

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

2/82

1Ex

UNIVERSITÉ HOUARI BOUMÉDIÈNE

1982

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT GÉNIE SANITAIRE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

TRAITEMENT DE L'EFFLUENT AQUEUX
DE LA RAFFINERIE D'ALGER
PAR LE CHLORURE FERRIQUE

Sous la Direction de :

Mme. NEZZAL

Chef de Département
Génie Sanitaire

Étudié par :

Melle CHERID Samia

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE HOUARI BOUMEDIENE

مدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE SANITAIRE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

TRAITEMENT DE L'EFFLUENT AQUEUX
DE LA RAFFINERIE D'ALGER
PAR LE CHLORURE FERRIQUE

Sous la Direction de :

Mme. NEZZAL

Chef de Département
Génie Sanitaire

Etudié par :

Melle CHERID Samia

A mon père, à ma mère
A mes soeurs, a Kahina.

AVANT PROPOS

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet, trouvent ici ma profonde gratitude.

Je remercie Mme NEZZAL : Chef de Département du Génie sanitaire d'avoir bien voulu diriger mon travail. Mes remerciements vont également à Messieurs SHULMAN, et GAID dont les conseils m'ont été précieux.

Je remercie également les techniciens du Département, le personnel du laboratoire et du bureau de formation de la raffinerie d'Alger, ainsi que le responsable du département génie rural de l'I.N.A de m'avoir permis de travailler au laboratoire de traitement des eaux.

JUIN 82

S O M M A I R E

I.	<u>INTRODUCTION</u>	I
I.1	Orientation de l'étude	2
I.2	Nature de la pollution	2
I.3	Définition des eaux résiduaires industrielles	3
I.4	Effet de la pollution	4
I.5	Normes des rejets	5
II.	<u>PRESENTATION DE LA RAFFINERIE</u>	7
II.1	Situation géographique	7
II.2	Milieu récepteur	7
II.3	Procédés du raffinage de pétrole à la raffinerie d'Alger.	7
II.4	Alimentation en eau	8
II.5	Origine des eaux résiduaires dans une raffinerie.	10
II.6	Collecte et évacuation des eaux résiduaires à la raffinerie d'Alger	13
II.7	Conclusion	15
III.	<u>PARTIE THEORIQUE</u>	
III.I	Traitement mécanique séparation huile-eau : Le deshuilage	
III.1.1	Introduction	16
III.1.2	Les procédés physique du deshuilage	16
III.1.2.1	Decantation simple	17
III.1.2.2	Adsorption	20
III.1.2.3	Dispositif de collecte d'huile	21
III.1.3	Conclusion	23
III.2	Traitement chimique la coagulation = floculation	24
III.2.1	Introduction et définition	24
III.2.2	Les principes de bases	24

III.2.2.I	Système colloïdaux	25
III.2.2.2	Système d'émulsions	28
III.2.3	Classification des coagulants	29
III.2.3.I	Coagulation par les polymères et les polyelectrolytes organiques	29
III.2.3.2	Coagulation par les sels minéraux hydrolysables	30
III.2.3.3	Réactifs utilisés pour la coagu- lation	31
III.2.4	Le choix du coagulants	31
III.2.5	Coagulation par Fe cl ₃	33
III.2.6	Etude du PH	34
III.2.7	Pouvoir adsorbant	35
III.2.8	Les differents facteurs influ- ensant la coagulation - floculation	35
III.2.9	Cinétique de l'agglomeration des particules	36
III.2.10	Conclusion	38
III.3	Traitement physique la décan- tation	39
III.3.I	Introduction	39
III.3.2	Principe de la décantation	39
III.3.2.I	Décantation des particules grenues	39
III.3.2.2	Décantation des particules floculées ou décantation diffusé	40
III.3.2.3	Décantation par couches de parti- cules ou décantation freinée	40
III.3.3	Influence des differents para- mètres	41
III.3.4	Théorie de la décantation	41
III.3.4.I	Théorie de Hazen	42
III.3.4.2	Théorie de camp ou bassin idéal	43
III.3.5	Les décanteurs les clarificateur	44
III.3.6	Les décanteurs tubulaires incli- nées et lamellaires	44
III.3.7	Conclusion	45

IV.	<u>PARTIE EXPERIMENTALE</u>	
IV.1	Methode de prélèvement	46
IV.2	Principes et methode de dosage	46
IV.3	Essai en Batch : essai de détermination du taux de traitement par Jar Test	50
IV.3.I	Note de flocculation aspect de la flocculation	51
IV.4	Résultats expérimentaux	52
IV.5	Conclusions	63
IV.6	Etude par le spectrophotomètre d'infra-rouge	66
IV.7	Etude microscopique	68
V.	<u>CONCLUSION GENERALE</u>	70
	Bibliographie	75
	Annexes	77

PRELIMINAIRE

Le projet de loi relatif à la protection de l'environnement vient d'être adopté par le conseil des Ministres réuni sous la présidence de Monsieur CHADLI BENDJEDID, Président de la République qui vient codifier un impératif exprimé par la Charte Nationale. Celui de la lutte contre toute forme de pollution et de nuisance, afin d'améliorer le cadre de vie et de travail du citoyen. Il ~~vient~~ aussi rappeler une exigence de premier ordre, qui fonde toute politique de développement efficace et global "édifier et produire sans détruire".

Le projet de loi est axé sur deux idées forces, la définition des principes fondamentaux relatifs à la protection de l'environnement, et en second lieu, la mise en oeuvre des différents moyens nécessaires à cet effet.

Ce projet de loi a le grand mérite de susciter une plus grande prise de conscience de l'importance de l'environnement et de la nécessité de la protection.

REF. EL MOUDJAHID n°5.228 du(20 Avril 1982)

I. INTRODUCTION.

"L'eau est entre toutes les matières, la matière la plus importante pour l'existence de l'homme. Elle est indispensable pour le développement de la société moderne".

Et depuis qu'elle a pris conscience de l'importance de la conservation du milieu, la population mondiale, s'intéresse de plus en plus aux rejets des complexes pétro-chimiques, et à l'influence des composés hydrocarbonés sur le milieu récepteur. Le but de ce projet est de donner une approche de méthode de traitement des effluents du secteur pétrochimique.

Mais vue la complexité du problème de la pollution créée par les raffineries, des recherches au laboratoire, des essais sur stations pilotes sont indispensables. Car le raffinage est basé sur des procédés différents qui ont pour conséquence le rejet d'effluent. Contenant de nombreux produits toxiques, il est évident que le deversement de tels effluents dans le milieu récepteur ou réseaux d'égouts ne peut être envisagé, car nous sommes en présence de matières organiques particulièrement toxiques, qui ne peuvent conduire qu'à de graves nuisances. Et dans ce but nous avons étudié les possibilités d'utilisation d'un procédé physico-chimique ayant l'avantage d'être plus efficace que d'autres procédés, sur le plan technique et économique. Ce procédé physico-chimique est la technique de la coagulation-floculation qui est la plus utilisée actuellement. Par suite de l'introduction du coagulant dans l'eau, les colloïdes sont destabilisés, puis agrégés sous forme de floes : c'est la coagulation-floculation, ensuite ces floes sont éliminés par gravitation: c'est la phase de séparation solide-liquide. Cette séparation se déroule au niveau du décanteur, qui peut être suivie d'une filtration sur sable. Notre travail vise à déterminer la dose, et l'efficacité du coagulant correspondant à l'épuration maximum, à déterminer le PH optimum correspondant à la dose du coagulant optimale.

II. ORIENTATION DE L'ETUDE.

Au cours du traitement physico-chimique de ces eaux résiduaires industrielles (secteur pétrochimique), l'objectif visé est l'élimination des hydrocarbures qui se trouvent sous forme de film à l'interface eau-air, et sous forme émulsifiée. Le deshuileur est conçu surtout pour l'élimination des huiles libres et l'élimination d'une faible proportion d'émulsion. La plus grande partie des hydrocarbures émulsifiés sera éliminée par la coagulation-floculation par principe de destabilisation de ces micro-gouttelettes qui s'agglutineront et s'adsorberont sur les floes d'hydroxydes.

Notre étude est complétée par la mise en place.

- d'un pilote d'essai en discontinu : le Jar-test.

I.2. NATURE DE LA POLLUTION.

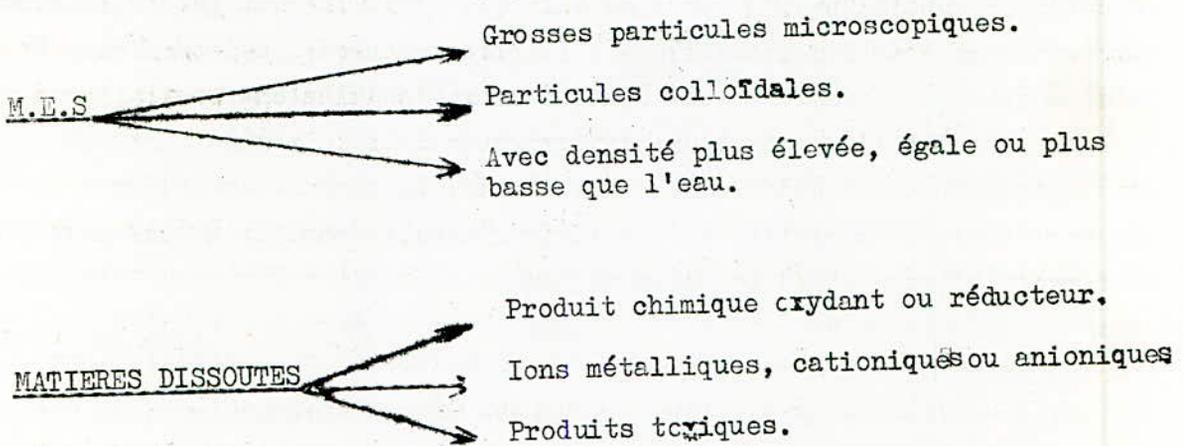
I.2. Définition (réf. *)

La "pollution" signifie introduction par l'homme directement ou indirectement de substance ou d'énergie dans le milieu, provoquant des effets délétères tels qu'une atteinte aux ressources vivantes, une menace à la santé humaine, une entrave aux activités marines, et un abaissement de la qualité d'utilisation de l'eau.

I.2.2. Caractéristiques de la pollution.

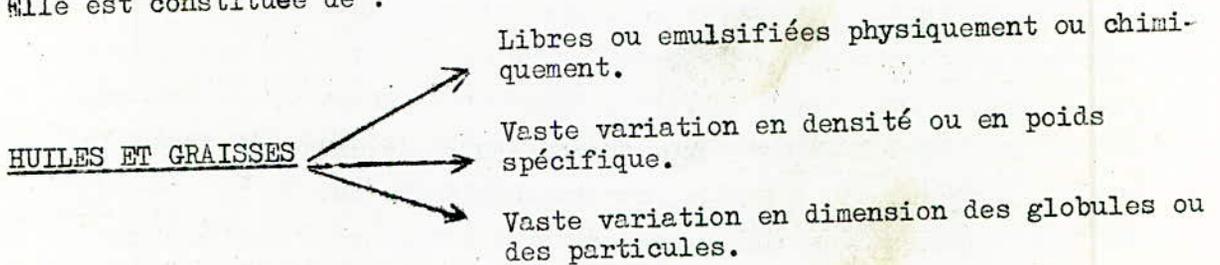
La pollution n'est pas constituée uniquement par des hydrocarbures, et l'on doit distinguer une pollution minérale et une pollution organique.

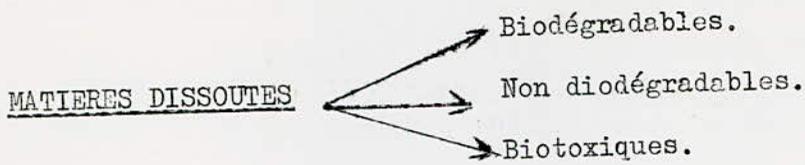
a) La pollution minérale



b) La pollution organique.

Elle est constituée de :





Ce sont des composés divers oxygénés ou azotes tels que les phénols, les mercaptants, les cyanures.

LE P.H

Le P.H est soit acide, soit basique 1 à 12,0. Les hydrocarbures constituent néanmoins l'élément le plus caractéristique, cet élément est appelé "HUILE" improprement, alors que le dernier terme peut concerner des composés oxygénés et désigne en général des produits non solubles.

1.3. DEFINITION DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES. (ref 11)

Dans le domaine des eaux usées résiduaires industrielles, on a défini un certain nombre de paramètres :

DBO5 - La demande biochimique d'oxygène: qui définit la teneur en matières organiques biodégradables dans l'eau. Elle traduit l'intensité du phénomène naturel d'épuration. La détermination de la DBO5 sur les effluents pétroliers est difficile pour 3 raisons :

- la plus part des hydrocarbures ne sont pas normalement dégradables sinon très lentement ;
- Ils s'adsorbent sur les boues biologiques de l'ensemencement en bloquant l'activité de celle-ci ;
- des composés toxiques co-présents avec les hydrocarbures peuvent inhiber le processus biologique.

On peut dire à la limite, s'il y a une DBO, celle-ci n'est pas "mesurable" par contre après deshuilage poussé, les hydrocarbures libres sont éliminés et la DBO peut-être déterminée.

La DCO : La demande chimique d'oxygène: qui fournit la teneur en matières organiques totales. C'est l'un des paramètres qui permet d'évaluer le degré de pollution (essentiellement la pollution organique) d'une eau résiduaire.

- Le P.H : le potentiel hydrogène : qui définit l'alcalinité et l'acidité d'une eau.
- les M.E.S matières en suspension.
- la température : qui influe sur la solubilité de l'oxygène.
- l'azote total : azote organique.

les constituants à caractères particuliers sont introduit dans le calcul de la charge polluante d'une eau usée.

- les phénols : qui proviennent de nombreux procédés de raffinage.
- les chlorures : qui interfèrent lors de la mesure de la D.C.O.

I.4. EFFET DE LA POLLUTION.

Si la pollution dépasse un certain degré, la faune et la flore du milieu récepteur peut subir des conséquences directes ou indirectes notamment :

- par des éléments toxiques ;
- par manque d'oxygène ;
- par manque de nourriture dû aux effets des matières toxiques pour les micro-organismes ;
- par endommagement des branchies des poissons par les matières non dissoutes ;
- par le changement du P.H ;
- par les dépôts des matières au lit, qui empêchent le développement normale de la faune.

Dans le cas d'une raffinerie, l'effluent est un ensemble de fractions d'huiles flottantes et dispersées, considérées comme les polluants les plus importants ; dans une large mesure qu'elle se voient, elles détruisent l'agrément des cotes et des cours d'eau, et présentent des toxicité envers la faune et la flore ces nuisances sont surtout dues aux effets mécaniques qui se présentent sous forme (réf. 3)

- de pollution surnageante par la nappe d'huile.
- de pollution dispersée.

I.4.1. Pollution surnageante.

La formation d'un film à l'interface eau-air perturbe les échanges gazeux et freinent les processus d'auto-épuration par suite de la diminution de la capacité de réoxygénation. On assiste à une modification par sélection du

CARACTERISTIQUES INDESIRABLES DES EAUX USEES INDUS-

TRIELLES

(24/11)

1. Matière organiques solubles : épuisement de l'oxygène dissous dans les fleuves et estuaires.
- 2) Matières organiques solubles (donnant) goûts et odeurs désagréables
- 3) Eléments nutritifs (azote, phosphore). Augmentent l'eutrophisation des cours d'eau. Critique dans les zones de loisirs
- 4) Huiles et matières flottantes ; les règlements exigent habituellement leur élimination complète. Indésirables esthétiquement.
- 5) Acides alcolis : neutralisation exigée par la plupart des réglementations
- 6) Matières en suspension : forment des bancs de boues dans les fleuves
- 7) Température : pollution thermique conduisant à l'épuisement de l'oxygène dissous
- 8) Couleur et turbidité indésirables du point de vue esthétique
- 9) Matières toxiques : habituellement le rejet de telles matières est strictement réglementé.

ystème écologique existant. En outre les hydrocarbures peuvent parfois s'adsorber à la surface des algues et plantes aquatiques dont ils modifient la croissance. Le même phénomène a lieu pour les micro-organismes composant les phyto- et Zooplancton provoquant une agglutination les rendant inutilisable pour la faune aquatique.

I.4.2. Pollution dispersée

Les hydrocarbures rejetés dans le milieu récepteur sous forme émulsifiée, crée une forte demande en oxygène complétée d'une certaine demande biologique entraînant la disparition progressive de l'oxygène dissout et la fixation croissante des composés organiques dans les tissus animaux.

Quand elle est hautement dispersée, l'huile peut-être toxique pour la vie, car certaines huiles contiennent des substances cancérogènes et leur présence dans la chaîne alimentaire par suite de la pollution pourrait représenter un danger pour l'homme, ultime consommateur de la chaîne.

On peut énumérer les différents nuisances dues aux hydrocarbures dans un cours d'eau.

- a) salissures des rives ; aspects et odeurs désagréables ;
- b) risque d'inflammation ;
- c) obstruction des bronchies des poissons, production de poissons, altérés et engluage des oiseaux ;
- d) agglutination des algues et du plancton rendu inutilisable.
- e) risque d'infiltration de ces eaux dans le sous-sol.

En milieu naturel, la persistance des huiles peut-être extrêmement durable.

I.5. LES NORMES DE REJETS.

La pollution des eaux pourrait être considérable si des dispositions législatives ne sont pas actuellement à l'étude pour obliger les industriels à épurer les effluents de façon à sauvegarder la pureté du réseau hydrographiques

Les caractéristiques de ces effluents traités doivent satisfaire à un certain nombre de contraintes, qui seront dans ce cas préciser dans le cadre de l'exploitation d'une raffinerie.

- la température inférieure à 30° C
- P.H compris entre 5,5 et 8,5
- La teneur en M.E.S doit être :
 - a) inférieure à 30 mg/l, lorsque la raffinerie est proche d'une ville, d'une plage. Dans certains cas, cette teneur peut être abaissée à une valeur aussi faible que 100 pm.
 - b) inférieure à 50 mg/l, quand la raffinerie est isolée et la charge du milieu naturel est importante.
 - c) inférieure à 100 mg/l quand la raffinerie est isolée et la charge du milieu est faible.
- la teneur en azote

selon les trois cas précédents :

 - a) inférieure à 10 mg/l
 - b) " à 30 mg/l
 - c) " à 60 mg/l

Les normes particulières, intéressants les rejets pétroliers sont celle relatives à la DCO, la DBO5, aux hydrocarbures et aux phénols.

- La D C O :

Dans ce cas générale, la DCO résiduelle de l'effluent doit être de 90 mg/l en moyenne et du maximum 120 mg/l. Les valeurs sont réduites à 50 et 80 mg/l à proximité d'une prise d'eau.

- La D B O 5 :

La DBO5 résiduelle de l'effluent doit être suivant les 3 cas précisés plus haut.

- a) inférieure à 40 mg/l
- b) " à 100 mg/l
- c) " à 200 mg/l

- la teneur en composés cycliques, hydroxylés et leurs composés halogénés tels que les phénols et leurs dérivés doit être nulle.

II. PRESENTATION DE LA RAFFINERIE

II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La raffinerie d'Alger est située sur le littoral, dans un secteur urbanisé.

II.2. MILIEU RECEPTEUR

Le milieu récepteur est l'Oued Adda affluent de l'Oued El Harrach qui se jette à la mer. En plus des rejets de la raffinerie, l'Oued collecte aussi, des eaux résiduaires provenant d'autres usines et habitations situées à l'aval de la raffinerie. La pollution de cet Oued est donc considérable, et l'on devine les conséquences de cette pollution qui pollue successivement l'Oued El Harrach et le milieu marin. La pollution résultant de l'effluent de la raffinerie est essentiellement une pollution par les hydrocarbures "qui en raison des propriétés toxiques de ceux-ci, présentent la particularité d'être d'autant plus nocive qu'elle est dispersée".

II.3. LES PROCÉDES DE RAFFINAGE DU PETROLE UTILISEE A LA RAFFINERIE D'ALGER.

Au niveau de la raffinerie, se regroupent 3 unités de fabrication qui sont :

- unité de distillation atmosphérique (unité 100)
- unité de reforming catalytique (Unité 200)
- unité de gas-plant (unité 300)

1) Unité de distillation atmosphérique

L'unité de distillation a été étudié pour traiter le brut de Hassi Messaoud auquel sont ajoutés des quantités variables de condensats de Hassi R'mel.

La charge maximum prévu est de :

7.400 T/j sur le brut de Hassi Messaoud pur, et de

6.300 T/j pour un mélange de :

84% poids brute de Hassi Messaoud,
16% poids des condensats de Hassi R'mel.

