Fe_2(SO_4)_3$ ($\mu g/l$)	MES résiduels ($\mu g/l$)	R ^{dent} (%)	PH	Doses de $Fe_2(SO_4)_3$ ($\mu g/l$)	MES résiduels ($\mu g/l$)	R ^{dent} (%)	PH
0.0	98.0	0.0	7.0	0.0	55.0	0.0	7.0
50.0	30.0	69.4	6.0	50.0	30.0	45.6	6.7
100.0	4.0	95.9	6.0	100.0	6.0	89.0	6.4
150.0	1.0	98.9	5.5	150.0	2.1	96.2	6.5
200.0	41.0	58.2	5.0	200.0	19.0	65.5	5.7

Doses de $Fe_2(SO_4)_3$ ($\mu g/l$)	Rendement (%)
0.0	0.0
120.0	96.0
130.0	97.1
140.0	98.4
150.0	98.1
160.0	91.0
170.0	86.0
180.0	69.0

Tableau 4.5: Résultats des essais de coagulation-floculation avec $Fe_2(SO_4)_3$ (échant. non décanté)

Doses de charbon en poudre ($\mu g/l$)	PH
0.0	5.5
2.5	6.2
5.0	6.8
10.0	6.9
15.0	7.1
20.0	7.3

Tableau 4.6: Résultats d'essais de réglage du PH avec du charbon pendant la coagulation avec $Fe_2(SO_4)_3$ (échant. non décanté)

Fig 4.1 Rendement d'élimination des MES en fonction de la dose de $Fe_2(SO_4)_3$

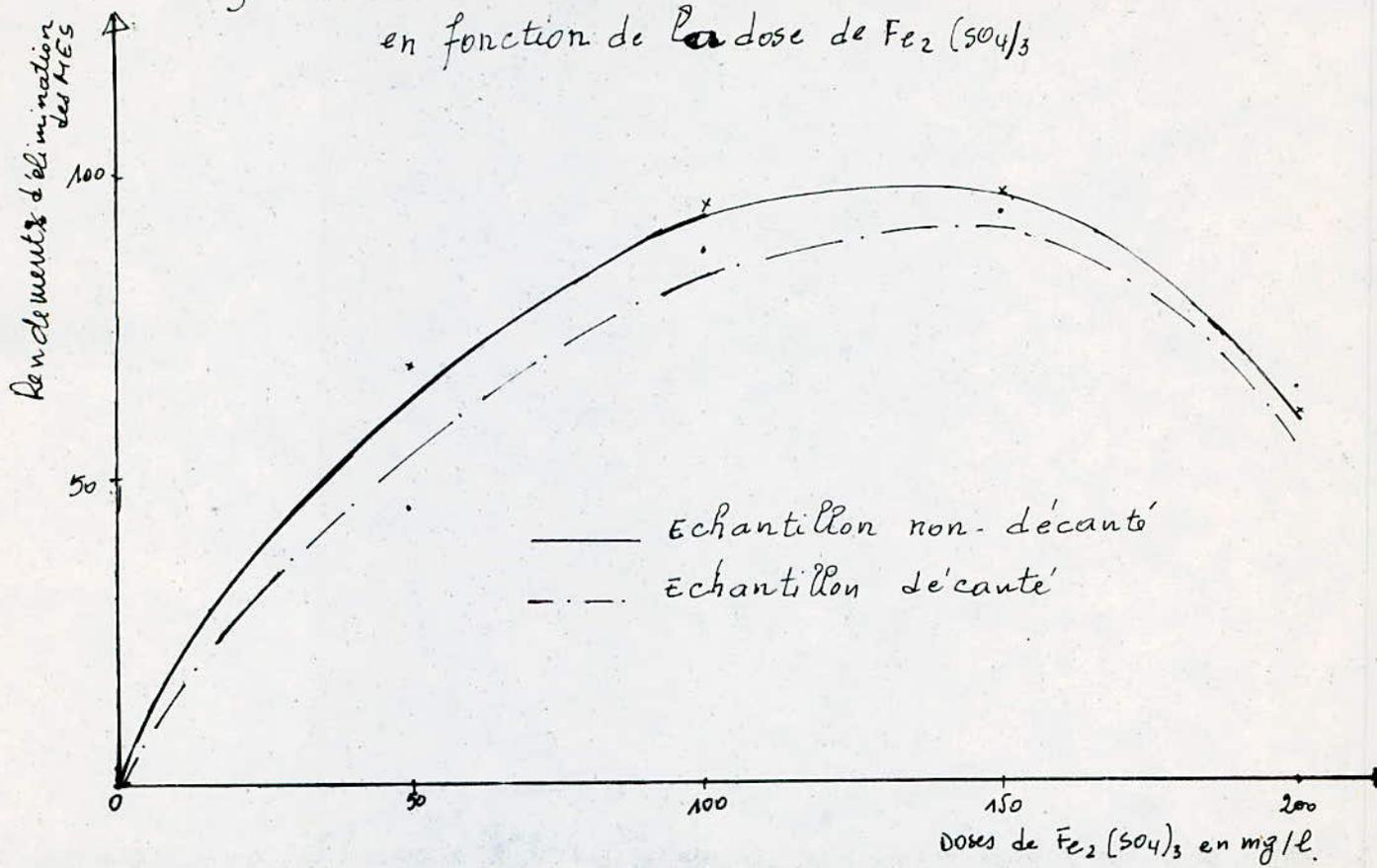


Fig 4.2 Evolution de PH en fonction des doses de $Fe_2(SO_4)_3$.

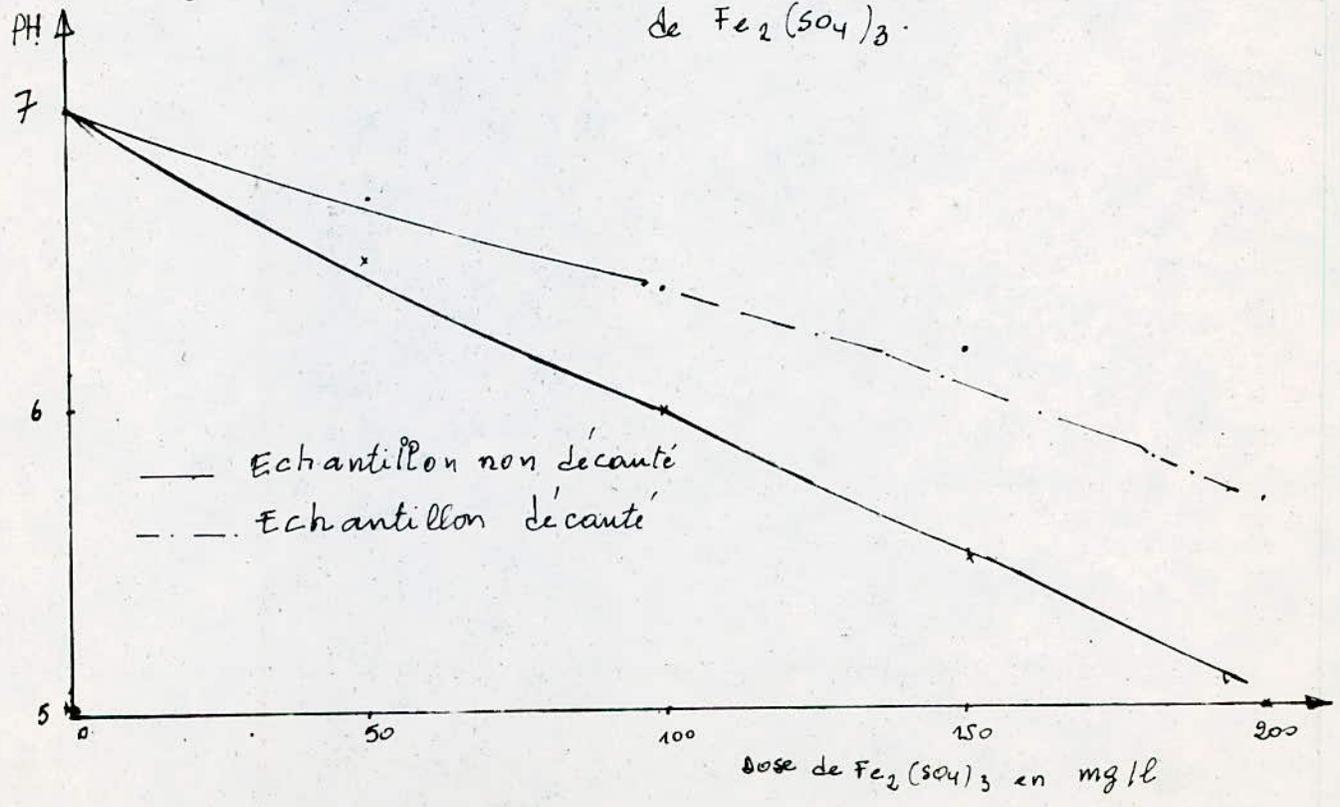


Fig 4.3 Rendement d'élimination des MES en fonction des doses rapprochées de $Fe_2(SO_4)_3$

