

3/91

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة الجامعات

Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

BIBLIOTHEQUE — المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONCEPTION DE L'UNITÉ
DE PRÉTRAITEMENT DES EAUX DE
REFROIDISSEMENT DE LA
RAFFINERIE D'ALGER

Proposé par : H. FACI

Etudié par : R. BOUDJEMADI

Dirigé par : A. KETTAB

H. FACI

PROMOTION

1991

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة الجامعات
Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONCEPTION DE L'UNITÉ
DE PRÉTRAITEMENT DES EAUX DE
REFROIDISSEMENT DE LA
RAFFINERIE D'ALGER

Proposé par : H. FACI

Étudié par : R. BOUDJEMADI

Dirigé par : A. KETTAB

H. FACI

PROMOTION

1991

DEDICACES:

Je dédie ce travail

- A mon Père et à ma Mère
- A mes frères et soeurs: Samia, Mourad, Fadila, Dalila, Amel
- A mes neveux et nièces: Amine, Fayçal et Rym
- A toute ma famille
- A tous mes proches.

REMERCIEMENTS :

Permettez-moi d'abord de remercier Mr: H.FACI et Mr: A.KETTAB d'avoir bien voulu me prendre en charge pour élaborer cette thèse. Qu'ils trouvent ici ma profonde reconnaissance pour la confiance qu'ils ont témoignée en vers moi et pour les progrès sensibles que j'ai enregistré en travaillant sous leurs directions.

Je remercie les responsables du bureau d'étude S.E.T.A.U par leurs dévouements et leurs aides précieuses.

Je ne saurais oublier tous mes collègues et amis et notamment Mr: H.AOUDJIT et Melle: A.MEDROUNI pour leurs disponibilités et leurs conseils tout au long de la durée de cette année.

Je ne saurais oublier également le mérite des enseignants qui ont contribué à ma formation au long de ces cinq années.

Que l'ensemble des membres du jury trouvent à travers ces quelques lignes l'expression de mon humble reconnaissance pour avoir bien voulu examiner ma thèse.

PLAN

INTRODUCTION.....	1
1. PARTIE THEORIQUE.....	3
1.1. Les eaux brutes.....	4
1.2. Les caractéristiques de l'eau.....	4
1.2.1. Caractéristiques physiques.....	4
1.2.1.1. Structure moléculaire.....	4
1.2.1.2. L'adsorption de l'eau sur les surfaces solides.....	4
1.2.1.3. Viscosité.....	4
1.2.2. Propriétés chimiques.....	5
1.2.2.1. Solubilité des gaz.....	5
1.2.2.2. Solubilité des liquides.....	5
1.2.2.3. Solubilité des solides.....	5
1.2.2.4. Notion de pH.....	6
1.2.2.5. Action du dioxyde de carbone.....	6
1.2.2.6. Dureté.....	7
1.2.2.7. Alcalinité.....	8
1.3. Méthodes d'analyses de l'eau.....	8
1.4. Coagulation-Floculation-Décantation.....	9
1.4.1. Coagulation.....	9
1.4.1.1. Principe.....	9
1.4.1.2. Réactifs coagulants.....	10
1.4.1.3. Mode d'action des coagulants.....	10
1.4.1.4. Choix du réactif.....	10
1.4.2. Floculation.....	11
1.4.2.1. Principe.....	11
1.4.2.2. Principaux flocculants.....	11
1.4.2.3. Mise en oeuvre du flocculant.....	11
1.4.2.4. Choix du réactif.....	11
1.4.3. Décantation.....	11
1.4.3.1. Principe.....	11
1.4.3.2. Particules grenues.....	12
1.4.3.3. Particules flocculées.....	13
1.4.3.4. Décantation diffuse.....	13
1.4.3.5. Décantation freinée.....	14
1.5. Les décanteurs.....	15
1.5.1. Décanteurs statiques.....	15
1.5.2. Décanteurs dynamiques.....	16
1.5.3. Détermination de la vitesse de décantation et calcul de la surface du décanteur.....	18
1.6. Précipitation chimique-Elimination de bicarbonates sous forme de carbonates.....	20
1.6.1. Précipitation chimique.....	20
1.6.2. Elimination de bicarbonates sous forme de carbonates.....	20
1.6.2.1. Principe.....	20
1.6.2.2. Calcul de la dose de chaux.....	21

2. PARTIE EXPERIMENTALE.....	22
2.1. Analyse de l'eau d'appoint avant le traitement.....	23
2.1.1. Analyse de l'eau.....	23
2.1.2. Interprétation des résultats de l'analyse.....	23
2.2. Dosage de la chaux.....	24
2.3. L'expérimental.....	24
2.3.1. Dosage du coagulant.....	24
2.3.2. Préparation et dosage du floculant.....	24
2.3.3. Effet de la vitesse d'agitation.....	24
2.3.4. Effet du temps d'agitation.....	25
2.3.5. Mode Opérateur.....	25
2.4. Mesures.....	26
2.4.1. Etude de l'effet de la vitesse d'agitation.....	26
2.4.2. Etude de l'effet du temps d'agitation.....	26
2.4.1. Etude de l'effet de la dose de $FeCl_3$	29
2.4.1. Etude de l'effet de la dose de $Al_2(SO_4)_3$	33
2.4.1. Etude de l'effet de la dose du floculant.....	33
2.4.6. Conditions optimales de traitement.....	40
2.5. Analyse de l'eau d'appoint après traitement.....	43
3. PARTIE DIMENSIONNEMENT.....	44
3.1. Calcul de la surface du décanteur.....	45
3.2. Dimensionnement de la cuve de la préparation de la chaux.....	46
3.3. Dimensionnement de la cuve de préparation du coagulant.....	46
3.3.1. Cas de $FeCl_3$	46
3.3.2. Cas de $Al_2(SO_4)_3$	47
3.3. Dimensionnement de la cuve de préparation du floculant.....	47
3.4.1. Cas de $FeCl_3$	47
3.4.2. Cas de $Al_2(SO_4)_3$	49
3.5. Calcul des dimensions du filtre.....	49
4. PARTIE ECONOMIQUE.....	54
4.1. Cout de traitement.....	55
4.2. Cout de l'installation.....	56
4.2.1. Cout de l'installation du décantation.....	56
4.2.2. Cout de l'installation du filtre.....	57
CONCLUSION.....	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

INTRODUCTION

INTRODUCTION:

Les établissements industriels reçoivent une quantité importante d'eau qui, tout en restant absolument nécessaire à leur bonne marche, n'est qu'en très faible partie réellement consommée. Une bonne part sert de fluide de refroidissement, une autre sert à entraîner les déchets qu'il est nécessaire d'éliminer au cours du déroulement des processus en cause.

L'énergie ne peut être créée, ni détruite, on ne peut que la transformer. Le raffinage de pétrole se fait avec un rendement très élevé, ce qui signifie que le système d'évacuation de chaleur résiduelle joue un rôle important dans une raffinerie de pétrole.

La raffinerie d'Alger est dotée d'une tour de refroidissement, elle est alimentée actuellement d'une eau considérée brute suivi d'un simple conditionnement, qui sur son passage détériore les canalisations de refroidissement (corrosion, entartrage). L'arrivée de l'eau brute d'appoint au niveau de la tour réfrigérante, se faisant traitée par des produits chimiques de DEGREMONT, constitue le cas actuel de fonctionnement, tandis que le traitement à la décarbonatation à la chaux à froid de cette eau qui pour des raisons diverses, a été délaissé pendant les (04) quatre dernières années.

Mon présent travail consiste à retraiter cette eau, provenant d'un puits par pompage, le traitement peut s'effectuer de façon plus au moins complète suivant la nature et la variété des contraintes.

Plusieurs procédés peuvent être nécessaires et l'on doit rechercher leurs combinaisons la plus judicieuse, tant au point de vue de l'élimination de ces contraintes que des conditions locales d'installation.

L'origine de l'eau, la connaissance de ces caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques ainsi que son éventuelle micropollution, comparée aux caractéristiques requises pour une eau destinée à la consommation industrielle, permettant de juger de la nécessité d'éliminer les matières en suspension et décarbonatation à la chaux à froid de cette eau de refroidissement de la raffinerie d'Alger.

A cet effet, une étude sur la décarbonatation au niveau du laboratoire a été menée afin de déterminer les conditions optimales de fonctionnement de ce traitement, à savoir, le pH, la dose de chaux, la teneur en coagulant et flocculant.

Cette recherche a pour but également d'aboutir à la réalisation la plus économique, tant au frais de premier investissement qu'en frais d'exploitation.

Par ailleurs les paramètres d'une coagulation optimale ont été déterminés à savoir:

- vitesse d'agitation optimale;
- temps d'agitation optimal;
- dose optimale de coagulant;
- dose optimale de flocculant.

PARTIE THEORIQUE

1.1-LES EAUX BRUTES:

La nature nous gâche d'eau mais celle-ci n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine, ni industrielle en raison de son impureté qu'on ne mesure pas souvent sauf de rare cas: lors de sa circulation dans le sol, à la surface de la terre ou même dans l'air, l'eau se pollue et se charge de matières en suspension ou en solution dont particules d'argile, déchets de végétation, organismes vivants (plancton, bactéries, virus), sels divers (chlorures, sulfates, carbonates de sodium, de calcium, fer, magnésium...), matières organiques (acides humiques, fulviques, résidus de fabrication), gaz.

La qualité des eaux brutes connaît une variation dépendant pour l'essentiel des conditions locales.

L'eau est présente sur terre sous (03) trois états et se trouve engagée dans un mouvement cyclique d'évaporation et de précipitation qui soumet les terres émergées (en surface et en profondeur) à un lessivage, à une espèce d'extraction méthodique des corps solubles, ainsi qu'à une érosion permanente.

1.2-CARACTERISTIQUES DE L'EAU:

1.2.1-CARACTERISTIQUES PHYSIQUES:

1.2.1.1-STRUCTURE MOLECULAIRE:

L'eau résulte de la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène naturel, sa formule chimique est H_2O ce qui explique que la molécule d'eau et la formation de (02) deux atomes d'hydrogènes pour un seul atome d'oxygène.

L'asymétrie dans l'arrangement des hydrogènes provoque un déséquilibre des charges électrostatiques créant un "dipôle" électrique ou une "polarité", ce qui met en évidence que l'eau est un bon solvant et elle est si facilement adsorbée à la surface des solides.

Le passage de l'état solide à l'état liquide, de l'état liquide à l'état gazeux fait rompre les ponts d'hydrogènes, ces derniers sont reformés dans la condensation ainsi que la congélation.

1.2.1.2-L'ADSORPTION DE L'EAU SUR LES SURFACES SOLIDES:

Il existe un autre type de phénomène interfacial mettant en évidence l'adsorption qui résulte de la différence de forces d'attraction ou de répulsion créée entre les molécules des différentes phases à leurs surfaces de contact.

L'adsorption de l'eau sur les surfaces solides sont en général de nature électrostatique. Le phénomène se produit grâce aux molécules polaires de l'eau qui se fixent aux faces chargées des solides.

1.2.1.3-VISCOSITE:

C'est la propriété du fluide de résister à l'écoulement. Elle est à la base des pertes de charge et joue donc un rôle important en traitement d'eau. La pression est un intermédiaire important entre l'état de l'eau et la viscosité.

1.2.2-LES PROPRIETES CHIMIQUES:

Sachant que l'eau est un dipole électrique donc ce qui le ramène à être un bon solvant.

1.2.2.1-SOLUBILITE DES GAZ:

La loi de Henry est une loi vérifiant la solubilité des gaz montrant donc que la quantité de gaz dissoute est proportionnelle au coefficient de solubilité α propre pour chaque gaz et sa concentration c dans la phase gazeuse sous pression P , le volume du gaz dissout est:

$$V = \alpha \cdot c \cdot P$$

1.2.2.2-SOLUBILITE DES LIQUIDES:

Comme l'eau étant polaire, la solubilité d'un liquide dans l'eau dépend de la polarité des molécules du liquide considéré.

1.2.2.3-SOLUBILITE DES SOLIDES:

Sur terre, l'eau se comporte comme un solvant ainsi qu'un véhicule des substances se trouvant sur la surface ou en profondeur. Les substances se trouvant dans l'eau se présentent sous l'une des formes:

- en suspension;
- colloïdales;
- dissoutes.

a) EN SUSPENSION:

Les particules sont visibles au microscope optique et même à l'œil nu.

b) COLLOIDES:

Le domaine colloïdale proprement dit englobe les particules dont la taille se situe entre: 0.002 et $0.5 \mu\text{m}$.

*. Les colloïdes hydrophobes:

Ce sont des particules chargées électriquement et surtout origine des effets conjugués au mouvement Brownien, il s'agit d'un mouvement rapide désordonné, de faible amplitude qu'on attribue à l'énergie cinétique des molécules.

** Les colloïdes hydrophyles:

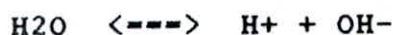
Les eaux brutes contiennent un autre groupe de corpuscules colloïdaux qui se distinguent par leur affinité pour les molécules d'eau auxquelles ils s'unissent par liaisons d'hydrogène.

c) DISSOUTES:

Les substances dissoutes sont dispersées au niveau de la molécule et se classent en substances non polarisées (ou faiblement polarisées) et en substances ionisées. Les premières sont souvent de très grosses molécules organiques. Les secondes comprennent une série de corps organiques et la plus part des sels minéraux.

1.2.2.4-NOTION DE pH:

L'eau, elle même, est partiellement dissociée en ions suivant la réaction réversible:



La dissociation étant toujours faible, la concentration des molécules d'eau est pratiquement constante, et on peut écrire:

$$[\text{H}^+].[\text{OH}^-] = K_e$$

La valeur de la constante de dissociation de l'eau est de l'ordre de 10^{-14} (mol/l)² à 23°C.

Dans l'eau pure, on a:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/l}$$

On appelle milieu acide une solution dans laquelle $[\text{H}^+]$ est supérieure à 10^{-7} , milieu basique une solution où $[\text{H}^+]$ est inférieure à 10^{-7} .

On désigne par convention pH, le potentiel hydrogène, l'acidité ou la basicité d'une solution:

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+] = \text{colog} [\text{H}^+]$$

Le pH se mesure à l'aide d'indicateurs colorés, ou mieux, par une méthode électrométrique.

REMARQUE: une connaissance exacte du pH est essentielle dans le domaine de la qualité physique et de la teneur des ouvrages (agressivité, corrosivité, entartrage) et des traitements de correction.

1.2.2.5-ACTION DU DIOXYDE DE CARBONE:

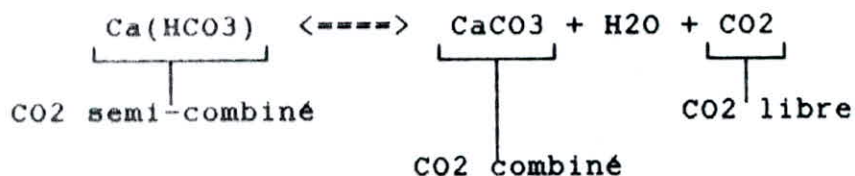
Les eaux naturelles ne sont en fait pas pures et contiennent différents éléments chimiques dissous, dans le plus fréquent est le bicarbonate (hydrogénocarbonate) de calcium.

Equilibre calco-carbonique:

La complexité de l'équilibre pratique de ce sel avec le dioxyde de

carbone (CO₂) crée des réactions chimiques de dissolution de carbonate de calcium (agressivité) ou d'entartrage.

Le bicarbonate de calcium étant inconnu à l'état solide, sa seule existence est à l'état instable en aqueuse; il tend à perdre de l'acide carbonique et à précipiter le calcaire:



Une eau naturelle peut contenir du CO₂ libre en quantité supérieure à celle nécessaire au maintien du bicarbonate de calcium vis-à-vis du calcaire.

Si le CO₂ libre est inférieur au CO₂ équilibrant, l'eau est incrustante.

1.2.2.6-DURETE:

La dureté d'une eau est proportionnelle au nombre total d'atomes de calcium et de magnésium qu'elle renferme. Dans la plupart des pays on exprime la dureté en degré hydrométrique. Il faut distinguer les "degrés" Français, Anglais, Américain, Allmand. Mais il existe une unité internationale, le "milliéquivalent".

Un milliéquivalent correspond à une demi molécule gramme d'un sel de calcium ou de magnésium par mètre cube d'eau.

Un degré Français correspond à 10 mg de carbonate de calcium par litre d'eau.

Un degré Anglais correspond à un grain (0.065 g) de carbonate de calcium (CaCO₃) par gallon (4.546 l) d'eau, soit 14.3 mg/l.

Un degré Américain correspond à un grain de carbonate de calcium par gallon U.S (3.785 l) d'eau, soit 17.2 mg/l.

Un degré Allmand correspond à 10 mg de chaux vive (CaCO₃), soit 17 mg de CaCO₃ par litre d'eau.

	méq	d°Fr	d°An	d°Am	d°Al	ppm CaCO ₃
1 méq	1.000	5.00	3.50	2.900	2.800	50.0
d°Français	0.200	1.00	0.70	0.580	0.560	10.0
d°Anglais	0.286	1.43	1.00	0.830	0.800	14.3
d°Américain	0.310	1.72	1.20	1.000	0.960	17.2
d°Allmand	0.358	1.79	1.25	1.040	1.000	17.9
ppm CaCO ₃	0.020	0.10	0.07	0.058	0.056	1.0

tableau 1: la correspondance entre les diverses unités

On distingue:

-la dureté totale qui correspond à l'ensemble des sels de calcium et de magnésium;

-la dureté permanente mesurée après ébullition. L'ébullition chasse l'anhydride carbonique dissous et transforme le bicarbonate de calcium soluble en carbonate presque insoluble (solubilité 20-30mg/l).

La dureté permanente est, sauf pour les eaux magnésiennes, supérieure de 0.5 méq environ à la dureté due aux sels de magnésium, au chlorure et au sulfate de calcium;

-la dureté temporaire, essentiellement due au bicarbonate de calcium, est égale à la différence entre la dureté totale et la dureté permanente;

-la dureté magnésienne mesurée après précipitation des sels de calcium par l'oxalate d'ammonium.

Les eaux dont la dureté est inférieure à 1 méq sont considérées comme douces.