L'unité produira :

- a) Mélange léger qui après traitement à l'unité 300 donnera :

- des gaz incondensables (Fuel gaz),
 - du propane,
 - du butane.
- b) de l'essence légère : base pour le mélange carburant auto,
 - c) un solvant léger (charge plat - forming),
 - d) un solvant lourd (charge plat - forming),
 - e) un Kerosène,
 - f) un gaz-oil léger
 - g) un gaz-oil lourd
 - h) un résidu de distillation atmosphérique.

Le brut vient d'un des Deux reservoirs de stockage (capacité de 35.000 m² chacun). Après une décantation, une élimination des sédiments il est refoulé vers l'unité de distillation.

2) L'unité de plat-forming.

Cette unité assure le traitement alterné de 2 types d'alimentation.

- Solvant léger
- solvant lourd.

Au niveau de cette unité il ya une séparation du plat forming de l'H₂ formé au cours des réactions. Ce plat forming est stabilisé, c'est à dire débarrassé des butanes et des gazs plus légers qui seront traités au gas plant. Le produit restant est constitué alors du plat forming stabilisé ; destiné à entrer directement dans la composition des divers carburants.

3) L'unité gas plant.

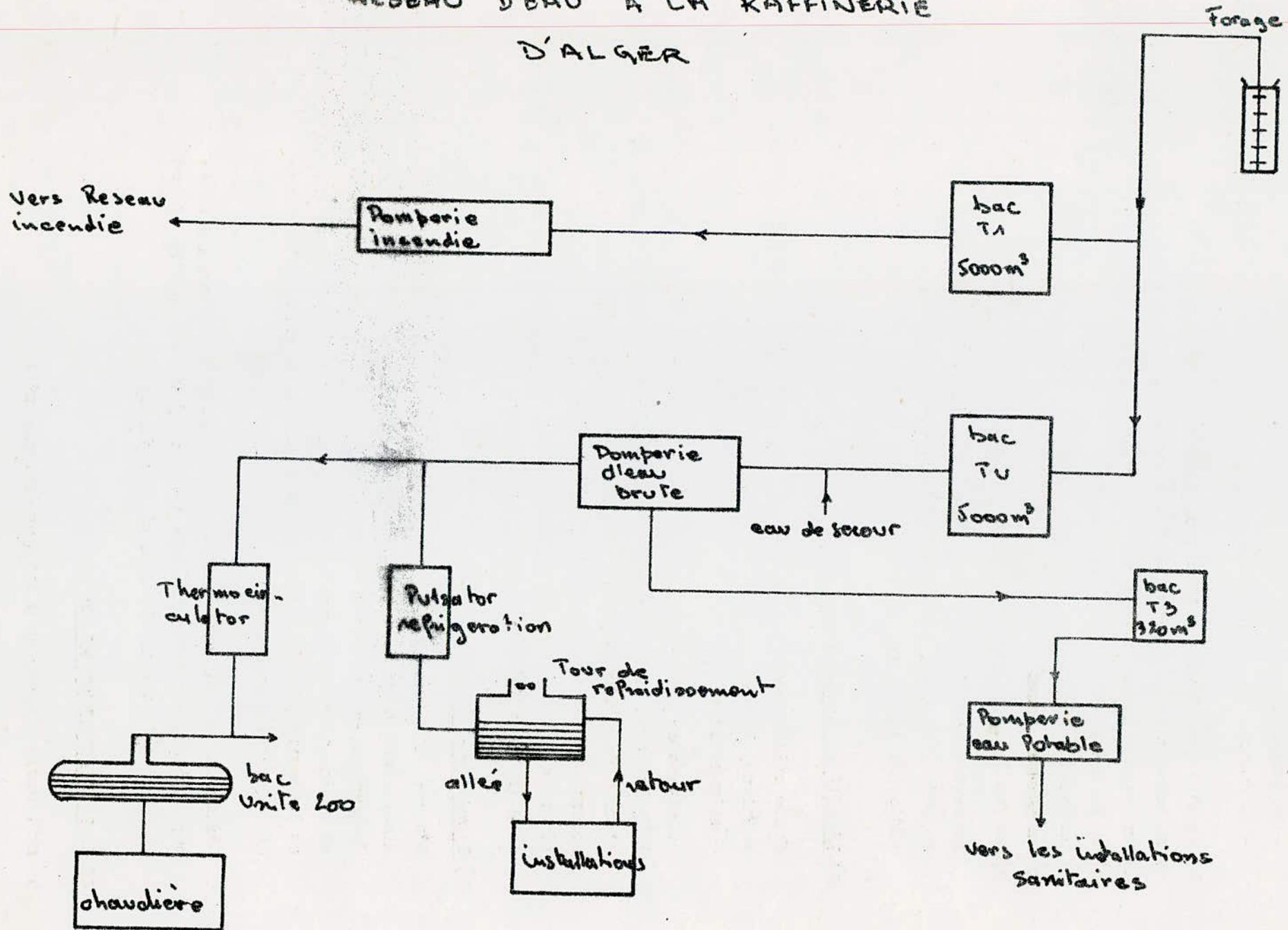
L'unité de séparation et de traitement des gazs liquifiés, a été dimensionné pour traiter le produit net liquide, afin d'obtenir du propane, et du butane commerciaux. En plus de cette séparation, le gas-plant a également pour but de traiter le propane et le butane afin de les débarrasser de toutes traces d'humidité et de produits sulfurés.

L'alimentation de cette unité est au maximum de 960 m³/j . Cette capacité correspond au mélange : 415 m³/j venant de l'unité 100 avec 545 m³/j venant de l'unité plat forming.

II.4. LA MINÉRALISATION EN EAU

La raffinerie dispose de 3 forages de capacité :

RESEAU D'EAU A LA RAFFINERIE D'ALGER



Forage I ——— 170 m³/h

Forage II ——— 100 m³/h

Forage III ——— 90 m³/h

et d'un appoint d'eau de ville.

Les besoins en eau sont donc très grands.

- fourniture de l'eau distillée pour alimenter les chaudières,
- fourniture de l'eau de refroidissement des différents équipements et de certains produits,
- fourniture de l'eau pour ^{le} réseau de lutte contre les incendies,
- fourniture de l'eau potable,
- fourniture de l'eau aux installations sanitaires des bâtiments.

Pour alimenter les chaudières, cela nécessite une eau traitée qui est alors produite dans un équipement appelé thermocirculator.

Dans le thermocirculator, l'eau subit un chauffage à la vapeur et une décarbonatation à la chaux combinée avec un désilicage à la magnésie. Ensuite, cette eau est filtrée et adoucie, Elle alimentera les bûches alimentaires des utilités de l'unité 200.

L'eau de refroidissement est principalement destinée :

- à refroidir les produits obtenus à hautes températures.
- à refroidir les équipements, qui du fait même de leur fonctionnement s'échauffent.

L'eau brute avant d'être envoyée dans le réseau de refroidissement, subit un traitement. L'eau de forage après avoir reçu les injections d'hypochlorite et de coagulant est introduite dans un réacteur ouvert appelé pulsater, l'eau décarbonatée traverse une batterie de filtres aquazur où elle se débarrasse des particules colloïdales de chaux n'ayant pas décantées.

L'eau filtrée est recueillie dans une cuve d'où elle est reprise par des pompes et envoyée aux tours de refroidissement.

Le circuit d'eau de refroidissement alimente les équipements suivants :

- les condenseurs
- les pompes.

II.5. ORIGINE DES EAUX RESIDUAIRES DANS UNE RAFFINERIE.

Une raffinerie de pétrole ne se contente pas de la production d'un seul produit. En effet ce complexe groupera plusieurs unités de production ; chacune se déchargeant de ses eaux résiduaires spécifique.

Il en résulte donc de nombreux courants d'eaux usées qu'on classe en :

- Eaux de procédés,
- Eaux huileuses
- Eaux propres

II.5.1. Les eaux de procédés

On désigne ici les eaux résiduaires, directement évacuées depuis les unités de productions vers l'égout. Les eaux contiennent généralement des hydrocarbures, des phénols et d'autres produits chimiques.

La description succincte des divers procédés de fabrication fait apparaître l'origine et la nature de la pollution.

a) le craquage thermique.

Il est utilisé pour séparer les fractions à haut point d'ébullition ou huiles lourdes. Les eaux résiduaires proviennent des collecteurs supérieurs ou fractionneurs. Elles contiennent des fractions d'huiles, des phénols, des sulfures, elle sont fortement alcalines.

b) Le craquage catalytique.

Il est employé pour produire des essences de haute qualité et d'autres produits.

L'eau résiduaires (eau acide) provient des séparateurs de vapeur et des collecteurs de tête ou fractionneurs. L'eau résiduaire est alcaline, chargée en DCO et en DBO, et contient de l'huile des sulfures, des phénols et de l'ammoniac.

c) Le reforming.

Il est employé pour convertir les naphtalènes en essence à haut indice d'octane volume d'eaux résiduaires est faible.

d) Traitement catalytique à l'hydrogène

Employé pour convertir les fractions d'hydrocarbures en essence et distillats moyens de haute qualité. Le procédé est basé sur le craquage catalytique en présence d'hydrogène. Les eaux résiduaires sont chargées en sulfures, phénols et ammoniac.

e) Autres procédés

ne génèrent pratiquement pas d'effluent aqueux comme le reforming catalytique.

II.5.2. Les eaux huileuses.

a) les suintements des réservoirs.

durant le stockage des bruts, l'eau se sépare de l'huile, et il en résulte une eau résiduaire riche en sel dissous, de quantité importante d'huile sous forme libre et émulsionnée, des matières en suspensions et des boues de fond. Ces eaux résiduaires renferment des polysulfures et des sulfures de fer.

b) Les eaux de dessalement

Le dessalement est utilisé pour éliminer les sels minéraux et les matières en suspension. Les eaux résiduaires seront donc chargées en DBO, en DCO et renferment une forte quantité d'huile en partie sous forme émulsifiées et de fortes concentration en chlorures.

c) Le stockage des produits finis

peut conduire à des eaux résiduaires alcalines chargées en DBO, en plomb tétraéthyle.

d) Les eaux de nettoyage des réservoirs et des dallages :

il y a production des eaux de lavage, quand il ya nécessité de laver les réservoirs, les citernes et les surfaces polluées.

e) Les eaux de refroidissement

C'est la plus grande fraction des eaux résiduaires (représente les 96%). Ces eaux, serviront à alimenter des équipements. Elles viennent au contact du produit pétrolier et se souille.

f) les condensats de vapeurs

c'est la distillation totale du pétrole, pratiquée avec injection de vapeurs surchauffées produites des condensats de vapeurs. Ils peuvent provenir d'autres procédés, mais à concentration plus ou moins élevée, et ayant les mêmes caractéristiques que ceux de la distillation. Ces eaux contiennent l'huile dont une partie sous forme émulsifiée, et une partie sous forme séparable, de l'ammoniac, des mercaptan, de l' H_2S et peu de phénol 2 à 10 mg/l.

h) les eaux de laboratoires :

Elles sont chargées en produits chimiques et en huiles.

i) Les eaux d'incendies

En raffinerie les risques d'incendies sont très grands.

j) Les eau pluviales :

Vu le volume d'eau considérable que produit une chute de pluie violente il est indispensable d'en tenir compte. Il s'agira surtout des eaux de pluies tombants sur les zones polluées par les hydrocarbures. On trouve des surfaces de ce genre par exemple aux postes de déchargements du pétrole, aux pompes, dans les zones d'implantation de traitement et dans les zones de stockage. Les eaux huileuses peuvent être retenues dans des bassins avant d'être transférées à l'installation de traitement des eaux résiduaires.

II.5.3. Les eaux propres

On désigne ici les eaux ne contenant pas, ou très peu de polluants organiques dissouts et d'hydrocarbures en suspension. Elles peuvent contenir des matières minérales en suspension ou en solution., ce sont :

a) les eaux résiduaires des utilités : proviennent des lavages de filtres, et autres appareils de la station de traitement des eaux naturelles. Ces eaux sont chargées de matières minérales.

b) Les eaux usées domestiques : Ce sont :

Les eaux de cuisines entraînant tout ce qui correspond à la préparation alimentaires et eaux de vaisselles.

- les eaux sanitaires
- les eaux de vannes

c) les eaux de pluies :

provenant des surfaces n'entrant pas en contact avec le pétrole comme par exemple : les toitures, les routes, les parties non construite du terrain de la raffinerie.

II.6. COLLECTE ET EVACUATION DES EAUX RESIDUAIRES A LA RAFFINERIE

La raffinerie est équipée d'un système de réseau séparatif, qui permet de distinguer 3 effluents :

- Effluent des eaux propres comprenant les eaux sanitaires, les eaux de vannes, les eaux domestiques.
- Effluent des eaux huileuses comprenant les eaux résiduares des unités des fabrications, les eaux des pluies des surfaces huileuses, les eaux d'incendies, les eaux des bacs de stockage.
- Effluent comprenant les eaux résiduares des utilités (lavage des filtres purge des boues de chaux) les eaux de ~~raffinement~~ non huileuses etc....

Ce réseau d'égout aboutit à l'aire d'épuration des eaux usées et chaque type d'effluent subit une épuration spécifique.

II.6.1. Système de traitement de ces eaux.

Le réseau des eaux propre est traité par un système biologique, le filtre biologique qui n'est plus fonctionnel. De ce fait, l'effluent est est rejeté directement à l'Oued Adda.

Le réseau des eaux huileuses aboutit à un décanteur deshuileur type API. A ce niveau une bonne partie des hydrocarbures sont récupérés par des pompes d'aspiration : ce sont les slops ; et en même temps il y a décantation des matières en suspension. Cette eau traverse ensuite une série de filtre à foin, pour arriver à l'évacuateur.

Dans l'évacuateur il y a le mélange des eaux provenant du décanteur deshuileur, et des eaux provenant du bassin d'accumulation pour être évacué à l'Oued Adda.

a) le décanteur deshuileurs type API

Dans le but de récupérer les slops, on fait séjourner l'effluent dans le bassin de décantation type API (qui permet également la sédimentation des matières en suspension).

Ce bassin comprend de l'amont à l'aval.

- 6 panneaux de 4 grilles
- 2 compartiments dimensionnés pour un débit de 372 m³/h, en tenant compte de la pluviométrie, de son intensité, de sa fréquence et de sa durée. La conception de ces compartiments permet :
 - le nettoyage du bassin. Pendant qu'un compartiment est nettoyé, l'autre fonctionne, pour la facilité de l'entretien et le surplus du débit.
- un écrémeur fixé à l'aval du bassin pour récupérer les huiles en surface.
- un groupe d'électro pompes qui récupère les slops aux réservoirs de stockage du brut, à l'aval du bassin se trouve 3 séries de 3 filtres.

b) Le bassin d'accumulation

Les eaux se trouvant dans ce bassin doivent être exempt de toutes traces d'hydrocarbures. Cependant, on constate une couche épaisse d'huile à la surface, et cela nécessite la mise en place d'une pompe pour aspirer et récupérer les huiles se trouvant à la surface du bassin. Ceci montre qu'il y a un mélange des 2 effluents au niveau des réseaux d'égout, dû à la défection de ces réseaux.

Ces réseaux d'égout sont :

- soit obturés par les déchets solides,
- soit corrodés, d'où infiltration des eaux huileuses et débordement de celle-ci.

A l'aval du bassin d'accumulation se trouve 3 séries de 3 filtres. Dans ce bassin on assiste à la purge du thermocirculator et du pulsator, (déversements de la boue de chaux).

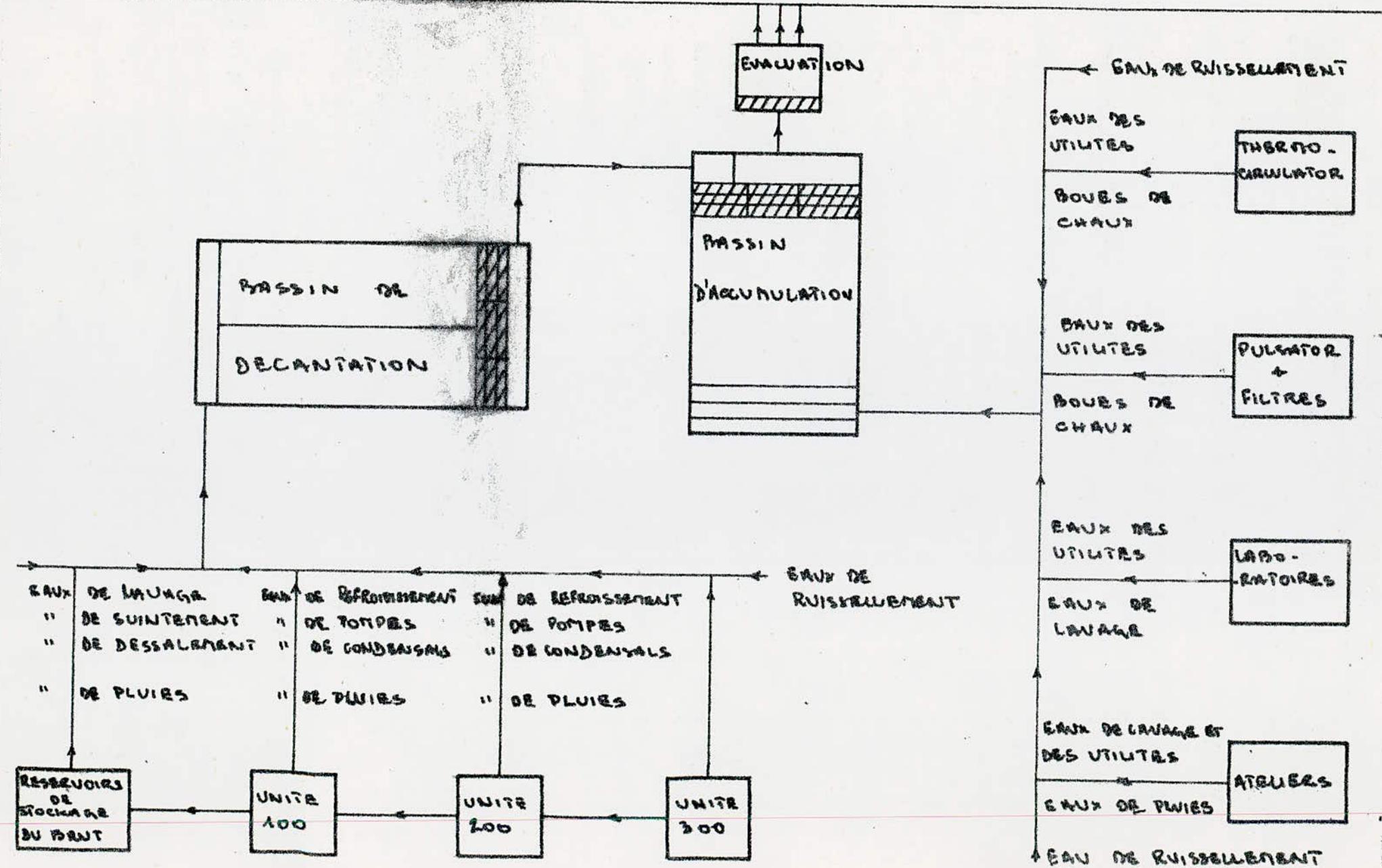
c) les filtres de foin

Les filtres de foin sont placés à l'aval du décanteur - deshuileur et du bassin d'accumulation. Ils sont disposés verticalement, fixés sur une pente. L'eau traversant ces filtres, coule vers l'évacuateur.

d) L'évacuateur.

A ce niveau se mélange les 2 effluents, qui traversent un filtre de foin de là ces eaux sont évacuées vers l'Oued Adda.

RESEAU DES EAUX RESIDUAIRES A LA RAFFINERIE D'ALGER Oued ADDA



II.6.2 L'entretien.

Le bassin de décantation est nettoyé une fois par an, mais vu la quantité de boue et de vase au fond du bassin, cela nécessite un nettoyage tout les 6 mois.

- Le bassin d'accumulation est nettoyé une fois par an, mais cela est insuffisant. Il faut éviter le rejet de la chaux qui fait augmenter considérablement la quantité de boue et diminuer l'efficacité du bassin.

- Les filtres de foin sont changés une fois par an, pendant ce temps les filtres laissent échapper les hydrocarbures et les matières en suspension due à l'entraînement des brins de foin avec le courant de l'eau.

Donc en conclusion, pour qu'il y ait une bonne efficacité au niveau de chaque type de traitement il faut un entretien, et une surveillance constante de la qualité de l'eau rejetée.