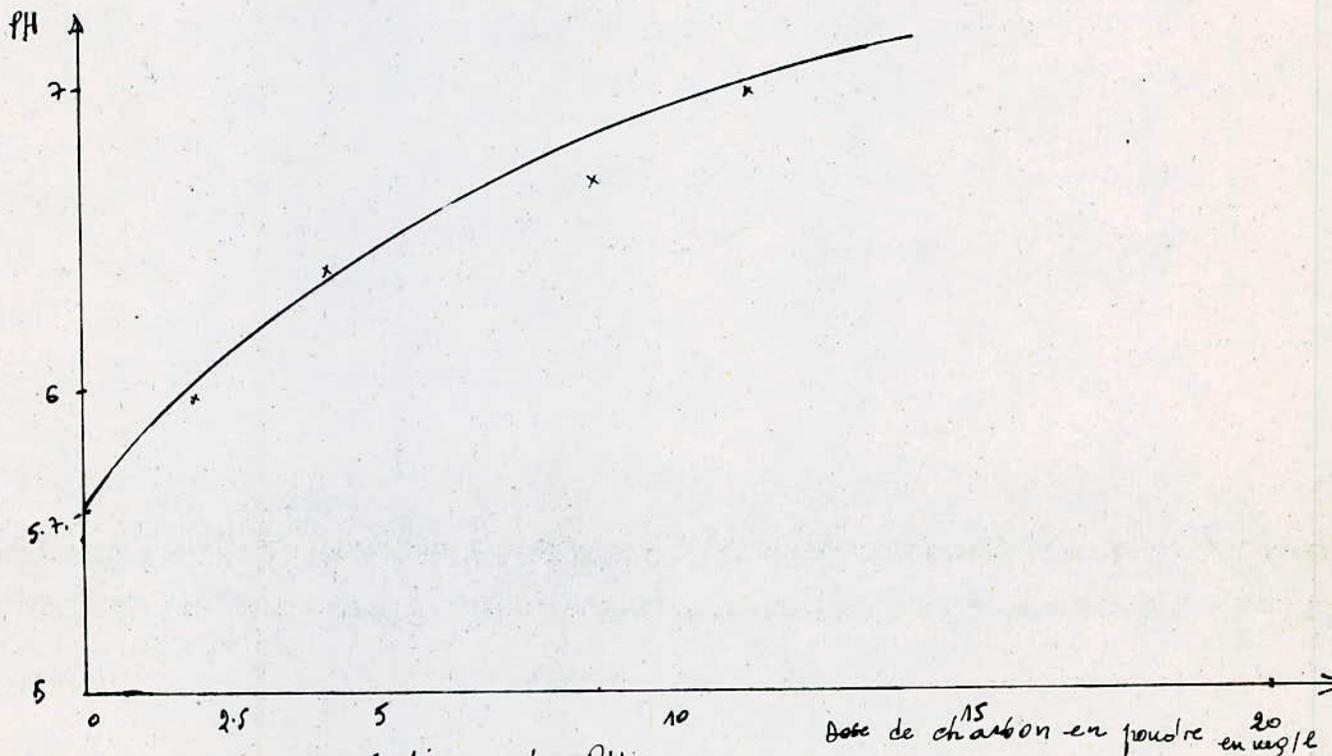
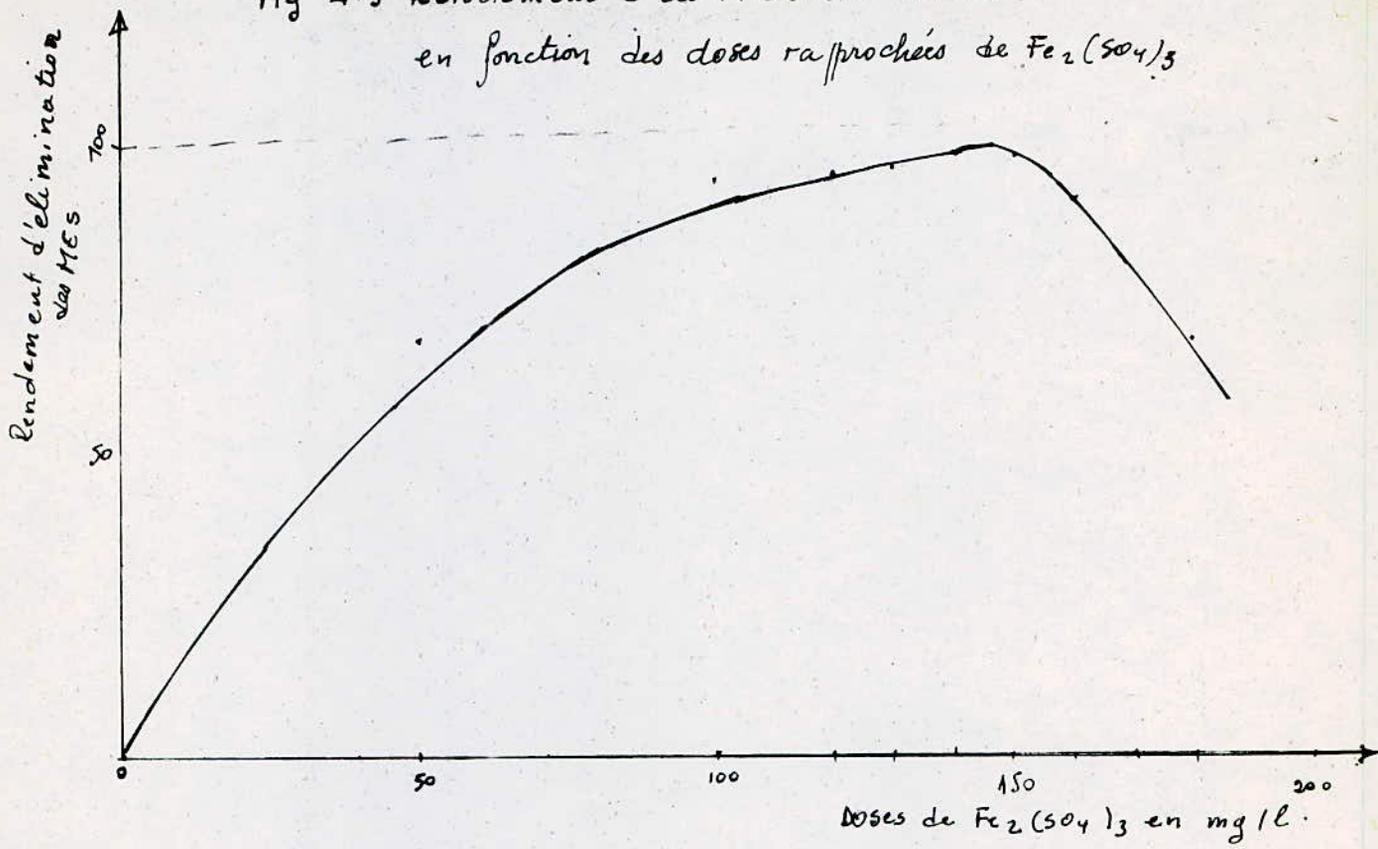


Fig 4.4 Evolution du PH en fonction des doses de charbon en poudre.

Tableau 4.7: Résultats d'essais de coagulation-floculation avec $Al_2(SO_4)_3$

Echantillon non décanté				Echantillon décanté			
Doses de $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	MES résiduelles (mg/l)	Rendement (%)	PH	Doses de $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	MES résiduelles (mg/l)	Rendement (%)	PH
0.0	73.0	0.0	7.0	0.0	48.0	0.0	7.0
50.0	11.0	84.8	6.6	50.0	19.0	74.0	6.7
100.0	4.4	94.0	6.2	100.0	9.0	98.0	6.4
150.0	2.5	97.0	5.8	150.0	7.4	90.0	6.0
200.0	1.2	98.4	5.4	200.0	3.0	96.0	5.5

Doses de $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	Rendement %
0.0	0.0
160.0	97.2
170.0	97.9
180.0	98.4
190.0	98.0
200.0	97.5
210.0	89.0
220.0	80.0
230.0	70.0

Tableau 4.8: Résultats d'essais avec $Al_2(SO_4)_3$ (échantillon non décanté)

Doses de charbon en poudre (mg/l)	PH
0.0	5.4
1.0	5.7
5.0	5.9
10.0	6.2
15.0	6.8
20.0	6.9

Tableau 4.9: Essai de rectification du PH avec du charbon pendant l'expérience avec $Al_2(SO_4)_3$ (échantillon non décanté)

Fig 4.5 Rendement d'élimination des MES en fonction des doses de $Al_2(SO_4)_3$

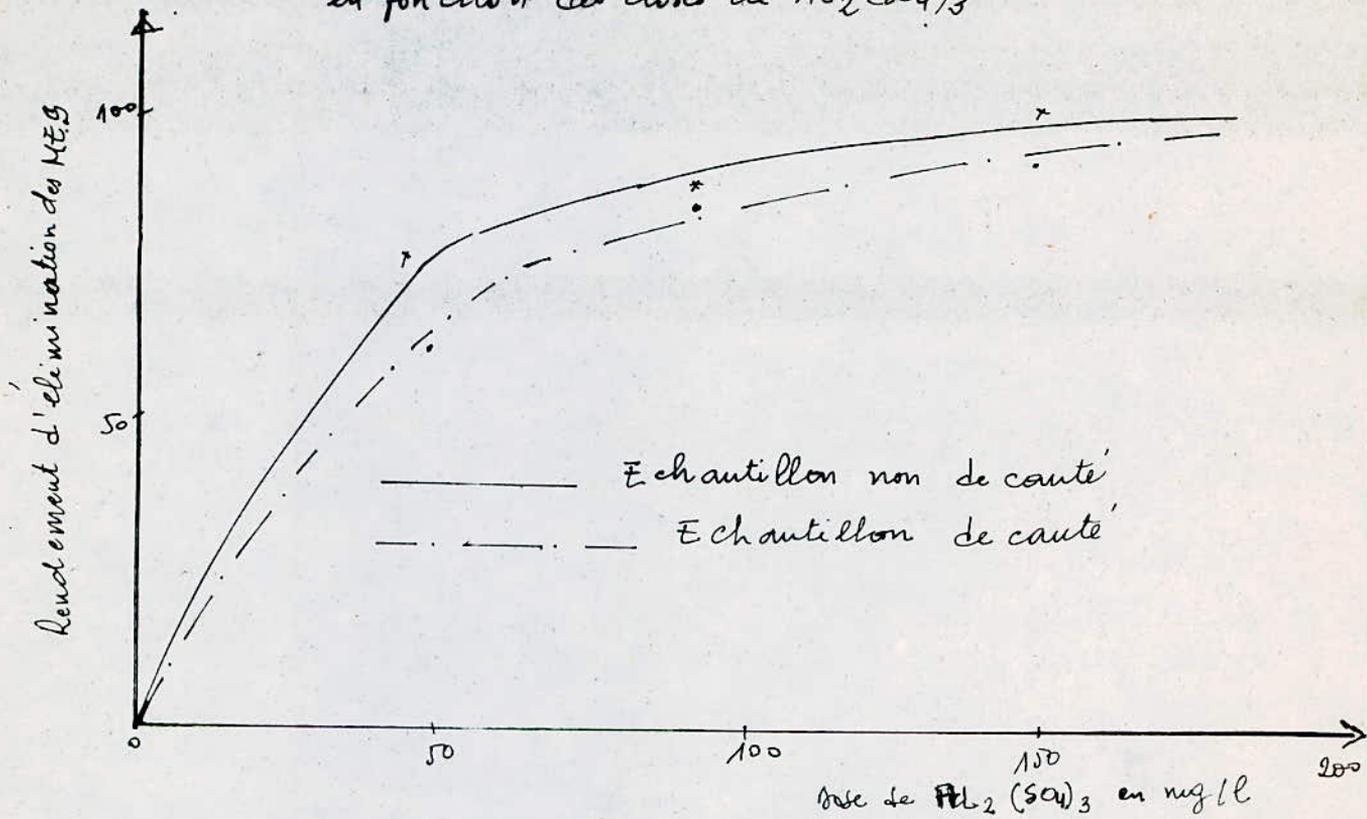
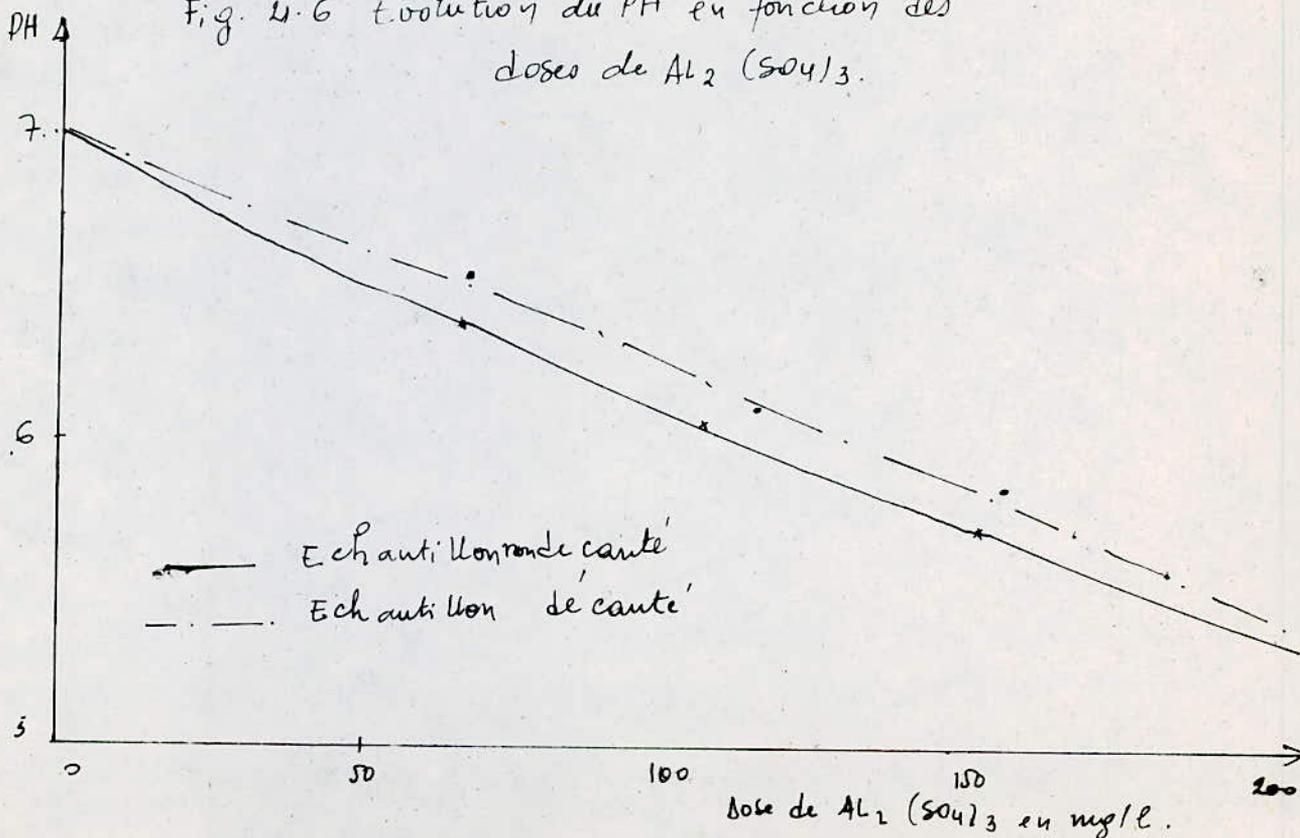


Fig. 4.6 Evolution du PH en fonction des doses de $Al_2(SO_4)_3$.