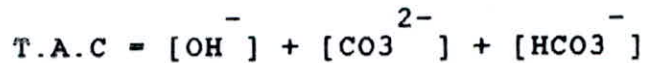
1.2.2.7-ALCALINITE:

Le titre alcalimétrique ou T.A est égale au nombre de millilitres d'acide sulfurique N/50 nécessaire pour neutraliser à la phénolphtaleïne.

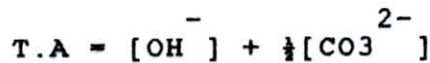
Le titre alcalimétrique complet ou T.A.C est égale au nombre de millilitres d'acide sulfurique N/50 nécessaire pour neutraliser au méthyl-orange.

Dans les eaux naturelles:

- T.A.C est sensiblement égale à la dureté carbonatée (carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium) exprimée en degrés Français



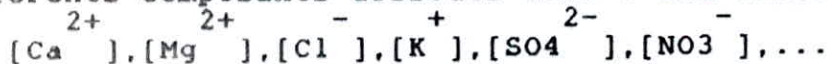
- T.A:



- La différence entre T.H et T.A.C correspond à la dureté apportée par les chlorures et les sulfates à condition que l'eau ne renferme pas de bicarbonate de sodium.

1.3-METHODES D'ANALYSES DE L'EAU:

L'analyse de l'eau s'effectue au laboratoire afin de déterminer les différents composants dissouts dans l'eau dont:



1. Détermination du titre hydrométrique: [5]

Le titre hydrométrique de l'eau (T.H) a été déterminé par complexométrie.

Le complexant utilisé est l'acide éthylène-diamine tétracétique (EDTA) en milieu convenable tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium en présence du noir d'ériochrome (indicateur) .

2. Détermination de l'alcalinité: [5]

La détermination de l'alcalinité se base sur la neutralisation d'un volume d'eau à analyser à l'aide d'une solution titrée d'acide en présence, soit de phénolphtaleine (T.A), soit de méthyl-orange (T.A.C)
Pour le dosage, la solution titrée d'acide utilisée est une solution d'acide chloridrique.

3. Détermination du titre calcique: [5]

Le titre calcique ($T.Ca^{2+}$) ou teneur en calcium dans l'eau est déterminé par dosage avec l'acide éthylène-diamine tétracétique, en milieu suffisamment basique pour précipiter le magnésium sous forme d'hydroxyde. L'indicateur utilisé est une solution d'acide calcaire carboxylique à 0.4%

4. Détermination du titre magnésien: [2]

Le titre magnésien est donné par la différence entre le titre hydrométrique (T.H) et le titre calcique

$$T.Mg^{2+} = T.H - T.Ca^{2+}$$

1.4-COAGULATION - FLOCCULATION - DECANTATION:

1.4.1-COAGULATION:

1.4.1.1-PRINCIPE:

C'est le rassemblement des colloïdes en constituant des particules nettement plus importantes dans le but de permettre la séparation d'une suspension colloïdale dans les conditions de vitesse satisfaisante et de décharger les colloïdes généralement électronégatifs, ce qui signifie la réduction du potentiel Zéta par addition d'ions et de provoquer l'agglomération des particules déstabilisées.

***.Le potentiel Zéta:

C'est une mesure de la stabilité du système; il représente le potentiel nécessaire pour franchir la couche d'ion entourant la particule et ainsi la déstabiliser. Plus le potentiel Zéta est élevé plus la suspension est stable.

1.4.1.2-REACTIFS COAGULANTS:

La déstabilisation sera obtenue par adjonction aux eaux des réactifs minéraux ou organiques appelés COAGULANTS.

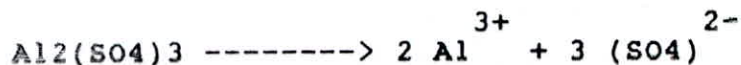
Les réactifs les plus communément employés dans la pratique se limitent aux:

- sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$;
 - chlorure ferrique $FeCl_3$;
 - Sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3$;
- dans les cas particuliers, il est fait appel à:
- la chaux $CaO, Ca(OH)_2$.

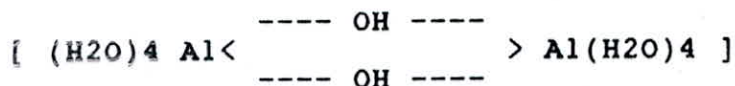
1.4.1.3-MODE D'ACTION DES COAGULANTS:

Pour mieux saisir l'action des coagulants prenons le sulfate d'alumine comme exemple.

Le sulfate d'alumine en solution concentrée, à bas pH se présente sous forme d'ions:

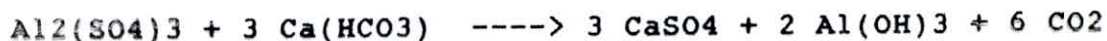


Au moment de son introduction dans l'eau à traiter, l'ion Al^{3+} s'hydrolyse pour former des ions complexes



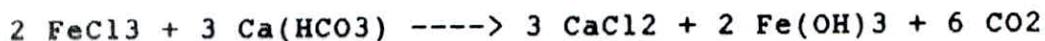
La coagulation est une opération qui s'effectue en un temps très court et à une vitesse d'agitation élevée.

Pour le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ sous forme liquide ou solide, on aura:



la dose en clarification est de 10 à 150 g/m³ de sulfate d'aluminium commercial ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$). [2]

Pour le chlorure ferrique ($FeCl_3$) sous forme liquide ou cristalline on obtient:



la dose pour clarifier une eau brute est de 5 à 150 g/m³ de chlorure ferrique commercial ($FeCl_3 \cdot 6 H_2O$). [2]

1.4.1.4-CHOIX DU REACTIF:

La coagulation est un phénomène tellement complexe que la méthode la plus rationnelle et la plus sûre pour déterminer dans chaque cas la nature du réactif à utiliser et les quantités à mettre en oeuvre doit s'appuyer sur l'expérimentation dite "JAR-TEST".

1.4.2-FLOCCULATION:

1.4.2.1-PRINCIPE:

C'est une opération physique par laquelle les particules colloïdales déchargées s'agglomèrent pour former des floccs plus

volumineux et plus lourds. Cela permettra une augmentation de la vitesse de décantation des particules et l'obtention d'un liquide clair. Le résultat obtenu par la floculation dépend dans une grande mesure de la coagulation.

1.4.2.2-PRINCIPAUX FLOCCULANTS:

Les flocculants, appelés aussi "ADJUVANTS de COAGULATION", sont des produits destinés à favoriser cette opération (coagulation). L'action peut se produire au niveau de la vitesse de réaction (floculation plus rapide) ou au niveau de la qualité du floc (floc plus lourd, plus volumineux, plus cohérent).

On peut distinguer les flocculants par leur nature (minérale ou organique), leur origine (synthétique ou naturelle), le signe de leur charge électrique (anionique, cationique, non ionique).

On cite comme exemple de flocculant minéral: la Silice activée; comme flocculant naturel: Alginates (extraits d'algues); comme flocculant synthétique: Praestol, superfloc.

1.4.2.3-MISE EN OEUVRE DU FLOCCULANT:

Plus la coagulation est efficace, plus la floculation est meilleure. Contrairement à la coagulation, la floculation se fait à une agitation très lente et à un temps très lent.

1.4.2.4-CHOIX DU REACTIF:

La question du choix des réactifs est dans le même cadre que le choix du coagulant, c'est à dire passant par le "JAR-TEST".

1.4.3-DECANTATION:

1.4.3.1-PRINCIPE:

La décantation réside dans l'utilisation des forces de gravité pour séparer une particule de densité supérieure à celle du liquide jusqu'à une surface ou une zone de stockage. Elle dépend à la fois des propriétés des particules et du régime hydraulique.

Les matières en suspension décantées sont de deux types:

- Les particules dites grenues qui sous l'action de la gravité décantent indépendamment les unes des autres d'un mouvement uniformément linéaire avec une vitesse de chute constante.
- Les particules flocculées qui résultent d'une agglomération naturelle ou provoquée des colloïdes et qui croissent en poids et volume au fil de l'eau et décantent d'un mouvement uniformément accéléré.

1.4.3.2-PARTICULES GRENUES:

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

La force accélérante F_a a deux composantes:

- la pesanteur : $(V * \delta_p * g)$ agissant vers le bas.

- la poussée d'Archimède: $(V * \delta * g)$ agissant vers le haut.

d'où:

$$F_a = V * g * (\delta_p - \delta)$$

V: volume de la particule;

g: pesanteur;

δ_p : masse volumique de la particule;

δ : masse volumique de l'eau.

Remarque:

si $\delta_p > \delta$, la particule se sédimente.

si $\delta_p < \delta$, la particule est flottable et elle monte.

On a la force de trainée, F_t , exprimée par:

$$F_t = C_t * A_p * \delta * (\frac{1}{2} v^2)$$

C_t : coefficient de trainée;

A_p : aire de la projection de la particule sur le plan perpendiculaire à la direction de son mouvement;

v: vitesse de la particule par rapport au fluide.

Quand la vitesse limite est atteinte: $F_t = F_a$

d'où:

$$v^2 = \frac{2 * V * g * (\delta_p - \delta)}{C_t * A_p * \delta}$$

La vitesse de décantation devient constante et dépend de la nature, de la forme et de la densité de la particule ainsi que de la viscosité et de la densité de l'eau.

L'emploi de cette formule exige que l'on connaisse V, A_p et C_t et donc la géométrie exacte de la particule ainsi que le coefficient de trainée.

On pose que la particule a une forme sphérique, donc:

$$V = \frac{\pi}{6} * D^3 \quad \text{et} \quad A_p = \frac{1}{4} * \pi * D^2 \quad \text{avec} \quad D: \text{diamètre}$$

d'où:

$$v^2 = \frac{4 * g * D * (\delta_p - \delta)}{3 * C_t * \delta}$$

La force due au frottement est fonction du coefficient de trainée, lui même étant fonction du nombre de REYNOLDS:

$$Re = v * D * \delta / \mu \quad \text{avec} \quad \mu: \text{viscosité dynamique}$$

Equation de STOCKES:

Elle est valable dans un liquide au repos ou en régime laminaire sachant que le diamètre se situe entre 0.1 mm et 0.001 mm.

Régime Laminaire \rightarrow $Re < 1$ et $C_t = 24/Re$

d'ou:

$$v = \frac{1}{18} * \frac{g}{\mu} * (\delta p - \delta) * D^2$$

.Equation de NEWTON:

Quand le nombre de Reynolds applicable à la particule, se situe entre 500 et 10000, c'est le cas des graviers et galets donc le coefficient de trainée prendra une valeur à peu près constante de $C_t = 0.44$ ce qui donnera une vitesse de décantation:

$$v = 1.74 * [g * D * (\delta p - \delta) / \delta]^{\frac{1}{2}}$$

.Equation du cas intermédiaire:

Quand le nombre de Reynolds se situe à mi-chemin, soit entre 1 et 500, on peut appliquer l'approximation suivante:

$$C_t = 18.5 / Re^{0.6}$$

et l'équation de la vitesse devient:

$$v = \frac{0.153 * g^{0.71} * D^{1.14} * (\delta p - \delta)^{0.71}}{\delta^{0.29} * \mu^{0.43}}$$

1.4.3.3-PARTICULES FLOCULEES:

Elles 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 faite 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.

1.4.3.4-DECANTATION DIFFUSE:

Les particules peuvent s'agglutiner (coalescence), elles flocculent et décantent avec une vitesse croissante; dans un bassin à flux hydraulique horizontal, la trajectoire de décantation est curviligne.

Il n'existe pas de formule mathématique permettant le calcul de la vitesse de décantation. L'efficacité de décantation doit être évaluée expérimentalement par des essais au laboratoire ou sur le terrain.

La concentration en particules est déterminée sur des échantillons soutirés à différentes hauteurs et à différents intervalles de temps.

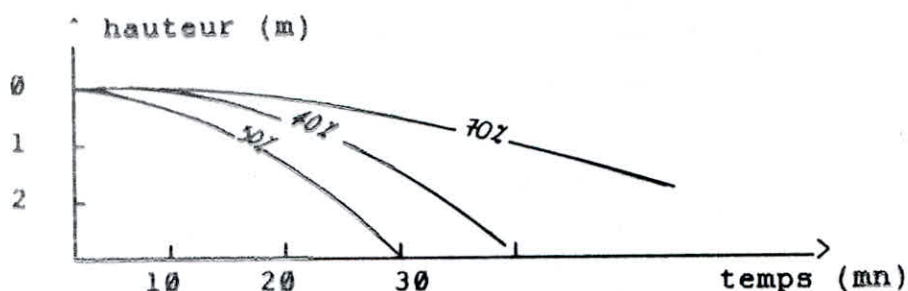


fig 1: Décantation diffuse

1.4.3.5-DECANTATION FREINEE:(en piston)

Pour des concentrations élevées, l'abondance des floccs crée une décantation d'ensemble freinée, caractérisée par une interface nettement marquée entre la masse boueuse et le liquide surnageant.

Les particules descendent comme un piston créant une séparation au dessus de laquelle se trouve du liquide clarifié. On trouve ce type de décantation dans la partie profonde des décanteurs.

THEORIE de KYNCH:

Son hypothèse fondamentale: la vitesse de chute d'une particule dépend uniquement de la concentration locale C_0 en particules.

Lorsqu'on observe le phénomène dans une éprouvette, en mesurant la hauteur de la séparation en fonction du temps, on obtient la courbe suivante:

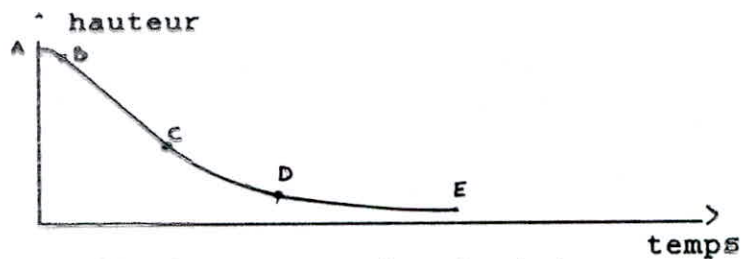


fig 2: Décantation freinée

- * de A à B : la surface de séparation est plus au moins nette, c'est la phase de coalescence des flocons; cette phase est parfois inexistante.
- * de B à C : une partie rectiligne, le piston descend à une vitesse constante
- * de C à D : ralentissement progressif de la vitesse de chute. Lorsque la concentration en matière de la suspension initiale "C₀" augmente, la vitesse de décantation v de la masse diminue.
- * A partir de D : les flocons se touchent et le phénomène observé est celui de la compression dans la couche des boues.

1.5-LES DECANTEURS: [2]

Sachant que les principaux types de décantation sont bien: la décantation statique (qui se réalise dans des décanteurs statiques) et à contact de boues (qui se réalise dans des décanteurs dynamiques).

1.5.1-DECANTEURS STATIQUES:

Le terme statique explique l'état de l'eau dans ce décanteur, ce dernier est rempli d'eau qui après un séjour au repos de quelques heures elle est vidée jusqu'à niveau supérieur à celui des boues déposées.

Le décanteur peut-etre équipé ou non d'un système de raclage des boues selon la quantité de matières en suspension de l'eau brute, le volume des précipités à évacuer et la pente du fond de l'ouvrage.

DECANTEURS STATIQUES SANS RACLAGE:

A/ Décanteurs cylindro-coniques ordinaires:

Ce décanteur, à flux vertical, est mis en service pour les installations à faible débit allant à 20 m³/h. Il peut être précédé d'un flocculateur, et même d'un déssableur dans le cas échéant. La pente de sa partie conique est comprise entre 45° et 60° selon le traitement appliqué et la nature de l'eau.

La vitesse de décantation moyenne est de 0.5 m/h à 1 m/h, dans le cas de la clarification de l'eau à traiter, la vitesse varie de 1 m/h à 2 m/h.

B/ Décanteurs statiques à flux horizontal:

Dans ce décanteur, utilisé pour les eaux de consommation, la surface de décantation en m² est égale à 1 ou 2 fois le débit (m³/h) d'eau à traiter.

Ces bassins sont souvent précédés d'une chambre de mélange ou l'on assure une diffusion rapide des réactifs et d'un flocculateur.

C/ Décanteurs statiques lamellaires:

Pour ce type de décanteur, on a affaire à des appareils équipés de plaques parallèles ou de tubes inclinés.

DECANTEURS A RACLAGE MECANIQUE:

C'est un décanteur utilisé pour le traitement des eaux contenant des matières lourdes pouvant se décanter spontanément. Il est important de pouvoir extraire les boues au fur à mesure de leur formation. Le raclage se fait au fond du décanteur tout en épaississant ce dernier: le volume à extraire est réduit et la perte d'eau évacuée avec les boues est minimale.

A/Décanteurs circulaires:

Dans ce type de décanteur, le racleur est soit radial ou diamétral, il est fixé à une charpente tournant autour de l'axe du bassin. L'installation permet l'emplacement d'un flocculateur à brassage lent situé au centre de l'appareil.

B/Décanteurs longitudinaux rectangulaires:

Les décanteurs rectangulaires, présentent l'avantage de permettre une implantation plus ramassée des différentes unités de traitement et leur coût est souvent très élevé. Le plus souvent des cas le rapport (longueur/largeur) est compris entre 3 et 6. La profondeur du bassin se situe entre 2.5 m et 4 m et la pente du fond est de l'ordre de 1%

DECANTEURS A SUCCION DE BOUES:

Leur utilisation principale est dans le traitement des eaux résiduaires par boues activées, ils servent à réduire le temps de séjour de ces boues afin d'éviter leur dégradation. Lorsque le décanteur atteint un certain diamètre, un dispositif de succion est très pratique.

1.5.2-DECANTEURS DYNAMIQUES:

Appelés aussi décanteurs à contact de boues, deux procédés peuvent être employés pour assurer le contact avec les boues:

* les appareils à recirculation des boues: les boues sont séparées de l'eau clarifiée dans une zone de décantation. Elles sont ensuite recyclées vers une zone de mélange munie d'une agitation mécanique (Accélérateur, Turbocirculateur) ou hydraulique (Circulateur).

* les appareils à lit de boues (type Pulsator): on ne cherche pas à circuler la boues. Il s'agit de la maintenir sous forme d'une masse en expansion que l'eau peut traverser de bas en haut d'une façon régulière.