II.7. CONCLUSION

Le dispositif mis en place pour l'épuration des eaux résiduaires à la raffinerie d'Alger, n'assure pas l'élimination totale des hydrocarbures, et n'affecte pas les substances dissoutes.

D'ailleurs au niveau de l'évacuateur, on constate une fine couche d'huile à la surface de l'eau qui est évacuée vers l'Oued Adda. De tels effluents dépassant largement les normes de rejets ne peuvent être déversés dans le milieu récepteur, et nécessite donc une épuration plus poussée.

Le traitement complémentaire peut - être

- biologique ou physico-chimique.

Notre étude est basée sur un traitement physico-chimique qui est la coagulation - floculation par le chlorure ferrique.

III. PARTIE THEORIQUE

III.1. TRAITEMENT MECANIQUE SEPARATION HUILE - EAU

LE DESHUILAGE

III.1.1. Introduction.

En raffinerie se pose constamment le problème de séparer deux phases liquides immiscibles.

En ce qui concerne les eaux polluées par l'huile, leur débit est important et impose l'utilisation des deshuileurs ou séparateur afin de récupérer les H.C et minimiser la pollution.

Suivant une classification basée sur les différents états physiques dans lesquels l'huile (H.C) peut se trouver dans l'eau, il est possible d'établir la distinction générale entre :

- Huiles libres
- Huiles émulsionnées chimiquement
- Huiles émulsionnées mécaniquement.

Cette distinction prend toute son importance dans le choix des possibilités de traitement.

La technique de séparation la plus simple est basée sur des décanteurs qui utilisent les différences des poids spécifiques entre l'eau et l'huile non émulsionnée. Ce procédé constitue le stade primaire de l'épuration. La fraction d'huile émulsionnée peut être séparée de l'effluent par des méthodes chimiques, physiques.

III.1.2. les procédés physiques du deshuilage (ref 7)

Le deshuilage est une simple opération qui permet de retenir l'huile par sédimentation physique à la surface. Les différents procédés du deshuilage.:

- procédés par décantation simple pour des pollutions fréquentes et massives tels que les raffineries.

- Procédés par adsorption qui intéressent que les pollutions accidentelles, ou les pollutions faibles.

On complète leur mise en oeuvre par des dispositifs communs de collecte d'huile.

III.1.2.1. Décantation simple (ref. 3)

La séparation de l'huile par simple décantation dépend de la vitesse ascensionnelle de remontée des gouttellettes d'huile dans l'eau, en raison de la densité de l'huile inférieure à celle de l'eau.

Suivant la loi de Stokes, la vitesse ascensionnelle s'exprime :

$$V = \frac{g \cdot 10^{-2}}{18\eta} (\rho_2 - \rho_1) D^2$$

V : vitesse de remontée en m/s

D. : diamètre d'un globule d'huile en m

g : accélération de pesanteur

ρ_2 : masse volumique des globules en Kg/m³

ρ_1 : masse volumique de l'eau en Kg/m³

η : viscosité du liquide en poiseuille à la température considérée.

Généralement les vitesses sont de l'ordre de 1 à 6 m/h.

La vitesse est donc proportionnelle au carré du diamètre des globules d'huiles et à la différence des densités entre les huiles et l'eau.

Les décanteurs deshuileurs fonctionnent en régime continue, le plus souvent à circulation horizontale de l'eau.

Le trajet de remontée d'une huile et le temps nécessaire pour la remontée d'un globule seront fonctions pour une densité et viscosité données de l'huile.

- de la hauteur d'eau à remonter pour atteindre la surface où elle sera collectée
- du diamètre du globule.

REMARQUE :

L'élévation de la température entraîne une élévation importante des vitesses ascensionnelles des globules d'huile. Cet effet est compensé par l'accroissement

de la viscosité. Suivant ces paramètres on distingue Trois types de décanteurs .

III.1.2.1.1 Deshuileur longitudinal API (Réf. 3)

C'est le deshuileur utilisé à la raffinerie d'Alger, éliminant les huiles de densité inférieure à 1, et les matières sédimentables.

Le séparateur API a été développé par l'Américain PETROLEUM INSTITUTE afin de séparer les particules d'huile au diamètre supérieur à 0,15 mm. Les matières à densité inférieure à celle de l'eau (huiles et matières flottantes) se séparent gravitairement des M.E.S à densité plus grande par décantation.

Les principes de dimensionnement du séparateur API. sont basés sur des études expérimentales, assurant une élimination satisfaisante des huiles non émulsifiées fines ou stables.

Les principaux facteurs qui influencent le dimensionnement sont :

- Poids spécifique de l'huile
- Poids spécifique des eaux résiduaires
- Présence ou absence d'émulsions.

Du fait de l'impossibilité de caractériser physiquement un mélange d'H.c dans l'eau, l'API a considéré un diamètre fictif de 0,015 cm comme base de calcul pour le dimensionnement (ref. 25).

Pour un diamètre de 0,015 cm la formule de stockes devient :

$$V = \frac{0,440}{\eta} (\rho_l - \rho_w)$$

- La surface horizontale S. minimale est définie comme suit :

$$S = \frac{F \times \text{débit } q}{v}$$

F : facteur de turbulence variant de 1,1 à 1,45 suivant le rapport de $\frac{V_n}{v}$

Vn : vitesse horizontale de l'eau.

V : vitesse ascensionnelle du globule d'huile.

La vitesse horizontale doit être de 55 m/h en valeur absolue ou a 15 fois la vitesse de montée des globules d'huiles de 0,015 cm de diamètre.

- la section verticale s est définie

$$s = \frac{\text{débit } q}{V_n}$$

- la profondeur d'eau dans le bassin est de 1m au minimum à 2,5 m au maximum.

La proportion de la profondeur doit être :

0,3 fois la largeur au minimum ou 0,5 fois la largeur au maximum.

Le poids spécifique de l'huile et des eaux résiduaires est fonction de la température, et détermine le rendement de la séparation des huiles et la charge superficielle de l'appareil. La concentration en huile est très importante, le rendement du séparateur augmente avec la concentration. La concentration minimale en huile dans l'eau brute à laquelle un séparateur satisfait peut être de \pm 50 mg/l.

L'élimination d'autres polluants est très variable, il y a non seulement une réduction de la DCO (jusqu'à 45 %) mais aussi une réduction des MES (jusqu'à 68%).

Ces séparateurs sont le plus souvent équipés avec des dispositifs de raclage en saillie et d'autres moyens mécaniques pour écumer l'huile et supprimer les sédiments.

III.1.2.1.2. Séparateurs à lames parallèles (réf. 25)

Le séparateur à lames parallèles est une technique assez nouvelle dans l'industrie du raffinage. Il s'agit de l'insertion dans un bassin deshuileur, d'un ensemble de plaques parrallèles d'un angle de 45 à 60° sur l'horizontale et orientées dans le sens du fil de l'eau. Ceci permet une double amélioration.

- en créant une répartition uniforme de l'eau et un régime laminaire
- en divisant la hauteur de parcours des globules d'huiles autant de fois qu'il y a d'intervalle de plaques occupant la hauteur totale utile du bassin (c'est à dire réduit considérablement la distance que doit franchir la goutte d'huile avant d'être collectée).

L'eau parcourt le séparateur de haut en bas entre les plaques, puisque l'écoulement entre ces plaques est laminaire. Les globules d'huiles peuvent monter sans empêchement et être raclés à la surface. De la même façon, les matières sédimentables présents dans l'eau se déposent sur le fond des plaques et glissent vers la partie la plus basse du module afin d'être extraite sous forme de boue. Ces deshuileurs à plaques parallèles présentent des performances supérieures aux deshuileurs longitudinaux ; en effet le rendement de ce type de deshuileur travaille avec 25 % d'efficacité de plus qu'un séparateur API classique. En outre les séparateurs à plaques parallèles n'exigent que 15 à 20 % de l'espace normalement utilisé par les séparateurs classiques, ce qui implique d'importantes économies dans les frais de construction.

Mais dans tout les systèmes de séparation de phase, il faut éviter et prendre des précautions à ne pas émulsifier les huiles libres dans l'effluent.

III.1.2.1.3. Deshuileur à coalescence.

L'efficacité d'un deshuileur est fonction de la finesse réelle des globules d'huiles présents. Dans le cas d'une émulsion non stable, toutes dispositions permettant d'accroître le diamètre des globules, élèvera la vitesse de remontée donc l'efficacité d'un appareil. Cette efficacité peut être obtenue en insérant en tête d'un décanteur, un équipement permettant un contact entre les globules d'huiles en émulsion et des surfaces très grandes couvertes d'un film d'huile. Ces équipements sont dits de coalescence. Dans certains cas ils permettent une amélioration importante du deshuileur.

III.1.2.2. Adsorption (ref n° 7)

Les produits d'adsorption présentent une bonne efficacité vis à vis des huiles libres, mais non en ce qui concerne les émulsions stables et leur prix en limite leur emploi. Les différents produits ayant un pouvoir adsorbant vis à vis des H-C se classent en 2 parties :

- Les produits minéraux
- Les produits organiques.

a) les produits minéraux

Parmi les produits minéraux on cite :

- le laitier expansé : présente une capacité de fixation de l'ordre de 40 - 50% de son volume. Mais il ne présente pas de pouvoir adsorbant vis à vis des émulsions d'huiles solubles.

Les facteurs limitant son utilisation sont :

- sa friabilité et son prix élevé.
- les diatomées : présentent une adsorption par percolation. Ce produit est très efficace puisqu'il permet d'obtenir des teneurs finales inférieures de 1 mg /l, mais ne peut concerner que des teneurs faibles d'H.C inférieur de 10 mg/l pratiquement utilisé surtout pour le traitement des eaux condensées.
- la poudre de craie : présente une structure poreuse très fine et développée des surfaces spécifiques des huiles considérables qui permettent l'adsorption des huiles.

b) les produits organiques :

Parmi les produits organiques on cite :

- farine de bois : excellent adsorbant, mais difficile à mélanger et encore plus à collecter.
- foin : possède une grande capacité d'adsorption de plusieurs fois son poids.

Il est utilisé pour confectionner des filtres verticaux, placés en aval du deshuileur, comme c'est le cas à la raffinerie d'ALGER.

Il joue un certain rôle de finition et de sécurité. Ces filtres de foin sont enlevés et brûlés ce qui n'est pas le cas à la raffinerie. Ils exigent des travaux de main-d'oeuvre relativement coûteux pour le chargement et le déchargement des filtres.

III.1.2.3 Les dispositifs de collectes d'huile (réf. 7)

Une fois les huiles séparées et rassemblées à la surface du plan d'eau ; divers applications sont employées pour les collecter.

Les dispositifs de collectes peuvent être séparés en Deux groupes :

- collecte d'huile statique
- collecte d'huile dynamique.

a) la collecte d'huile statique

La collecte est assurée en un point d'extraction. La nappe d'huile se déplace en fonction des seules forces de gravité et de la viscosité. La forme la plus classique de ce type de collecteur est la goulotte de prise en surface. Mais cette forme ne permet pas de séparer des huiles sans entraîner simultanément une grande proportion d'eau, qu'il faut ensuite décanter.

Une forme plus élaborée et récente, consiste en la collecte d'huile par bande se déplaçant suivant un plan vertical ou oblique. L'huile est entraînée par la bande en mouvement à travers une nappe dont le niveau peut varier de quelques centimètres et elle est extraite concentrée (5 à 10% d'eau).

Il y a également la collecte discontinue alternative utilisant la dénivelée d'une colonne d'huile par rapport à l'eau.

b) collecteurs dynamique

Dans ce cas le déplacement de l'huile vers le point d'extraction est fortement accéléré par des facteurs extérieurs déterminants d'autres forces d'entraînements.

(Ces collecteurs) **cherchent à n'enlever que de l'huile pure** en augmentant le débit, c'est à dire la vitesse de déplacement de la nappe d'huile par l'emploi de matériaux hydrauliques (tels que les pompes) consistant à créer une cavité dans l'eau vers laquelle l'huile se précipitera et pourra être écumée plus concentrée et plus rapidement.

→ Le récupérateur RHEINWERFT :

noie les bords d'une soucoupe au dessus du plan d'eau de quelques mm Au fond de la soucoupe, une pompe centrifuge ; une deuxième pompe aspire en surface l'huile qui est séparé.

- le récupérateur type Vortex :

consiste à créer un tourbillon ou vortex, en un point du bassin (grâce à une hélice) vers lequel les huiles serassemblent par gravité en une poche, d'où elles sont évacuées par une pompe.

Pour une vitesse donnée de l'hélice et une profondeur H du Vortex, la

La hauteur h de la poche est dans le rapport $\frac{H}{1-d}$ suivant la densité de l'huile d .

Pour $H : 20 \text{ cm}$

$d : 0,8$

→ La hauteur $h = 100 \text{ cm}$.

d'où la récupération de l'huile est plus facile.

III.1.3. Conclusion.

Sachant que dans les raffineries les émulsions présentent une grande stabilité difficile à briser et à séparer de l'eau ; il est nécessaire d'effectuer un traitement plus efficace permettant l'élimination des émulsions par destabilisation en même temps que les colloïdes présents dans l'effluent. Il y a plusieurs types de traitement :

- traitement biologique
- traitement chimique tels que la coagulation - floculation.

Notre choix se porte sur la coagulation - floculation qui fait intervenir simultanément et sur les émulsions, et sur les matières dissoutes le phénomène de neutralisation électrique par l'addition de réactifs dits : coagulants.

III.2. TRAITEMENT CHIMIQUE

LA COAGULATION - FLOCCULATION

III.2.1. Introduction et définition.

La coagulation comme la flocculation avec laquelle ^{elle} est intimement liée à pour but d'éliminer les M.E.S et les émulsions d'huile c'est à dire essentiellement les colloïdes de l'eau qui les contient.

On entend par coagulation le phénomène de destabilisation des particules colloïdales, et des ^{micro}goutellettes, c'est à dire dans le schéma classique des particules et émulsions chargées négativement il y a neutralisation de leurs charges.

La formation des flocons dépend du transport et de la mise en contact des particules et des micro-goutellettes d'huile qui constitue la flocculation.

Des expériences récentes ont montrés que la destabilisation des colloïdes ne nécessitait pas toujours une neutralisation des charges, de même la formation d'agrégats n'implique pas nécessairement une mise en contact des particules.

Le mot coagulant a donc pris un sens plus large et pratiquement dans la littérature ~~anglo-saxonne~~ a fini par couvrir le terme flocculation.

La coagulation serait donc le phénomène de formation des agrégats dans son ensemble la flocculation n'étant qu'une partie du phénomène : le transport et la mise en contact des colloïdes destabilisées. Les produits comme le sulfate d'aluminium ou le chlorure ferrique permettant l'agrégation sont avant tout des coagulants, même si par la formation d'hydroxydes insolubles, ils contribuent à la création des floccs.

La coagulation est un traitement d'affinage et d'élimination spécifique capable de rivaliser avec des traitements beaucoup plus couteux. Elle agit sur les particules solides et huileuses en suspension qui n'ont pas été éliminées par le séparateur gravitaire.

III.2.2 Les principes de bases

C'est l'élimination des hydrocarbures dispersés et des particules colloïdales.

UNE DISTINCTION PLUS COMPLETE ENTRE LES COLLOIDES HYDROPHOBES ET HYDROPHILES EST PRESENTEE
DANS LE TABLEAU SUIVANT (ref : A⁹)

COLLOIDES HYDROPHOBES	COLLOIDES HYDROPHILES
<ol style="list-style-type: none">1) Une très faible quantité d'électrolyte est nécessaire à leur stabilité2) Ils sont précipités par de petites quantités d'électrolytes3) La précipitation est généralement irréversible4) Leur viscosité est sensiblement égale à celle de l'eau5) Les particules portent une certaine charge électrique qu'il est difficile de modifier6) Les particules sont soumises à une migration sous l'influence d'une différence de potentiel7) La concentration de la phase dispersée est petite.	<p>Aucun électrolyte n'est nécessaire à leur stabilité</p> <p>Ils ne sont pas précipités par de petites quantités d'électrolytes</p> <p>La précipitation est généralement réversible</p> <p>Leur viscosité est supérieure à celle de l'eau</p> <p>Les particules peuvent être positives, négatives ou neutres en fonction du P H</p> <p>Les particules peuvent être ou ne pas être soumises à une migration sous l'influence d'une différence de potentiel.</p> <p>La concentration de la phase dispersée peut être grande</p>

III.2.2.1 Système colloïdaux

III.2.2.1.1 Définition.

On définit les systèmes colloïdaux comme étant des dispersions dont les particules possèdent une vitesse de sédimentation si faible que leur chute est rendue impossible par l'agitation thermique du milieu.

Ce phénomène est dû à la faible taille des particules, et à une densité trop proche de celle du liquide en suspension, bien qu'il n'existe pas de taille limite très nette entre les particules en suspension grossières et les particules colloïdales vraies. On définit généralement celle-ci comme ayant un diamètre compris entre 1 μ et 1 μ (1 μ \leq diamètre < 1 μ).

Les systèmes colloïdaux sont caractérisés par une surface spécifique importante, car elle est inversement proportionnelle au carré du diamètre des particules. On conçoit donc que les phénomènes superficiels jouent un rôle prépondérant dans la stabilité de ces dispersions.

On classe ces colloïdes en 2 catégories suivant leur comportement vis à vis du milieu aqueux.

- les colloïdes hydrophiles présentent une grande affinité pour l'eau, et ces particules sont entourées par une enveloppe de molécules d'eau fixées par des liaisons physico-chimiques à certains groupements (C'est une gaine isolante protectrice s'opposant à l'agglutination des particules) tels que :
 - + groupement carboxylique COOH.
 - + groupement amine N H₂
 - + groupement alcool O H
- ↳ les colloïdes hydrophobes dont la matière n'a aucune affinité pour l'eau.

III.2.2.1.2 Etude des facteurs de stabilité des colloïdes

a) Etude du potentiel ZETA

La stabilité du colloïde est due par le potentiel ZETA: ζ

$$\zeta = \frac{4 \pi \eta V}{DH} \quad (\text{réf. 24})$$

η : viscosité de la phase liquide
 D : constante dielectrique
 H : gradient du potentiel
 V : vitesse de la particule

Zeta ζ est le potentiel que prend une particule ou colloïde lorsqu'il est mis en suspension dans un milieu aqueux. Ce potentiel est créé par l'environnement du colloïde. Quand la surface ^{d'un} solide chargée électriquement se trouve au contact de l'eau contenant des sels minéraux dissous, les ions de cette solution vont être affectés par un champ électrostatique. Les ions chargés de même signe que la paroi du solide seront repoussés par celle-ci les autres seront attirés. Plusieurs théories ont été développées pour expliquer la variation du potentiel. Mais seule la théorie de Stern semble la plus réaliste, et fait la synthèse de la théorie de Helmholtz et celle de Gouy et Chapman.

Il existe une couche liée d'épaisseur variable dépendante de la quantité et de la nature des ions adsorbés à la surface des particules, et une couche diffuse comparable à celle du modèle de Gouy.

En conclusion, il se forme une double couche constituée :

- par des ions de charges opposés à celle de la surface, et qui se concentrent au voisinage de celle-ci (couche fixe) ;
- par des ions de signes opposés localisés à une distance plus importante de la surface, cette couche est mobile sous l'action d'un champ électrique (couche diffusée).

Le potentiel Zeta ou potentiel électrocinétique est le potentiel à l'interface entre la couche fixe et la couche diffuse. Il est égal à la différence de potentiel entre cette interface et celles qui restent au sein du liquide. C'est le potentiel Zeta qui détermine la mobilité électrophoretique de la particule, et la grandeur des forces répulsives interparticulaires.

C'est un des paramètres fondamentaux au cours de la coagulation.

b) Stabilisation due à l'hydratation de la surface du solide (10/4)

Dans le cas des colloïdes hydrophiles, une pellicule d'eau se trouve fortement fixée à la surface de la matière solide par interaction entre la surface chargée électriquement et les molécules d'eau de caractère dipolaire.