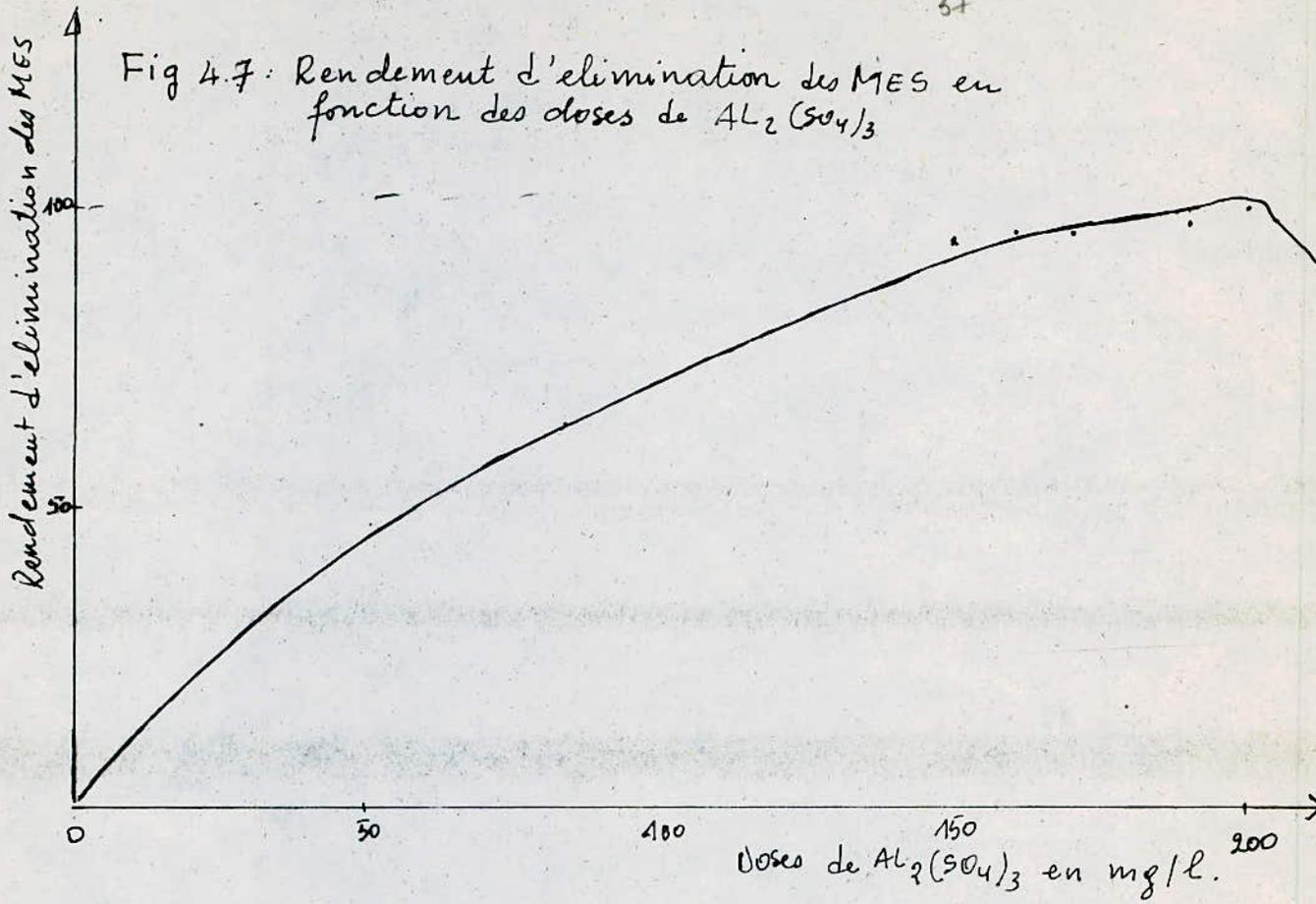


Fig 4.8: Evolution du PH en fonction des doses de charbon en poudre.

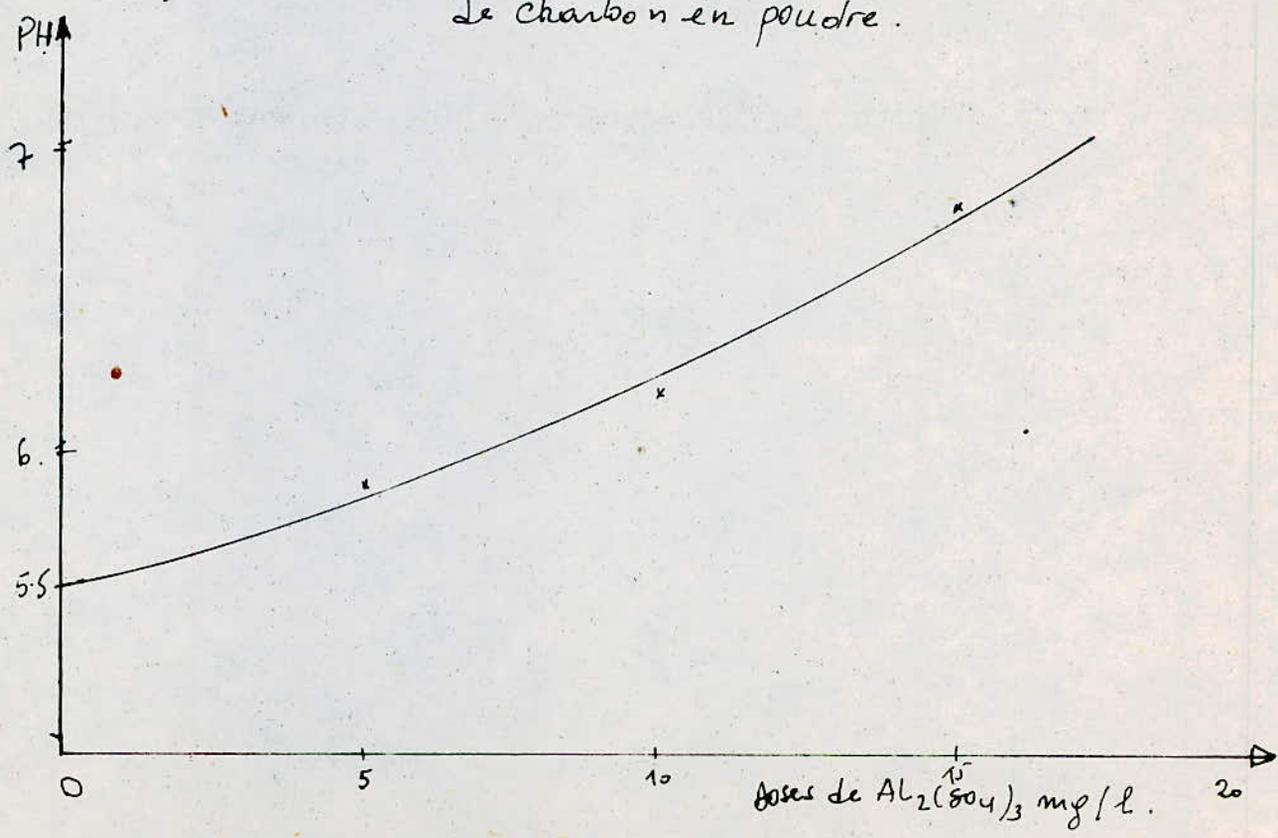


Tableau 4.10: Résultats d'essais de coagulation-floculation avec $FeCl_3$

Echantillon non decanté				Echantillon decanté			
Doses de $FeCl_3$ (mg/l)	MES résiduelle (mg/l)	Rend ^{mt} %	PH	Doses de $FeCl_3$ (mg/l)	MES résiduelle (mg/l)	Rend ^{mt} %	PH
0.0	65.0	0.0	7.0	0.0	57.5	0.0	7.0
50.0	5.8	91.1	6.4	50.0	3.0	90.5	6.6
100.0	1.0	98.4	6.0	100.0	2.4	95.6	6.2
150.0	1.3	98.1	5.8	150.0	7.2	86.5	5.6
200.0	7.8	88.0	5.3	200.0	9.7	82.5	5.5

Doses de $FeCl_3$ (mg/l)	Rendement
0.0	0.0
60.0	91.0
70.0	96.0
80.0	97.4
90.0	99.0
100.0	90.0
110.0	86.0
120.0	80.0
130.0	60.3

Tableau 4.11: Résultats d'essais avec $FeCl_3$
(échantillon non decanté)

Doses de charbon en poudre (mg/l)	PH
0.0	5.00
1.0	6.20
5.0	6.60
10.0	6.70
15.0	6.72
20.0	6.73

Tableau 4.12: Rectification du PH avec le
charbon au cours de l'essai
avec $FeCl_3$ (échant. non decanté)

Fig 4.9: Rendement d'élimination des MES en fonction des doses de $FeCl_3$

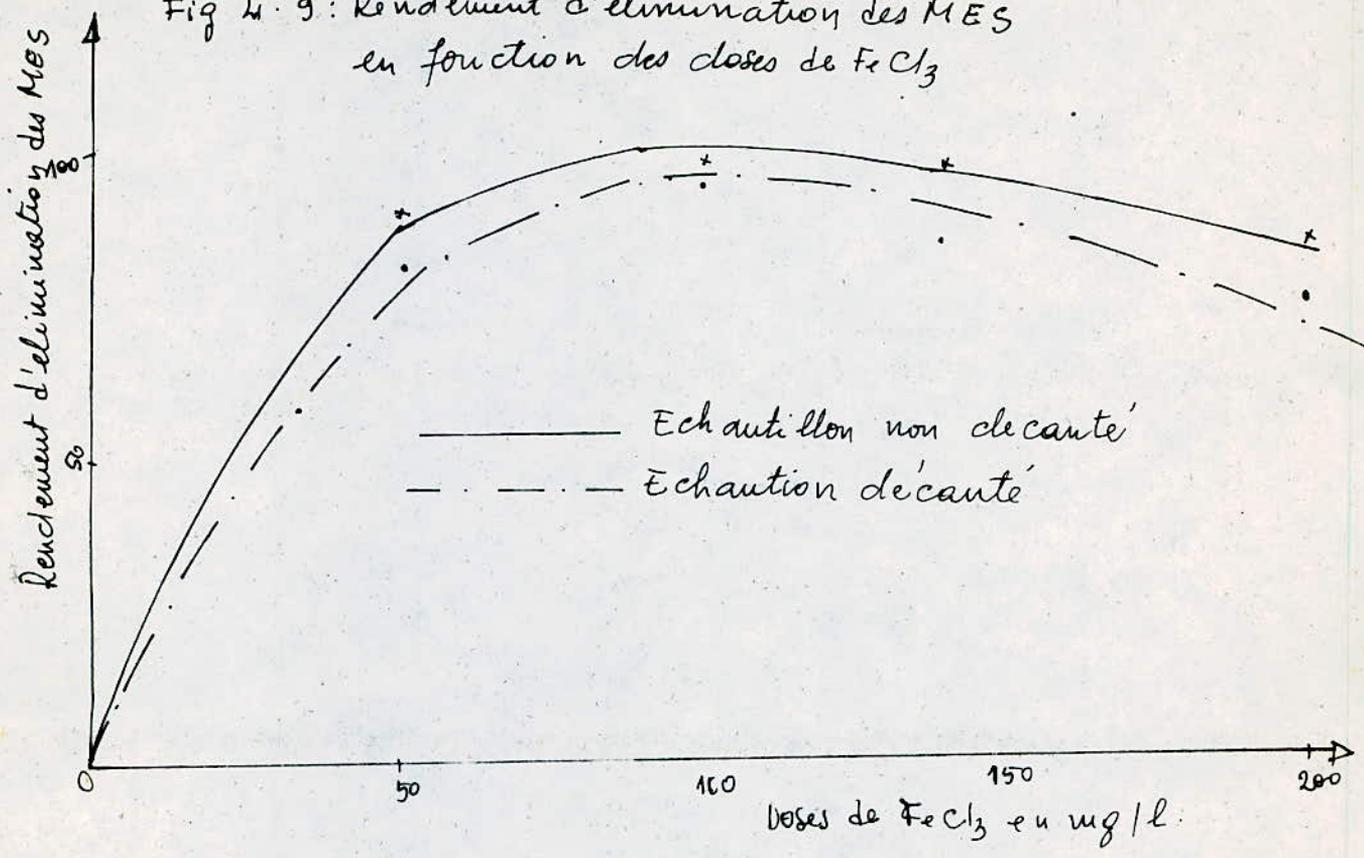


Fig 4.10 Evolution du PH en fonction des doses de $FeCl_3$.