La décantation lamellaire a un principe qui n'est pas réservé aux décanteurs statiques. Son principe s'applique aux décanteurs à contact de boues dont il accroît les performances de vitesse.

DECANTEURS A CIRCULATION DE BOUES:

Leur principale caractérisation se situe dans la présence d'une zone de réaction et d'une autre de décantation; la base de cette dernière joue le rôle de reprise des boues pour les envoyées dans la zone de réaction.

A/Décanteurs Circulator:

Dans ce type de décanteur, l'accélération des réactions se fait par circulation méthodique des précipités formés avec les réactifs et l'eau à traiter. Cet organe comporte un dispositif hydraulique mais ne comporte pas de système mécanique.

La clarification ou l'adoucissement de l'eau se fait avec un temps de rétention allant de 45 mn à 2 h. Ce temps de rétention est fonction des vitesses d'ascension de l'eau, elles ne doivent pas dépasser 2 m/h en clarification et 5 à 7 m/h en adoucissement.

B/Décanteurs Turbocirculator:

Dans ce genre d'appareil, une hélice au profil étudié assure la recirculation des précipités. Au centre de cet appareil, la zone de réaction permet la coagulation, la floculation, adoucissement ou même l'oxydation.

Les boues reprises par le système de recirculation ou dérivées vers les fosses à boues sont ramenées continuellement par un système de raclage mécanique.

C/Décanteurs Accelator:

Le décanteur accelator comporte deux variantes d'où NS et IS alors que le décanteur NS comporte une zone centrale de réaction entourée d'une zone de décantation, ces deux dernières zones communiquent par le haut et par le bas tandis-que le décanteur IS comporte un racleur à la partie inférieure de l'appareil.

D/Décanteurs lamellaires RPS:

C'est en faite un turbocirculator raclé, à zone de décantation lamellaire, inscrit dans une structure rectangulaire.

Lorsque les débits d'eau à traiter sont très importants, l'appareil peut comporter deux zones de décantations disposées de part et d'autre d'une même chambre de réaction.

DECANTEURS A LIT DE BOUES:

La seule comparaison qu'on peut faire au lit de boues est celle du ressort, ce dernier tend à se comprimer sous l'effet de la pesanteur, mais que l'on étire plus au moins par la force exercée par l'eau sur les particules de boues qui constituent ce ressort et qui augmente

naturellement avec la vitesse de l'eau. Dans le cas où on tire trop fort sur le ressort, il casse c'est dans ce contexte qu'il faut éviter en adoptant une vitesse convenable.

On peut augmenter la résistance du ressort, d'où accroître la vitesse maximale possible en améliorant la cohésion du lit de boues par l'utilisation d'adjuvants de floculation tel que la silice activée.

A/Décanteurs Pulsator:

Le pulsator est un modèle industriel de reproduction du modèle réalisé au laboratoire faisant part des observations de ce dernier ainsi que des considérations théoriques. Le facteur vitesse ascensionnelle peut aller, selon la nature des matières en suspension, jusqu'à 8 m/h.

La plus grande section du pulsator, est occupée à la partie inférieure par le collecteur général afin de réduire sa perte de charge.

Le calcul des orifices, les disposent en ramification dans le but de constituer dans la moitié inférieure du décanteur un lit de boues homogène.

Les pulsators se réalisent en général pour moderniser d'anciennes installations et de multiplier leur débit par 2 ou 3.

B/Décanteurs Pulsator Lamellaire:

Dans ce modèle, la particularité se présente au niveau des plaques ou tubes inclinés à 60° sur l'horizontale, son but est d'améliorer la qualité de l'au tout en maintenant les mêmes vitesses de décantation que le classique. Les plaques ou les tubes servent à récupérer les floes ayant échappé au lit de boues.

D/Le Superpulsator:

Il est issu de la combinaison des modèles de la décantation à contact de boues et de la décantation lamellaire. Les plaques à défecteur permettent de maintenir dans le lit de boues une concentration élevée, cette dernière peut atteindre jusqu'à 50 % en volume et permet au superpulsator de jouer le rôle d'un véritable filtre à impuretés.

1.5.3-DETERMINATION DE LA VITESSE DE DECANTATION ET CALCUL DE LA SURFACE DU DECANTEUR:

Les mesures effectuées au laboratoire nous permettent de tracer les courbes: hauteur de la couche supérieure de boue en fonction du temps de décantation. En théorie ces courbes ont une allure du type:

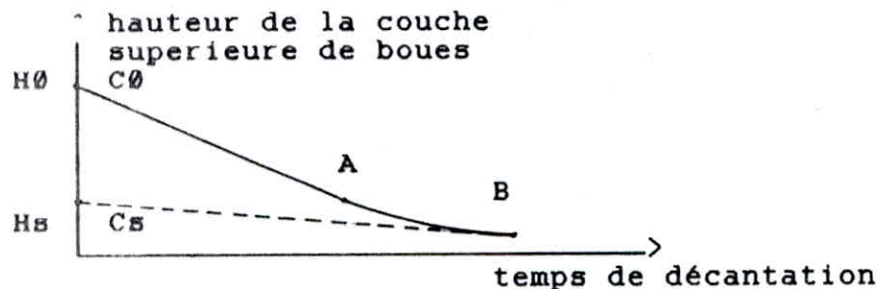


fig 3: Hauteur de boues en fonction du temps de décantation

H_0 : hauteur initiale de la couche supérieure de boues.
 C_0 : concentration initiale de la suspension.

Etant donné qu'on s'intéresse au calcul d'un clarificateur et non d'un épaisseur ou d'un concentrateur, on se limitera au segment ($H_0 A$) de la courbe pour déterminer la vitesse de décantation qui sera donnée par la pente de la droite ($H_0 A$).

Le segment ($H_0 A$) de la courbe représente la partie rectiligne de cette courbe et traduit une vitesse de chute constante égale à la concentration initiale C_0 :

$$v_0 = \text{pente}(H_0 A)$$

- dans une tranche i du décanteur on démontre que:

$$C_0 * H_0 = C_i * H_i$$

$$\rightarrow H_i = \frac{C_0}{C_i} * H_0 \quad (1) \quad [2]$$

bilan matière sur un décanteur cylindrique de section S , soit:

Q_e : débit d'alimentation à la concentration C_0

Q_s : débit de soutirage de boues à la concentration C_s

bilan matière:

$$Q_e * C_0 = Q_s * C_s$$

C_s : concentration selon la hauteur H_s qui est donnée par l'intersection de la tangente de la courbe (AB) avec l'axe des hauteurs.

On démontre que le débit du liquide clair F est donné par:

$$F = Q_e * C_0 * \left(\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_s} \right)$$

et:

$$F = Q_i * C_i * \left(\frac{1}{C_i} - \frac{1}{C_s} \right)$$

d'autre part:

$$F = \frac{Q_e * C_0}{S} \quad [2]$$

(19)

Q_e
 -----: vitesse d'écoulement du liquide qui doit être inférieure
 S à la vitesse de décantation, sinon il y aura entraînement
 des particules solides dans le liquide clair.

On déduit la section minimale du clarificateur:

$$\frac{Q_e * C_0}{S} = \frac{v_0}{\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_s}} \approx \frac{C_0 * H_0}{\theta_s}$$

θ_s : temps correspondant à la concentration C_s .
 v_0 : vitesse de décantation des particules.

D'où:

$$S = \frac{Q_e * C_0}{v_0} * \left(\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_s} \right) \quad (2)$$

1.6-PRECIPITATION CHIMIQUE-ELIMINATION DE BICARBONATES SOUS FORME DE CARBONATES:

1.6.1-PRECIPITATION CHIMIQUE:

On entend par précipitation chimique la formation, par actions des réactifs appropriés, de composés insolubles des éléments indésirables contenus dans une eau.

Les procédés les plus courants en traitement des eaux sont, dans le premier cas, celui de la précipitation cristalline des ions Ca^{2+} et Mg^{2+}

dans le second cas la précipitation d'hydroxydes métalliques.

- le traitement de précipitation cristalline le plus courant est celui de la décarbonatation à la chaux. Il a pour but d'éliminer la dureté bicarbonatée d'une eau.

- pour la précipitation d'hydroxydes métalliques, il s'agit principalement de l'élimination des métaux lourds: cuivre, nickel, chrome, zinc, fer, cadmium que l'on trouve en particulier dans les effluents des ateliers de traitement de surface.

1.6.2-ELIMINATION DES BICARBONATES SOUS FORME DE CARBONATES:

L'élimination de la dureté bicarbonatée est mise en évidence par une décarbonatation à la chaux, le traitement de ce dernier permet d'éliminer la dureté temporaire.

1.6.2.1-PRINCIPE:

Ce procédé se base sur la propriété de la chaux de se combiner aux bicarbonates par:

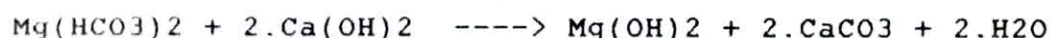
- transformation des bicarbonates de calcium en carbonates de calcium insoluble:



- transformation des bicarbonates de magnésium en hydroxyde de magnésium insoluble:



d'où la réaction globale:



- éliminer l'acide carbonique (H_2CO_3) :



on a précipité l'acide pour éviter la dissolution du carbonate de calcium précipité suivant la réaction:



Il permet de réduire l'alcalinité de l'eau à traiter entre 2° et 3° français, si les doses de chaux sont exactement ajustées. [2]

1.6.2.2-CALCUL DE LA DOSE DE CHAUX:

La détermination au laboratoire des caractéristiques suivantes, de l'eau à traiter, T.H, T.A.C, TCa et c, dont c est la teneur en acide carbonique libre de l'eau, évaluée en degrés calculés sur:

$$c = \frac{\text{CO}_2 \text{ libre en mg/l}}{4.4} \quad (3)$$

tout en se basant sur la réaction suivante:



nous permet de calculer la dose nécessaire de chaux pour précipiter à la fois le carbonate de calcium (CaCO_3) et la magnésie ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)

$$\text{Dose de chaux} = 7.4 * (2 * \text{T.A.C} - \text{TCa} + c) \text{ (mg/l de Ca}(\text{OH})_2) \quad (4)$$

$$\text{Dose de chaux} = 5.6 * (2 * \text{T.A.C} - \text{TCa} + c) \text{ (mg/l de CaO)}$$

pour l'obtention d'une précipitation optimale des bicarbonates, nous réglons le T.A (titre alcalimétrique) à une valeur:

$$\text{T.A} = \frac{1}{2} \text{T.A.C} + 0.5 \quad [2]$$

(21)

PARTIE EXPERIMENTALE

2.1-ANALYSE DE L'EAU D'APPOINT AVANT LE TRAITEMENT:

2.1.1-ANALYSE DE L'EAU:

L'eau servant à refroidir tous le circuit de refroidissement de la raffinerie provient d'un puits, par pompage. Cette eau a été étudiée au niveau du laboratoire de la raffinerie. L'eau présente des caractéristiques figurant sur le tableau 2:

elements		ca (g)	mg/l	meq/l	°Fr
c a t i o n s	Ca(2+)	40.0	86.00	4.30	21.500
	Mg(2+)	24.3	31.50	2.59	12.960
	Na(+)	23.0	103.40	4.48	22.400
	K(+)	39.0	1.30	0.03	0.167
a n i o n s	HCO3(-)	61.0	286.70	4.70	23.50
	SO4(2-)	96.0	144.48	3.01	15.95
	NO3(-)	62.0	14.12	0.23	1.14
	Cl(-)	35.5	122.48	3.45	17.25
T.H		34.2°F = 6.84 meq/l			
T.A		0			
T.A.C		28.9°F = 5.78 meq/l			
pH		7.2			
matieres en suspension			530 mg/l		

tableau 2: resultats de l'analyse de l'eau avant traitement

2.1.2-INTERPRETATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE:

L'analyse chimique ne permet pas de déterminer exactement la nature et la dose des sels dissous dans l'eau car chaque cation peut se combiner avec n'importe quel anion et réciproquement. On se limitera généralement à la connaissance des teneurs respectives des différents cations et anions dans l'eau. Ces teneurs exprimées en équivalents ou en degrés Français permettent de représenter les différentes combinaisons entre les cations et les anions (pour constituer les différents sels dissous dans l'eau) et de vérifier l'exactitude de l'analyse (car il y a autant de charges positives que de charges négatives). Elles présentent la balance ionique de l'eau.

La balance ionique de cette eau est équilibrée car la différence

entre la salinité totale cationique (11.4 meq/l) et anionique (11.39 meq/l) est inférieure à 0.5 meq/l.

2.2-DOSAGE DE LA CHAUX:

La dose théorique de chaux, nécessaire pour la précipitation optimale à la fois du bicarbonate de calcium et la magnésie contenue dans un litre d'eau d'alimentation, est donnée par l'équation (4)

On a:

$$T.A.C = 28.9^{\circ}F$$

$$TCa = 21.5^{\circ}F$$

pour le calcul de c d'après la formule (3), nous obtenons selon l'équation suivante la valeur de CO2 libre:



$$m (HCO_3)_2 = 122.00 \text{ mg}$$

$$m (CO_2) = 44.00 \text{ mg}$$

$$m (HCO_3) = 286.70 \text{ mg/l}$$

d'où la quantité de CO2 libre est de 103.4 mg/l, alors:

$$c = 23.5^{\circ}F$$

nous déduisons par la formule (4):

$$\text{dose de } Ca(OH)_2 = 442.52 \text{ mg/l}$$

nous avons 442.52 mg/l de chaux à 100 %

Comme la dose de chaux $Ca(OH)_2$ est pure à 96 % donc la quantité nécessaire pour le traitement est:

$$442.52 / 0.96 = 460.1 \text{ mg/l}$$

Tous les essais d'optimisation de vitesse d'agitation, de temps d'agitation, de quantité de coagulant, de quantité de floculant, sont effectués sur une eau de qualité RALL (Raffinerie d'Alger) et dans laquelle on a dissout 460.1 mg/l de chaux $Ca(OH)_2$ à 96 % .

2.3-L'EXPERIMENTAL:

2.3.1-DOSAGE DU COAGULANT:

Nous avons effectué nos essais à différentes doses de coagulants: le sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18.H_2O$) et le chlorure ferrique ($FeCl_3 \cdot 6.H_2O$) .

Pour chacun des 2 coagulants, les doses utilisées sont:

$$10 - 20 - 50 - 80 - 100 \text{ mg/l}$$

2.3.2-PREPARATION ET DOSAGE DU FLOCCULANT:

Nous avons utilisé le Praestol solide sous forme granulée (à 30% de substance active) afin de préparer une solution à 0.5%. Pour la préparation nous avons fait dissoudre soigneusement 0.5 g de praestol dans 100 ml d'eau distillée, la solution obtenue est très visqueuse.

2.3.3-EFFET DE LA VITESSE D'AGITATION:

Nous avons étudié l'effet de la vitesse d'agitation de la suspension une fois que nous ajoutons le coagulant agité à une très grande vitesse de rotation et le flocculant agité à basse vitesse.

A cet effet, nous avons utilisé les vitesses d'agitation de la suspension suivantes:

50 - 100 - 150 - 200 - 250 tr/mn

Comme système d'agitation nous avons un agitateur mécanique à hélice. (voir fig 4)

2.3.4-EFFET DU TEMPS D'AGITATION:

Tous les essais que nous avons effectué au laboratoire sont basés sur un temps d'agitation qui sera déterminé par expérimentation.

2.3.5-MODE OPERATOIRE:

Tous le travail sera effectué sur un ensemble de (5) béciers et d'agitateurs que le tout s'appelle "JAR-TEST".

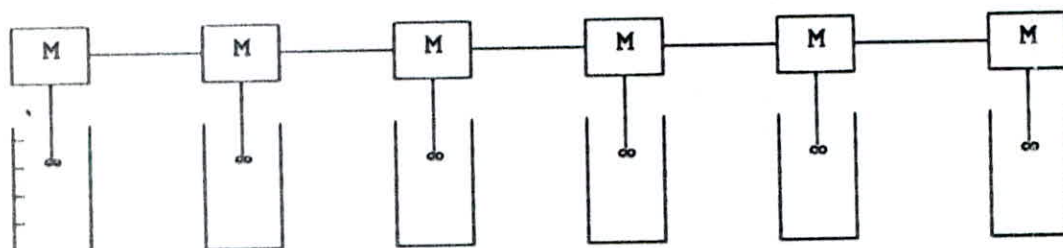


fig 4: Jar-test

A la vitesse d'agitation maximale (250 tr/mn), nous rajoutons à la suspension (1 litre) la dose voulue de coagulant (FeCl_3 ou $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) le plus vite possible.

Puis nous réglons la vitesse d'agitation voulue et nous mettons la dose de flocculant fixée. Nous maintenons cette vitesse d'agitation constante jusqu'à l'écoulement du temps d'agitation.

Une fois le temps d'agitation épuisé, nous arrêtons l'agitation et nous notons la hauteur qui s'éclaircit en fonction du temps.

En suite, nous traçons les courbes donnant la hauteur de l'interface en fonction du temps de décantation. A partir de ces courbes, nous déterminons les vitesses de décantation et nous traçons par la suite les courbes qui donnent:

- vitesse de décantation en fonction de la vitesse d'agitation.
- vitesse de décantation en fonction du temps d'agitation.
- vitesse de décantation en fonction de la dose de chacun des coagulants.
- vitesse de décantation en fonction de la dose du flocculant.

Ces courbes nous permettent de déterminer la vitesse de décantation maximale ainsi que la vitesse et le temps d'agitation optimaux, la dose du coagulant et du flocculant optimale correspondant à cette vitesse maximale.

2.4-MESURES:

2.4.1-ETUDE DE L'EFFET DE LA VITESSE D'AGITATION:

Nous avons fait varier la vitesse de rotation et maintenu:

- la dose de chaux constante = 460.1 mg/l
- la dose du coagulant constante = 20 mg/l de FeCl₃
- la dose de flocculant constante = 2.5 mg/l
- le temps d'agitation de la suspension constante = 5 mn.