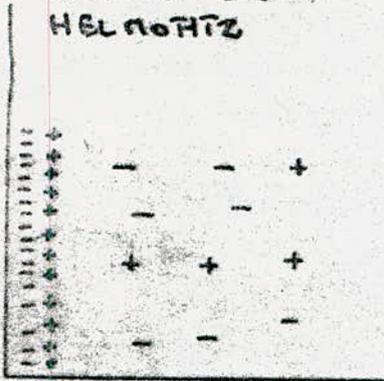
ILLUSTRATIONS SCHEMATIQUES DE LA DOUBLE COUCHE ELECTRIQUE

Fig. 1

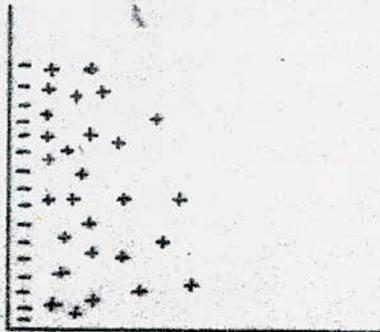
Ref 14

d = épaisseur de la couche liée

théorie de HELMHOLTZ



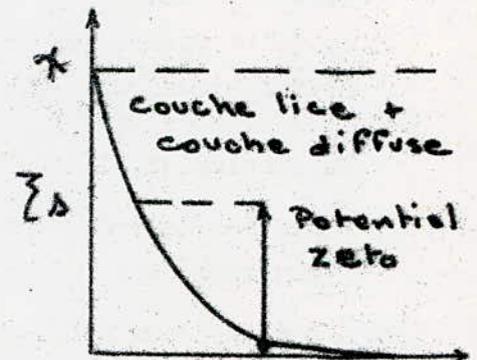
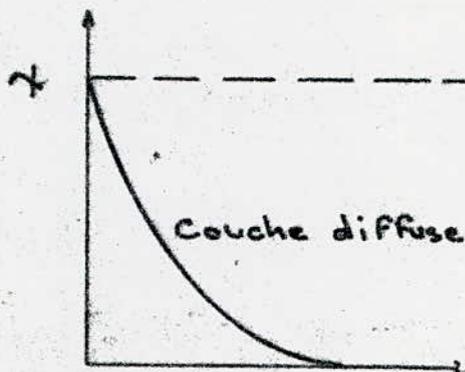
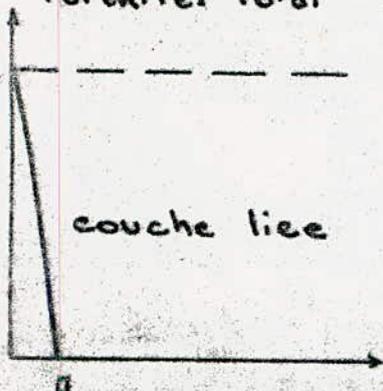
théorie de GOUY



théorie de STERN

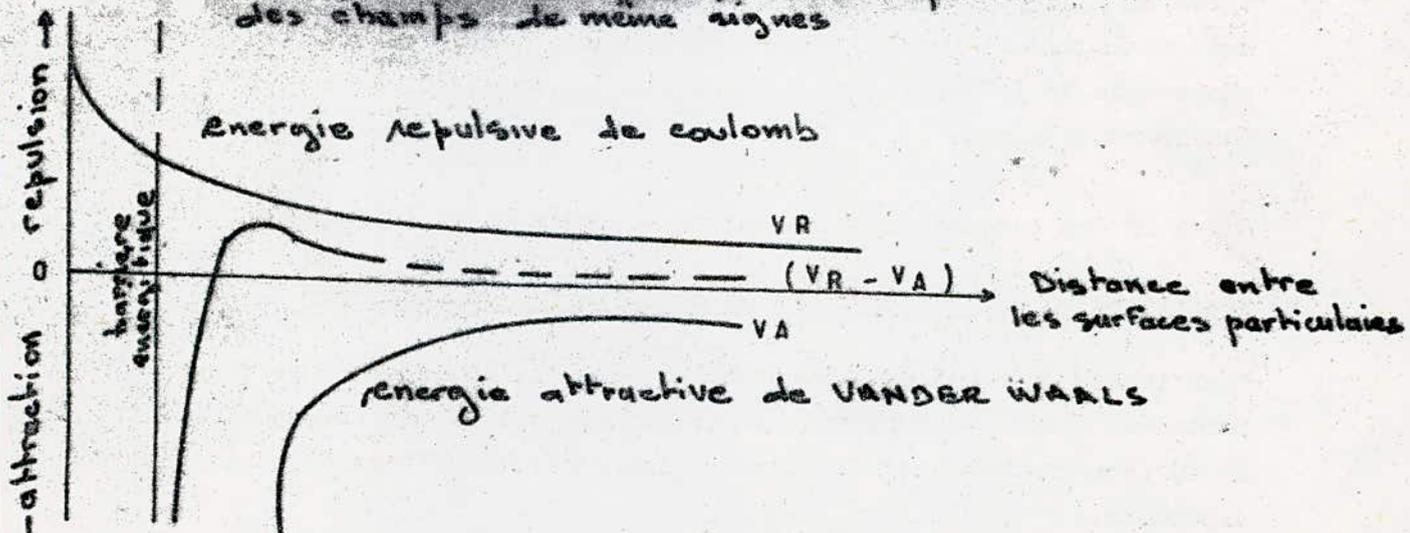


Potentiel total



Distance depuis la surface à la particule

variation des énergies mises en jeu lors du rapprochement de 2 particules portant des champs de même signes



Au voisinage d'une surface chargée de caractère polaire, il se forme un arrangement de molécules d'eau. Les couches d'hydratation s'oppose à tout rapprochement des particules colloïdales ou à l'adsorption des réactifs chimiques capable de provoquer l'agglomération des particules.

Elle constitue un facteur important de stabilisation pour les dispersions des matières organiques polaires.

c) Stabilisation due aux colloïdes protecteurs organiques (réf. 12)

Les colloïdes protecteurs sont des colloïdes lyophiles qui protègent contre la coagulation les colloïdes hydrophobes.

Si les colloïdes lyophobes sont en excès par rapport aux colloïdes lyophiles, les particules qui possèdent des charges de signes opposés, elles s'attirent donc entre-elles, se déchargent mutuellement, et la coagulation du colloïde lyophobe entraîne celle du colloïde lyophile. Si par contre les colloïdes lyophiles sont en excès, ils enrobent totalement les particules lyophobes et tout le système possède alors les propriétés des colloïdes lyophiles.

III.2.2.1.3. Etude des facteurs de déstabilités.

a) Forces d'attraction interparticulaire

Par addition d'un coagulant, il y a compression de la double couche, et abaissement du potentiel Zeta (le potentiel nul est une référence pour apprécier l'état de coagulation des particules).

Les forces répulsives diminuent et permettent l'action des forces d'attractions Vanderwaal^{qui} conduisent à l'agglomération des particules. De même l'adsorption d'ions de signes contraires diminue la grandeur des charges. Lorsque cette charge devient insuffisante, les répulsions électro-statiques sont trop faibles pour vaincre les forces d'attraction due à l'affinité ou aux forces de cohésions qui se manifestent quand deux particules sont suffisamment proches.

b) Facteurs mécanique :

- le mouvement brownien : provoque la réduction des facteurs de stabilité en fonction de l'élévation de température. L'agitation brownienne augmente et favorise de ce fait la rencontre des particules. il ralentit au fur et à mesure que les particules s'agglomèrent.

c) Facteurs chimiques

- Réactions chimiques : (oxydations, réactions interparticulaire assimilable à une polymérisation) créent des structures plus rigides par la formation de ponts entre les particules.
- Addition d'une substance : capable de se fixer simultanément sur deux particules colloïdales en présence, ce qui permet l'agglomération de celle-ci, ceci réalisé soit par :
 - x addition de sels minéraux, dont l'hydrolyse se traduit par la formation d'un précipité floconneux à forte surface spécifique, capable d'adsorber et de piéger les particules avec lesquelles il entre en contact.
 - x addition de substances macromoléculaires solubles qui s'adsorbent à la surface des particules.

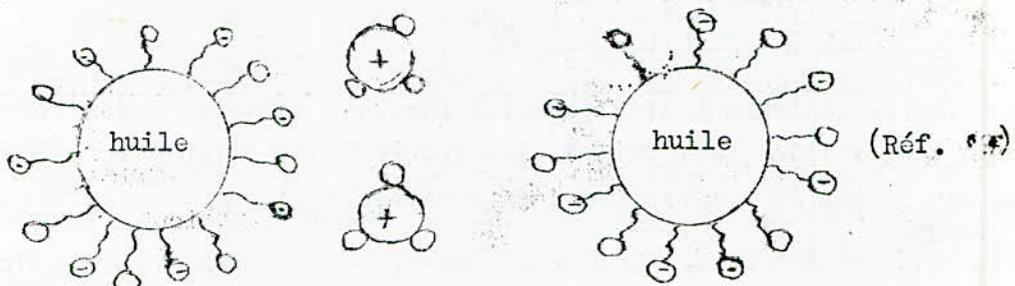
III.2.2.2 Systèmes d'émulsions

III.2.2.2.1 Définition

Ce sont des dispersions d'un liquide dans un autre. Leur étude s'apparente à celle des suspensions.

a) Stabilités des émulsions.

Le système d'émulsion est stabilisé par la présence d'une couche protectrice entourant les gouttellettes et contenant un ou plusieurs agents tensio-actifs en général du type anionique.



-  tensio-actif
-  tensio-actif anionique
-  cation
-  molécule d'eau

L'agent tensio-actif en abaissant la tension interfaciale huile/eau favorise la dispersion d'une phase dans l'autre. De plus en se localisant à l'interface huile/eau, il constitue une "barrière électrique" évitant après dispersion, la coalescence des gouttes d'huiles entre-elles. Il en résulte une grande stabilité pour ces émulsions, difficile à briser. Elles sont considérées comme solutions dissoutes que de simples procédés tels que le séparateur n'élimine pas, mais qui peuvent être séparées par des procédés qui provoquent leur destabilisation.

b) Les procédés et les principes de destabilisations

Deux grands types de procédés sont utilisés :

- procédés physiques tels que la centrifugation, ultra-filtration. Par leur coût d'exploitation élevé, les procédés physiques sont très peu utilisés.
- procédés physico-chimique associent un traitement chimique primaire destabilisant l'émulsion par addition de Réactifs de coagulants (sels polyélectrolytes) à un traitement physique secondaire des phases huileuses et aqueuses (décantation en générale).

La destabilisation de l'état colloïdale de l'émulsion désigné aussi par le terme de "cassage, de rupture de l'émulsion" est une opération de neutralisation des charges électriques superficielles au niveau de chaque micro-goutte. En rompant les forces électrostatiques ou les forces de Vanderwaal existants entre les tensio-actifs et le milieu dispersant.

III.2.3 Classification des coagulants.

III.2.3.1 Coagulation par les polymères et les polyélectrolytes organiques

Ce sont des polymères généralement synthétiques de structure linéaire et de haute masse moléculaire. Les chaînes macromoléculaires ne sont pas saturés électriquement, ils destabilisent les colloïdes par la charge

électrique qu'ils possèdent. Les colloïdes sont attirés et viennent s'accrocher aux sites actifs du polymère.

:

Les paramètres intervenant au cours de la coagulation.

- la nature chimique des groupements actifs de la macromolécule
- le signe des charges électriques qu'ils portent
- le degré d'ionisation du polymère
- la masse moléculaire qui impose la longueur de la chaîne

On distingue selon le caractère ionique du groupement actif

- x les polyelectrolytes anioniques
- x les polyelectrolytes cationiques

III.2.3.2 Coagulation par les sels minéraux hydrolysables (réf. 4)

Les sels minéraux ont une double action, sur les particules solides et sur les émulsions.

On distingue plusieurs actions :

a) action électrostatique des cations

Certaines espèces ioniques positives destabilisent les colloïdes et permettent l'annulation du potentiel Zeta, de même destabilisent les émulsions d'huiles par rupture de la barrière électrostatique qui les maintient sous forme d'émulsions.

Lorsqu'on utilise des sels Fe^{3+} , ou Al^{3+} il faut remarquer qu'ils s'agit des complexes hydratés produits lors de leur hydrolyse et non pas de ces cations.

b) action des produits d'hydrolyse polymérisés

Les études fondamentales effectuées sur les produits d'hydrolyse des sels minéraux à cations trivalents (Fe^{3+} , Al^{3+}) ont montré l'existence de formes ioniques polymérisés intermédiaires entre les cations précédents et les molécules neutres d'hydroxydes précipités. Ces polymères sont susceptibles d'agir par adsorption et piégeage

selon un mécanisme identique à celui des polyelectrolytes, les différents polymères $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Fe}_2(\text{OH})_3^{3+}$, $\text{Fe}_3(\text{OH})_2^{7+}$, $\text{Fe}_3(\text{OH})_4^{5+}$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ ou $\text{Al}_2(\text{OH})_3^{3+}$, $\text{Al}_2(\text{OH})_3^{3+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_2^{7+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$.

c) Actions des hydroxydes - précipités

La quasi totalité des cations trivalents ajoutés au milieu pour provoquer la coagulation se trouve précipité sous forme d'hydroxydes insolubles. Le précipité formé présente une grande surface spécifique et pourra donc adsorber facilement les particules colloïdales et les micro-gouttellettes d'huile.

III.2.3.3. Les réactifs utilisés pour la coagulation

Les sels les plus utilisés :

- sels d'aluminium

Les produits commerciaux les plus utilisés sont

le sulfate d'alumine : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$

le chlorure d'alumine $\text{Al}_2 \text{Cl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

- Sel de fer

On utilise fréquemment :

le chlorure ferrique : $\text{Fe} \text{Cl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

le sulfate ferrique : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$

le sulfate ferreux : $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

III.2.4. Le choix du coagulant

Le choix initial des réactifs est fonction :

- de la nature de l'eau que l'on veut traiter,
- des disponibilités locales,
- de la zone de PH choisie ou imposée,
- du mode de séparation (décantation, flottation)
- du coût qu'il représente.

Notre choix se porte sur le chlorure ferrique pour plusieurs raisons :

- les sels de fer ont en général une action spécifique en deshuilage meilleure que celle des sels d'aluminium (réf. 7)
- les sels ferriques conviennent mieux que ceux d'alumine en raison d'une plus grande étendue de la zone du PH qui correspond à l'insolubilité des hydroxydes, en effet les floccs d'hydroxydes d'alumines se dissolvent en présence d'excès de OH^- ou H^+ tandis que les floccs d'hydroxydes ferriques n'ont pas cette propriété (les hydroxydes d'alumine manifestent des propriétés amphotères). Les sels de fer ont une action optimale au PH alcalin alors que les sels d'alumine ont leur PH optimal un entre 6 et 7,4 (réf.8)
- l'emploi des sels ferriques plutôt que les sels ferreux doit faire l'objet de précautions, car les sels ont aussi des conditions très spécifiques d'emploi. La valeur flocculante d'un ion augmente énormément avec la valence de cet ion, en effet le pouvoir de précipitation d'un ion trivalent est 600 à 700 fois plus grand que l'ion monovalent et bivalent (réf. 9) De même les ions ferriques manifestent une plus grande tendance à former des complexes que les ions Fe^{2+} (ref. 19).

Au point de vue consommation de ces réactifs de coagulation des études statistiques ont montré : (réf. 7)

- qu'une partie d'hydroxyde ferrique pouvait adsorber 3 à 0,6 parties d'huile.
- que la dose d'hydroxyde pouvait être d'autant plus faible que le milieu était plus concentré en huile, ceci évidemment jusqu'à une limite au dessus de laquelle il y a risque de désorption.

certes il ya quelques inconvénients dans l'emploi de ces sels ferriques, mais ces inconvénients ne portent aucun préjudice à l'efficacité du traitement.

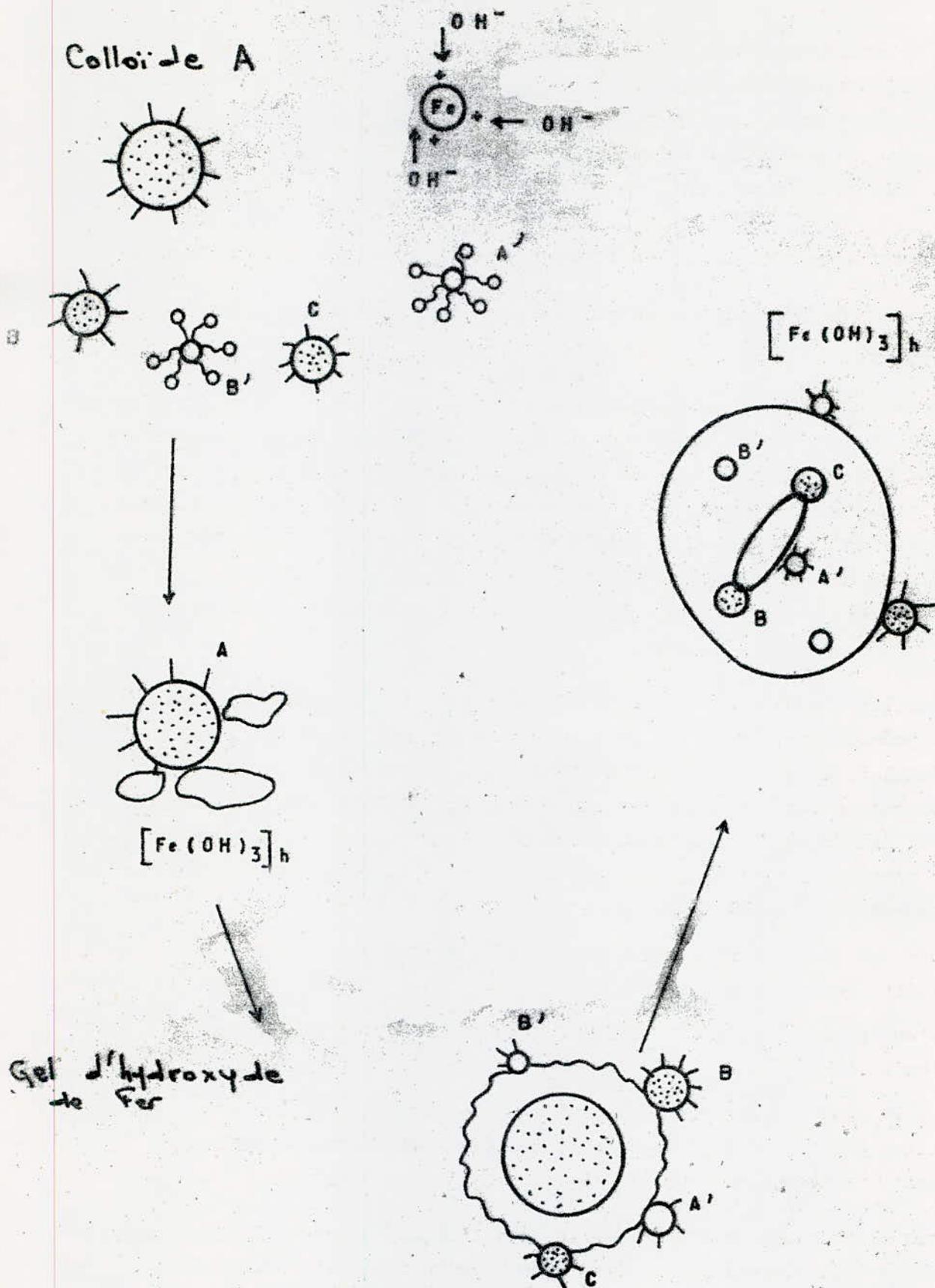


Fig 4 EXPlication SCHEMATIQUE DU PHENOMENE DE COAGULATION PAR LE CHLORURE FERRIQUE

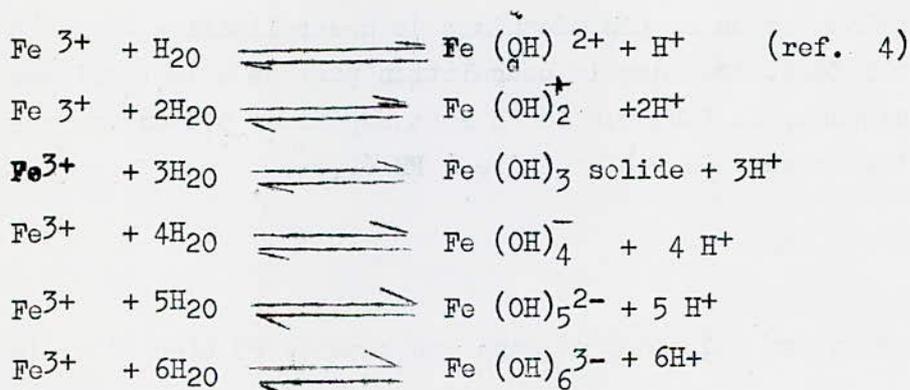
Le point à préciser est la formation d'une boue assez importante, car les électrolytes minéraux conduisent à la formation de floes décantables d'hydroxydes $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ces hydroxydes décantent en floes très lâches et très hydrophiles qui s'épaississent mal.