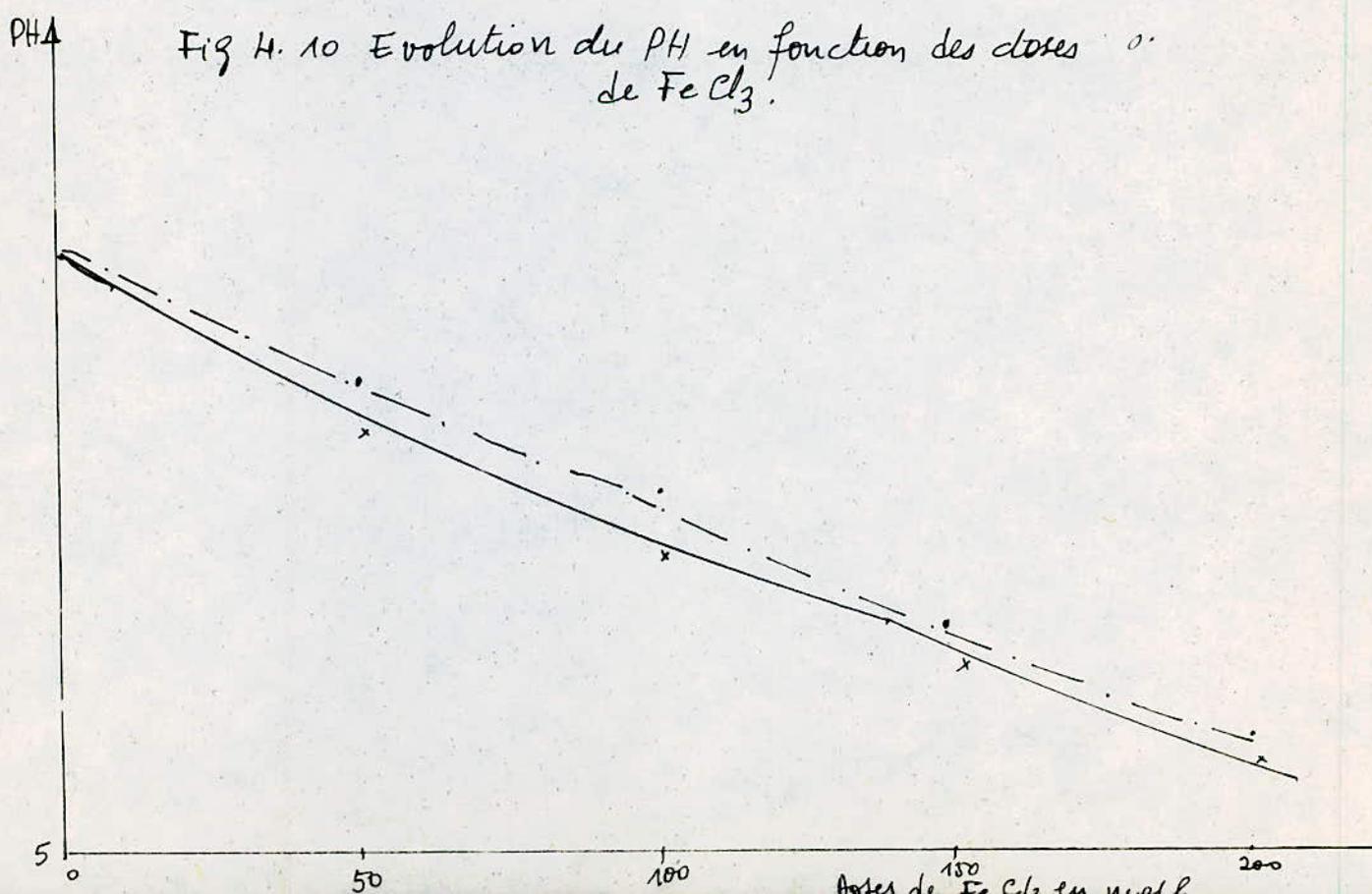


Fig. 4.11 Rendement d'élimination des MES en fonction des doses rapprochées de $FeCl_3$

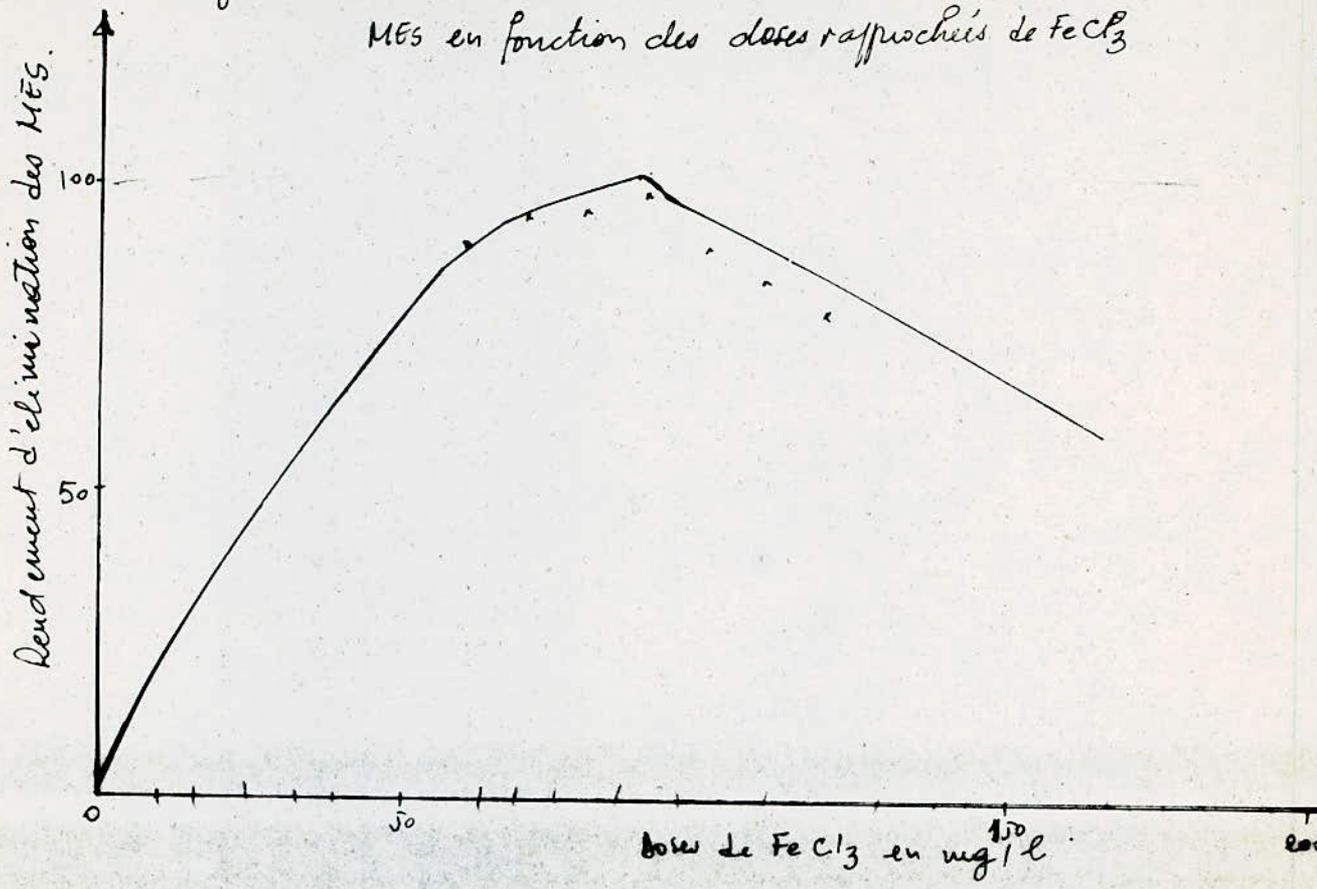


Fig. 4.12 Evolution du PH en fonction des doses de charbon en poudre.