Les résultats obtenus se résume par le tableau 3:

t(s)		0	30	45	60	90	120	
hauteur cm	vitesse tr/ mn	50	15	11.4	9.4	7.5	4.1	2.2
		100	15	11.0	9.1	7.1	3.5	1.6
		150	15	10.9	8.9	6.8	3.2	1.0
		200	15	10.6	8.5	6.3	2.5	0.4
		250	15	10.7	8.6	6.6	3.0	0.7

tableau 3: effet de la vitesse d'agitation

Les courbes de la fig 5 nous précisent les vitesses de décantation d'où le tableau 4:

vitesse tr mn	50	100	150	200	250
vitesse de décantation m h	4.39	4.74	4.99	5.29	5.14

tableau 4: vitesse d'agitation optimale

De la fig 6 il ressort que la vitesse optimale d'agitation est de 200 tr/mn.

2.4.2-ETUDE DE L'EFFET DU TEMPS D'AGITATION:

Nous maintenons fixe la vitesse d'agitation de 200 tr/mn et faisons agiter le mélange de:

- 460.1 mg/l de Ca(OH)₂
- 20 mg/l de FeCl₃
- 2.5 mg/l de flocculant.

Nous faisons varier le temps d'agitation de la manière suivante:

2 - 3 - 4 - 5 - 6 mn

Le tableau 5 présente les résultats:

ETUDE DE L'EFFET DE LA VITESSE D'AGITATION

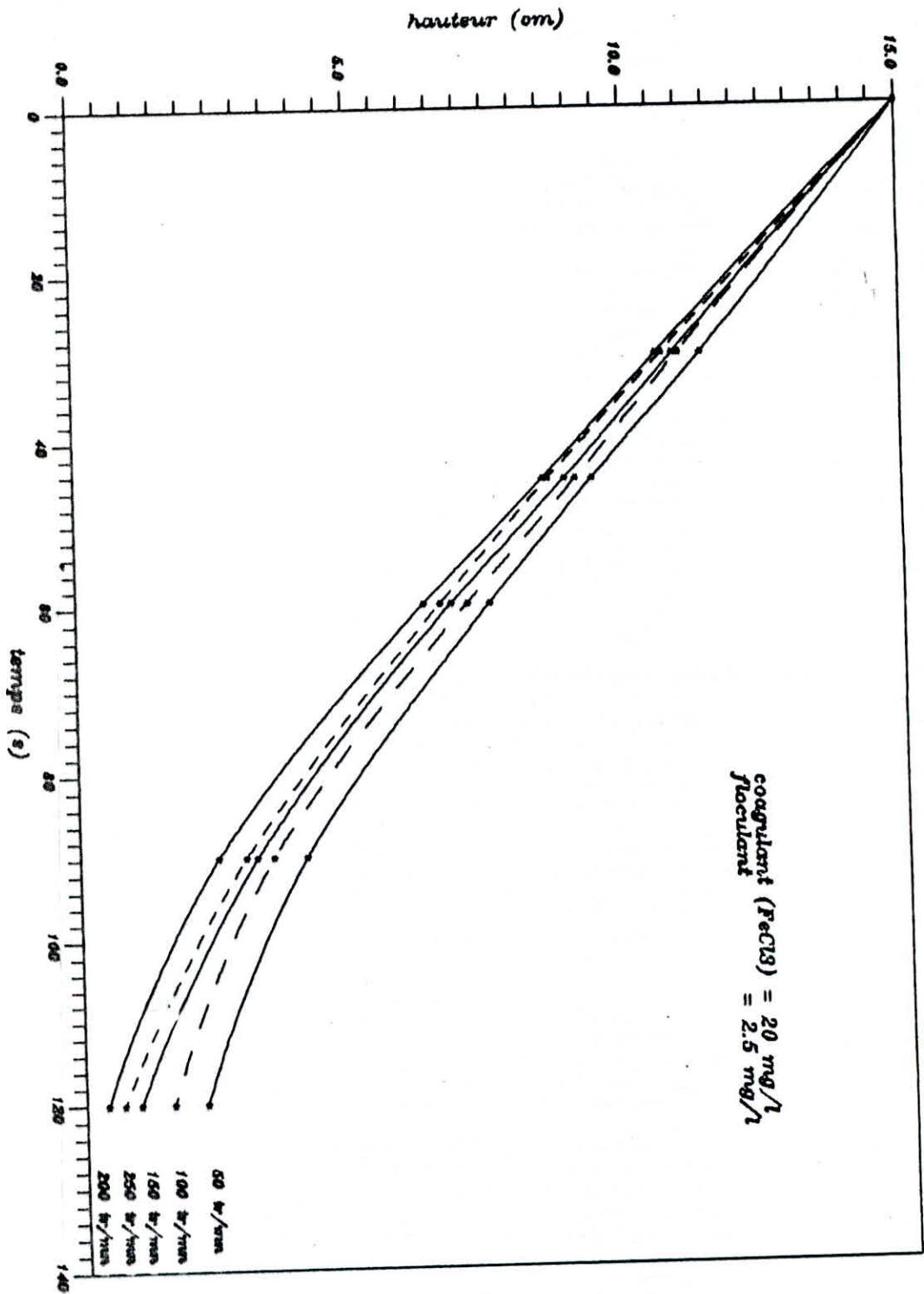


fig:5

VITESSE D'AGITATION OPTIMALE

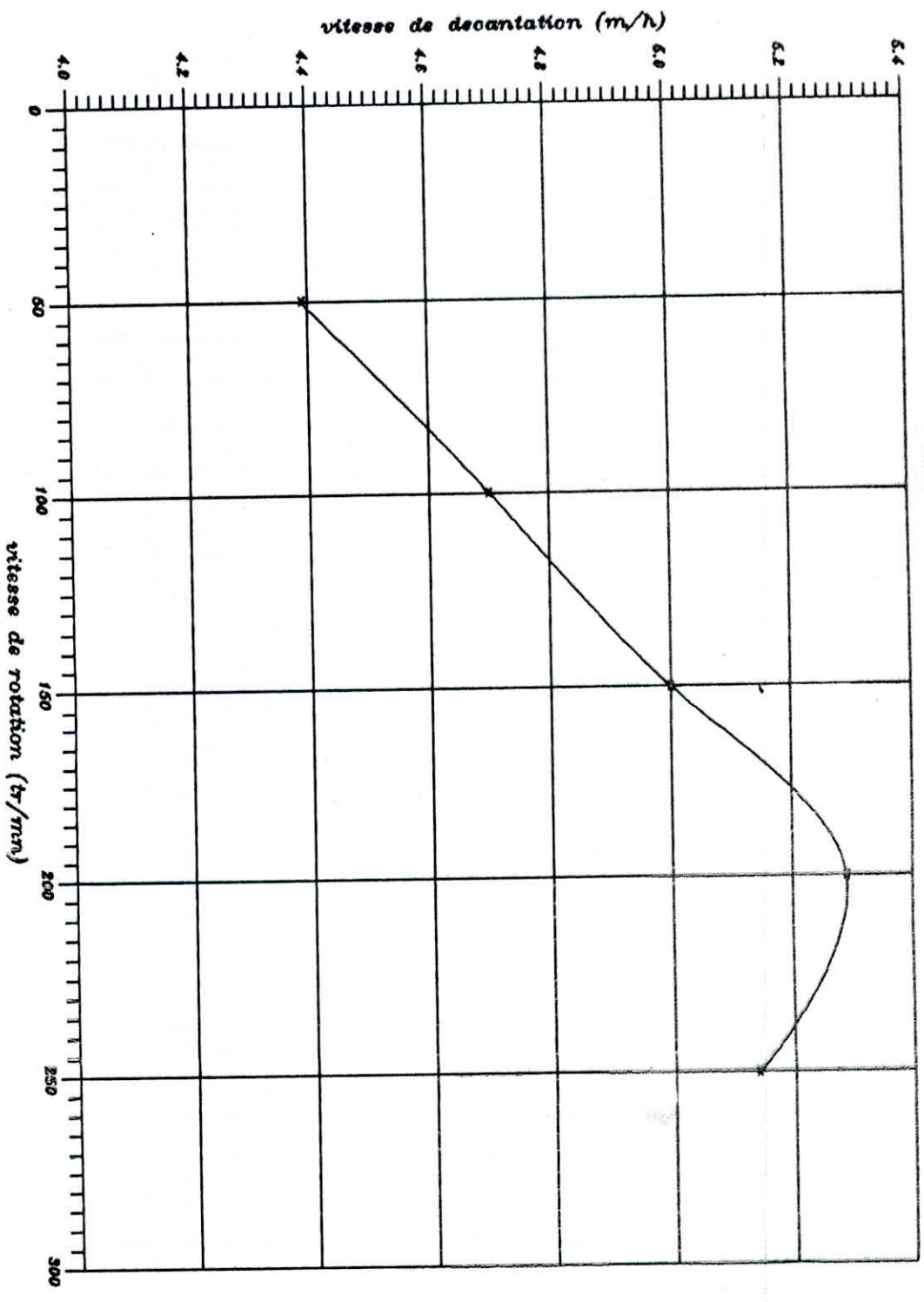


fig: 6

		t (s)	0	30	45	60	90	120
h a u t e u r c m	t e m p s m n	2	15	10.9	8.9	6.8	3.4	1.7
		3	15	10.7	8.6	6.4	3.1	1.0
		4	15	10.6	8.4	6.2	2.6	0.8
		5	15	10.5	8.3	6.1	2.1	0.5
		6	15	10.5	8.2	6.1	2.0	0.4

tableau 5: effet du temps d'agitation

Nous déduisons d'après les courbes de la fig 7 les vitesses de décantation présent dans le tableau 6:

temps (mn)	2	3	4	5	6
vitesse de décantation (m/h)	4.93	5.14	5.22	5.29	5.32

tableau 6: temps d'agitation optimal

Comme la courbe de la fig 8 présente à partir de t= 5mn un palier presque constant à v= 5.29 m/h, donc nous concluons que le temps d'agitation optimal est de 5 mn.

2.4.3-ETUDE DE L'EFFET DE LA DOSE DU COAGULANT FeCl₃:

Les deux précédentes expériences, nous permettent de fixer la vitesse d'agitation à 200 tr/mn ainsi que le temps d'agitation à 5 mn en faisant agiter les échantillons d'eau contenant:

- 460.1 mg/l de Ca(OH)₂
- 2.5 mg/l de flocculant

avec des doses de FeCl₃ variant de la façon suivante:

10 - 20 - 50 - 80 - 100 mg/l

et se résumant dans le tableau 7:

		t (s)	0	30	45	60	90	120
h a u t e u r c m	d o s e (mg/ l)	10	15	10.6	8.4	6.2	2.4	0.4
		20	15	10.6	8.3	6.0	2.2	0.3
		50	15	10.8	8.6	6.5	2.7	0.6
		80	15	11.0	8.9	7.0	3.2	0.9
		100	15	11.3	9.3	7.2	3.8	1.5

tableau 7: effet de la dose du coagulant FeCl₃

ETUDE DE L'EFFET DU TEMPS D'AGITATION

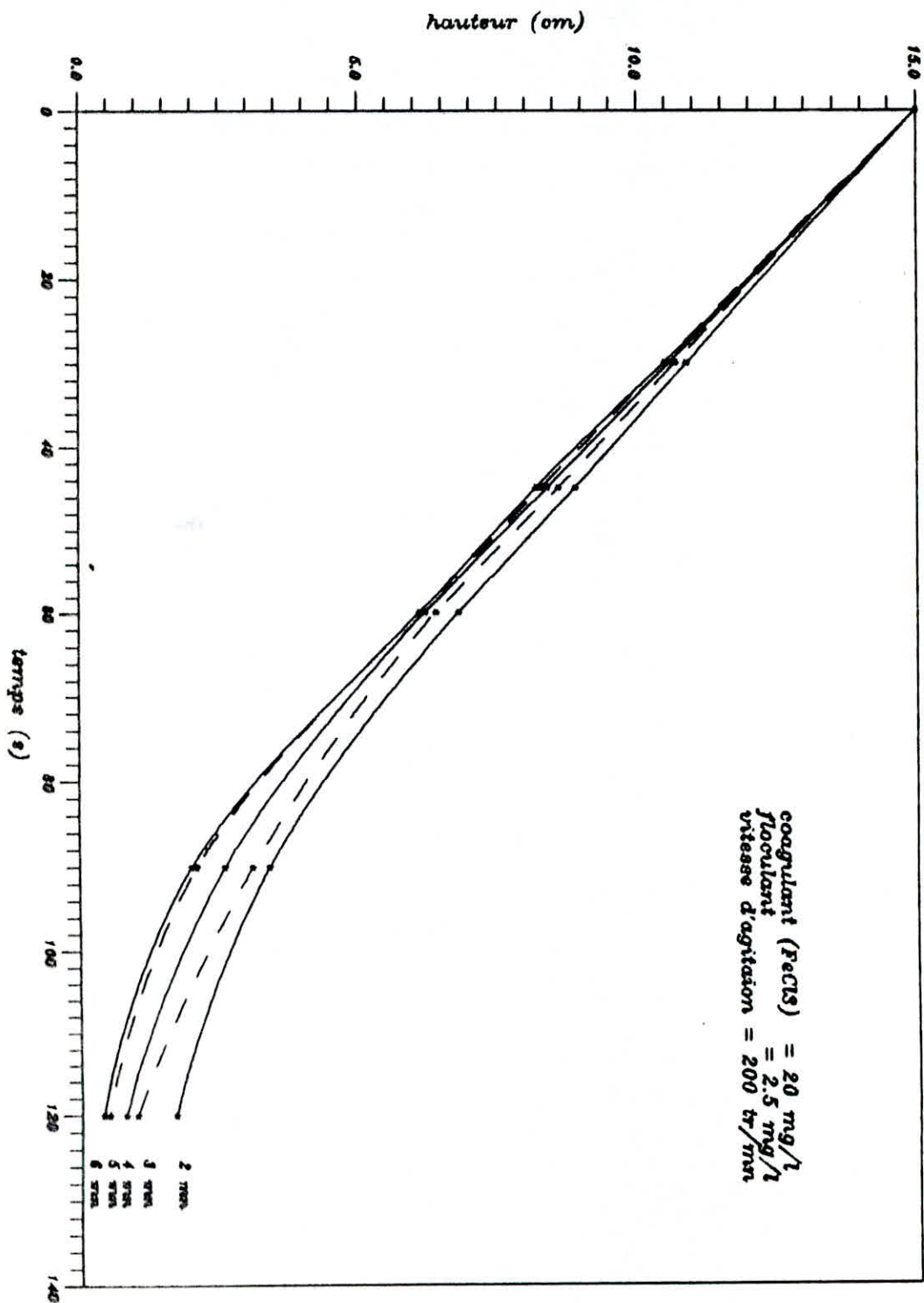


fig: 7

TEMPS D'AGITATION OPTIMAL

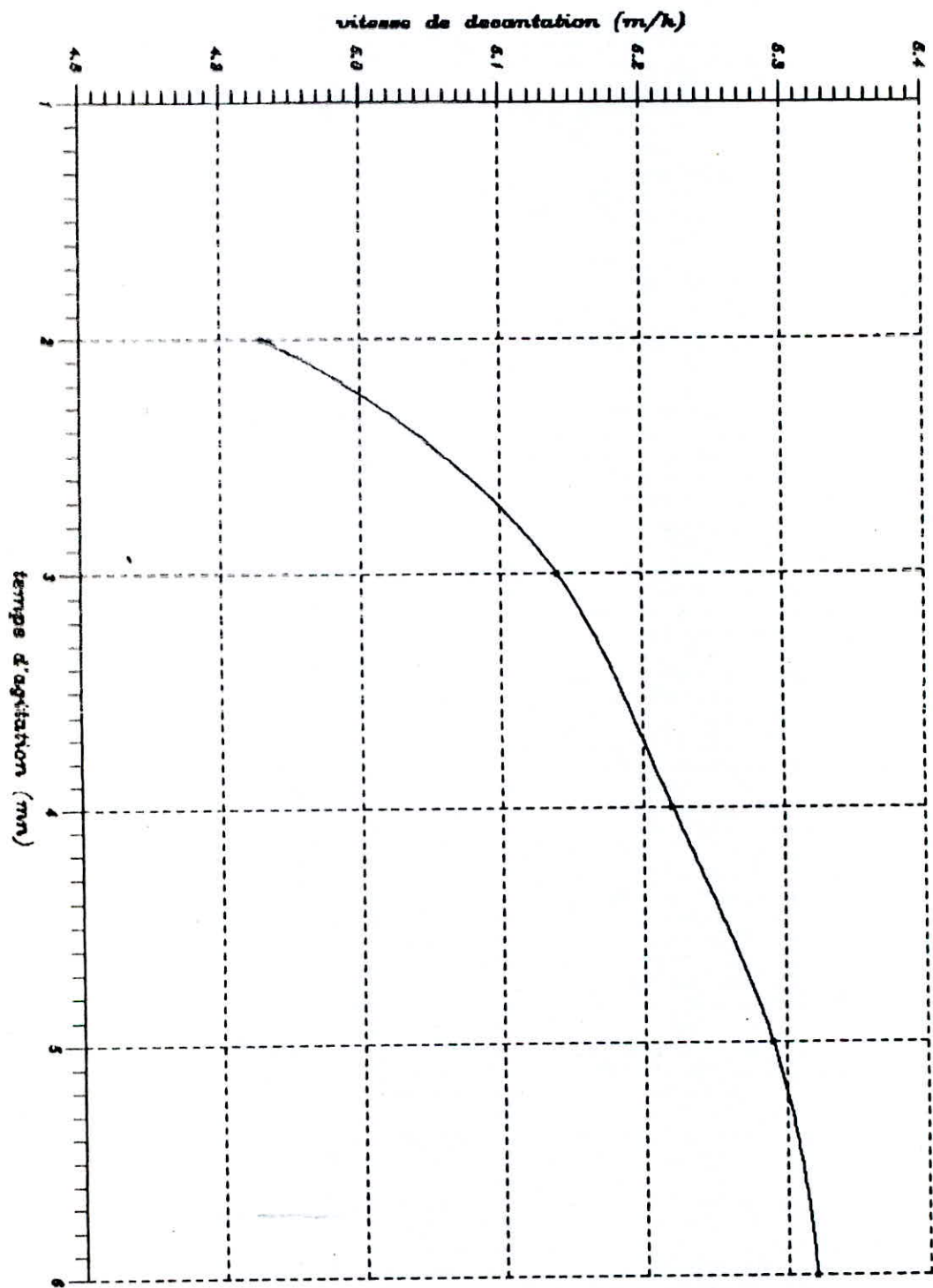


fig: 8

Les courbes de la fig 9 déduites à partir du tableau 7 , nous permettent d'obtenir les vitesses de décantation se trouvant dans le tableau 8:

temps (mn)	10	20	50	80	100
vitesse de décantation (m/h)	5.26	5.29	5.14	4.86	4.62

tableau 8: dose de FeCl3 optimale

La dose optimale de FeCl3 obtenue grace à la fig 10 est de 20mg/l

2.4.4- ETUDE DE L'EFFET DE LA DOSE DU COAGULANT Al2(SO4)3:

De la meme maniere que l'essai établi précédemment, nous obtenons des valeurs présentées dans le tableau 9:

		t(s)	0	30	60	90	120
h a u t e u r cm	d o s e (mg/ l)	10	15	11.1	7.3	3.7	1.5
		20	15	10.9	6.7	2.8	0.8
		50	15	10.6	6.3	2.2	0.4
		80	15	11.0	7.0	3.2	1.6
		100	15	11.2	7.4	4.1	2.0

tableau 9: effet de la dose du coagulant Al2(SO4)3

Les courbes de la fig 11 représentent les résultats du tableau 9, nous concluons les valeurs de vitesse de décantation du tableau 10:

temps (mn)	10	20	50	80	100
vitesse de décantation (m/h)	4.67	4.93	5.29	4.80	4.56

tableau 10: dose de Al2(SO4)3 optimale

L'extrémum de la fig 12, donnant la valeur de l'optimum, est de l'ordre de 50 mg/l de Al2(SO4)3.