Un mauvais ajustement de la dose de $\text{Fe} \text{el}_3$ entraîne une couleur résiduelle due au fer, ceci nécessite donc des ajustements "adéquats" du Jar Test au laboratoire.

III.2.5. Coagulation par le chlorure ferrique

L'ion ferrique, dès son introduction dans l'eau, doit parvenir au contact du colloïde simultanément, il s'hydrolyse, si bien qu'il réagit concurremment avec les ions OH^- et les colloïdes de l'eau. On obtient alors une particule destabilisée qui peut s'agréger avec d'autres. Le gel d'hydroxyde ferrique qui la recouvre peut également servir de surface de fixation ou d'adsorption pour les colloïdes qui n'ont pu venir en contact avec l'ion ferrique plus tôt.

Lors de l'addition l'ion ferrique réagit avec la molécule d'eau selon les réactions d'hydrolyse pour obtenir des complexes hydratés.



Il en résulte de ces réactions :

- que l'hydrolyse libère des ions H^+ , l'addition des sels ferriques provoque une acidification du milieu, donc corriger le **PH** à une valeur optimale de la coagulation.
- La concentration des divers ions produits par l'hydrolyse dépend du **PH** du milieu.

III.2.6. Etude du PH :

Avec le potentiel Zeta, le PH est un paramètre décisif sur la coagulation
Le PH conditionne :

- Le choix du coagulant au départ,
- le comportement des colloïdes
- par suite même de l'économie et l'efficacité de la coagulation;

L'effet du PH varie avec la nature des colloïdes. Les matières organiques acides sont mieux éliminées à un PH bas, tandis que les substances basiques sont coagulées à un PH élevé. L'influence compensatrice du PH s'exerçant par l'adsorption des ions H^+ ou OH^- . La valeur du PH influence de même le degrés d'hydrolyse des coagulants utilisés selon leur nature. Dans le cas de $FeCl_3$, on constate un accroissement d'hydrolyse en fonction du PH (voir le graphique). Il en résulte que pour un PH, inférieure à 4,5 l'espece prépondérante est le Fe^{3+}

Pour des PH compris entre 4 et 10 c'est le $Fe(OH)_3$ et pour des PH supérieurs à 10 c'est $Fe(OH)_6^{3-}$ qui prédomine.

Un PH bas favorise la formation des cations qui seront susceptibles de provoquer la coagulation par un simple mécanisme de neutralisation de la charge électrique des colloïdes, Pour que la coagulation par des sels ferriques s'effectue correctement, il faut que le PH soit supérieur 5,5 aucune redissolution de l'hydroxyde n'est à craindre à PH élevé.

EN CONCLUSION

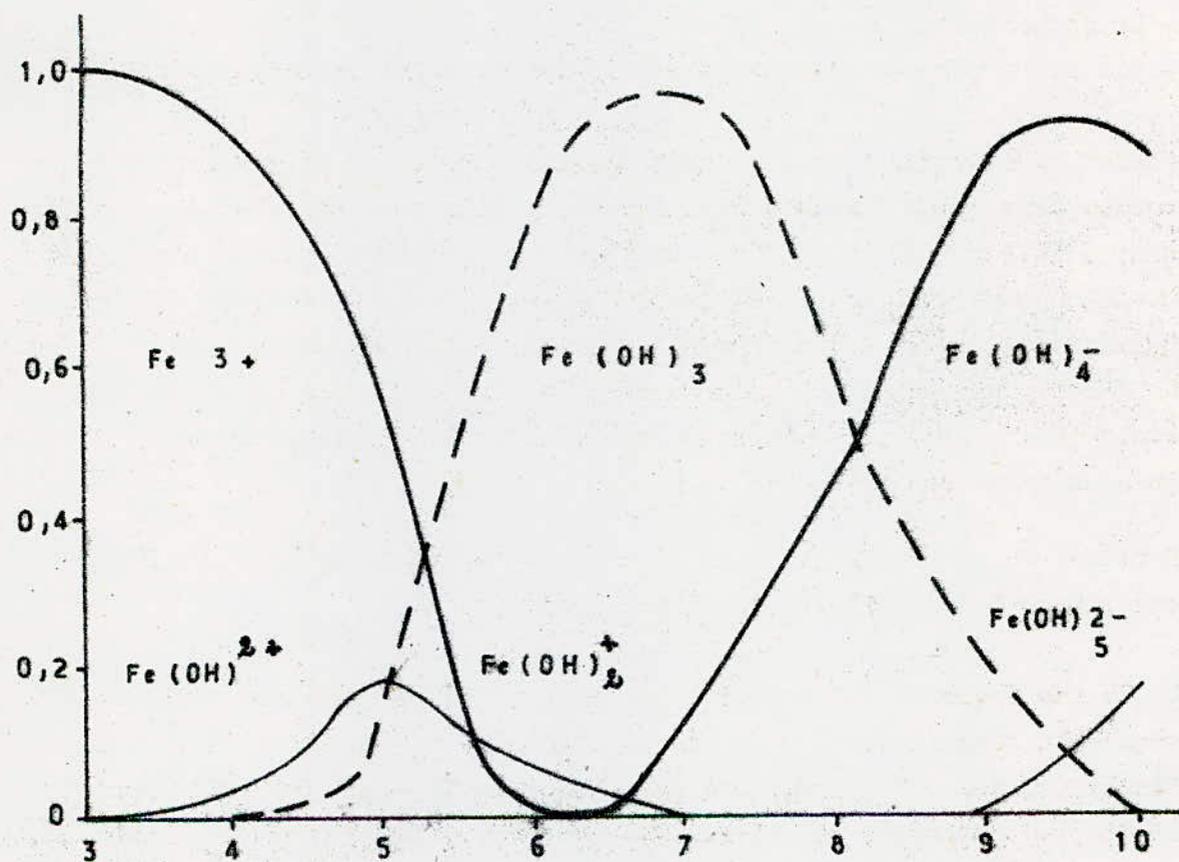
Chacun des mécanismes est prépondérant dans une zone de PH bien déterminée.

- au PH inférieur au point isoelectrique de l'hydroxyde métallique (PH.8 $Fe(OH)_3$).

ce sont des complexes cationiques qui agissent, par neutralisation de charge.

- pour les PH supérieurs au point isoelectrique le mécanisme principale est le piégeage et l'adsorption de particules colloïdales par l'hydroxyde précipité.

(voir 4)



Ref 4

VARIATION DU PH

IONISATION DES COLLOIDES SELON LE PH
DU MILIEU DE DISPERSION

La cinétique des deux mécanismes est très différentes. La coagulation par neutralisation de charge est très lente, ce qui lui fait perdre l'intérêt d'un dosage moindre au coagulant, tandis que la coagulation par piégeage est beaucoup plus rapide.

III.2.7 Pouvoir adsorbant.

L'action mécanique de brassage doux favorise la rencontre des globules d'huiles et d'autres particules, avec le floc d'hydroxyde en provoquant l'adsorption des premiers sur les seconds et permet d'agglomérer l'huile et les hydroxydes en flocons relativement volumineux.

La théorie d'adsorption s'appuie sur les travaux de Freundlich qui a traduit le phénomène par une équation thermo-dynamique à l'origine des isothermes caractéristiques de l'adsorption.

A température constante, le taux d'adsorption est donné par :

$$\frac{X}{n} = k C^{\frac{1}{n}} \quad (\text{eq. 19})$$

k, n : constantes qui dépendent de la nature du produit adsorbé et du produit adsorbant de même de la température.

x : quantité de substance adsorbée

n : quantité de substance adsorbante

c : concentration non adsorbée restant en solution.

Plus la concentration en substance à éliminée est élevée, plus efficace est l'élimination, à l'inverse si l'on veut éliminer totalement le polluant il faut un énorme excès de coagulant. La loi de Freundlich n'a bien entendu qu'un lointain rapport avec la réalité de la coagulation.

III.2.8 Différents facteurs influençant la coagulation floculation

a) Influence de la température.

La température est un facteur physique important.

Toute diminution de la température suivie d'une augmentation de la viscosité et par conséquent, le taux de formation des floes se trouve réduit.

b) Nature et valence des ions

Signalons que les ions ont une activité proportionnelle à leur valence, d'où le plus grand intérêt des ions trivalents.

c) concentration du coagulant

Il est important de déterminer la concentration du coagulant pour la destabilisation des systèmes colloïdaux. une surdose du coagulant peut conduire à une dégradation rapide de la qualité de l'eau, et à des dépenses d'exploitation non justifiées.

III.2.9 Cinétique de l'agglomération des particules.

Pour que l'adhésion des particules puisse se faire, il est nécessaire que les particules entrent en contact, c'est à dire s'approchent au dessous d'une distance limitée du diamètre de la sphère d'attraction entraînant chaque particule.

Le mécanisme de transport en agissant sur les probabilités de rencontre joue donc un rôle capital dans l'agglomération des particules.

Il existe deux mécanismes de transport :

- le mouvement brownien (mouvement thermique)

Les particules ont un mouvement désordonné et la probabilité de rencontre est faible.

– l'agitation du milieu crée un gradient de vitesse au sein du liquide, et pourra rapprocher les particules, la probabilité de rencontre augmente.

La fréquence de collision par unité de volume énoncée par Smolushowski :

$$N = \frac{1}{6} (n_1, n_2, \dots) (d_1, d_2, \dots)^3 G \quad (10) \quad (17)$$

N = fréquence des particules en collision

n_i : nombre de particules par unité de volume

d_i : diamètre de ces particules

G : gradient moyen de la vitesse dans le volume considéré

$$G : F(P, V, \mu L) = \left(\frac{P}{\mu L V} \right)^{1/2}$$

P : Puissance dissipée

V : Volume du flocculateur

μL : Viscosité du milieu

Expérimentalement, on s'est aperçu qu'il existe une plage optimale pour G (T^{-1})

$$20 \text{ s}^{-1} < G < 50 \text{ s}^{-1}$$

Le transport par diffusion brownien prédomine quand :

- la température est élevée
- les particules petites
- agitation mécanique faible

Le transport par gradient de vitesse prédomine dans des conditions opposées, on distingue 2 phases successives dans l'agglomération des particules initialement très petites

– Phase pericinétique

L'agglomération des particules est caractérisée par la diffusion brownienne, elle est d'autant plus rapide que la température est élevée. La vitesse d'agglomération est indépendante du gradient de vitesse, c'est à dire l'agitation mécanique, dans ce cas les particules s'agglomèrent sous forme de microflocs.

– Phase orthocinétiques

La vitesse est imposée par l'agitation mécanique du milieu, l'agglomération des particules dépend donc du gradient de vitesse. Au cours de cette phase, les microflocs s'agglomèrent pour donner des gros flocs qui peuvent être séparés par des procédés physiques.

.../...

Les sels minéraux, sont plus efficaces, ils assurent correctement la séparation de la phase aqueuse par des phénomènes distincts.

- 1) au point de vue chimique : rompre l'émulsion, et neutraliser les particules : la coagulation
- 2) au point de vue physique , chimique : rassembler le système destabilisé
- 3) au point de vue physique séparer les composés floculés par décantation.

Le traitement dépend donc de 2 facteurs principaux.

- la stabilité intrinsèque du système et comment le destabiliser
- la vitesse de coagulation floculation du système destabilisé.

III.3. TRAITEMENT PHYSIQUE

LA DECANTATION

III.3.1. INTRODUCTION

Le traitement physico-chimique permettait aux M.E.S. vrais, c'est à dire aux colloïdes dispersés de se rassembler sous forme de floccs. La décantation revient à éliminer ces floccs par *sédimentation*, en faisant passer l'eau soit dans un appareil combiné au flocculateur, soit dans un bassin séparé, ayant des formes adaptées à cet effet. Ces bassins sont dits décanteurs ou clarificateurs, fonctionnant en continu ou en discontinu. On recueille l'eau clarifiée en surverse du bassin, et les matières décantées seront déposées au fond de ce bassin où elles seront évacuées appelées généralement sous-verse.

III.3.2. PRINCIPE DE LA DECANTATION

Une particule en suspension dans l'eau est soumise à plusieurs sollicitations :

- entraînement gravitaire du fait de son poids apparent par rapport à l'eau.
- résistance de l'eau par ~~frottement~~ frottement
- interaction entre les particules et les particules voisines (phénomènes électrochimiques, forces de Van derwaals...)

En fait le mouvement de la particule est donnée par la résultante de toutes ces forces. On définit ainsi par la loi de Stokes, la vitesse de décantation d'une particule, assimilée à une sphère de rayons, d'une densité ρ_s , dans un milieu liquide de densité ρ_L , g l'accélération de pesanteur et η coefficient de viscosité

$$V_s = \frac{r^2 g (\rho_s - \rho_L)}{18 \eta} \quad (\text{eq 10})$$

Le procédé de décantation peut être classé en 3 catégories, suivant la nature des solides existants en suspension

- les particules grenues
- les particules flocculées
- les particules décantant par couche.

Dans le cas des particules flocculées, 2 possibilités peuvent se présenter :

- Si la coagulation est terminée nous sommes ramenés à la situation des particules grenues
- Si la coagulation n'est pas terminée, elle se poursuit dans le décanteur. Les particules peuvent se rassembler par coalescence et ainsi décanter avec une vitesse croissante.

III.3.2.1. Décantation des particules grenues

Les particules grenues qui se sédimentent indépendamment les uns des autres ont une vitesse constante.

.../...

Cette vitesse est fonction de la densité, et des forces visqueuses, elle est définie par la relation suivante (calculée d'après la formule de Newton)

$$V_s = \sqrt{\frac{4g(\rho_s - \rho_L)D}{3C_D}} \quad , \quad (\text{eq 11})$$

ρ_s : Poids spécifique de la particule

ρ_L : Poids spécifique de l'eau

D : Diamètre de la particule

V_s : Vitesse terminale en cm/s

C_D : Coefficient de traînée lié au nombre de Reynolds Re par la formule : $C_D = a Re^{-n}$
a et n étant des coefficients

$Re = \frac{V_s d}{\eta}$ peut être interprété comme le rapport de forces d'inertie aux forces des viscosités dynamiques

III.3.2.2. Décantation des particules floculées ou décantation diffuse

On appelle décantation diffuse lorsque la vitesse de sédimentation augmente au fur et à mesure de la décantation le long de la profondeur du bassin; par suite de la coalescence des particules entre-elles.

III.3.2.3. Décantation par couches de particules ou décantation freinée. (20) 11)

La décantation freinée est caractéristique des suspensions de coagulation, lorsque la concentration en matières solides dépasse environ 500 mg/l. Les particules adhèrent entre-elles et la masse décante en piston en formant une interface distinct entre le floc et le liquide surnageant.

La variation de la hauteur de l'interface (eau clarifiée-toue) est fonction du temps $H = f(t)$

Elle est déduite de la courbe de Kynch en référence à sa théorie.

Théorie de Kynch : qui dit que la vitesse de chute d'une particule quelle que soit sa taille et sa densité est fonction seulement de la concentration locale C en particule de la zone qu'elle traverse.

Cette courbe présente 4 phases distincts :

A - B : Phase de coalescence des flocons formation de l'interface plus ou moins perceptible).

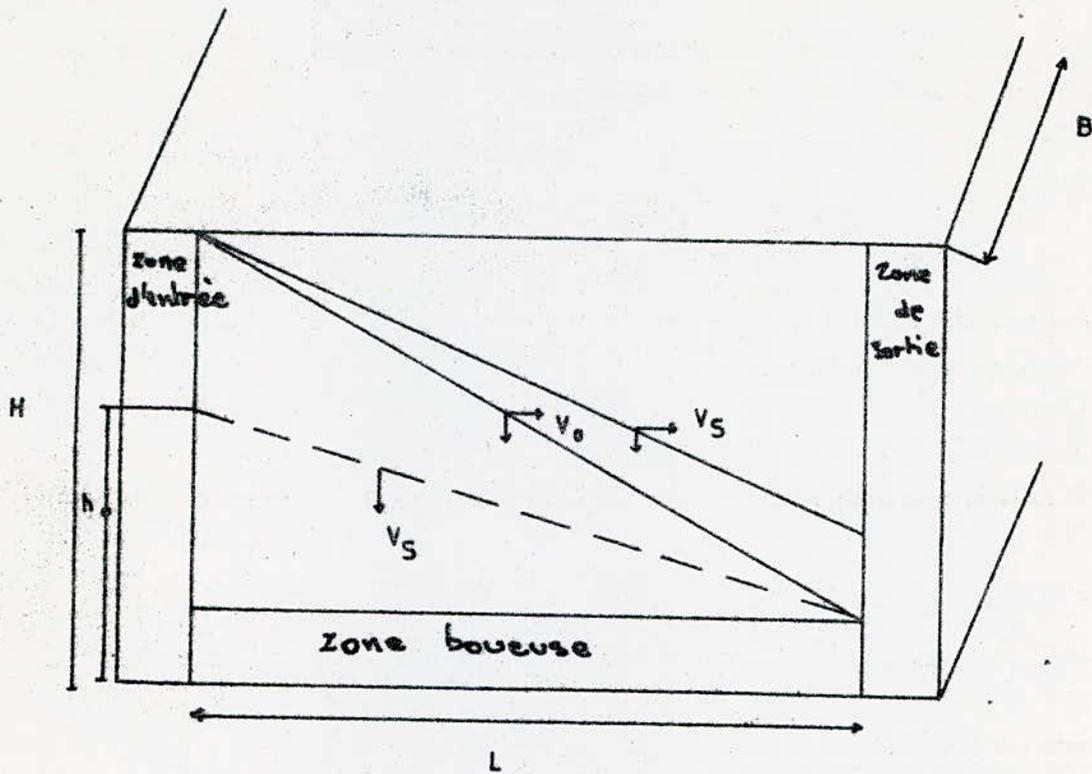
B - C : Zone de rétention ; c'est la partie linéaire qui traduit une vitesse de chute constante, le taux de sédimentation est fonction de la concentration des matières solides :

$$V_0 = f(C_0) , C = C_0 \Rightarrow V_s = \frac{dH}{dt} \quad \text{Pente de BC}$$

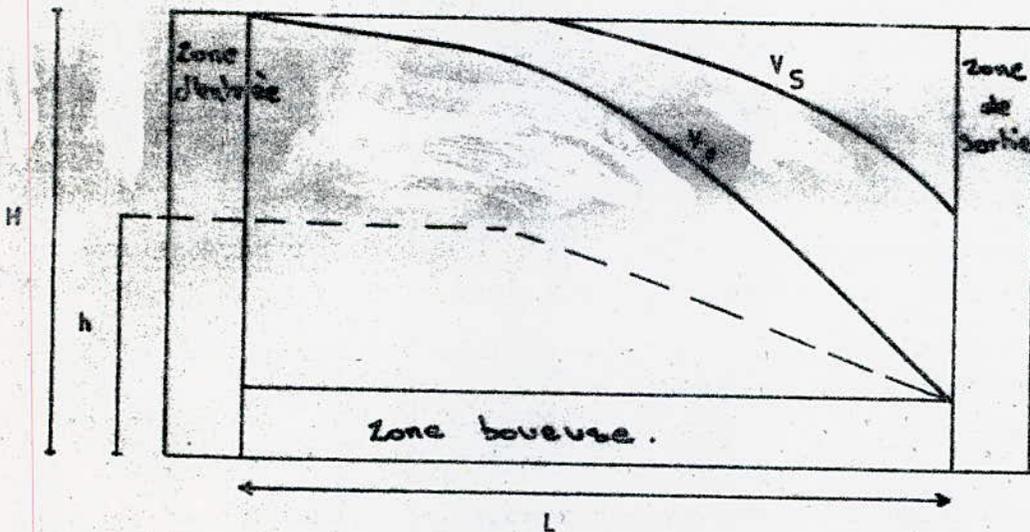
C - D : Il résulte une zone de transition au travers laquelle la vitesse de décantation diminue en raison de l'augmentation de la densité, et de la viscosité de la suspension.

C : Variable : $V_s = \left(\frac{dH}{dt} \right)$ Pente la tangente CD

.../...