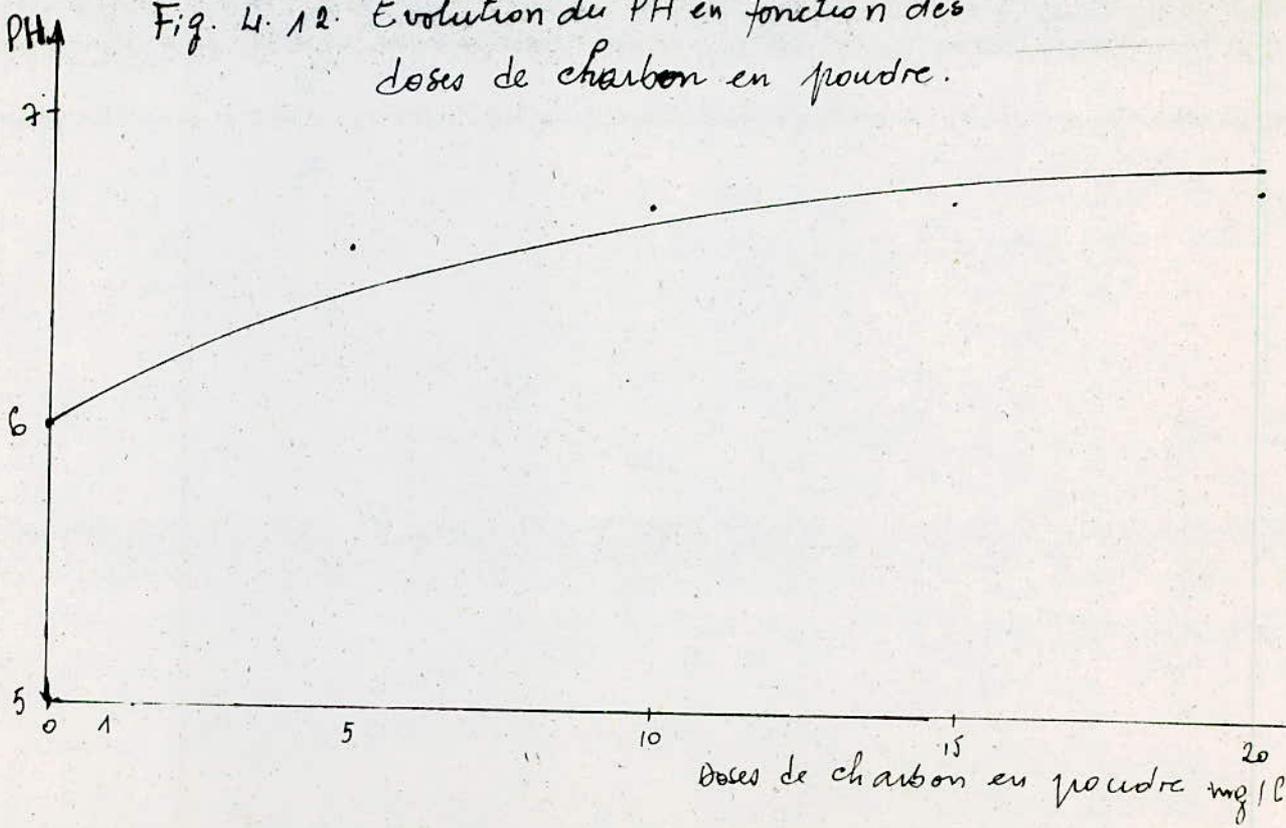
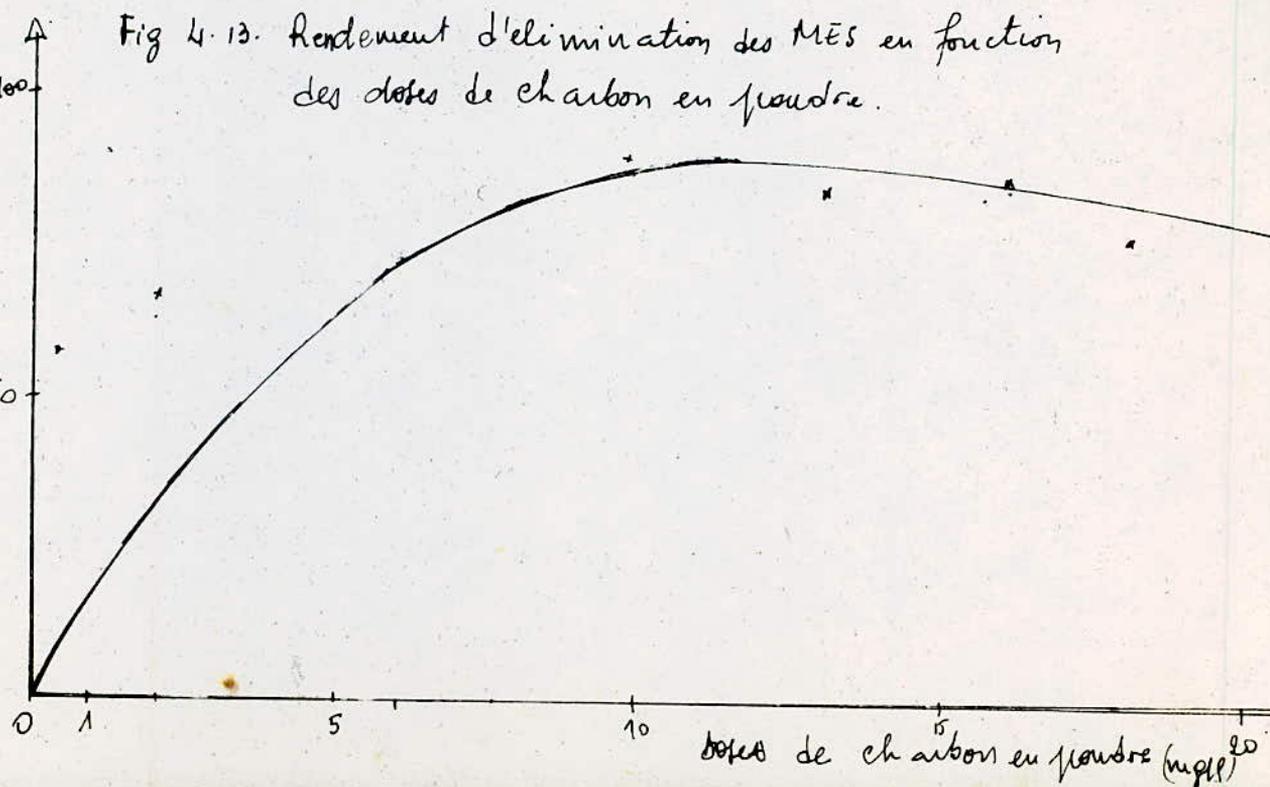


Tableau 4.13 : Rendement d'élimination des MES en fonction des doses de charbon en poudre (ech. non decante)

Doses de charbon en poudre. (mg/l)	Rendement d'élimination des MES (%)
0	58.8
1	60.9
2	68.0
5	70.3
7	73.2
10	84.0
13	86.1
15	88.4
20	83.6

Rendement d'élimination des MES



toujours à cause des ions H^+ libérés pendant la formation des hydroxydes. L'utilisation de doses rapprochées de flocculant autour de 200mg/l a permis de cerner la valeur exacte de la dose efficace soit : 190mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ (Fig. 4.7.), le pH correspondant est 5,6.

Le relèvement du pH est obtenu par utilisation du charbon en poudre (Fig. 4.8) son évolution est moins marquée que celle de l'essai avec le $Fe_2(SO_4)_3$.

c) Essai avec $FeCl_3$:

Caractéristiques des échantillons : MES = 65mg/l ; $T = 21^\circ C$, pH = 7

La meilleure doses d'élimination des MES est autour de 100mg/l (Fig. 4.9) L'essai sur l'échantillon non décanté donne le meilleur résultat, ce qui concorde avec les observations faites sur les deux premiers agents. L'utilisation de doses plus rapprochées de $FeCl_3$ autour de 100mg/l a permis de cerner la valeur la plus efficace environ 90mg/l (Fig. 4.11), tableau 11, le pH correspondant est de 6,2 (Fig. 4.10).

Le réajustement du pH est obtenu à l'aide du charbon en poudre (Fig. 4.12).

Nous constatons que les sels de fer sont plus efficaces, à cause certainement de la plus grande densité des hydroxydes de fer d'où leur meilleure décantabilité. $Al_2(SO_4)_3$ et $Fe_2(SO_4)_3$ abaissent le pH de l'échantillon plus que $FeCl_3$ à cause certainement de la nature des acides formés, H_2SO_4 pour $Al_2(SO_4)_3$ et $Fe(SO_4)_3$ et HCl pour $FeCl_3$.

Les résultats de la Fig 4.13 et du tableau 13 indiquent que le charbon ne joue pas seulement le rôle d'ajustement du pH, mais il participe d'une façon significative à l'élimination des MES.

Ce résultat peut avoir un effet bénéfique sur la limitation des doses de flocculant.

4.3. Autres paramètres :

Nous avons cherché à savoir le rôle de nos essais de déca-
ntation sur l'élimination de la DBO_5 la DCO

Caractéristiques de l'échantillon étudié : MES = 108mg/l, pH = 7, $T = 21^\circ C$

Les résultats sont les suivants :

- Effluent brut

$$\text{DBO}_5 (b) = 300\text{mg/l}$$

$$\text{DCO} (b) = 800\text{mg/l}$$

- Effluent décanté

$$\text{DBO}_5 (t) = 100\text{mg/l}$$

$$\text{DCO} (t) = 350\text{mg/l}$$

* Calcul de l'efficacité du traitement sur la DBO_5 et la DCO

$$\text{DBO}_5 (\%) = \frac{\text{DBO}_5 (b) - \text{DBO}_5 (t)}{\text{DBO}_5 (b)} \hat{=} \frac{300 - 100}{300} = \frac{200}{300} = 66\%$$

$$\text{DCO} (\%) = \frac{\text{DCO} (b) - \text{DCO} (t)}{\text{DCO} (b)} = \frac{800 - 350}{800} = \frac{450}{800} = 65\%$$

V. PROPOSITION D'AMENAGEMENT ET DIMENSION DES OUVRAGES DE TRAITEMENT :

5.1. Proposition d'aménagement :

Les eaux usées chargées en MES et les eaux chaudes seront collectées séparément. Les eaux chargées en MES subiront une simple décantation sans traitement chimique ; les eaux chaudes se refroidiront au cours de leur écoulement dans une canalisation à ciel ouvert, elles serviront ensuite à diluer les eaux décantées. Le rejet aura une teneur moyenne en MES d'environ 13mg/l, ce qui est conforme aux normes de rejet (OMS).

Ce schéma sera valable seulement avant l'installation d'un circuit de refroidissement indispensable pour cette usine.

Après installation du système de refroidissement, les eaux usées doivent subir un traitement chimique (coagulation-floculation) puis décantation et réajustement du pH avant le rejet.

5.2. Dimensionnement des ouvrages de traitement :

5.2.1. Ouvrages d'élimination des MES :

Les décanteurs peuvent être classés en deux grandes catégories :

5.2.1.1. Les décanteurs à circulation horizontale :

Elle comprennent

a) Les bassins rectangulaires :

Dans ces ouvrages l'eau circule dans le sens de la longueur. Habituellement le rapport entre profondeur de l'eau moyenne et la longueur du bassin est de 1 : 20 à 1:25. La vitesse maximale de circulation de l'eau est de 0,05m/s. Il est important d'atteindre la circulation sans tourbillon, ce qui nécessite une construction spéciale de l'entrée et de la sortie de l'eau afin de la répartir uniformément sur toute la longueur du bassin.

Il existe des bassins rectangulaires simples des bassins à treillis et des bassins avec racloirs mécanique de boues.

- Bassins simples : ils sont constitués par des parois verticales ou inclinées vers la sortie. Il est utile de concevoir au milieu un rigole à boues.
- Bassins à treillis : ce sont des bassins rectangulaires dont le fond est décomposé en un certain nombre de treillis. Les boues sont récupérées par des tuyaux sous pression hydrostatique.
- Bassins avec racloirs mécanique: le fond de ces bassins est plat, en pente ascendante vers la sortie. Le racloir rassemble les boues et les transportent dans une rigole où elles sont pompées eou évacuées par pression hydrostatique. La largeur de ce type de bassin est limitée par les possibilités de construire des ponts réseaux.

b) Les Bassins circulaires :

L'eau amenée par une conduite au centre du bassin d'où elle s'écoule vers le bord. On distingue :

- Les bassins circulaires avec évacuateurs de boues : le fond de ces bassins est construit en pente vers le centre.
- Les bassins à double étage : ce type de bassin est utilisé pour les usées ménagères pour de petites agglomérations. La zone de décantation présente à son fond des plans fortement inclinés l'un vers l'autre et laissant entre eux une brèche à compartiment à boues située au-dessous. Ce compartiment a une capacité suffisante pour permettre la digestion des boues.

5.2.1.2. Les décanteurs à circulation verticale :

Pour plusieurs types d'eaux résiduaires industrielles, on utilise les décanteurs à circulation verticale ascendante ou descendante.

L'eau arrive par un cylindre central et sort par les bords.

La vitesse dans le cylindre d'amenée ne doit pas dépasser 0,1m/s

5.2.1.3. Les flocculateurs :

Selon le type d'agitation on distingue plusieurs types d'appareils :

- flocculateurs mécaniques
- flocculateurs à aération diffuse
- flocculateurs à contact de boues
- flocculateurs à chicane

5.2.2. Calcul et description des ouvrages de décantation :

Des dégrilleurs sont installés au niveau de tous les postes de rejets, et ils fonctionnent, d'une manière satisfaisante.

5.2.2.1. Le décanteur :

Nous ferons le calcul d'un bassin circulaire pour ces nombreux avantages (économie d'espace, bonne répartition de l'effluent etc...)

- Calcul

. données de base : $Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$
on fixe un temps de séjour $t_s = 1\text{h}$ (18)

nous choisissons une hauteur $H = 2\text{m}$

. la vitesse ascensionnelle : $V_a = H/t_s = \frac{2}{1} = 2\text{m/s}$

. la surface du bassin : $S = \frac{Q}{V_a} = \frac{20}{2} = 10\text{m}^2$

. le volume du bassin est : $V = SH = 10 \cdot 2 = 20\text{m}^3$

. le diamètre du bassin est défini par $Q = \sqrt{\frac{45}{\pi}}$ (14)

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot 20}{\pi}} = 5\text{m}$$

- les caractéristiques du bassin sont
temps de séjour $t_s = 1\text{h}$

hauteur du bassin $H = 2\text{m}$

vitesse ascensionnelle $V_a = 2\text{m/s}$

surface du bassin $S = 10\text{m}^2$

volume du bassin $V = 20\text{m}^3$

diamètre du bassin $\phi = 5\text{m}$

- le décanteur sera équipé d'un râteau à entraînement périphérique. Les boues seront déversées et dirigées vers la bêche de reprise des boues. Ces dernières seront ensuite épaissies, déshydratées et séchées. Ces boues étant exemptes de toute substance toxique et fortement organiques ; on peut envisager leur usage agricole.

Les eaux décantées seront évacuées par surverse dans une rigole périphérique et dirigée vers l'égout urbain.

5.2.2.2. Installations de coagulation :

- Calcul

. données de base : $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

nous fixons un temps de séjour $t_s = 2\text{mn}$, une longueur $L = 2\text{m}$ et une hauteur $H = 1\text{m}$.