2.4.4- ETUDE DE L'EFFET DE LA DOSE DU FLOCULANT:

A/cas de FeCl3:

On maintient les parametres suivants fixes:

ETUDE DE L'EFFET DE LA DOSE DU COAGULANT FeCl₃

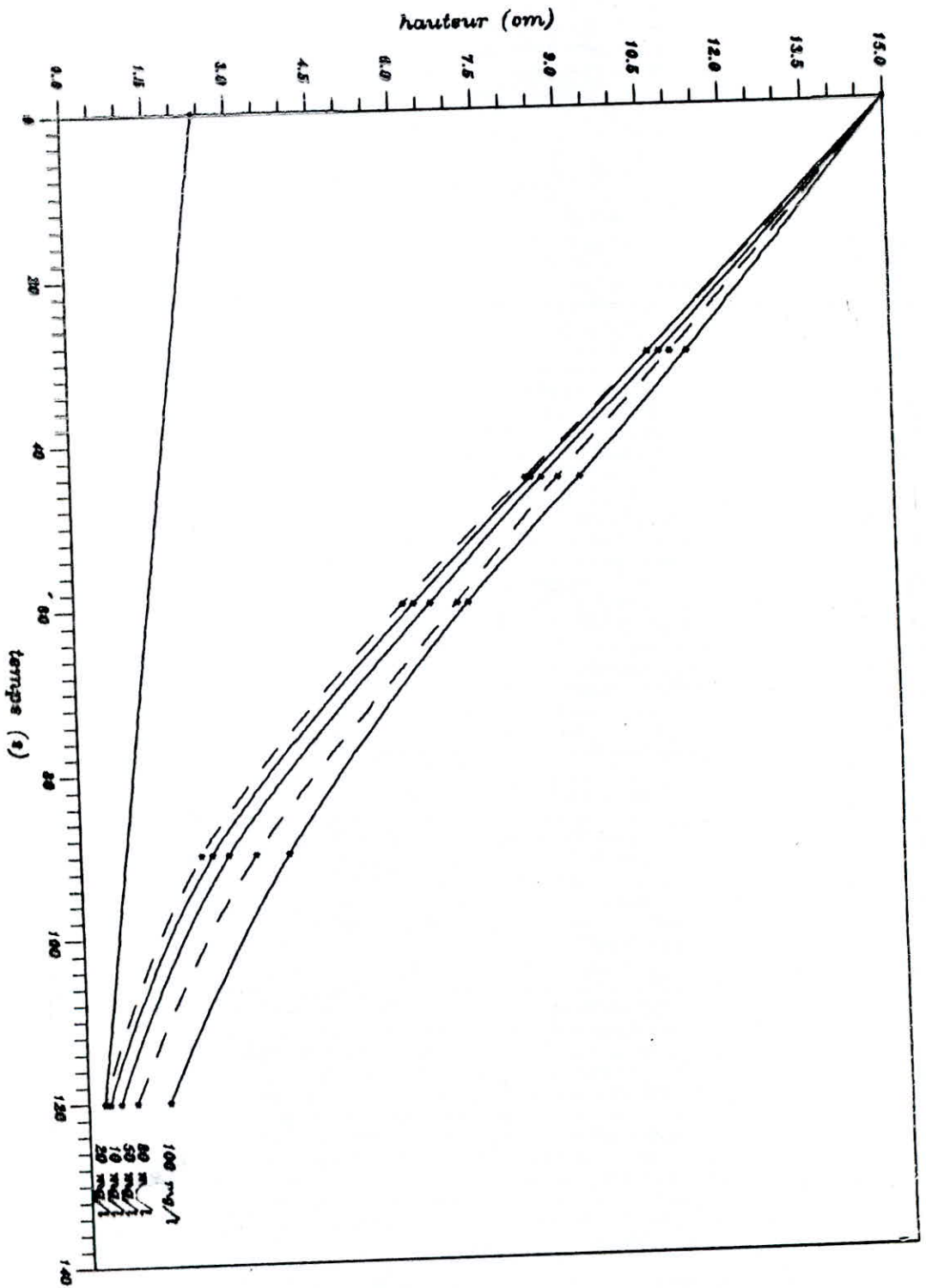


fig: 9

DOSE OPTIMALE DU COAGULANT FeCl₃

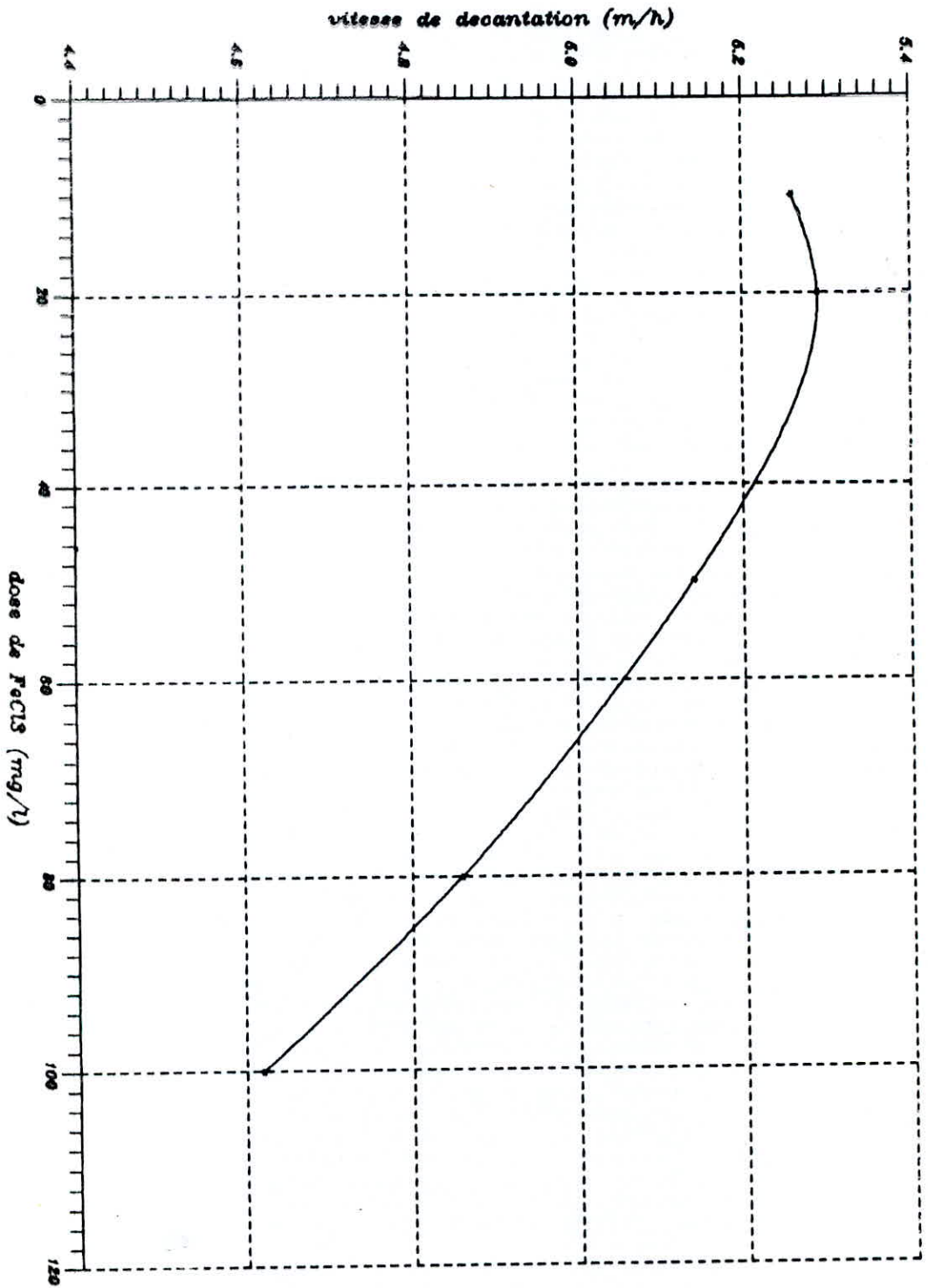
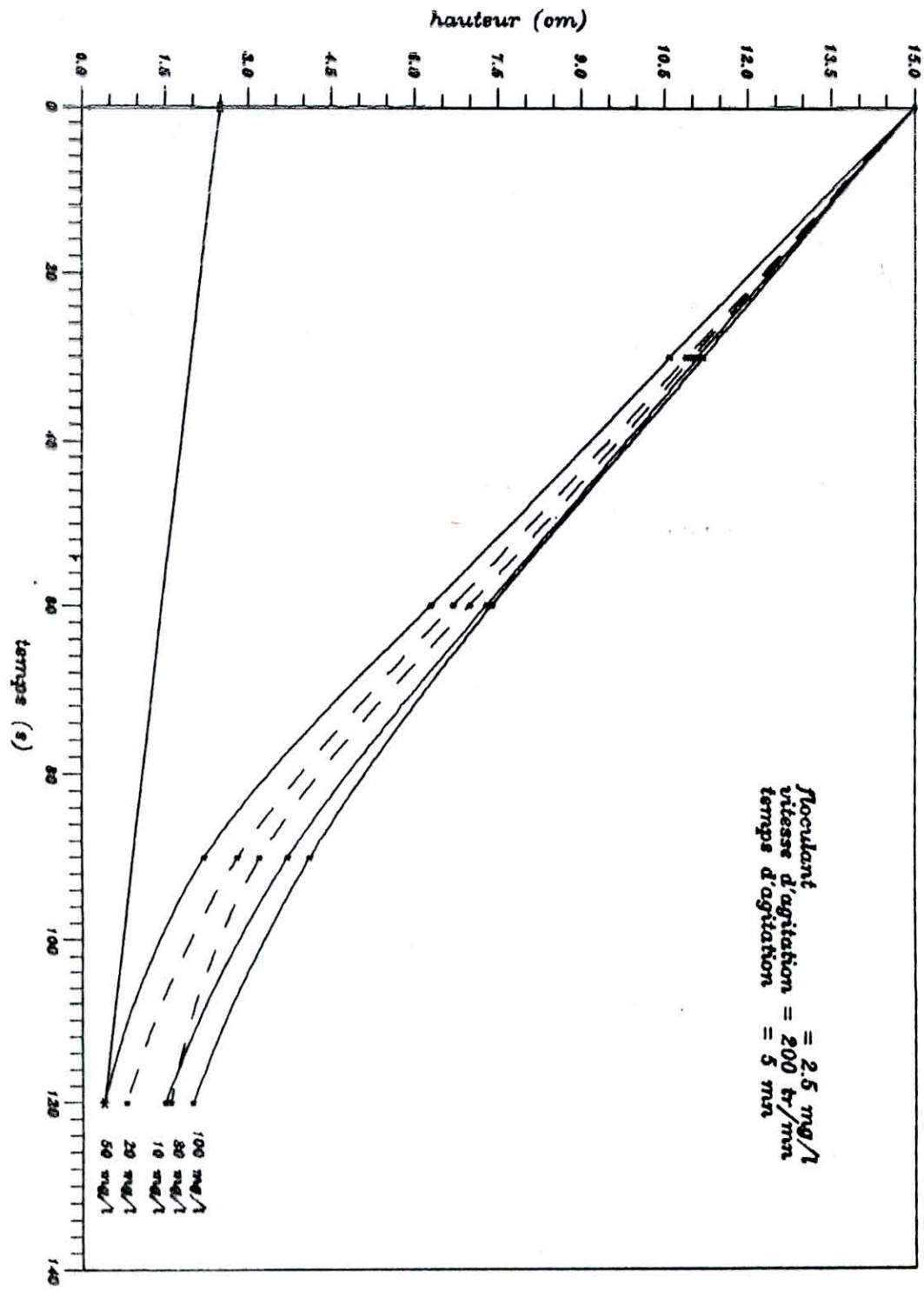


Fig: 10

fig: 11



ETUDE DE L'EFFET DE LA DOSE DU COAGULANT $Al_2(SO_4)_3$

DOSE OPTIMALE DU COAGULANT $Al_2(SO_4)_3$

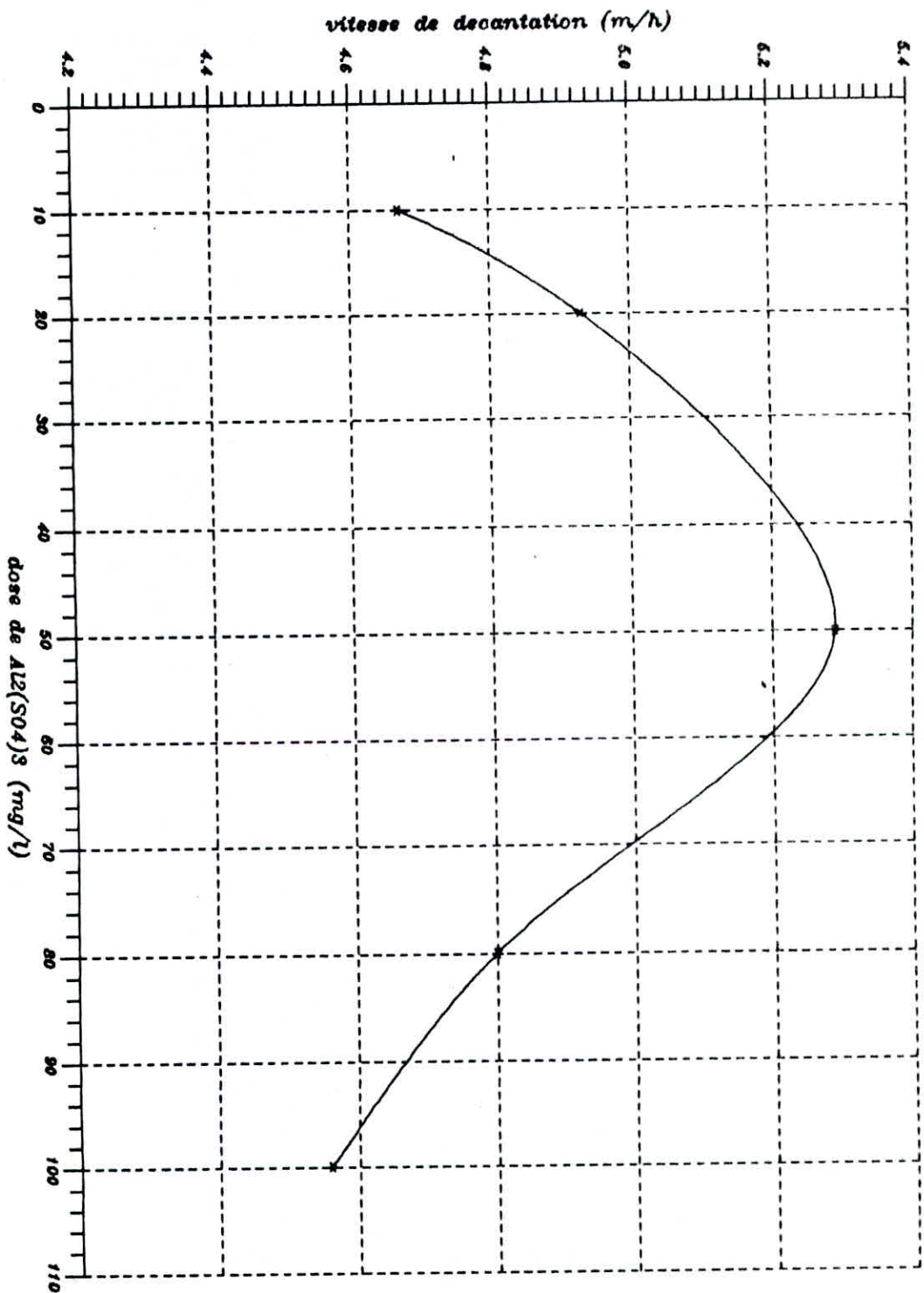


Fig: 12

- vitesse de rotation = 200 tr/mn
 - temps d'agitation = 5 mn
 - dose de FeCl₃ = 20 mg/l
 - dose de chaux = 460.1 mg/l
 et nous faisons varier la dose de praestol da la maniere suivante:
 1 - 2 - 3 - 4 - 5 mg/l
 les résultats obtenus se trouvent dans le tableau 11:

t(s)		0	30	60	90	105	
h a u t e u r c m	d o s e	1	15	10.9	5.8	3.5	2.3
		2	15	10.6	5.3	2.2	1.4
		3	15	10.5	5.1	2.0	0.8
	m g	4	15	10.5	4.9	1.8	0.5
		5	15	10.4	4.8	1.5	0.3

tableau 11: effet de la dose du flocculant en présence de FeCl₃

La fig 13 est le moyen de retrouver les vitesses de décantation qui se résument dans le tableau 10:

temps (mn)	1	2	3	4	5
vitesse de décantation (m/h)	4.91	5.21	5.34	5.38	5.39

tableau 12: dose de flocculant optimale en présence de FeCl₃

La courbe obtenue à la fig 14 présente un palier presque constant à partir de la dose 3 mg/l, d'où valeur optimale.