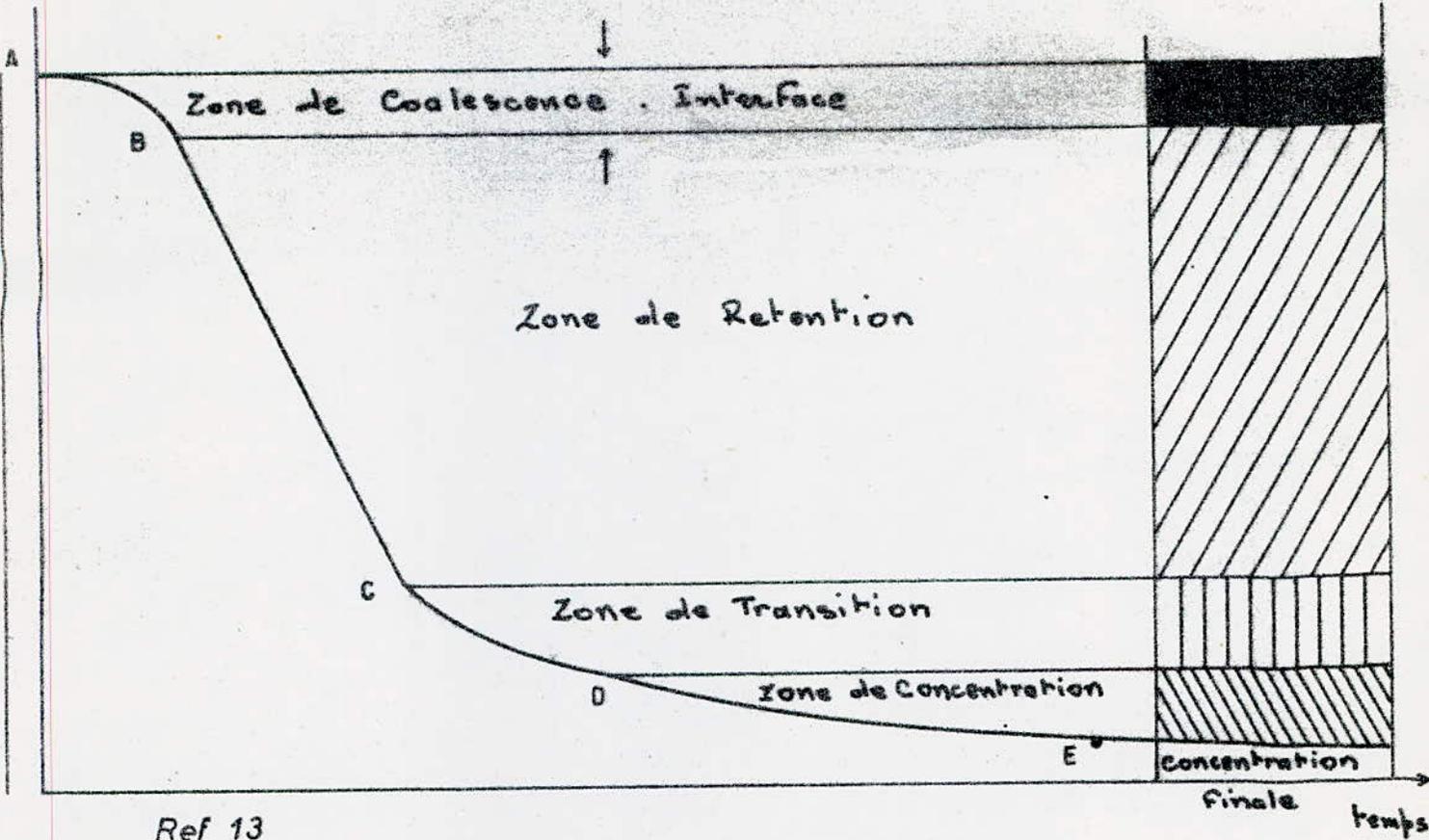


Ref 13 DECANTATION DES PARTICULES GRENUES



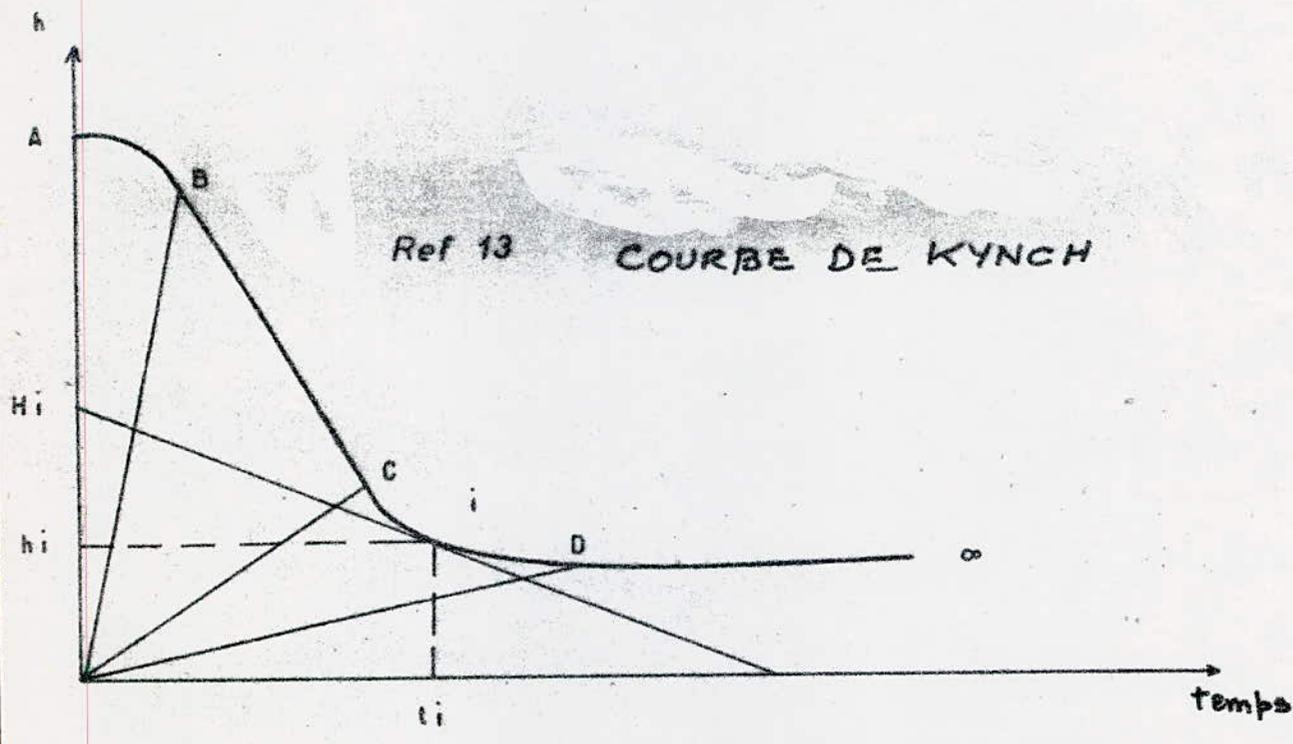
Ref 13 DECANTATION DIFFUSE

$h = f(t)$ ou $h =$ hauteur d'interface



ZONE DE SEDIMENTATION

Ref 13 COURBE DE KYNCH



– D – E : Zone de compression et de concentration. Les flocons se touchent et exercent une compression sur les couches inférieures

$$C = C_u \quad V_s = \frac{dH}{dt} = 0$$

Kynch a établi sa théorie pour la partie B – D.

III.3.3. INFLUENCE DES DIFFERENTS PARAMETRES

a) Caractérisants la suspension

Parmi les paramètres caractérisants le liquide seul : la température qui joue un rôle, car plus elle est grande et plus la viscosité diminue et plus V_s augmente. Mais cette augmentation doit être limitée à cause des courants de convection qui ont pour effet de remettre les particules en suspension.

Les paramètres caractérisant la matière solide en suspension sont nettement plus importants :

- la forme de la particule
- la distribution des particules

le poids spécifiques et le diamètre des particules, ou des flocons (dans ce cas de la coagulation le poids spécifiques du floc peut atteindre des valeurs tels que $1,002 \text{ kgf/dm}^3$ qui est proche de l'eau, donc l'augmentation du diamètre du floc lors de la coagulation est bénéfique pour l'augmentation de V_s .

- la concentration des particules.

b) Caractérisant le décanteur

Ces paramètres sont plutôt d'ordre hydrodynamiques et dépendent de la forme géométrique du décanteur.

– Le régime d'écoulement turbulent est à éviter pour ne pas perturber la décantation, ce régime peut provenir des vitesses d'écoulements excessives.

Il faut maintenir le plus possible un régime laminaire tels que Re soit inférieur à 2000.

- La stabilité du flux intervient également il est vérifié par le coefficient de Froude :

$$Fr = \frac{V_o^2}{g R} \quad \text{et doit être supérieur à } 10^{-5}$$

R : Rayon hydraulique

V_o : Vitesse du liquide

– Les courants de convection liés aux différentes locales de température, de densité, des conditions atmosphériques tels que le vent etc...

Les paramètres que nous venons de citer peuvent en général être éliminés là où ils apparaissent le plus possible :

– d'une part à l'entrée du décanteur où il faut éviter le contact trop direct entre les eaux déjà chargées et les eaux brutes pour supprimer par exemple les courants de densités, une distribution de vitesses à l'entrée devra être la plus uniforme possible.

.../...

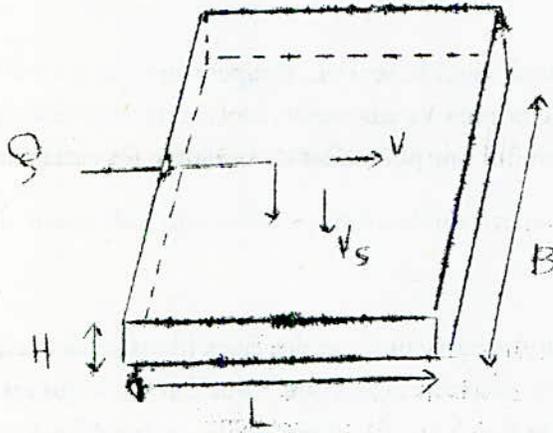
– d'autre part à la sortie où une garde hydraulique suffisante devra être réalisée.

III.3.4. THEORIE DE LA DECANTATION

III.3.4.1. Théorie de HAZEN

(ref 16)

Hazen a défini les 3 paramètres les plus importants :



– Le temps de rétention : $T = \frac{V}{Q} = \frac{LBH}{Q}$ (en continu)

– T : temps de sédimentation (en discontinu)

– la vitesse de circulation $V = \frac{Q}{BH} = \frac{Q}{St}$

– Vitesse de surverse $V_o = \frac{Q}{LB} = \frac{Q}{S_s}$

Le temps où une particule atteint le fond : $T' = \frac{H}{V_s}$ on

on peut exprimer :

$$\frac{T'}{T} = \frac{LBu}{Q} \quad \text{et} \quad \frac{T}{T'} = \frac{S_s}{S} \frac{V_s}{V_o} = \frac{T}{T'} = F(V_s, V_o)$$

On peut en déduire les 2 lois fondamentales de Hazen.

1) pour un débit, l'efficacité de la décantation est fonction de la vitesse de surverse, cela signifie que l'efficacité du décanteur est indépendante de H.

.../...

2) pour V_0 et V_s donnés, les particules pour lesquels $V_s \geq V_0$ décanteront totalement tandis que les particules ou $V_s < V_0$ décanteront dans le rapport V_s/V_0 pour une décantation horizontale, et s'échappant pour une décantation verticale.

III.3.4.2. Théorie de Camp ou du bassin idéal

(voir 16)

Camp a repris la théorie de Hazen et l'applique entre 2 lamelles : pour un écoulement considéré comme idéal, c'est à dire en reprenant les hypothèses suivants :

- particules identiques
- écoulement horizontal avec V_0 constant quelque soit H.
- concentration des particules constante en tout point de H.
- une particule est considéré comme ayant quitté le bassin lorsqu'elle atteint le fond, après un temps $t = \frac{H}{V_s}$

or, la surface entre 2 lames étant calculée pour imposer $T' = \frac{H}{V_s}$

Toutes les particules tels que $V_s \geq V_0$ auront atteint le fond avant T' . Toutes les particules tels que $V_s < V_0$ n'atteindront le fond que dans la proportion de la hauteur h et le reste quittera le décanteur.

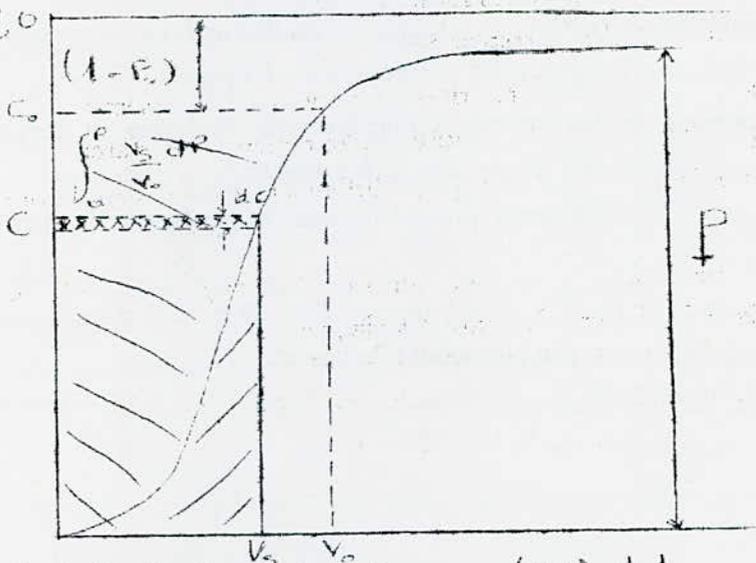
On aura donc : $H = T' V_s$ et $h = T' V_0$ et la proportion qui sédimente est dans le rapport

$$\frac{h}{H} = \frac{V_s}{V_0}$$

Ce qui permet de dire que le rendement total de la décantation sera donné par :

$$Z = (1 - P_0) + \int_0^{P_0} \frac{V_s}{V_0} dP$$

P_0 : fraction des particules ayant une vitesse de sédimentation supérieur à V_0



Courbe de distribution de vitesse :

(voir 16)

III.3.5. LES DECANTEURS OU CLARIFICATEURS

Le débit d'arrive, la profondeur H , la surface horizontale S_H , constituent des données importants pour la construction d'un clarificateur. Un autre facteur à considérer est l'élimination des boues qui se forment dans le fond du bassin. Pour rassembler les boues, puis les éliminer on dispose de plusieurs moyens :

- bassins à fond fortement incliné
- bassins à fond recte faiblement incliné
- bassins à fond plat avec goulotte de réception.

L'élimination de la boue se fait suivant la forme du décanteur par un pont roulant par un pont roulant, par raclage, par succion. La forme du décanteur est généralement rectangulaire ou circulaire, le choix de l'un ou l'autre dépend plus des considérations du génie-civil ou de la place disponible.

Cependant suivant le sens de circulation on distingue :

- Décanteur à circulation vertical
- Décanteur à circulation horizontale

Pour améliorer la décantation, on a introduit dans des décanteurs classiques des modules de séparation, dans le but d'accélérer la décantation ; ce sont les décanteurs lamellaires. Le temps de rétention peut être réduit de 2 h à 15 mn. L'Effluent est canalisé de façon homogène dans des conduites en parallèles de section constants.

III.3.6. DECANTEURS TUBULAIRES INCLINES ET LAMELLAIRES (16)

Le but de la disposition particulière de ces conduits un'formes est de favoriser la séparation rapide des suspensions de l'eau, et de recueillir les boues ainsi produites par gravité.

Il est donc nécessaire que les surfaces sur lesquelles les particules se déposeront soient suffisamment inclinés pour éviter qu'elles ne restent accrochées sur les parois.

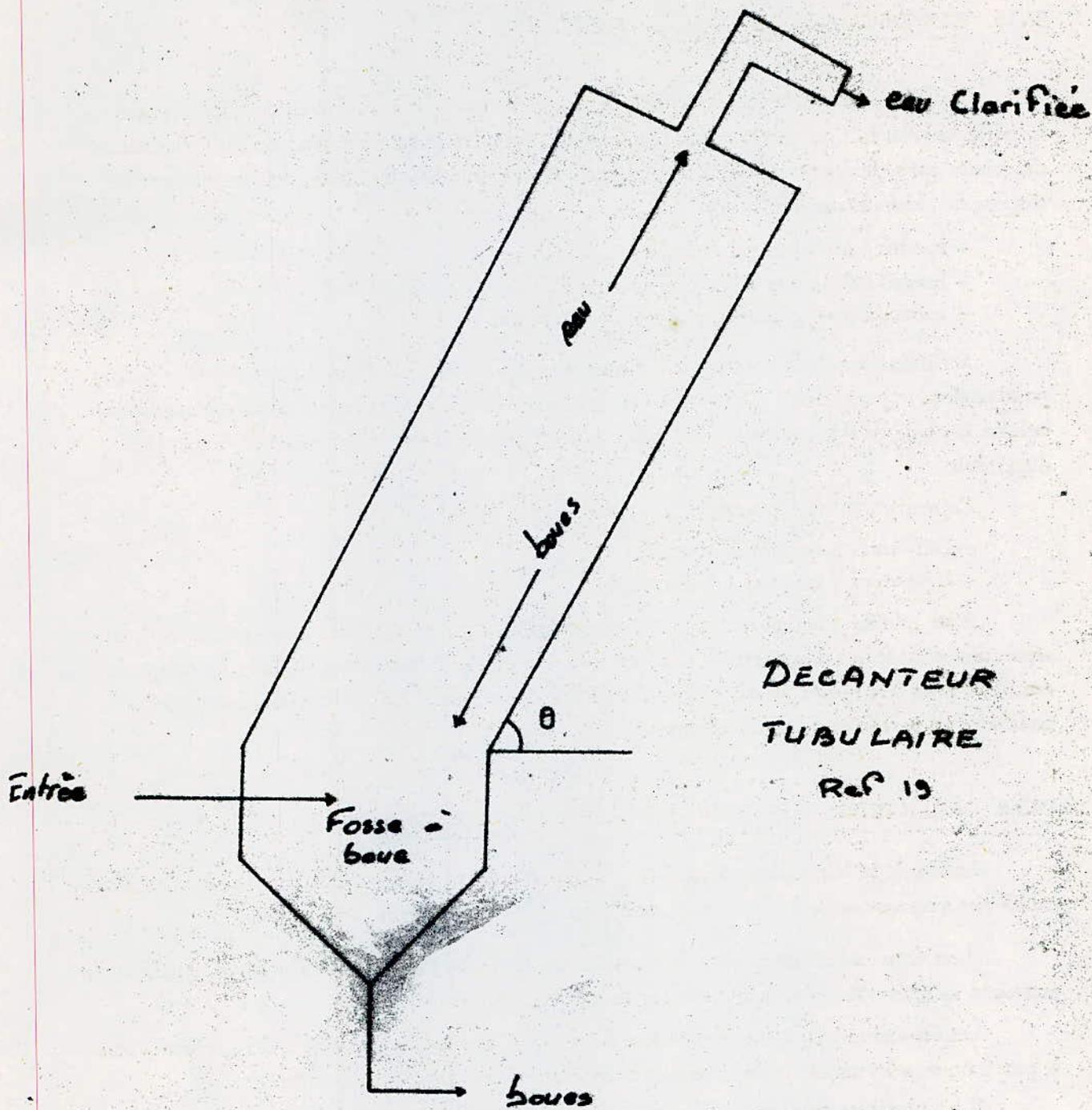
Les dispositions doivent de plus être prises pour favoriser le glissement des particules vers le puit à boue, sans risque de turbulence susceptible de les remettre en marche.

Il y a plusieurs modèles de décanteurs qui se différencient par le sens de circulation respectifs de l'eau et des boues.

Definissons pour cela le système de coordonnées : Ox , Oy , Oz dans lequel :

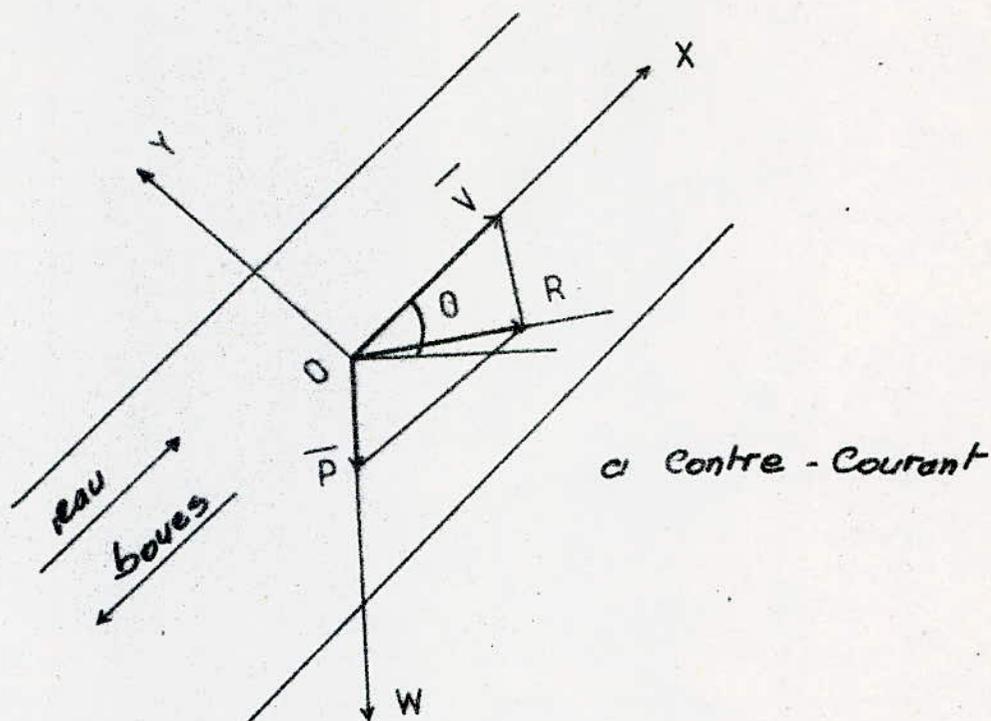
Ox : est parallèle à la ligne de plus grande pente des plaques.