. volume du bassin $V : t_s Q = \frac{20}{60} \cdot 20 = 0,7 \text{ m}^3$

. la surface du bassin : $S = \frac{V}{L} = \frac{0,7}{2} = 0,35 \text{ m}^2$

. la largeur du bassin est : $l = \frac{S}{H} = \frac{0,35}{1} = 0,35\text{m}$

- Caractéristiques du bassin de coagulation

temps de séjour : $t_s = 2\text{mn}$

volume du bassin $V = 0,7 \text{ m}^3$

surface du bassin $S = 0,35 \text{ m}^2$

Longueur du bassin : $L = 2\text{m}$

Largeur du bassin : $l = 0,35\text{m}$

- Le brassage sera rapide pendant les 2mn. Nous envisagerons un installation de rectification du pH si c'est nécessaire.

5.2.2.3. Les flocculateurs (bassins de floculation)

. Données de base : $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

nous fixons un temps de séjour $t_s = 20\text{mn}$; une hauteur $H = 1\text{m}$ et une longueur du bassin $L = 5\text{m}$

. le volume du bassin $V = Q t_s : \frac{20}{60} \cdot 20 = 6,7 \text{ m}^3$

. la section du bassin est $S = \frac{V}{L} = \frac{6,7}{5} = 2 \text{ m}^2$

La largeur du bassin est donnée par $l = \frac{S}{H} = \frac{1,34}{1} = 1,34\text{m}$

Calcul du nombre d'agitateurs

* D'après l'équation empirique suivante $X \leq \frac{L}{\beta H}$ (14)

X - nombre d'agitateurs :

β - coefficient arbitraire $1 \leq \beta \leq 1.5$

pour $\beta = 1$ on a : $X \leq \frac{L}{1.H} = \frac{5}{1.1} = 5$ on prend $X = 5$

* Dimensionnement des lames d'agitateurs :

En pratique la distance entre les parois verticales et les lames doit être de 25cm. La distance entre la lame inférieure jusqu'au fond du bassin et la lame supérieure à la surface de l'eau doit être de 15cm. [14]

La surface de deux lames doit être au maximum égale à 20% de la section du bassin ; pour des surfaces supérieures à cette valeur l'écoulement ne sera pas longitudinal mais en spirale. L'utilisation de lame de largeur voulue permet d'avoir l'écoulement désiré. [14]

. La largeur de la lame est donnée par la formule :

$$a = l - (2.e) \quad (14) \quad \text{d'où} \quad a = 1,35 - (2.0,25) = 0,84\text{m}$$

on fixe la largeur $b = 0,1\text{m}$

. La surface A de deux lames d'un agitateur est donnée par :

$$A = 2 a.b = 2.0,84.0,1 = 0,17\text{m}^2$$

$20\% S = 0,20.1,34 = 0,27 \text{ m}^2 > 0,17 \text{ m}^2$ donc la condition d'un bon écoulement sera assuré à 20% de S.

(voir Fig. 5.1)

- Calcul de la vitesse périphérique W

$$W = 2 \pi r n \quad (14)$$

r - rayon de rotation (fig. 5.1)

n - nombre de tours par minute (vitesse de rotation)

$$r = \frac{H - 2d}{2} = \frac{1 - 2.0,15}{2} = 0,7$$

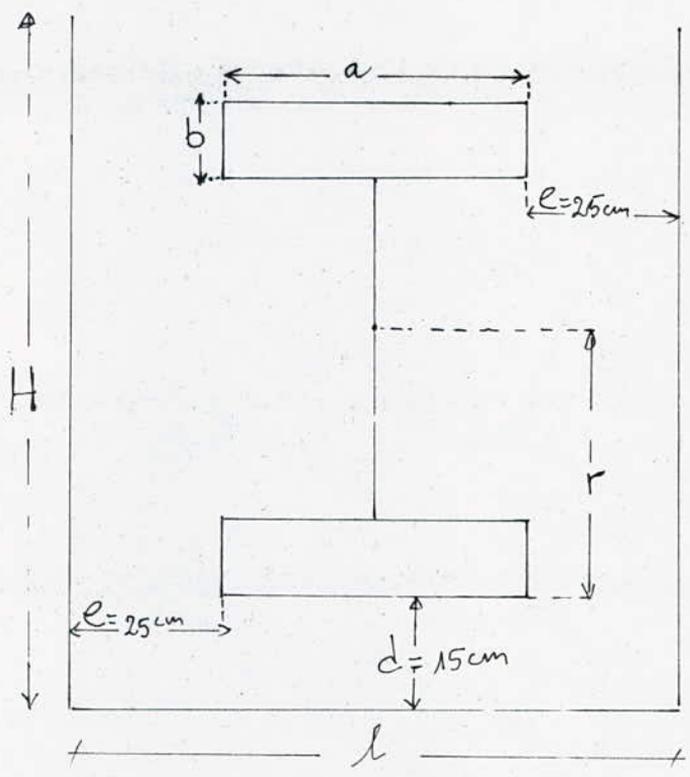


Fig 5.1 : disposition des lames d'un agitateur dans un bassin de floculation

Nous avons choisi 5 agitateurs

En général la vitesse de rotation des deux derniers agitateurs est inférieure à celle des autres afin de permettre le grossissement progressif des floes. en pratique on considère :

$$\begin{array}{l} n_{1-3} = \eta_1 = 4 \text{ tours/min} \\ n_{4-5} = \eta_2 = 2 \text{ tours/min} \end{array} \implies \left\{ \begin{array}{l} W_{1-3} = 2\pi r \cdot n_1 \\ W_{4-5} = 2\pi r \cdot n_2 \end{array} \right.$$

On calcul alors

$$W_{1-3} = 2\pi \cdot 0,7 \cdot 4 = 17,58 \text{ m/min} = 0,29 \text{ m/s}$$

$$W_{4-5} = 2\pi \cdot 0,7 \cdot 2 = 8,79 \text{ m/min} = 0,15 \text{ m/s}$$

Nous devons vérifier le critère de Reynolds Re.

$$Re \leq 5 \cdot 10^5 \text{ afin d'éviter la cassure des floes, mais } Re = \frac{u \cdot \rho}{\mu}$$

u - différence entre l'écoulement de l'eau et la vitesse de mouvement des lames.

$$\mu - \text{viscosité dynamique de l'eau} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\rho - \text{densité de l'eau} = 1,009 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$$

En pratique on prend U égale à 75% de W, d'où

$$U_{1-3} = 0,75 W_{1-3} = 0,75 \cdot 0,29 = 0,22 \text{ m/s}$$

$$U_{4-5} = 0,75 W_{4-5} = 0,75 \cdot 0,15 = 0,11 \text{ m/s}$$

On calcul alors

$$Re_{1-3} = \frac{U_{1-3} \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,22 \cdot 0,1 \cdot 1,009 \cdot 10^3}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 0,17 \cdot 10^5 < 5 \cdot 10^5$$

$$Re_{4-5} = \frac{U_{4-5} \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,11 \cdot 0,1 \cdot 1,009 \cdot 10^3}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 0,085 \cdot 10^5 < 5 \cdot 10^5$$

donc dans tous les cas $Re < 5 \cdot 10^5$

* Calcul de la puissance absorbée par les agitateurs

$$P_t = K \cdot A \rho \frac{u^3}{2V} = P_{1-3} + P_{4-5} \text{ où}$$

u - Différence de vitesse

V - volume du bassin

ρ - densité de l'eau usée

K - coefficient qui correspond à la forme de la lame

A - surface d'une lame

$$A_{1-3} = 3A = 3 \cdot 0,17 = 0,51 \text{ m}^2$$

$$A_{4-5} = 2A = 2 \cdot 0,17 = 0,34 \text{ m}^2$$

$$V_{1-3} = \frac{3}{5} V = \frac{3}{5} \cdot 6,7 = 4,02 \text{ m}^3$$

$$V_{4-5} = \frac{2}{5} \cdot 6,7 = 2,68 \text{ m}^3$$

Le coefficient K varie avec le rapport a/b (il existe de tableaux donnant K en fonction de a/b).

$$\text{notre cas } a/b = 0,84/0,1 = 8,4 \longrightarrow K = 0,7$$

$$P_{1-3} = \frac{K A_{1-3} \rho u_{1-3}^3}{2 V_{1-3}} = \frac{0,7 \cdot 0,51 \cdot 1,009 \cdot 0,22^3}{2 \cdot 4,02} \cdot 1,009 \cdot 10^3 + 0,48 \text{ Watts}$$

$$P_{4-5} = \frac{K A_{4-5} \rho u_{4-5}^3}{2 V_{4-5}} = \frac{0,7 \cdot 0,34 \cdot 1,009 \cdot 10^3 \cdot 0,11^3}{2 \cdot 2,68} + 0,05 \text{ Watts}$$

$$P_t = P_{1-3} + P_{4-5} + 0,48 + 0,05 = 0,53 \text{ Watts.}$$

- Vérification du gradient de vitesse G

La valeur du gradient de vitesse G indique l'efficacité de l'agitation. En pratique pour les brassages lents le gradient G doit être inférieur à 60 s^{-1}

Le gradient G est donné par $G = \sqrt{P/M}$ d'où

$$G_{1-3} = \sqrt{P_{1-3}/M} = \sqrt{\frac{0,48}{1,3 \cdot 10^{-3}}} = 19,22 \text{ s}^{-1} < 60 \text{ s}^{-1}$$

$$G_{4-5} = \sqrt{P_{4-5}/M} = \sqrt{\frac{0,05}{1,3 \cdot 10^{-3}}} = 1,96 \text{ s}^{-1} < 60 \text{ s}^{-1}$$

donc la relation $G < 60 \text{ s}^{-1}$ est vérifiée.

* Caractéristiques du flocculateur

- temps de séjour $t_s = 20\text{mn}$
- volume du bassin $V = 6,7\text{m}^3$
- section du bassin $S = 1,34\text{m}^2$
- largeur du bassin $l = 1,34\text{m}$
- longueur du bassin $L = 5\text{m}$
- hauteur du bassin $H = 1\text{m}$
- nombre d'agitateurs $X = 5$

La longueur de la lame d'agitateur $a = 0,84\text{m}$

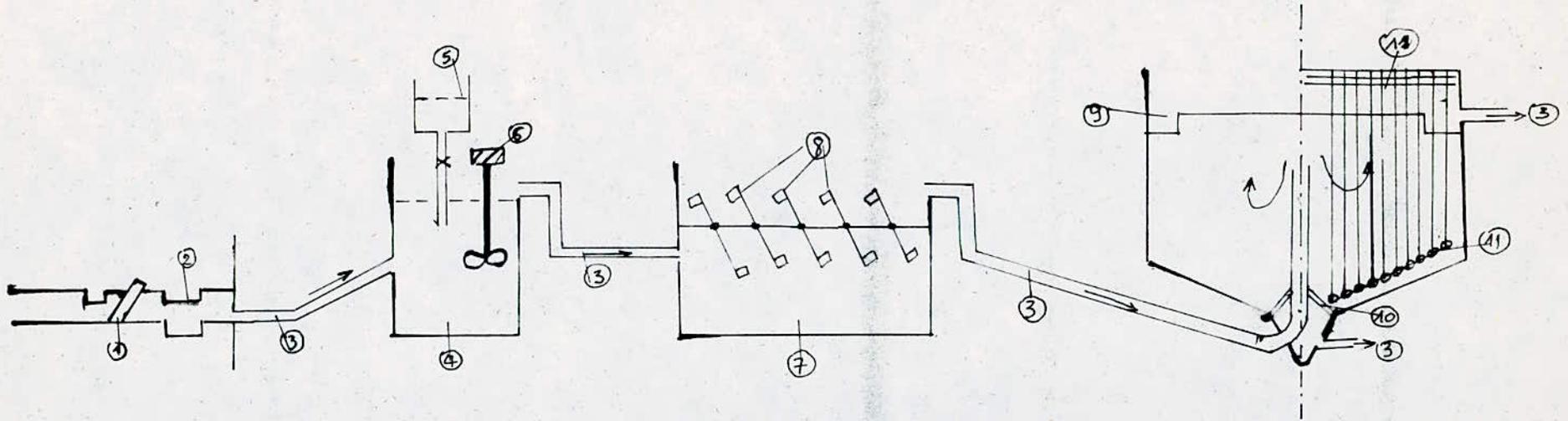
La largeur de la lame d'agitateur $b = 0,1\text{m}$

Surface de la lame d'agitateur $A = 0,17\text{m}^2$

Rayon de rotation $r = 0,7\text{m}$

- La floculation a lieu dans le bassin, par brassage obtenue par agitation mécanique c'est à dire par mouvements des pâles tournant à axe horizontal.