B/cas de Al₂(SO₄)₃:

Nous fixons de la meme maniere , les parametres, que la précédente experience mais nous varions la dose du flocculant de la façon suivante

1 - 2 - 2.5 - 3 mg/l

et nous obtenons le tableau 13:

ETUDE DE L'EFFET DE LA DOSE DU FLOCCULANT

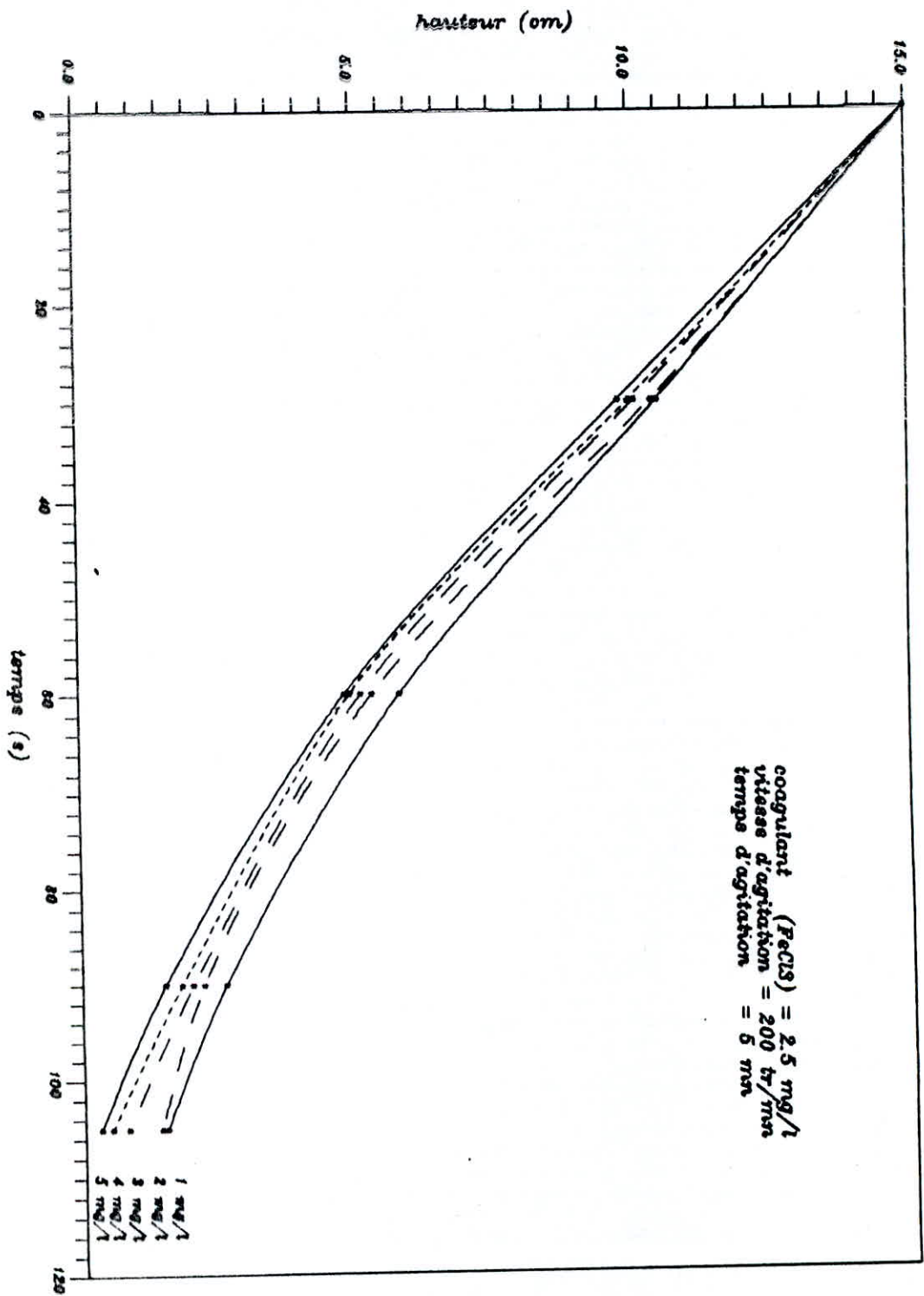


fig. 13

DOSE OPTIMALE DU FLOCCULANT EN PRESENCE DE FÉCULS

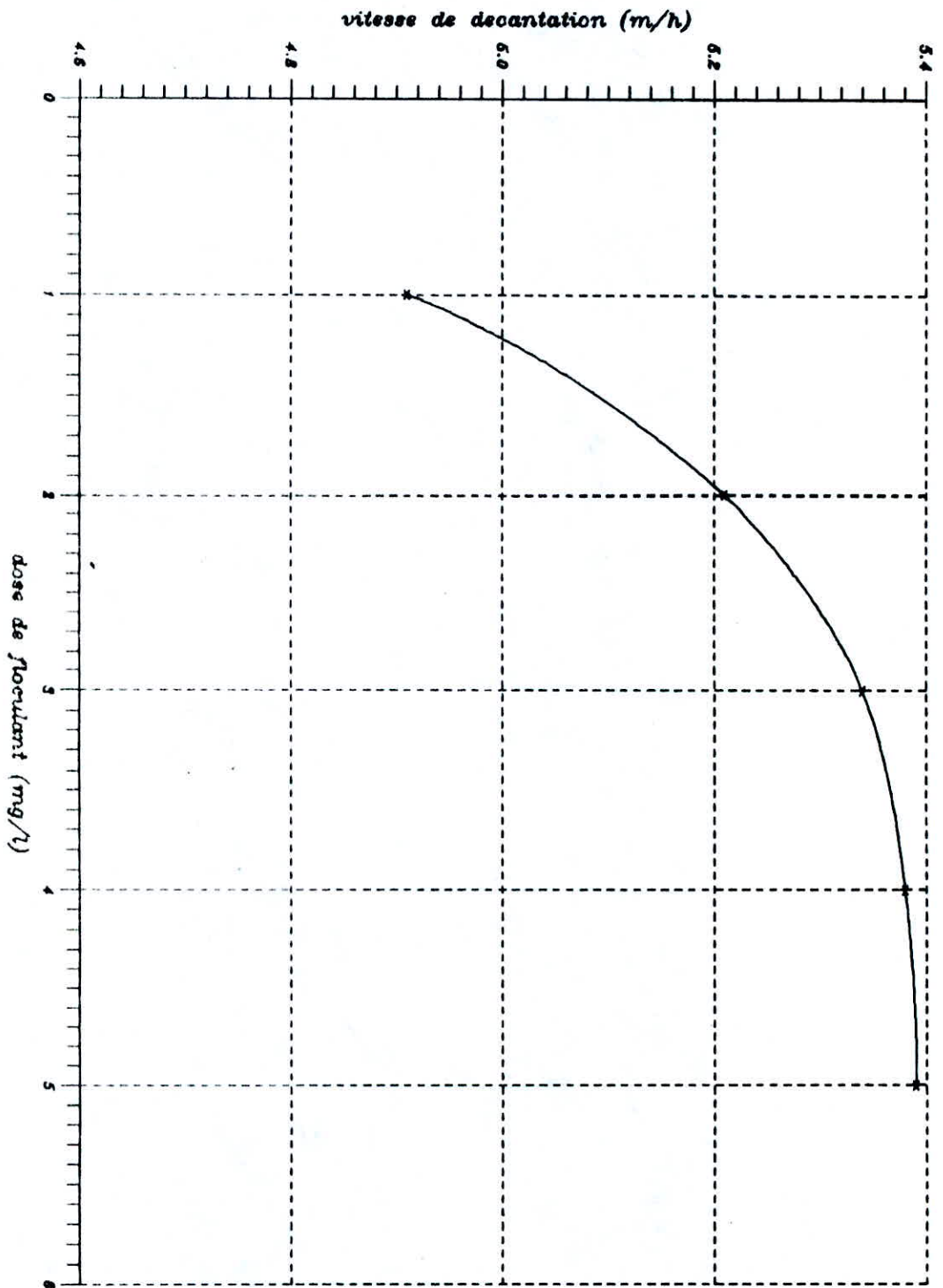


fig: 14

		t(s)	0	30	60	90	105
h a u t e u r c m	d o s e	1	15	10.9	6.8	3.5	2.0
		2	15	10.7	6.5	2.4	1.0
		2.5	15	10.6	6.3	2.2	0.4
	mg l	3	15	10.6	6.2	2.1	0.2

tableau 13: effet de la dose du flocculant en présence de $Al_2(SO_4)_3$

Les calculs résultant de la fig 15 du tableau 13 se résume dans le tableau 14:

temps (mn)	1	2	2.5	3
vitesse de décantation (m/h)	4.68	4.98	5.14	5.16

tableau 14: dose de flocculant optimale en présence de $Al_2(SO_4)_3$

De la meme maniere que la fig 14, la fig 16 présente un début de palier donnant la valeur de la dose optimale de 2.5 mg/l.

2.4.6-CONDITIONS OPTIMALES DE TRAITEMENT:

Les conditions optimales se résument dans le tableau 16:

	cas de $FeCl_3$	cas de $Al_2(SO_4)_3$
dose de chaux (mg/l)	460.1	460.1
vitesse d'agitation (tr/mn)	200	200
temps d'agitation (mn)	5	5
coagulant (mg/l)	20	50
flocculant (mg/l)	3	2.5
vitesse de décantation (m/h)	5.29	5.29

tableau 15: conditions optimales de traitement

ETUDE DE L'EFFET DE LA DOSE DU FLOCCULANT

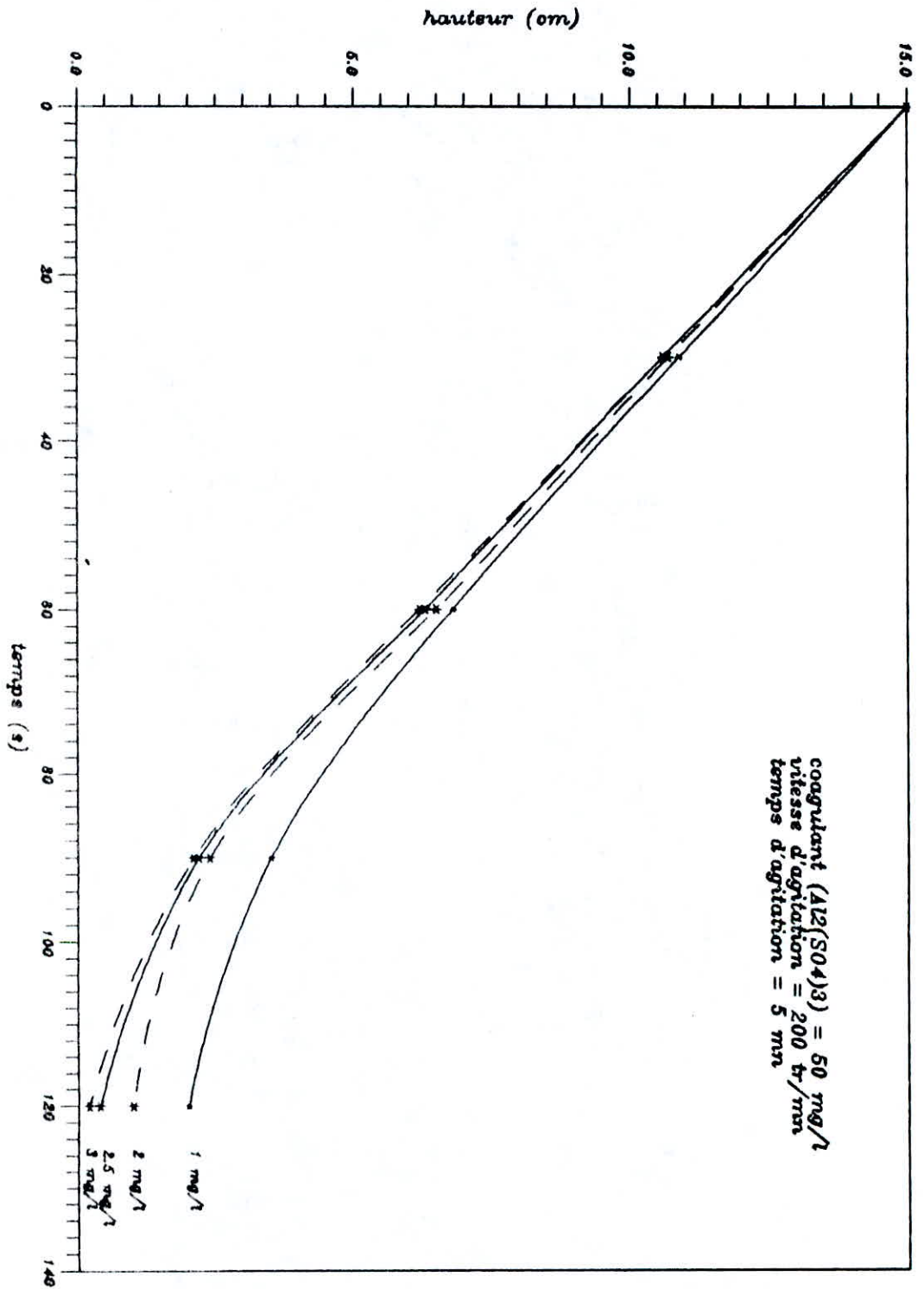


fig: 15

DOSE OPTIMALE DU FLOCCULANT EN PRESENCE DE $Al_2(SO_4)_3$

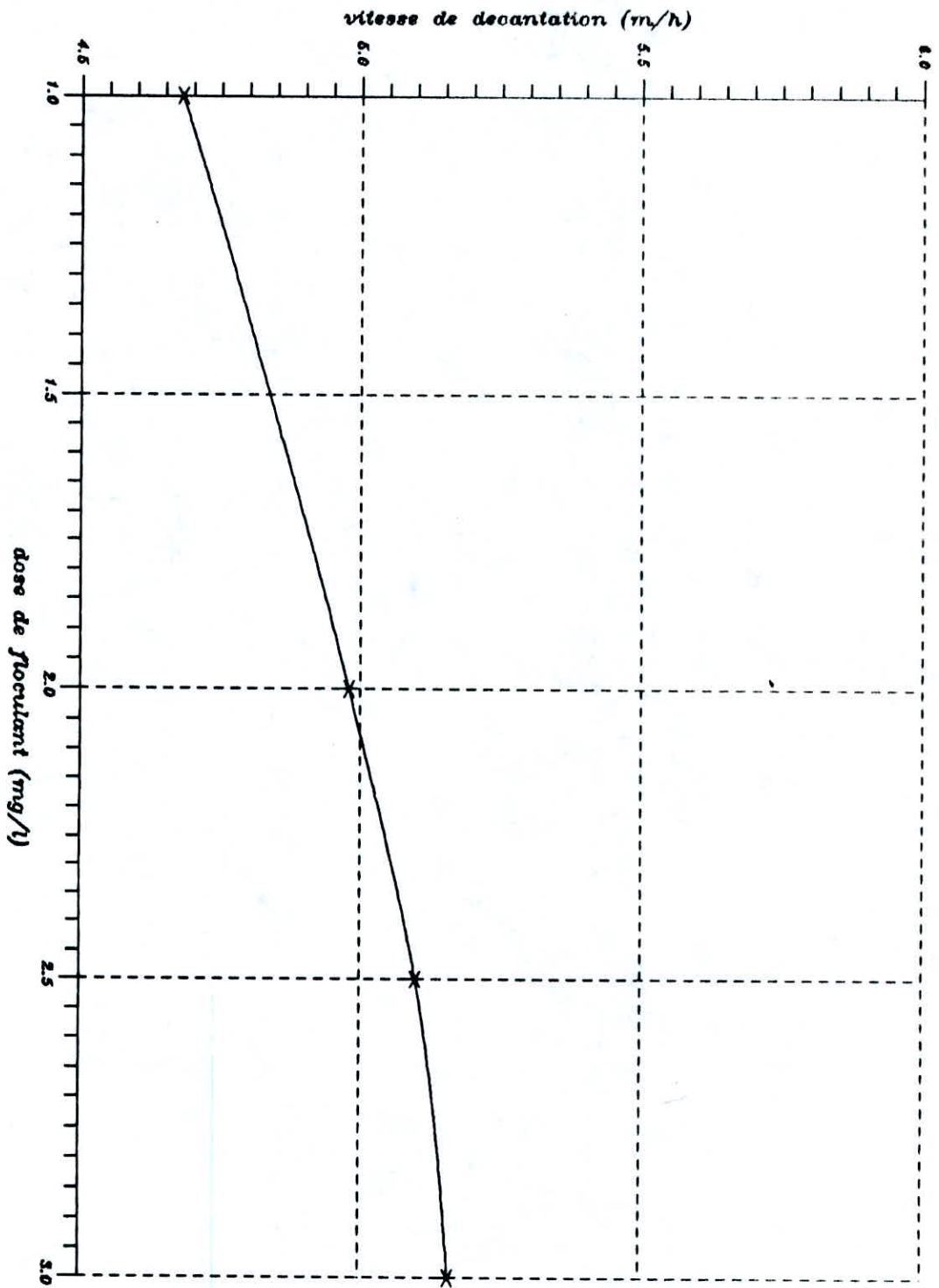


Fig: 16

2.5-ANALYSE DE L'EAU D'APPOINT APRES TRAITEMENT:

Après avoir fait subir à l'eau de la raffinerie d'Alger un traitement de décarbonatation à la chaux, coagulation, floculation et décantation dans les conditions optimales obtenues ci-dessus, nous avons procédé à l'analyse de l'eau traitée et les résultats obtenus sont illustrés par le tableau 16:

	cas de FeCl ₃ (°F)	cas de Al ₂ (SO ₄) ₃ (°F)
Ca(2+)	5.200	5.100
Mg(2+)	5.000	5.000
Na(+)	22.400	22.400
K(+)	0.167	0.167
HCO ₃ (-)	0.19	0.20
SO ₄ (2-)	15.05	15.05
NO ₃ (-)	1.14	1.14
Cl(-)	17.25	17.25
T.H	10.2	10.5
T.A	1.2	1.2
T.A.C	4.12	4.10
pH	10.4	10.3
M.E.S	470.9 mg/l	484 mg/l

tableau 16: résultats de l'analyse de l'eau après traitement

On remarque bien la diminution en $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$ et $[HCO_3^-]$ même que le pH se stabilise autour de 10.