Oy : est perpendiculaire aux plaques.

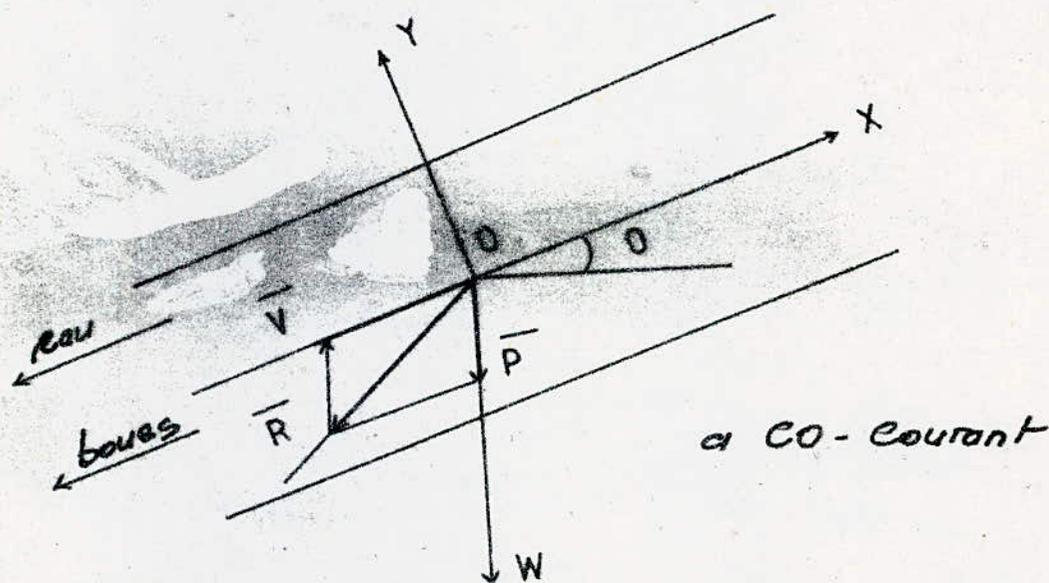


DECANTATION TUBULAIRE OU CAPILLAIRE INCLINÉE

Ref 4



L'angle θ peut varier de 55 à 60°



L'angle θ est de 30° environ

OZ : est perpendiculaire au plan XOY

OW : est un axe de coordonnées particulier dirigé suivant la verticale.

θ : angle formé par OX et l'horizontale et suivant le sens de circulation des boues et de l'eau on a :

Système à contre courant (ref 4)

Le liquide se déplace suivant V sur l'axe OX dans le sens positif. La particule en suspension est soumise également à P sur l'axe OW .

La résultante R tend à faire déposer la particule sur la plaque inclinée.

L'eau floculée pénètre à la base des plaques ou du tube incliné ; le trajet de l'eau va de bas vers le haut. Les boues se déposent sur les parois et glissent vers le bas pour se rassembler dans la fosse à boues.

La boue déposée circule à contre courant de l'eau.

Système de à co-courant (ref 4)

Le liquide se déplace suivant V sur l'axe OX dans le sens négatif. La particule en suspension est soumise à P sur l'axe OW . La Résultante R tend à faire déposer la particule sur la paroi inclinée.

Une fois les boues sont déposées, leur entrainement le long de la paroi n'a pas lieu uniquement sans l'effet de la pesanteur, mais aussi grâce à l'effet d'arradiement et d'entrainement des boues par le courant liquide. Les boues roulent sur les parois et vont se concentrée dans la fosse à boues.

L'eau décantée est reprise dans la partie supérieure.

La boue déposée circule dans le même sens que l'eau.

CONCLUSION :

La coagulation décantation revêt une très grande importance à plusieurs titres ; :

90 % environ des colloïdes sont éliminés à ce niveau de traitement.

C'est une phase capitale pour l'élimination de la micropollution.

IV. PARTIE EXPERIMENTALE

IV.1. METHODE DE PRELEVEMENT

Les différents paramètres sont déterminés sur des prélèvements effectués tout les 2,3 jours ; vu les contraintes et difficultés, tels que les capacités matériels, l'éloignement et également en raison du volume important d'analyses.

Par le manque d'appareillage de prélèvement, on a opté pour un prélèvement manuel, dans des récipients bien propres rincés plusieurs fois avec l'eau à prélever, ces échantillons sont transportés dans une jerrican et flacons de verres parfaitement étanches. ~~Malheureusement~~ on a pas pu les conserver dans un milieu de température inférieur à 4° C, dû au manque de moyen matériel.

Cependant, les prélèvements ont été effectués avec le maximum de précaution.

Les différents points de prélèvements sont :

- à l'entrée du décanteur (5)
- à la sortie du décanteur et des ~~filtres~~ (4)
- à l'entrée du bassin d'accumulation (3)
- à la sortie du bassin d'accumulation (2)
(avant les filtres)

Ces prélèvements sont effectués pour déterminer l'efficacité du traitement mis en place à la raffinerie.

- à la sortie de l'évacuation vers l'oued Adda (1) effluent final

Pour déterminer la charge de l'effluent rejeté et l'efficacité du traitement complémentaire qui est la coagulation décantation par la méthode du Jar-test.

IV. 2. PRINCIPES ET METHODES DE DOSAGES

a) détermination de la DCO

définition : la DCO est la quantité d'oxygène qui est équivalente à la quantité du dichromate de potassium consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables.

Principe : Les matières oxydantes sont oxydées par une solution de dichromate de potassium ($K_2 Cr_2 O_7$) en milieu acide sulfurique ($H_2 SO_4$)

L'interférence due aux Ions chlorures (Cl) est évitée en ajoutant du sulfate de mercure (Hg SO4)

- l'échantillon fortement acide est porté à ébullition (en présence de Ag SO4 + H2 SO4 + excès de K2 Cr2 O7) pendant 2h sous reflux.
- l'excès d'oxydant non consommé est ensuite déterminé par un titrage en retour par le sel^{de} Mohr (sulfate d'ammonium et de fer) (NH4)2 Fe (SO4)2 6 H 2O).

Expresion des résultats

La demande chimique d'oxygène est exprimée en mg d'oxygène par litre et est égale.

$$DCO = \frac{8.000 (a - b) t}{V} \text{ mg d'O}_2/1$$

b) = quantité nécessaire à la solution (NH4)2 Fe (SO4)2 6 H2O pour obtenir le virage au rouge violacé.

- procéder aux même opérations avec l'eau distillée, et déterminer la quantité a de Fe (NH4)2 (SO4)2 nécessaire au virage pour 20 ml d'eau distillée.

t = concentration de Fe. (NH4) 2 (SO4)2

V = volume de l'échantillon

b) détermination de la DBO5

définition : la demande biochimique en oxygène est défini comme la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai, c'est à dire après incubation durant 5 jours à 20° C, et dans l'obscurité par certaines matières présentes dans l'eau.

Principe : La mesure de la DBO5 a été effectuée par un DBO mètre, constitué de 6 bouteilles, baignées dans un bain marie de 20° C, et reliées à un tube contenant du mercure.

Ces bouteilles sont mis en incubation pendant une période de 5 jours. Les germes aerobies vont ainsi consommer une partie de l'oxygène dissous, La diminution d'oxygène correspond à la hauteur du mercure lue sur le tube gradué ou bout de 5 Jours.

Résultat : la demande biochimique en oxygène est exprimée en milligramme d'oxygène par litre, est égale :

$$DB05 = h \cdot g \cdot X \cdot F$$

F = facteur de dilution correspondant au volume d'échantillon analysé.

Hg = hauteur du mercure lue sur l'appareil.

c) dosage de l'azote "KJELDHAL"

Principe : l'azote Kjeldhal est le total de l'azote ammoniacal et l'azote organique, l'azote organique rencontré dans l'eau est principalement constitué par des protéines, des polypeptides et des acides aminés.

Le dosage de l'azote Kjeldhal permet la détermination de l'azote de ces produits ainsi que l'azote ammoniacal présent; mais ne dose pas l'azote des nitrates et des nitrites. La teneur en azote organique peut être obtenue par déduction faite de l'azote ammoniacal déterminé séparément de l'azote kjeldhal.

Les matières organiques sont détruites avec de l'acide sulfurique et un catalyseur, pendant la destruction, l'azote organique est transformé en azote ammoniacal.

L'ammoniac formé pendant la destruction est distillé de la solution en milieu alcalin, et recueillie dans un tampon borique; puis titré par une solution d'acide sulfurique.

Résultat : la teneur en azote de Kjeldhal exprimé en mg azote/l est égal :

$$N. - \text{Kjeldhal} = \frac{14.000 (a - b) \cdot t \cdot \text{mg N/l}}{V}$$

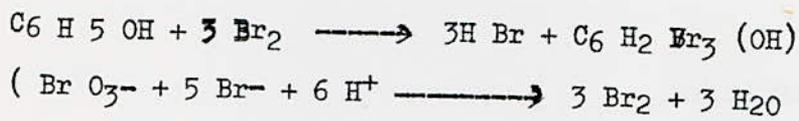
a) = volume de H₂ SO₄ jusqu'au virage de l'échantillon du vert au rouge faible.

b = volume de H₂ SO₄ jusqu'au virage de la solution à blanc du vert ou rouge faible.

t = titre de la solution de H₂ SO₄

d) dosage des phénols

Principe : après concentration et purification de l'échantillon à l'éther éthylique, le phénol est soumis à une bromuration; la réaction mène à la formation des bromophénols.



l'excé de brome (correspond aux dérivés bromés) formé à partir des composés hydroxyles de la solution est titré par l'iode libéré ; dosé par la solution de thiosulfate.

On effectue un témoin avec de l'eau distillée et on le traite dans les mêmes conditions que l'essai.

Résultats .

soit :

n_1 = le nombre de millilitres de thiosulfate de sodium utilisé pour le dosage de l'échantillon.

n_2 = le nombre de millilitres de thiosulfate de sodium utilisé pour le dosage du témoin.

V = volume en millilitre de la prise d'eau initiale. La concentration en phénol exprimée en mg/l est donnée par l'expression.

$$\text{phénol} = \frac{(n_1 - n_2) \times 1,567 \times 1.000}{V} = \text{mg/l}$$

V

e) dosage des chlorures

Méthode de Mohr

Principe : le dosage des chlorures est effectué pour déterminer la teneur des chlorures et voir si ces chlorures interfèrent lors de la détermination de la DCO. Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de AgNO_3 , en présence H_2CrO_4 comme indicateur. Un précipite brun de Ag_2CrO_4 se forme au point d'équivalence.

Résultat :

$$\text{Cl}^- = \frac{(V') \times T \text{ AgNO}_3 \times 1.000 \times 35,5}{V} = \text{mg/l}$$

V

V' = volume de AgNO_3

V = volume de la prise d'essai

T : titre de la solution AgNO_3

f) dosage des hydrocarbures

principe : si les quantités d'hydrocarbures sont importantes, il est possible de pratiquer une extraction par un solvant organique tels que l'ether ; puis pesée du résidu par évaporation du solvant. Cette méthode ne dose pas les produits volatiles, et donne des résultats par défaut d'autant plus élevés que les concentrations à mesurer sont faibles.

Leur mesure présente une grande difficulté d'estimation liée aux difficultés d'un échantillonnage moyen, correct, à l'absence d'une méthode caractéristique en hydrocarbures, en chantier, et la variabilité des résultats suivant une même méthode.

Résultat.

La teneur en hydrocarbures est exprimée en mg/l

$$\text{hydrocarbures} = \frac{(m_1 - m_2) \times 1000}{V} = \text{mg/l}$$

m_1 = masse de la capsule

m_2 = masse de la capsule après l'essai

V = volume de la prise d'essai

IV.3 : ESSAI EN BATCH : DETERMINATION DU TAUX DE TRAITEMENT PAR JAR TEST

La méthode la plus répandue et la plus simple est celle dite du Jar-Test, qui cherche à reproduire à toute petite échelle des processus complexes de la coagulation et de la coalescence des flocons. Elle consiste à évaluer l'efficacité et le taux du réactif : FeCl_3 . On choisit le taux à partir duquel le résultat est meilleur.

Le taux de concentration ainsi déterminé est utilisable pour la coagulation suivie d'une décantation.

Par manque d'agitateurs à plusieurs positions, on utilise une série d'agitateurs magnétiques.

- remplir 5 bechers d'un litre d'eau usée à analyser.
- ajouter simultanément les 5 doses de coagulant sous forme liquide sous une agitation rapide et courte pour la dispersion du FeCl_3
- Choisir une vitesse d'agitation lente de telle manière qu'il n'y ait pas de cassage de floccs, et pas de décantation.

- comparer dans les 5 bechers à dosage différent : la taille des floccs, la clarification du surnageant, la vitesse de sédimentation et le P. de floculation.

- Agitation rapide : 3mn

- Agitation lente : 17mn

- décantation : 20mn

Le Jar-Test comprend 3 parties importantes :

a) agitation rapide (courte)

quand on introduit la solution du $Fe Cl_3$, on effectue une agitation rapide pour la dispersion du coagulant et l'homogénéisation de la solution. Cette agitation empêche toute aggrégation de particule donc elle est très de courte durée.

b) agitation lente et prolongée

c'est la phase la plus importante. Elle permet la formation et l'homogénéisation des floccs ; c'est à dire il ya aggrégation des particules, et augmentation de la taille du flocc sans qu'il soit cassé (par l'agitation) ni décanté. La prolongation de l'agitation lente au delà de 15 à 20mn permet d'homogénéiser davantage la dimension des floccs et d'en augmenter la densité.

c) la Décantation

phase de clarification. Les floccs d'hydroxydes sous l'effet du poids décantent suivant la vitesse de stocks. Il se forme une partie clarifiée et une partie floconneuse.

IV.3.1 Note de flocc : aspect de floculation

Cette méthode nous donne une idée de la taille des floccs. On l'évalue de la façon suivante :

- 0 : pas de flocc,
- 1 : flocc à peine visible, petits points ;
- 4 : petit flocc,
- 6 : flocc de dimension moyenne,

- 8 : bon floc,
10 : très gros floc.

IV.4 RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'étude expérimentale est basée sur trois phases :

- 1) détermination de l'efficacité de la chaîne de traitement mis en place à la raffinerie d'Alger.
- 2) coagulation floculation de l'effluent par Jar Test, pour déterminer la dose optimale du chlorure ferrique.
- 3) étude de coagulation floculation dans les différents domaines du PH
 - A) essai du Jar Test à concentration de $FeCl_3$ constante et à PH variable. Ceci pour déterminer le PH optimum en fonction de la dose optimale du $FeCl_3$,
 - B) essai du jar-test dans deux domaines du PU bien déterminés.
 - PH acide : 4,3
 - PH basique : 9.

Pour caractériser la qualité du floc et de la boue

On n'a pas pu suivre tous les paramètres durant toute la partie expérimentale pour diverses raisons.

- manque de réactifs, tel que le sulfate de mercure, pour la détermination de la DCO,
- nombre insuffisant de ballons de Kjeldhal pour la détermination de l'azote total (3ballons pour 7 échantillons).
- de même par le manque de réactif pour la détermination des phénols par colorimétrie, on a opté pour la méthode volumétrique. Or, cette méthode a présenté des difficultés durant nos essais, dont on n'a pas pu déterminer les causes. Cependant, on pense qu'au cours du dosage, il y eut :
 - x soit une interférence
 - x soit que les phénols ne sont pas passés à l'état des phénates dans la phase aqueuse (phase étherée).

Les résultats obtenus sont approximatifs, par le fait que les échantillons n'ont pas été conservés dans un endroit frais à 4 °C ; ce qui a provoqué une évolution de certains paramètres, tels que la DCO, la DBO, de même la variation de la concentration en hydrocarbures légers.

1) première phase d'expérimentation.

correspond à la détermination de l'efficacité et des caractéristiques des effluents relatives à la chaîne de traitement mis en place à la raffinerie d'Alger.

a) les hydrocarbures :

À l'entrée du bassin de décantation (rejet des eaux huileuses) la teneur moyenne en H.C est de 1760 ng/l ; à la sortie (après les filtres de foin) elle est de 145,5 ng/l d'H.C. Donc le bassin de décantation présente une efficacité d'élimination de 90, 73%. Cependant la concentration en H.C dans le rejet final reste élevée par rapport aux normes. Les filtres à foin ont une efficacité très médiocre vu leur état. Dans l'accumulateur, il y a présence d'H.C malgré la définition propre de ce bassin. Il n'a aucune efficacité d'élimination, si ce n'est la mise en place d'une pompe pour aspirer la couche d'huile superficielle.

b) les phénols :

La concentration moyenne des phénols dans le bassin de décantation est de 120 ng/l.

L'efficacité d'élimination est très faible. Il en est de même pour le bassin d'accumulation. Pour les 2 bassins l'efficacité de traitement est de l'ordre de 15 % environ.

c) l'azote total :

La teneur moyenne en azote total dans le bassin de décantation est de 16 ng/l, et dans l'accumulateur, elle est de 8 ng/l environ l'efficacité de chaque traitement est faible.

d) les matières en suspension

La concentration en M.E.S est importante dans les deux bassins. Dans le bassin de décantation, la teneur est de 1.250mg/l environ, et de 600 mg/l dans l'accumulateur.

Cependant pour le bassin de décantation, l'élimination est de 90%, pour l'accumulateur elle est de 65% ceci due à la présence d'une grande quantité de boue purgée des installations de traitement.

e) le PH

Mesuré à la sortie du bassin de décantation, le PH est égal à une valeur moyenne de 6. A la sortie de l'accumulateur, le PH est égal à 8,5. Ce PH alcalin est provoqué par la présence de la boue provenant de la décarbonatation à la chaux de l'eau consommée.

Conclusion :

L'installation existante à la raffinerie est prévue pour éliminer la majeure partie des polluants, mais le seuil des normes de rejet n'est pas atteint.

2) deuxième phase d'expérimentation :

Correspond à l'essai du Jar test, sur l'eau brute prélevée de l'évacuateur. On a choisi des taux de traitement variant dans une fourchette de 50 à 100mg/l. (voir tableau 1,2,3).

A 50 mg/l de $Fe\ Cl_3$, le floc est à peine visible, et les résultats d'analyses sont médiocres. Cependant la floculation commence à apparaître à partir de 60 mg/l de $Fe\ Cl_3$. On constate que les floes présentent une couleur rouille, qui s'accroît à chaque augmentation de la dose de $Fe\ Cl_3$. Egalement, le surajout à une très légère teinte rouille à peine perceptible, due à l'ion ferrique. La floculation est meilleure à 65-70 mg/l de $FeCl_3$, de même que la décantation (voir les tableaux 1, 2, 3)

a) le PH de floculation : PHf

Le PH de l'effluent brut est de 6,9 à 7,2. Ce PH décroît par suite

de la réaction d'hydrolyse du FeCl_3 , qui conduit à la formation de l'hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$ qui floccule les H-C et autres polluants.



Ce PH diminue au fur et à mesure que la dose du FeCl_3 augmente, comme le montre la réaction écrite ci-dessus.

b) Les hydrocarbures

Le maximum d'élimination des H-C correspond à un taux de traitement de 65 à 70 mg/l (tableaux 2,3)

c) les phénols

La dose optimale pour l'élimination des phénols se situe à 65 mg/l

d) l'azote total

A 90 mg/l de FeCl_3 , on constate une efficacité d'élimination de l'azote A 65 mg/l la concentration résiduelle est de 36 mg/l, alors que les normes de rejet sont de 30mg/l lorsque la charge du milieu récepteur est forte, et de 60 mg/l lorsque la charge du milieu est faible. On peut dire à la limite que cette teneur est acceptable à 65 mg/l de FeCl_3 .

e) la DCO

La mesure de la DCO est variable, par manque de conditions adéquats. Mais on constate que pour une concentration de 85 à 90 mg/l, une bonne partie de la DCO est éliminée, mais n'atteint toujours pas les normes de rejets qui sont de 90 à 120 mg/l, alors que la concentration résiduelle est de 168 mg/l. A 65 mg/l, la concentration de la DCO dépasse largement les normes de rejet. (tableaux et courbes 1,2).