SCHEMA DE L'INSTALLATION DE TRAITEMENT DES EAUX USEES



- ① Degrillage
- ② bay-pass
- ③ Tuyau d'amenée
- ④ Coagulateur
- ⑤ réservoir de solution
- ⑥ Mélangeur rapide

- ⑦ flocculateur
- ⑧ agitateurs mécaniques
- ⑨ rigole
- ⑩ decanteur
- ⑪ Pont râcleur

5.2.2.4. Gestion et entretien de l'installation :

Les aspects de la gestion de la station sont de 4 types

- énergie consommée
- personnel employé
- entretien des équipements électromécanique
- contrôle du processus

a) Entretien

- décanteur :

Il faut évacuer les boues pour éviter l'accumulation et le risque d'anaérobiose.

Nettoyer les rigoles d'écoulement de l'effluent

Nettoyer les lames de surface des racleurs pour enlever les boues adhérent

- coagulateur

varifier la vitesse du mélange

- flocculateur

vérifier l'état de fonctionnement des agitateurs.

Voir planche 1 schéma de l'installation.

5.2.2. Calcul des paramètres de recyclage :

. données de base : $Q = 3 \text{ m}^3/\text{h}$

température d'entrée des colonnes de refroidissement $T_1 = 21^\circ\text{C}$

température de sortie des colonnes de refroidissement $T_2 = 70^\circ\text{C}$

On admet que les eaux chaudes arrivent au réfrigérateur atmosphérique à cette température de 70°C . Nous nous fixons pour objectif de ramener cette température à 25°C à la sortie du réfrigérateur.

a) la différence de température $\Delta T = T_2 - 25 = 70 - 25 = 45^\circ\text{C}$

b) la puissance du réfrigérant $W = 100 \cdot Q \cdot \Delta T$

c) le débit d'évaporation $E = \frac{Q \Delta T}{500} = \frac{3.45}{100} = 0,27 \text{ m}^3/\text{h}$

d) le débit d'entraînement vésiculaire $E = \frac{Q}{1000} = \frac{3}{1000} = 3.10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$

e) le débit de purges de déconcentration P est donné par :

on suppose que P vaut 10 fois E_v

$$P = 10 E_v = 10.10^{-3}.3 = 3.10^{-2} \text{ m}^3/\text{h} = 30.10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

f) Le débit de décontration totale

$$D \pm E + P = 3.10^{-3} + 30.10^{-3} = 33.10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

g) le débit d'appoint A sera :

$$A = E + D = 0,27 + 0,033 = 0,303 \text{ m}^3/\text{h}$$

h) le taux de concentration C est donné par

$$C = 1/D = \frac{303.10^{-3}}{33.10^{-3}} = 9$$

5.2.2.1. Conditionnement des eaux recyclées :

Les tableaux suivants permettront à l'utilisateur de faire le choix des produits de contionnement adequats. Pour ce choix on se referera au prix du produit, sa qualité alimentaire et les caractéristiques des eaux (dureté, température, origine des eaux, teneur en MES). Voir tableau 5.1, 5.2, 5.3 et 5.4.

Produits	Conditions d'applications			Coloration de l'eau	Caractere alimentaire	Efficacite'	Stabilite' solution	Mise en oeuvre
	Temperature	PH	Dosages / m ³					
Silicates	< 80°C	≈ PH d'equilibre	10g (en SiO ₂)	non	Oui	- sur cuivre ++ sur galva ± sur noir	++	tres aisee (liquide)
phosphonates	< 80°C	> PH d'equilibre	2-5g (en P ₂ O ₅)	non	Oui	- sur cuivre ± sur noir + sur galva	±	difficile (poudre) tres hygroscopique
orthophosphates	> 80°C	> 8,6	20 a 50g (en P ₂ O ₅)	non	Oui	++ sur noir	++	facile (poudre soluble)
phosphates zinc	≤ 90°C	6,8 a 7,8	2 a 5g en P ₂ O ₅ 0,2 a 1g en zinc	non	Oui	+++ sur galva +++ sur cuivre ++ sur noir	++	tres aisee (liquide)
Tannates	< 60°C	> 8,6	10 a 20g	Oui	Oui	+++ sur noir	++	tres aisee (liquide)
polyphosphates zinc	> 60°C	6,4 a 7,8	5/10 en P ₂ O ₅ 0,5/2 en Zn	non	Oui	+++ sur galva Cuivre ou noir	-	tres difficile (poudre) tres hygroscopique
Nitrites	≤ 200°C	> 8	1kg en NaNO ₂	non	non	+++ sur noir	+	aisee (poudre) soluble
Chromates	< 100°C	6,4 a 6,8	618g en CrO ₄	non	non (toxique)	+++ sur galva et noir	++	peu aisee (poudre toxique)
Hydrates d'hydrazine	> 60°C	> 8	0,2 - 1g	non	non (toxique)	++++ sur noir	+	aisee (liquide)
Amines grasses	< 200°C	> 6,6	variable suivant origine	non	non (± toxique)	variable	+	difficile emulsion peu stable

Tableau 5 3 Caracteristiques principales des inhibiteurs de corrosion [11]

Tableau 5.1: Caractéristiques principales des produits dispersants

Produits	Qualités Alimentaires*	Coloration de l'eau	Degradation par l'oxygène dissous	Degradation par le chlore	Degradation par l'hydrolyse	éléments favorisant le développement des organismes vivants
polyphosphates	oui	nulle	nulle	nulle	lente à $t < 40^{\circ}\text{C}$	oui
polyphosphonates	non	nulle	nulle	oui	lente à $> 80^{\circ}\text{C}$	non
polyacrylates	non	nulle	nulle	oui	lente	non
dignosulfonates	non	faible	oui à $t > 65^{\circ}\text{C}$	oui	nulle	oui
Tannates	oui	forte	oui à $t > 65^{\circ}\text{C}$	oui	nulle	oui
polyamines grasses	non	nulle	non	oui	nulle	non

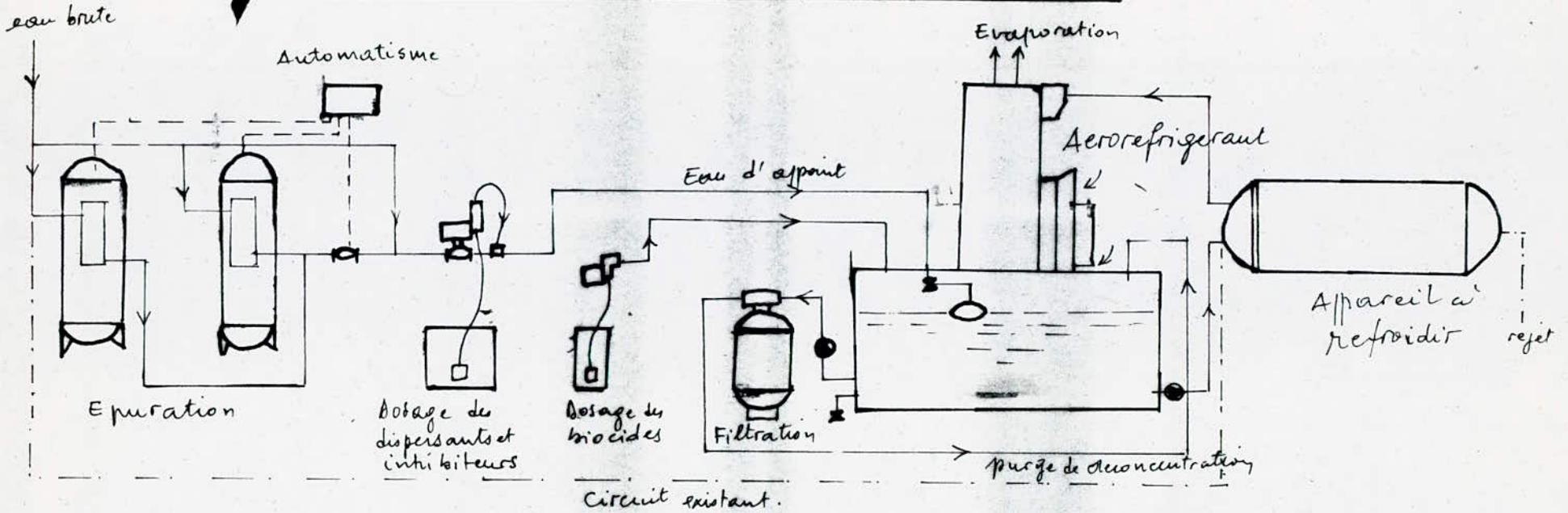
* indique que le produit peut être utilisé à faible dose, sans pour autant pouvoir être ingéré pur.

Tableau 5.2: Caractéristiques principales des produits alcalins.

Produits	Caractère alimentaire	Dosages usuels		
		par gramme de CO_2	Pour augmenter	
			Le TAC de 1°F	le TA de 1°F
Soude caustique en palettes NaOH	oui ⁽¹⁾	0,9 g	8 g / m^3	8 g / m^3
Carbonate de soude cristallisé ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	oui ⁽¹⁾	2,8 g	12,5 g / m^3	25, g / m^3
Ammoniaque 22° Be	non	3 ml	(2)	(2)
Hydrate d'hydrazine $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ à 24%	non	2,2 ml	(2)	(2)
Cyclohexylamine à 60%	non	3,6 ml	(2)	(2)
Soude caustique en lessive 30° Be	oui ⁽¹⁾	2,4 ml	21 ml / m^3	21 ml / m^3
Carbonate de soude anhydre (Na_2CO_3)	oui	2,4 g	11 g / m^3	21 g / m^3
Phosphate trisodique anhydre (Na_3PO_4)	oui	33 g	16,5 g / m^3	33 g / m^3

(1) la soude caustique ne peut être utilisée que si le pH de l'eau traitée reste inférieur à 8,5
 (2) Aucune indication n'a été donnée

SCHEMA DE TRAITEMENT DES EAUX DE REFROIDISSEMENT



- Circuit du traitement 1000 pose'
- Circuit existant dans l'unité
- possibilite' d'automatisation

CONCLUSION

Cette étude, bien que modeste, à cause du temps imparti et des moyens disponibles, nous a permis d'aboutir à des résultats utiles dans le cadre de la résolution des problèmes posés par les eaux résiduaires de la zone industrielle de Rouiba.

On remarquera à l'observation des résultats d'analyse, l'excellente efficacité de la décantation précédée d'une coagulation-floculation. Nous avons pu explorer la possibilité d'usage de divers agents minéraux dans ce traitement, puis cerner leurs doses optimales d'élimination des MES. Nous avons montré l'intérêt du charbon en poudre dans le traitement.

La connaissance de l'origine des eaux des colonnes de refroidissement, leur qualité et leur volume, nous a permis d'envisager deux variantes toutes faisables pour éviter leur versement à haute température dans le réseau communal. Nous insistons tout particulièrement sur le refroidissement sur réfrigérant atmosphérique. La rareté des eaux douces rend criminel leur gaspillage. La récirculation permet une économie importante des eaux.

Nous n'affirmons pas pour autant, avoir résolu tous les problèmes des eaux au niveau de la nouvelle conserverie objet de notre étude ; ceci pour diverses raisons ; les conserveries sont saisonnières par conséquent, on assiste à une grande fluctuation des débits d'eaux résiduaires ainsi que leur charge en MES ; les eaux chaudes subissent les mêmes fluctuations. Il faut donc une campagne étalée sur toutes les saisons. Et même sur la saison objet de notre étude, nous ne jugeons pas une campagne suffisante pour tirer des résultats sans faille ; plusieurs études sont toujours nécessaires pour diminuer les erreurs. Nous espérons avoir contribué à la résolution d'un problème vital, la protection de notre environnement.