PARTIE DIMENSIONNEMENT

3.1-CALCUL DE LA SURFACE DU DECANTEUR:

A/CAS DE $FeCl_3$:

A partir de la courbe de la fig 9, nous concluons la hauteur limite de décantation des particules $H_s = 2.4$ cm, donc d'après la formule (1) nous obtenons la concentration avec les paramètres suivants:

$$\begin{aligned}H_0 &= 15 \text{ cm} \\C_0 &= 470.9 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

d'ou:

$$C_s = 2943.13 \text{ mg/l}$$

La section minimale du décanteur (clarificateur) est donné par la formule (2) et la présentation des paramètres entrants dans cette formule sont:

$$\begin{aligned}Q_e &= 74.5 \text{ m}^3/\text{h} \\C_0 &= 470.9 \text{ mg/l} \\C_s &= 2943.13 \text{ mg/l} \\v_0 &= 5.29 \text{ m/h}\end{aligned}$$

d'ou:

$$S = 11.83 \text{ m}^2$$

Le diamètre du décanteur est:

$$d = \left(4 * S / \pi\right)^{\frac{1}{2}}$$

d'ou:

$$d = 3.88 \text{ m}$$

La hauteur minimale d'un clarificateur prévue dans la littérature est de 2.5 m: [4]

- 1 m de hauteur de boues
- 1 m de hauteur de floculation (zone de floculation) .

B/ CAS DE $Al_2(SO_4)_3$:

C'est avec la courbe de la fig 11 que nous tirons la hauteur de saturation $H_s = 2.5$ cm, donc d'après la formule (1), nous obtenons la concentration suivante avec:

$$C_0 = 484 \text{ mg/l}$$

d'ou:

$$C_s = 2904.00 \text{ mg/l}$$

Avec cette valeur, nous pouvons utiliser la formule (2) pour déterminer la section du décanteur sachant que:

$$v_0 = 5.29 \text{ m/h}$$

d'ou:

$$S = 11.74 \text{ m}^2$$

Le diamètre est donc:

$$d = 3.87 \text{ m}$$

La première remarque que nous pouvons faire sur les deux diamètres que nous venons de calculer est que leurs variations est presque nulle, le seul facteur pouvant contribuer au choix du décanteur ainsi que le réactif, est à priori la comparaison d'investissement économique.

3.2-DIMENSIONNEMENT DE LA CUVE DE LA PREPARATION DE LA CHAUX:

La quantité de chaux utilisée est de:

$$460.1 \text{ mg/l} = 0.4601 \text{ Kg/m}^3$$

pour un débit de pointe de $74.5 \text{ m}^3/\text{h} = 1788 \text{ m}^3/\text{j}$, nous obtenons:
- la consommation journalière en Ca(OH)_2 :

$$1788 \text{ m}^3/\text{j} * 0.4601 \text{ Kg/m}^3 = 822.659 \text{ Kg/j}$$

- la quantité d'eau à prévoir pour la préparation de la chaux à 10% :

$$822.659 \text{ Kg/j} * (0.90 / 0.10) * 0.001 \text{ m}^3/\text{Kg} = 7.404 \text{ m}^3/\text{j}$$

- capacité de la cuve pour un temps de mélange de 5 mn:

$$7.404 \text{ m}^3/\text{j} * (5 \text{ mn} / 60 \text{ mn/h}) / 24 \text{ h/j} = 0.026 \text{ m}^3$$
$$0.026 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/j} = 0.617 \text{ m}^3$$

Nous considérons que le temps de préparation est tout les 24 heures, nous avons donc un volume $V = 0.624 \text{ m}^3$, mais comme nous prenons une hauteur $H = 1 \text{ m}$, nous obtenons un diamètre:

$$d = 0.886 \text{ m}$$

Il faut donc verser, d'après le temps de préparation d'un jour, une quantité de Ca(OH)_2 de 822.659 Kg

Il faut prévoir une cuve de stockage de même diamètre et de hauteur largement supérieure à celle de la cuve, elle sera alimentée à l'aide d'une pompe de transfert (voir fig 17).

3.3-DIMENSIONNEMENT DE LA CUVE DE PREPARATION DU COAGULANT:

3.3.1-CAS DE FeCl_3 :

- Quantité de FeCl_3 :

$$20 \text{ mg/l} = 0.020 \text{ Kg/m}^3$$

- consommation journalière:

$$1788 \text{ m}^3/\text{j} * 0.020 \text{ Kg/m}^3 = 35.760 \text{ Kg/j}$$

- sachant que la masse volumique de FeCl_3 est:

$$\delta = 1410 \text{ Kg/m}^3$$

(46)

comme le produit est visqueux, alors le volume de FeCl_3 à prévoir tous les jours:

$$35.760 \text{ Kg/j} * \delta = 0.025 \text{ m}^3/\text{j}$$

Pour une durée de 15 jours après chaque préparation, nous obtenons un volume $V = 0.375 \text{ m}^3$, donc pour une hauteur $H = 1 \text{ m}$, nous déduisons un diamètre:

$$d = 0.691 \text{ m}$$

Il faudra verser 536.400 Kg de FeCl_3 tous les 15 jours.
L'installation est la même que celle de la fig 17.

3.3.2-CAS DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

- Quantité de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$50 \text{ mg/l} = 0.050 \text{ Kg/m}^3$$

- consommation journalière:

$$1788 \text{ m}^3/\text{j} * 0.050 \text{ Kg/m}^3 = 89.400 \text{ Kg/j}$$

- la dilution du coagulant à 10 % , nous donne:

$$89.400 \text{ Kg/j} * (0.90 / 0.10) * 0.001 \text{ m}^3/\text{Kg} = 0.805 \text{ m}^3/\text{j}$$

- avec un temps de mélange de 5 mn, nous déduisons un volume:

$$0.805 \text{ m}^3/\text{j} * (5 \text{ mn} / 60 \text{ mn/h}) / 24 \text{ h/j} = 0.003 \text{ m}^3$$
$$0.003 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/j} = 0.067 \text{ m}^3/\text{j}$$

- sur un intervalle de temps de 15 jours, le volume sera:

$$0.067 \text{ m}^3/\text{j} * 15 \text{ j} = 1.005 \text{ m}^3$$

d'où le diamètre de la cuve obtenu est $d = 1.131 \text{ m}$ et la quantité de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ qu'il faut verser est 1341.000 Kg.
Le schéma de l'installation se résume dans la fig 17.

3.4-DIMENSIONNEMENT DE LA CUVE DE PREPARATION DU FLOCCULANT:

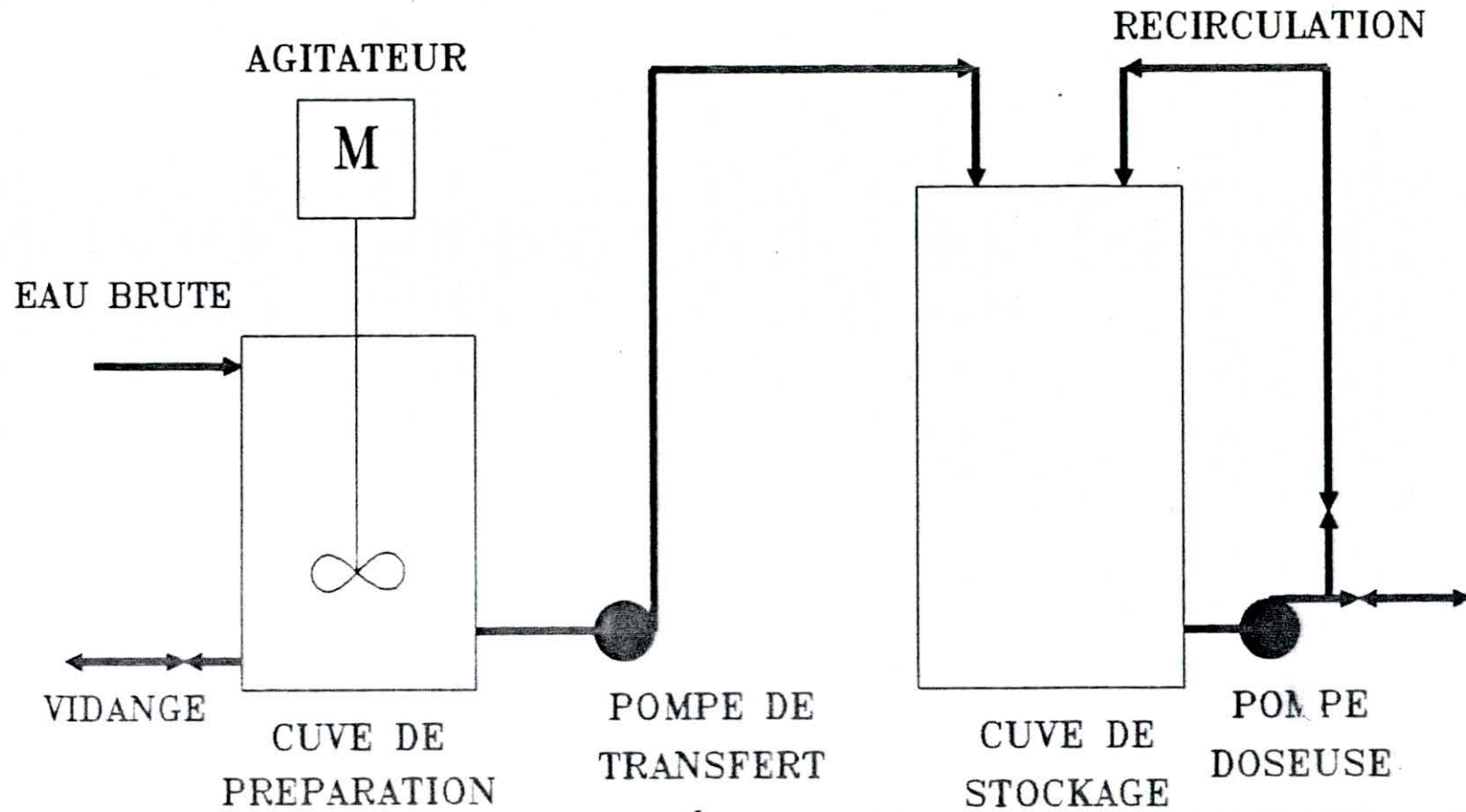
Il faut préparer du Praestol à 0.5 % de solubilité, donc selon les coagulants nous obtenons:

3.4.1-CAS DE FeCl_3 :

- Quantité de praestol:

$$3 \text{ mg/l} = 0.003 \text{ Kg/m}^3$$

fig 17:POSTE DE PREPARATION DES REACTIFS



- consommation journalière:

$$1788 \text{ m}^3/\text{j} * 0.003 \text{ Kg/m}^3 = 5.364 \text{ Kg/j}$$

- quantité d'eau à prévoir pour la préparation de la solution de praestol à 0.5 %:

$$5.364 \text{ Kg/j} * (0.955 / 0.05) * 0.001 \text{ m}^3/\text{Kg} = 1.025 \text{ m}^3/\text{j}$$

- volume d'eau pour un temps de mélange de 5 mn et un temps de préparation de 15 jours:

$$1.025 \text{ m}^3/\text{j} * (5 \text{ mn} / 60 \text{ mn/h}) / 24 \text{ h/j} = 0.004 \text{ m}^3$$
$$0.004 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/j} * 15 \text{ j} = 1.281 \text{ m}^3$$

donc pour une hauteur de 1 m, nous obtenons un diamètre $d = 1.277 \text{ m}$
Tous les 15 jours, la quantité de praestol à prévoir est 80.460 Kg selon l'installation figurant sur la fig 17.

3.4.2-CAS DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

- Quantité de flocculant:

$$2.5 \text{ mg/l} = 0.0025 \text{ Kg/m}^3$$

- consommation journalière:

$$1788 \text{ m}^3/\text{j} * 0.0025 \text{ Kg/m}^3 = 4.470 \text{ Kg/j}$$

- quantité d'eau à prévoir pour la dilution du flocculant:

$$4.470 \text{ Kg/j} * (0.955 / 0.005) * 0.001 \text{ m}^3/\text{Kg} = 0.854 \text{ m}^3/\text{j}$$

- pour un temps de mélange de 5 mn sur une préparation de 15 jours, nous obtenons un volume:

$$0.854 \text{ m}^3/\text{j} * (5 \text{ mn} / 60 \text{ mn/j}) / 24 \text{ h/j} = 0.003 \text{ m}^3$$
$$0.003 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/j} * 15 \text{ j} = 1.067 \text{ m}^3$$

comme $H = 1 \text{ m}$, alors $d = 1.166 \text{ m}$. Avec ces dimensions et selon le schéma du poste de préparation des réactifs, la quantité de praestol prévue est de 67.050 Kg .

3.5-CALCUL DES DIMENSIONS DU FILTRE:

Pour éviter l'effet négatif des matières en suspension résiduelles dans l'eau après décantation, et le passage accidentel de l'eau non décantée, il est nécessaire que l'eau passe sur un filtre après la décantation. Dans notre présent cas où nous prévoyons une bonne décantation, et où l'eau décantée est faiblement chargée (4 mg/l), le filtre joue surtout un rôle de traitement de finition et de sécurité.

Pour la détermination des caractéristiques du filtre (nature du filtre, granulométrie, perte de charge, etc...), des essais au laboratoire devraient être effectués. Ces essais n'ont pas pu être réalisés à cause du manque d'équipements adéquats.

Pour cette raison nous nous sommes limités à la littérature afin de déterminer la hauteur optimale du lit de sable et de choisir le type du filtre adéquat.

On démontre que la perte de charge à travers un lit est donnée par:

$$dP = \delta * \frac{1}{2}(vs)^2 * \frac{H}{dp} * \beta \quad [6]$$

d'ou:

dP: perte de charge (Pa)
 δ : masse volumique du fluide (eau) (Kg/m³)
 vs: vitesse du fluide en absence du lit filtrant (m/s)
 H: hauteur du lit (m)
 dp: diametre moyen des particules (m)
 β : coefficient de correction.

Le coefficient de Reynolds modifié est donné par:

$$Re = \frac{\delta * vs * dp}{\mu * (1 - \epsilon)} \quad (5) \quad [6]$$

et:

$$\beta = \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} * 300 / Re \quad (6) \quad [6]$$

μ : viscosité dynamique du fluide
 ϵ : rugosité (< 0.5)

d'ou:

$$dP = \frac{(1-\epsilon)^4}{\epsilon^3} * 150 * vs * H * \mu / dp^2 \quad (7)$$

à partir des expressions (5), (6) et (7) , nous tirons:

$$H = \frac{dP * dp^2 * \epsilon^3}{150 * vs * \mu * (1-\epsilon)} \quad (8)$$

et grace à (5), nous obtenons:

$$v_s = Re \cdot \frac{\mu \cdot (1-\epsilon)}{\delta \cdot dp} \quad (9)$$

Etant donné que nous optons pour l'utilisation d'un filtre dont le lavage s'effectue de bas en haut à l'eau et à l'air et qui est constitué par une couche unique de sable (homogène), la granulométrie du sable doit être comprise entre 0.6 et 2 mm, d'autre part le choix de la granulométrie est lié à la hauteur du lit.

Afin de déterminer la hauteur (H) du lit filtrant, nous avons pris les valeurs suivantes:

$$Re = 5 \text{ (régime laminaire } Re < 10)$$

$$dp = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\epsilon = 0.265$$

$$\delta = 1.001 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1.007 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$$

nous obtenons à l'aide de (9), la valeur de la vitesse:

$$v_s = 0.00616 \text{ m/s}$$

Le diamètre du filtre étant donné par:

$$Q = v_s \cdot S = v_s \cdot \pi \cdot \frac{1}{4} d^2$$

$$\rightarrow d = \left(\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_s} \right)^{\frac{1}{2}}$$

d'où:

$$d = 2.07 \text{ m}$$

En pratique la perte de charge dans un lit de sable et comprise entre 0.3 et 0.8 bar, donc notre choix se base sur la moyenne, telle que: $dp = 0.6 \text{ bar}$

d'où d'après la formule (7), nous obtenons une hauteur:

$$H = 0.80 \text{ m}$$

Les caractéristiques du filtre de lit de sable à installer après la décantation des particules floculées sont représentés dans le tableau 17 :

type de filtration	type de filtre	dp (mm)	diametre du filtre	hauteur du filtre
filtration rapide	filtre sous pression à couche unique homogène	0.60	2.07 m	0.80 m

tableau 17: les caractéristiques du filtre
(51)

fig 18: CLARIFICATEUR

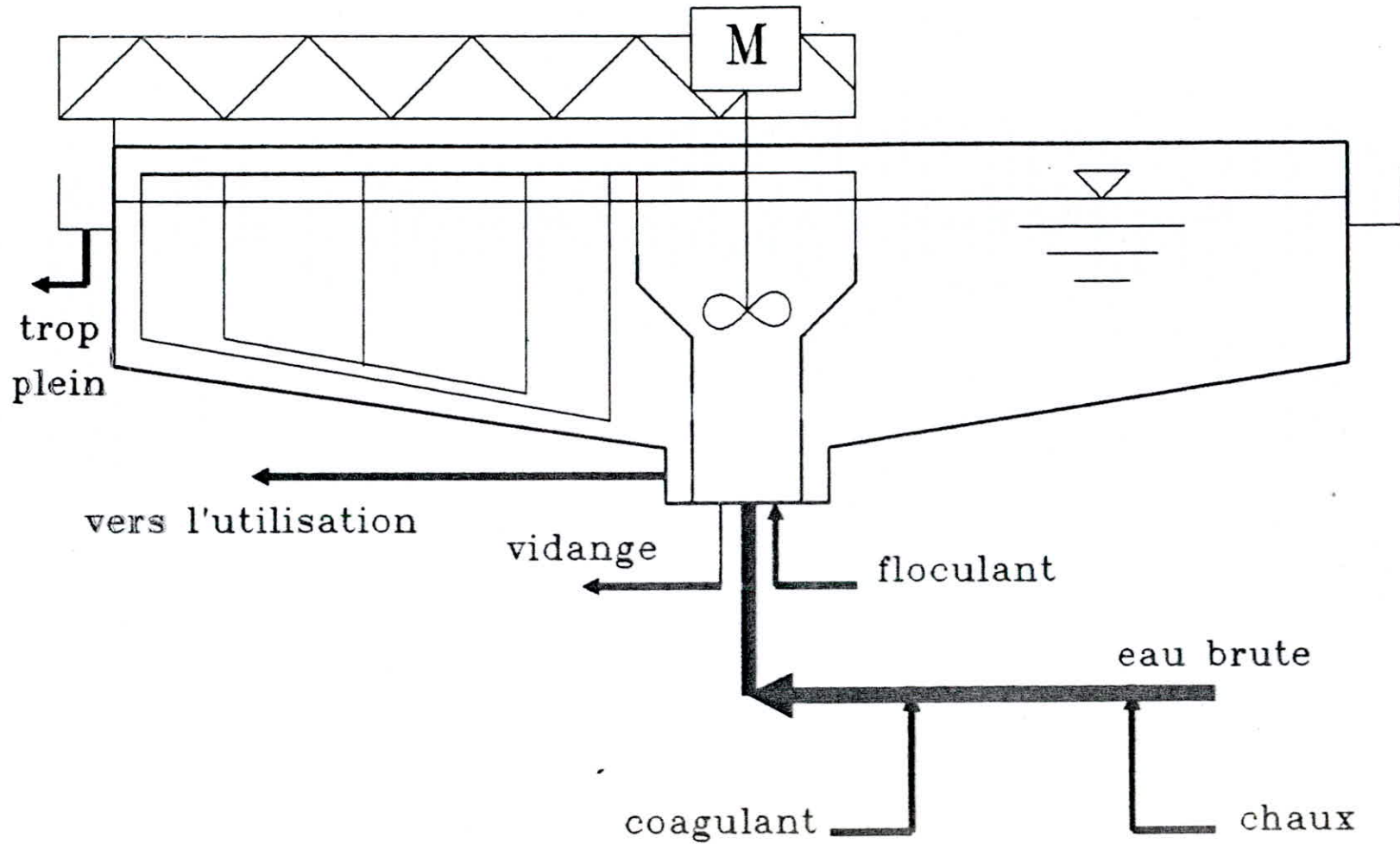
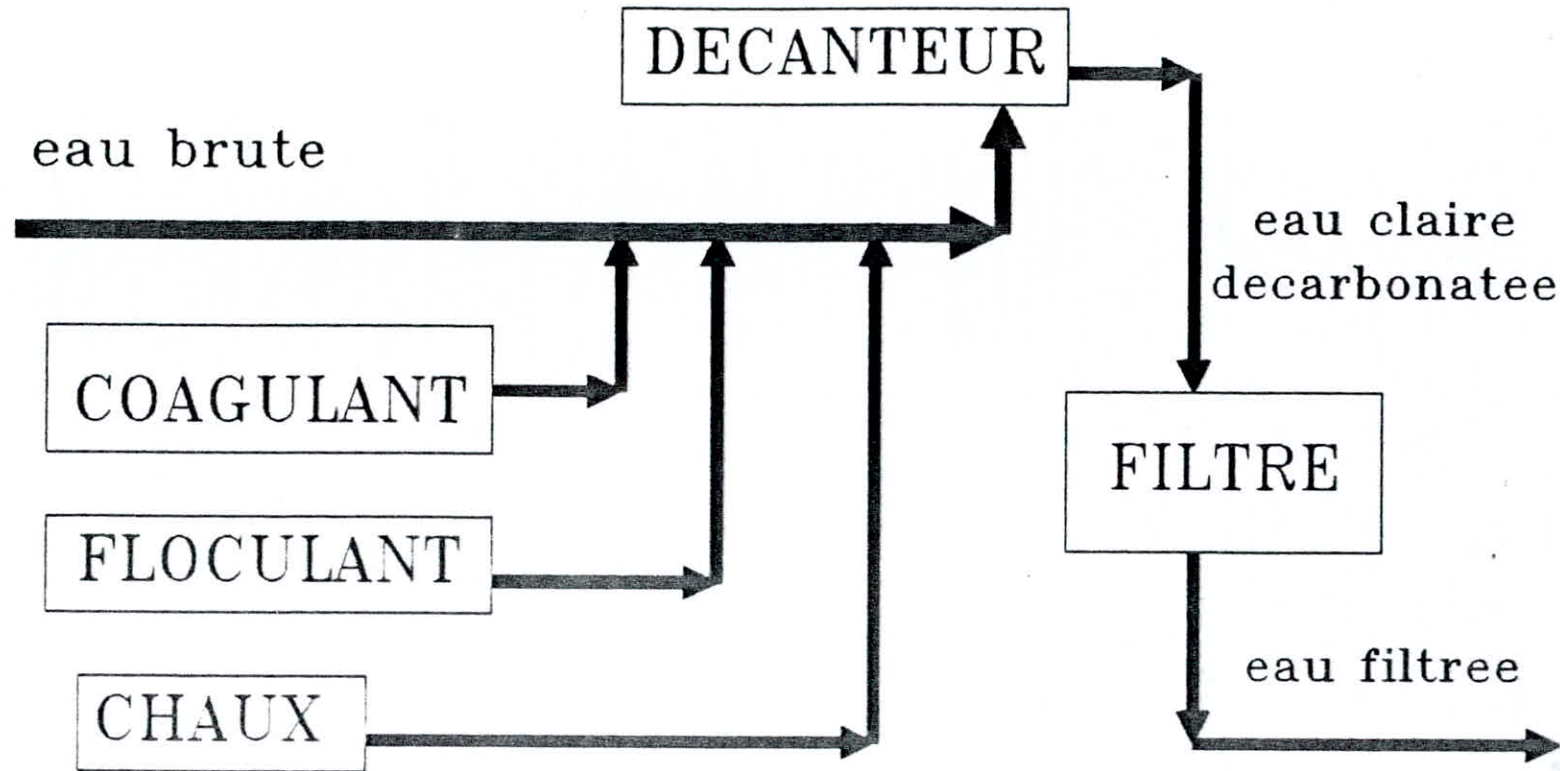


fig 19:

SCHEMA DE L'UNITE DE PRETRAITEMENT



PARTIE ECONOMIQUE

La station de prétraitement de l'eau (brute) de refroidissement de la raffinerie d'Alger, sera constituée essentiellement d'un décanteur (clarificateur) et d'un poste de préparation de la solution de chaux, de coagulant et de floculant.

Les réactifs et produits rentrant en jeu sont:

- le floculant (polyélectrolyte anionique) : Praestol (2515 TR) ;
- le coagulant: deux coagulants sont utilisés au choix dont le chlorure ferrique ($FeCl_3$) ou le sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$);
- la chaux.

4.1-COUT DE TRAITEMENT:

Quantité de réactifs et produits consommée pour le traitement d'un metre cube d'eau brute (1 m³ d'eau brute) sont représentés dans le tableau 18:

chaux $Ca(OH)_2$	coagulant 1 $FeCl_3$	coagulant 2 $Al_2(SO_4)_3$	floculant cas de $FeCl_3$	floculant cas de $Al_2(SO_4)_3$
0.4601 Kg	0.020 Kg	0.050 Kg	0.0030 Kg	0.0025 Kg

tableau 18: quantité de réactifs par m³ d'eau

Prix d'un kilogramme de chaque produit et réactif à l'état pur sont reportés dans le tableau 19:

chaux $Ca(OH)_2$	coagulant 1 $FeCl_3$	coagulant 2 $Al_2(SO_4)_3$	floculant
0.8925 DA	6.2461 DA	1.6038 FF	43.1829 DA

tableau 19: prix de réactifs par Kg

Les prix figurant dans le tableau 19 sont basés sur la nouvelle nomenclature de l'année 1991.

En tenant compte de la situation économique actuelle du pays, alors que le Dinars est à une valeur fixe, d'ou sa convertibilité à l'échelle bancaire pour 1 FF acheté est de 3.33 DA d'ou le tableau 20

chaux $Ca(OH)_2$	coagulant 1 $FeCl_3$	coagulant 2 $Al_2(SO_4)_3$	floculant
0.8925 DA	6.2461 DA	5.3407 DA	43.1829 DA

tableau 20: prix d' 1 Kg de réactifs en DA

En récapitulant les quantités par m³ et prix par kilogramme de produit et réactif, les frais de traitement d'un metre cube d'eau

brute, seront donnés par:

- cout de la chaux:

$$0.4601 \text{ Kg/m}^3 * 0.8925 \text{ DA/Kg} = 0.4106 \text{ DA/m}^3$$

- cout du coagulant (FeCl₃):

$$0.020 \text{ Kg/m}^3 * 6.2461 \text{ DA/Kg} = 0.1249 \text{ DA/m}^3$$

- cout du coagulant (Al₂(SO₄)₃):

$$0.050 \text{ Kg/m}^3 * 5.3407 \text{ DA/Kg} = 0.2670 \text{ DA/m}^3$$

- cout du flocculant en présence de FeCl₃:

$$0.0030 \text{ Kg/m}^3 * 43.1829 \text{ DA/Kg} = 0.1295 \text{ DA/m}^3$$

- cout du flocculant en présence de Al₂(SO₄)₃:

$$0.0025 \text{ Kg/m}^3 * 43.1829 \text{ DA/Kg} = 0.1080 \text{ DA/m}^3$$

A partir de ces couts partiels, nous trouvons le cout de traitement pour 1 m³ d'eau brute pour chaque coagulant utilisé:

- cas de FeCl₃:

le cout est l'ensemble des prix déjà calculés, alors les frais s'élèvent à:

$$0.4106 \text{ DA/m}^3 + 0.1249 \text{ DA/m}^3 + 0.1295 \text{ DA/m}^3 = 0.6650 \text{ DA/m}^3$$

- cas de Al₂(SO₄)₃:

les frais s'élèvent à:

$$0.4106 \text{ DA/m}^3 + 0.2670 \text{ DA/m}^3 + 0.1080 \text{ DA/m}^3 = 0.7856 \text{ DA/m}^3$$

4.2-COUT DE L'INSTALLATION:

4.2.1-LE COUT DE L'INSTALLATION DE DECANTATION:

Le cout C de l'installation de décantation (décanteur et ses équipements) est déterminé à partir de:

$$C_{77} = 106 * Q^{1.01} \quad [7]$$

avec:

C₇₇: cout en FF pour l'année 1977
Q: débit d'eau à traiter en m³/j

d'ou:

$$C_{77} = 204266.46 \text{ FF}$$

Le cout de 1991 est donné par:

(56)

$$\frac{C91}{I91} = \frac{C77}{I77} \quad [8]$$

donc:

$$C91 = C77 * I91 / I77 \quad (10)$$

avec:

I: facteur d'évaluation du prix pour chaque année.
D'après les valeurs recueillies au niveau de la Banque centrale d'Alger:

I77 = 195
I91 = 452

d'ou:

$$C91 = 473898.19 \text{ FF}$$

En convertissant en DA, nous obtenons:

$$C91 = 1578080.97 \text{ DA}$$

4.2.2-COUT DE L'INSTALLATION DU FILTRE:

Le cout de l'installation du filtre est évalué par cette loi donnant le cout de 1977, d'ou:

$$C77 = 728 * Q^{0.84} \quad [7]$$

d'ou:

$$C77 = 392753.52 \text{ FF}$$

et d'après la formule (10), nous obtenons le prix actualisé:

$$C91 = 910382.52 \text{ FF}$$

le cout en DA est donc:

$$C91 = 3031573.79 \text{ DA}$$

Donc, le cout global de la station de traitement de l'eau brute s'élève à:

- * 4609654.76 DA pour l'investissement (décanteur, filtre et leurs accessoires)
- * 0.6650 DA pour le prix de revient d'1 m3 d'eau brute dans le cas d'utilisation de FeCl3.
- * 0.7856 DA pour le prix de revient d'1 m3 d'eau brute dans le cas d'utilisation de Al2(SO4)3.

CONCLUSION

CONCLUSION:

Dans notre présent travail, l'objectif principal est de traiter l'eau de refroidissement de la raffinerie d'Alger. Pour cela nous avons d'abord fait étude expérimentale afin d'optimiser la vitesse d'agitation, le temps d'agitation et les doses de coagulant et floculant.

Nous avons fait intervenir dans notre expérimentation deux coagulants différents utilisés à l'échelle industrielle $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$, afin de comparer l'efficacité.

Ayant déterminé soigneusement les paramètres de prétraitement (vitesse et temps d'agitation), nous avons abouti à des:

- vitesse d'agitation rapide de 200 tr/mn
- temps d'agitation de 5 mn

pour chacun des coagulants utilisés, nous obtenons des doses optimales suivantes:

- cas de $FeCl_3$:

- dose du coagulant est de 20 mg/l
- dose du floculant est de 3 mg/l

- cas de $Al_2(SO_4)_3$:

- dose du coagulant est de 50 mg/l
- dose du floculant est de 2.5 mg/l

Tenant compte de ces résultats, nous recommandons l'installation:

- d'un décanteur de 4 m de diamètre et 2.5 m de hauteur.
- de cuves de préparation de produit et réactif de 1 m de hauteur et de diamètre différents:

* la préparation de la chaux nécessite une cuve de 0.90 m de diamètre et un remplissage journalier de 823 Kg de $Ca(OH)_2$.

* la cuve contenant le coagulant se fait recharger tous les 15 jours; dans le cas de $FeCl_3$, le diamètre est de 0.70 m et la quantité de recharge est de 537 Kg; par contre pour l'utilisation de $Al_2(SO_4)_3$ le diamètre sera de 1.20 m et la quantité de 1341 Kg.

* le poste de préparation de floculant présente des cuves selon le coagulant utilisé et une recharge de Praestol tous les 15 jours. Dans le cas de $FeCl_3$, le Praestol se prépare dans une cuve de 1.30 m de diamètre et avec une autonomie de 81 Kg mais avec le $Al_2(SO_4)_3$, la quantité de floculant à verser dans une cuve de 1.20 m de diamètre est de 68 Kg.

- du filtre à lit de sable de hauteur 0.80 m avec un diamètre de 2.10 m.

Le calcul économique nous a permis de choisir le meilleur coagulant ainsi que d'évaluer le coût de l'installation prédominante (décanteur filtre et leurs accessoires).

Le prix de revient de 1 m³ d'eau brute dans le cas d'utilisation de FeCl₃ est de 0.67 DA donc moins cher que le prix de 1 m³ d'eau traité au Al₂(SO₄)₃ qui revient à 0.79 DA.

Le cout global de l'investissement se chiffre à 4609654.76 DA y compris les accessoires d'installation du décanteur ainsi que le filtre.

- Ce travail pourrait etre poursuivi dans le cadre d'une thèse pour:
- l'étude de la tailles des flocons;
 - la comparaison avec d'autres coagulants et floculants...

· REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Maecel Entat, Technique de l'ingénieur-T8, 1982.
- [2] Dégrémont, Memento Technique de l'eau, Technique et Documentation, 1978.
- [3] L.Germain, L.Colas, J.Rouquet, Le traitement des eaux, bordas, 1976.
- [4] D.Leclerc et P.Lelec, Technique de l'ingénieur, 1982.
- [5] J.Rodier, Analyse de l'eau, 1980.
- [6] G.C.Sucien, Ingénierie de traitement des hydrocarbures, Edition Technique, 1985.
- [7] W.W.Eckenfelder, Gestion des eaux usées urbaines et industrielles-Characterisation. Technique d'épuration, aspect économique, Technique et Document Lavoisier, 1982.
- [8] Procédés pétrochimiques, Caractéristiques Techniques et Economiques-tome1, Edition Technique, 1985.
- [9] D.Hillel, L'eau et le sol-Principes et processus physiques-, Collection PEDASUP, 1988.
- [10] G.Martin, Point sur l'épuration et le traitement des effluent eau-air, Technique et Documentation LAVOISIER, 1982.
- [11] R.Thomazeau, Station d'épuration: Eaux potables et eaux usées, Technique et Documentation, 1981.
- [12] G.Gomella et H.Guerrée, Traitement des eaux publiques, Eyrolles, 1978
- [13] Séminaire industriel, Le traitement des eaux industrielles, I.A.P, 1984.
- [14] K.Roben, Traitement des eaux et des eaux usées , I.A.P , 1981.
- [15] Séminaire industriel, Floculants synthétiques organiques dans le traitement des eaux, I.A.P, 1986.

RESUME:

L'étude conduite dans ce mémoire de fin d'étude est la conception d'unité de prétraitement pour les eaux de refroidissement de la raffinerie d'Alger.

Nous avons optimisé les paramètres de prétraitement dont la vitesse d'agitation et le temps d'agitation. Les résultats découlant de ce travail, nous ont permis de:

- choisir les doses optimales de chaque coagulant utilisé ainsi que le floculant.
- dimensionner les principaux appareillages de l'unité tels qu'un décanteur, filtre et les postes de préparation des réactifs.

Un calcul économique a aussi été fait.

SPECIALITE: HYDRAULIQUE

Directeur de thèse:

Docteur **A. KETTAB**
Département **Hydraulique**
Ecole Nationale Polytechnique

SUMMARY:

The work presented in this final project is devoted to the conception of a pre-treatment plant (unité) for the cooling water system at Algiers refinery.

We optimised the treatment parameters like agitation speed and agitation time. The results of this work gave us the possibility:

- to choose the optimal doses of each product (coagulant, flocculant).
- to calculate the dimension of equipments (décanteur, filtre ...).

We calculated the economics parameters.

SPECIALITY: HYDRAULIC

Argument Manager:

Doctor A.KETTAB
Hydraulic Department
Ecole Nationale Polytechnique

تلخيص:

إن العمل المقترح في المرحلة نهائية لدراسة هو
تصور لنموذج وحدة ما قبل معالجة مياه لتبريد لمصنع
تكرير البترول بالجزائر العاصمة.

لقد قمنا بدراس تفصيلية لمرق بمعالجة من هو سرعة
الاختلاط ووقت الاختلاط. لنتائج المتحصل عليها هي:
- اختيار الكميات المستحقة للمجمد و المسبق.
- حسب مقاييس لأجهزة الوحدة كالمصفق و المصفاة ...

لقد قمنا كذلك بدراسة إقتصادية.

التخصص: الريجة

مدير الأفرجة:

الدكتور: أ. كتاب

مصلحة الريجة

لمدرسة الوطنية لمتعددة إتقنيات