ZONE INDUSTRIELLE DE ROUIBA-REGHAIA

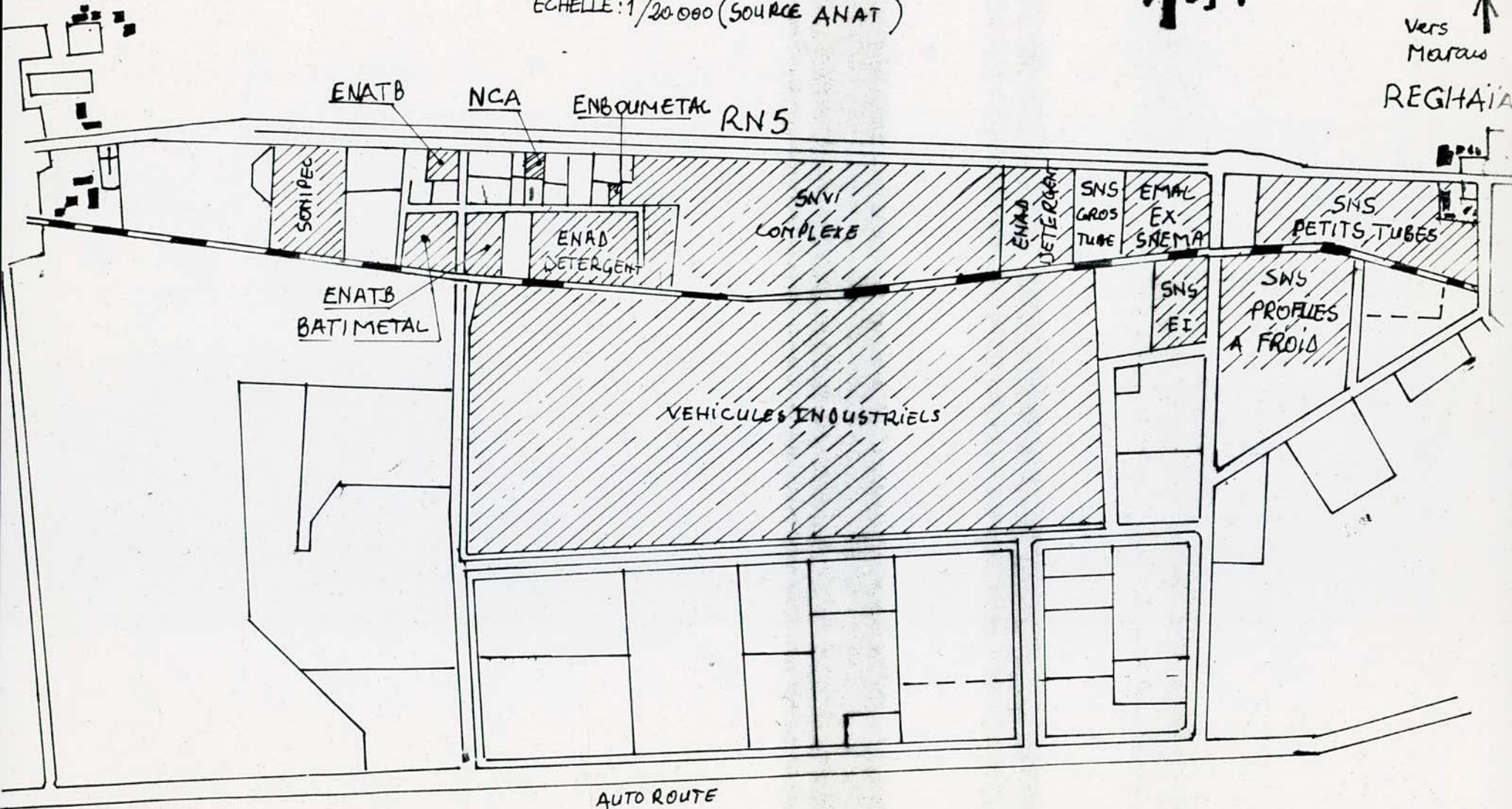
ECHELLE: 1/20.000 (SOURCE ANAT)



vers
Marras

REGHAIA

ROUIBA



ANNEXE (I)

Détermination des MES, MVS, matières minérales, matières décautables et matières non-décautables.

A. - MATERIELS

- Verre de montre
- Filtres en fibre de verre
- Dispositif de filtration, cône imhoff
- Etude réglable à 105°C
- Four réglable à 550 ± 50 °C
- Dissiccateur et balance analytique

B.- MODE OPERATOIRE

- Pésée des filtres disposés dans les venes de montre : soit P_0 le poids total
- L'échantillon à étudier doit être aussi homogène que possible
- Prélèvement d'un volume $V = 100$ ml d'échantillon que l'on filtre.
- Après filtration le vide doit être maintenu pour rincer le filtre avec quelques millilitres d'eau distillée.

1- Détermination des matières en suspension : MES

- Le filtre chargé en MES après filtration de l'échantillon, est placé avec son support (verre de montre) dans une étuve à 105°C jusqu'à constance du poids, soit une heure
- Après refroidissement dans un dissiccateur, le filtre et son support sont pesés, soit P_1 le poids total
- En désignant par m_D la masse des MES

$$M_D = \frac{P_1 - P_0}{V} \cdot 1000 \text{ g/l} = \frac{P_1 - P_0}{V} \cdot 10^6 \text{ mg/l}$$

2- Détermination des matières valables (MVS) et des matières minérales
(Mm)

a) Expression de la masse de M.m

L'ensemble du filtre chargé en MES et son support précédemment sèche à 105°C, est replace dans un four réglé à 550+ 50 °C pendant 15 minutes

-Après refroidissement de l'ensemble (filtre + verre de montre) dans un dessiccateur , on reprend la pesée, soit P₂ le poids total

En designant par m_c la masse des M.m

$$M_c = \frac{P_2 - P_0}{V} \cdot 10^6 \text{ mg/l}$$

b) Expression de la masse des matières volatiles (MVS)

soit m_v la masse des MVS, les résultats précédents permettent de titrer

$$m_v = m_0 - m_c$$

3- Détermination des matières decantables et matières non decantables respectivement MD et MnD

- Prélèvement de 1000 ml d'un échantillon bien homogéné ;

-Ce volume est placé dans un cône Imhoff ; on laisse décanter pendant 45 minutes, puis à l'aide d'une tige en verre, frotter les parois du cône dans perturber la décantation, laisser décanter encore pendant 15 minutes

-A la base pointure du cône (fond) gradué, lire le volume des MES decantées

a) Expression de la masse des M.N.D.

-Siphonner le liquide surnageant à 2 cm de profondeur

-Ce surnageant subit les mêmes opérations que 1°) dans la détermination de MES (filtration, etuve, dessiccation, pesée etc....). Soit P'₀ le poids total avant filtration (filtre vide + verre de montre) soit P'₁ le poids de l'ensemble après passage à l'étuve et au dessiccateur. Designons par m_f la masse des M.N.D.

$$m_f = \frac{P'_1 - P'_0}{1000} \cdot 10^6 \text{ mg/l}$$

b) Expression de la masse des MD

Soit m_d la masse des MD, des résultats précédents on tire

$$m_d = m_c - m_f$$

ANNEXE II

Détermination de la demande chimique en oxygène DCO (13)

1) Réactifs utilisés

- eau distillée
- sulfate de mercure cristallisé (Hg SO_4)
- sulfate d'argent ($\text{Ag}_2 \text{SO}_4$)
- sulfate de fer et d'ammonium
- bichromate de potassium
- solution de fenoïne

2) Mode opératoire :

Introduire 50ml d'eau à analyser dans un ballon de 500ml, ou éventuellement une même quantité diluée. Ajouter successivement un gramme de HgSO_4 , 5ml de Ag_2SO_4 , 25ml d'une solution de bichromate de potassium 0,25N et 70ml d'une solution sulfurique de sulfate d'argent. Porter à l'ensemble à reflux.

Laisser refroidir, diluer à 250ml avec l'eau distillée, ajouter quelques goutte de fenoïne.

Déterminer la quantité nécessaire de sulfate de fer et d'ammonium pour observer un virage rouge violacé ; procéder aux mêmes opérations sur un échantillon d'eau distillée pris comme référence.

3) Expression des résultats :

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimé en milligramme d'oxygène par litre d'eau est égale à
$$\frac{800 (V_0 - V_1)}{+ V} \cdot T$$

où V_0 et V_1 désignent respectivement le volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage de l'essai à blanc et de l'échantillon.

T - titre de la solution de fer et d'ammonium

V - volume de la prise d'essai.

II-) N N E X E III

Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO) (15)

Méthode manométrique.

Dans une enceinte hermétique, mettre à incuber l'échantillon agité en présence d'une atmosphère d'air. Les échanges gazeux sont contrôlés par fixation du CO₂ formé.

Nous pouvons ainsi enregistrer, soit une dépression (respiromètre de Sier P et deviré). Ces méthodes permettent de tracer la courbe de consommation, en fonction du temps. Elle ne représente le phénomène de rejet de rivière que si l'on prend soin de diluer au préalable les eaux usées dans la proportion du rejet.

II-) N N E X E IV

Coagulation-floculation

1) Matériels

- bechers de 600ml
- agitateurs électriques et barreaux aimantés

2) Mode opératoire :

Dans cinq bechers numérotés, introduire 500ml d'un échantillon homogène. Introduire des doses croissantes de coagulant-floculant dans l'ordre croissant de la numérotation des bechers.

- Agiter rapidement pendant 15 secondes à 1 minute
- Ramener l'agitation à une vitesse faible pendant 30 minutes
- Arrêter ensuite l'agitation et laisser décanter pendant 30 minutes

Les MES résiduelles sont déterminées suivant la description de l'Annexe 1 (3 - a).

BIBLIOGRAPHIE

1. BECHAC J. : **Traitement des eaux usées** ; Edition Eyrolles 1983
1. CEBEDEAU (tribune) : **Floculation**, Vol 37, N° 492 Nov 1984
3. DEGREMONT : **Memento technique de l'eau** ; Ed. Degremont 1978
4. ECHENFELDER W.W. : **Gestion des eaux usées urbaines et industrielles**
Edition Lavoisier 1982.
5. FIESSINGER F. : **Coagulation et floculation**, TSM de l'eau V₃, PPE₁ ; Av.1976
6. GOMELLA C. : **Traitement des eaux publiques, industrielles et privées**
Edition Eyrolles 1978.
7. HISSEL J. : **Chimie des eaux, calcul pratique des équilibre**, Ed. Eyrolles
1975
8. KETTAB A. : **Le traitement des eaux**, Tome 1 Cours polycopiés ENP- 1986
9. MEINCK F. : **Les eaux résiduaires industrielles**, 2è Edition MASSON, 1977
10. MINISTERE (Hydraulique, de l'environnement et des forets) : **Marais de Reghaia, plan d'action anti-pollution Mars 1985**
11. PERMO : **La pratique de l'eau** - Edition Moniteur 1981.
12. PESSON P. : **La pollution des eaux continentales** INA, GAUTHIER VILLARD 1984.
13. RODIER J. **Analyse de l'eau**, 7è edition DUNOD 1984
14. TANDIA C.T. : **Conception des ouvrages d'épuration des eaux Partie II**
PFE, EP Montreal 1976.
15. TARDAT HENRY. M : **Chimie des eaux** edition Griffon Arg. Inc 1984
16. THOMAZEAU R. : **station d'épuration, précis théorique et technique**
Ed technique et documentatin 1981.
17. VIGOURET J. : **le potentiel zeta et son application dans le traitement de l'eau potables** TSM de l'eau N° 3, Mars 1980
18. WESLEY W. : **l'eau dans l'industrie** -- Entreprise Ed. moderne 1972.
19. ZIANE M. : **contribution à l'étude d'agents coagulant et flocubants intervenant dans le traitement des eaux résiduaires, cas des eaux de l'Oues El Harrach**, PFE, ENP 1986.