On a resserré (tableau 3) l'éventail des doses du FeCl_3 autour de 62,65, 68 mg/l, on constate que la concentration optimale du FeCl_3 est de 65 mg/l pour l'élimination des H-C, et des phénols.

Evaluation du volume de boue et de la matière sèche (tableau 4, courbe 9)

La coagulation floculation, comme il a été mentionné précédemment, présente le problème des boues ; qui ont un aspect floconneux, hydrophiles (q (qui absorbent beaucoup d'eau). Après le Jar-Test, on a effectué un essai sur le cône Imhoff, et l'on constate que seule pour la valeur de 65 mg/l de $FeCl_3$, il y a compression des boues au bout de 24 h. Par contre pour les autres doses, le volume de boue a augmenté. En effet à 65 mg/l, de $FeCl_3$, les flocons sont plus volumineux, plus denses, et la décantation est plus nette que les autres.

Ensuite, on a filtré, et séché les boues à 105°C, et l'on constate que pour 65 mg/l également, la matière sèche est de faible quantité (courbe 10) ce qui facilite le traitement des boues.

Conclusion :

L'efficacité d'élimination de l'azote total croit en fonction de l'augmentation de la dose du $FeCl_3$; par contre, l'efficacité des phénols diminue, (on le constate nettement sur les courbe 1,2,3) 65mg/l de $FeCl_3$ correspond à un maximum d'efficacité des H-C et des phénols. Le PHf correspondant est 6,7 conforme aux normes de rejet

Tableau A

	Volume boue ml/eau brute					ma- tière sèche mg/l	Eff. H-C %	Eff. phe %	Eff. NK %	Eff. DCO %	PHf
	30mn	60mn	90mn	120 mn	24h						
65	0,15	3,5	4,5	6	5	18,4	91,4	63,3	57,2	37,2	6,7

3) troisième phase d'expérimentation.

correspondant à l'étude de la coagulation - floculation dans les différents domaine du PH.

A) consiste à maintenir le taux du $FeCl_3$ constant et à varier le PH du milieu de 3,7 à 10 ; pour déterminer le PH optimum à une concentration optimale.

- taux du $FeCl_3$: 65 mg/l (tableau 10)

La floculation est nettement meilleure pour un PH initial égale à 9, ce PH correspond à un PH de floculation de 8,5. On constate plus le PH initiale du milieu augmente, plus les boues présentent une structure lâche, floconneuse, et la couleur rouille devient de plus en plus caractéristique pour une dose fixe de 65 mg/l.

Tableau B

PHi	PHf	H-Cmg/l	ECOm _g /l	Eff.HC%	Eff DCO%
5,5	4,9	6	256,2	95,1	52,9
6,5	6,2	9,4	224,1	92,3	58,8
7,2	6,8	12,3	136,	90	75
9	8,5	5,4	119	95,6	78
10	9,8	7	224	94,3	58,8

a) les hydrocarbures : (courbe 18)

présentent maximum d'efficacité pour un PH de 9. Cet efficacité varie tout le long du domaine du PH.

b) la DCO (courbe 18)

L'efficacité d'élimination de la DCO augmente jusqu'à un maximum de 78% correspondant à un PH de 9, ensuite présente un palier de très faible pente jusqu'à un PHf de 9,5 (PHi = 10). A la valeur du PHf de 9 la DCO est conforme aux normes, puisque la concentration résiduelle est de 119,6 mg/l.

- taux du $FeCl_3$ = 80 mg/l.

Pour toutes les valeurs du PH, on a observé une bonne floculation cependant les résultats obtenus sont différents d'un PH à l'autre (tableau 11) A PH basique, la boue est caractérisée par la couleur, de même le surnageant présente une très légère couleur rouille.

a) les hydrocarbures (courbe 19)

Le maximum d'élimination se situe à un pHf de 7,2 correspondant à un pH initial de 9, mais ce maximum est moins important que dans le cas précédent.

b) la DCO (courbe 19)

La DCO est variable, cependant la courbe présente un maximum à un pHf de 7,2 (PHi = 9) cette efficacité est moins importante que dans le cas précédent également.

- taux de FeCl₃ : 100 mg/l (tableau 12)

La meilleure floculation se situe dans une gamme de pHf variant de 5,6 à 8,7 (PHi : 6,7 à 10). Tandis que dans la gamme des PH acides, les floes sont petits, le surnageant est trouble, donc il y a une mauvaise floculation.

a) les hydrocarbures : (courbe 20)

Le PH de floculation optimum se situe à 6,8 correspondant au PH initial de 9. On constate que l'efficacité augmente à cette dose.

b) la DCO

Le pHf optimum est à 6,8 (PHi = 9). A pH acide l'élimination de la DCO est très faible.

- taux du Fe cl₃ : 120 mg/l (tableau 13)

Dans ce cas on constate une nette différence entre la floculation se déroulant dans un milieu basique, et dans un milieu acide. A pH basique, les floes sont volumineux, lâches, de couleurs caractéristiques à l'ion ferrique. Le surnageant est limpide. A pH acide, les floes sont à peine visibles, le surnageant est trouble, il n'ya aucune clarification par rapport à l'eau brute, on assiste à une très mauvaise floculation.

a) les hydrocarbures

l'élimination des H-C augmente en fonction du PH. Le PHf optimum ; est de 6,5 correspondant au PH initial de 9.

b) La DCO

à PH acide, l'efficacité du traitement est très faible. Par contre à PH alcalin il y a une nette augmentation. Le maximum d'élimination se situe à un PHf de 6,5 (PHi = 9) .

Conclusion :

Dans cette phase d'essai la variation des H-C et de la DCO suit la même évolution, puisque pour les même PH optimum, les maximums et les minimums de chaque paramètres correspondent. l'efficacité des H.C et de la DCO augmente en fonction du PH du milieu, pour les différentes concentrations du $FeCl_3$. En effet, à PH acide l'efficacité d'élimination de la DCO est faible et, d'autant plus faible que la concentration du $FeCl_3$ augmente, de même pour les H-C. Ceci est due à la mauvaise flocculation lorsque le PH est acide.

Fe Cl_3 : 80mg/l				100 mg/ l,				120 mg/l			
PHi	PHf	Eff. H-C	Eff. DCO	PHi	PHf	Eff. H-C %	Eff. DCO %	PHi	PHf	Eff. H-C %	Eff. DCO %
3,7	3,2	187,6		3,7	3	79,2	16,6	3,7	2,9	48,8	13,4
5,5	4,4	90,7	39,9	4,5	3,3	85,2	20,	4,5	3,3	77,9	16,6
6,5	5,6	91,9	60,0	5,5	4,6	95,2	46,6	5,5	4,4	82	33,3
7,2	6,6	92,5	70	6,7	5,6	89,7	63,3	6,7	5,3	93,1	57,1
9	7,2	93,4	71	9	6,8	97,9	66,3	9	6,5	95	70
10	9,2	89,4	50	10	8,7	92,7	50,0	10	8,6	93,2	50

à PH basique les efficacités d'éliminations sont nettement meilleures, surtout pour DCO, et ceci est due à la bonne floculation qui se déroule dans ce milieu.

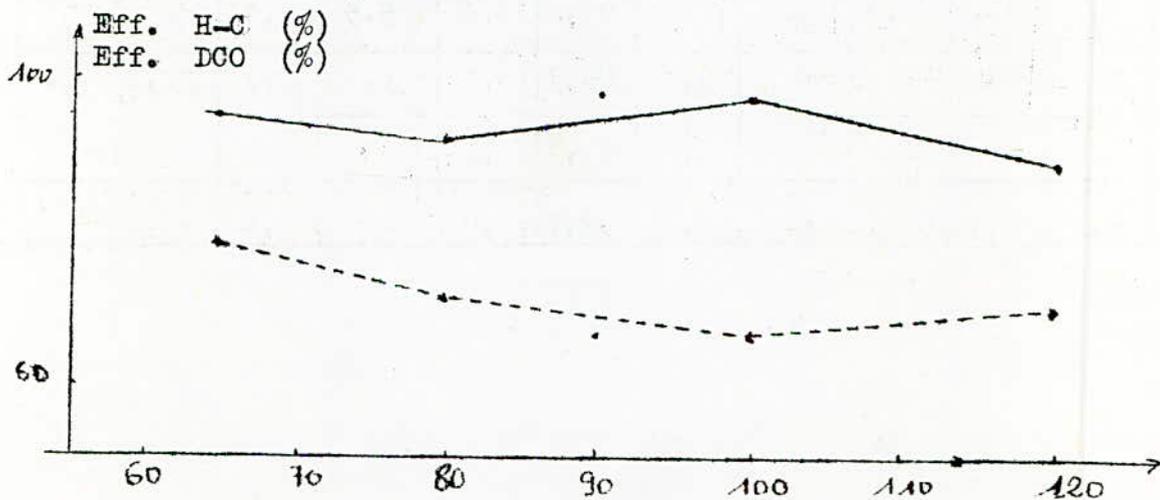
Dans cette partie, les maximums d'élimination des H-C et de la DCO sont observés lorsque le PH optimum du milieu est égal à 9, pour les différentes concentrations du $FeCl_3$.

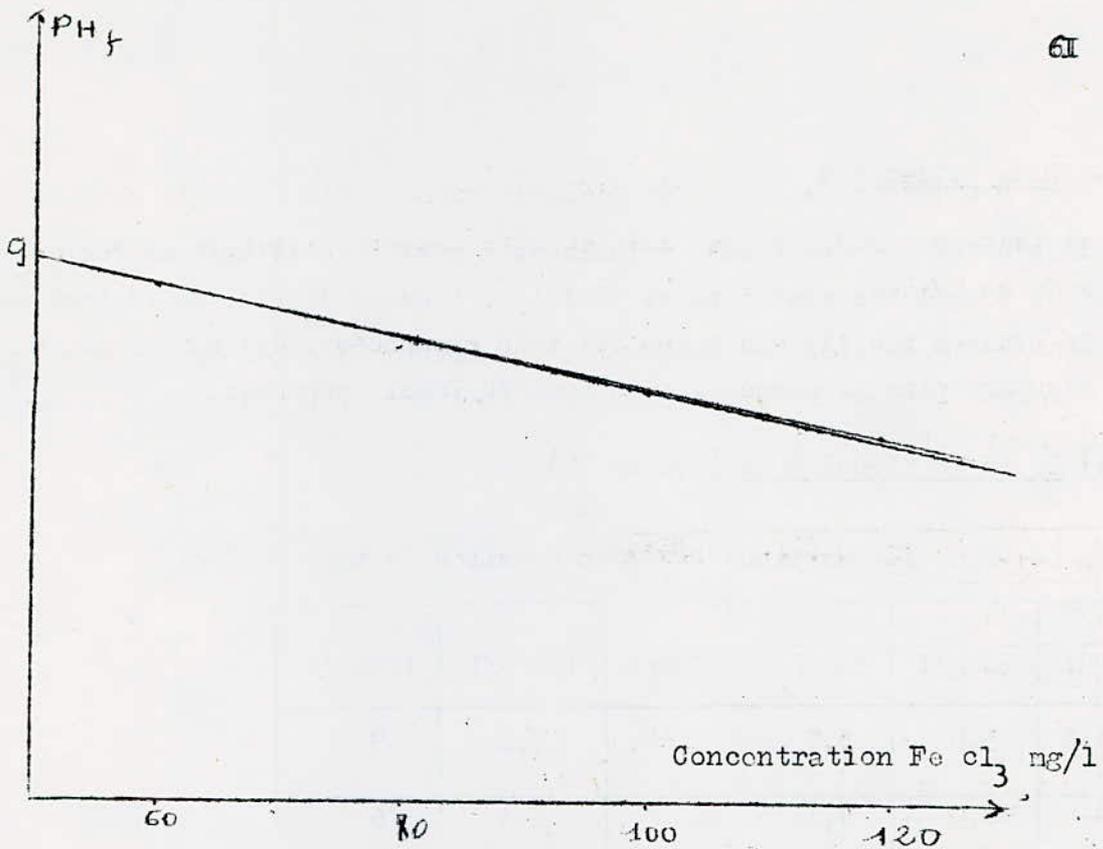
$FeCl_3$	PHf	Eff. H-C %	Eff. DCO %
80mg/1	8,5	95,6	78
80mg/1	72	93,4	71
100mg/1	6,8	97,3	66,3
120mg/1	6,5	90	70

Sur le tableau ci-dessus, on constate que la dose optimal correspondant au PH optimum est de 100mg/1 $FeCl_3$ pour les H-C; pour la DCO la dose optimale est de 65mg/1.

Pour les doses de 65,80mg/1, on constate moins bien la différence de floculation entre les 2 domaines (visuelle et analytique) c'est à dire que la variation des efficacités est moins importante. Mais à 100mg/1 et surtout à 120 mg/1, il existe un grand contrast (visuelle et analytique) entre les différents essais à PH acide et basique, la variation des efficacités surtout celles de la DCO est très caractéristiques (voir tableau). A PH acide, la floculation est à peine visible tandis qu'aux PH basiques, elle est nettement meilleures.

Le PH optimum est de 9 il décroît linéairement en fonction de la concentration de $FeCl_3$ ajoutée.





à domaine basique : PH du milieu optimum = 9, la concentration en FeCl₃ optimale : 100mg/l

à domaine acide : PH OPTIMUM : 5,5 la concentration est de 65 ng/l

B) Comparaison de l'essai du Jar-Test à un PH acide et basique, pour comparer la qualité du floc et de la boue formée dans ces deux domaines du PH.

On a fixé le PH de l'eau brute à un PH de 9 (par addition du Na OH) et à un PH de 4,3 (par addition de HCl). Ensuite on a choisi une variation de la dose du Fe Cl₃ de 60 à 120 mg/l. Dans ces Deux domaines bien distincts, on observe les phénomènes suivants :

- PH du milieu : 4,3

On constate qu'à différentes doses du FeCl₃, il s'est formé des floccs bien distincts. Cependant la caractéristique de ces floccs est différentes d'une dose à l'autre. A 60,65, 80mg/l, les floccs sont compacts, distincts et de couleurs blanchâtres.

Par contre à 100, 120mg/l, ces floccs présentent une couleur rouille, qui est plus caractéristique à 120mg/l, cela est dû à la concentration de Fe³⁺ en excès.

- PH du milieu : 9

Il s'est formé des floccs volumineux à partir de 65 mg/l de $FeCl_3$ à 60mg/l ils sont à peine visibles. Dans ce domaine de PH basique; la couleur recuille des boues est très prononcée. Cette couleur est d'autant plus prononcée que la dose du $FeCl_3$ augmente.

a) le PH de floculation (courbe 17)

Le PH de floculation décroiten fonction du taux de $FeCl_3$.

PHi	60mg/l	65mg/l	80mg/l	100mg/l	120mg/l
4,3	3,9	3,7	3,4	3,2	3
9.	7,9	7,1	6,6	6,3	6

b) les hydrocarbures : (ocurbe 15)

On constate une meilleure élimination à un PH de 9 . l'efficacité d'élimination des H-C se situe à une concentration de 65 mg/l pour le PH de 4,3, et 100mg/l pour le PH de 9.

c) les phénols (courbe 14)

L'élimination des phénols est à peu ^{près} la même sur les 2 valeurs du PH. Néanmoins à un PH acide de 4,3, l'efficacité est meilleure. La concentration du $FeCl_3$ correspondant à la meilleure efficacité se situe de 100 à 120 mg/l de $FeCl_3$

MES

Il ya une nette diminution de la teneur en M.E.S. Le taux correspondant à un maximum d'efficacité se situe à 65 mg/l.

Conclusion

$FeCl_3$ mg/l	PHi	PHf	Eff. E-C%	Eff. Phe.%	$FeCl_3$ mg/l	PHi	PHf	Eff. H-C%	Eff. phé.%
65mg/l	4,3	3,7	87,9	49,2	100mg/l	4;3	3,2	83	59,3
65mg/l	9	7,1	93,1	49,8	100mg/l	9,	6,3	94,8	55

Si l'on compare les floccs et la boue formée à des PH bien distincts : PH acide et PH basique, on conclue que les floccs à PH acide sont des floccs compacts, rigides ressemblant aux grains de sable et la couleur rouille due au fer n'est pas prononcée. Tandis que les floccs à PH basique sont très lâches, floccanneux.

- plus le taux du FeCl_3 augmente, plus la couleur vire vers le rouille.
- plus le PH augmente, plus la couleur rouille devient caractéristique.

Pour les 2 valeurs du PH, on a déterminé la dose optimal du FeCl_3 .

à PH acide : 4,3 la concentration optimale du FeCl_3 est de 65mg/l pour les H- C,

à PH basique : 9 la concentration du FeCl_3 est de : 100mg/l pour les H-C également.

Cependant on conclut qu'à un PH alcalin, l'efficacité d'élimination est meilleure.

IV.5 CONCLUSION

La phase expérimentale confirme en partie la théorie.

La coagulation - flocculation au FeCl_3 donne de meilleures résultats dans une gamme de PH Basique l'aspect du floccs et de la boue dépend du PH et de la concentration du FeCl_3 .

La partie active du chlorure ferrique dépend du PH du milieu et de sa concentration.

Partie active : c'est la partie qui sert à la coagulation-flocculation et qui se transforme en hydroxyde ferrique suivant la réaction.



- si la concentration en (H^+) augmente, le PH décroît donc Fe^{3+} en excés.

- si la concentration de (H^+) diminue, le PH croit donc
 $Fe(OH)_3$ augment.

Lorsque le PH du milieu est acide, la partie active du $FeCl_3$ est faible, étant donné que la concentration en ions (OH^-) est faible. Les cations Fe^{3+} ne s'hydrolysent que partiellement pour former des complexes, tandis que la plupart reste en excès dans la solution. Ceci explique la faible quantité de boue blanchâtre. Ces complexes présentent une faible affinité et une surface spécifique à l'adsorption. Les H-C et les autres polluants sont partiellement éliminés, on pense que ces complexes agissent par neutralisation de charges des colloïdes:

Lorsque le PH est alcalin, la partie active du $FeCl_3$ est importante. L'alcalinité est obtenue par augmentation du PH, c'est à dire par addition de $NaOH$ qui facilite la coagulation-floculation.



dans ce domaine alcalin où l'optimum se situe à 9, la totalité ou presque des ions Fe^{3+} sont précipités sous formes de $Fe(OH)_3$ insolubles, qui présentent une grande surface d'adsorption pour les polluants. L'efficacité d'élimination des H-C à PH acide, diminue au fur et à mesure que la concentration du $FeCl_3$ augmente, de même que la DCO et les M.E.S; ce qui est l'inverse à PH alcalin. Cependant, il faut être dans un domaine de PH alcalin convenable pour éviter toute redissolution de $Fe(OH)_3$. Ce PH de redissolution se situe à un PH supérieur à 10 ou 11, on pense que c'est un PH où les floes d'hydroxydes se solubilisent et forment des complexes anioniques, qui n'auront aucun effet sur les colloïdes, vu que la plupart sont chargées négativement.

Donc choisir un PH convenable correspondant à une concentration donnée du $FeCl_3$ pour éviter toute redissolution et toute désorption.

Domaine de floculation pour chaque concentration de Fe cl_3

65mg/l	PHi : 5,5 à 9	PHf : 4,9 à 9,8
80mg/l	PHi : 5,5 à 10	PHf : 4,4 à 9,2
100mg/l	PHi : 5,5 à 10	PHf : 4,6 à 8,7
120mg/l	PHi : 6,7 à 10	PHf : 5,5 à 8,6

Lorsque la concentration du Fecl_3 augmente le domaine du PH de floculation diminue, et le PH de floculation optimum décroît vers un domaine de PH acide.

Lorsqu'il y a la purge de boue dans l'accumulateur provenant de la décarbonatation à la chaux des eaux de chaudières et de refroidissement, la dose optimale est de 65 mg/l, et elle est de 70mg/l lorsque la boue n'est pas jetée dans l'accumulateur. Cette boue est constituée d'un précipité d'hydroxyde de magnésium de calcium ect... on pense qu'ils peuvent faciliter la coagulation - floculation on déduit donc que cette boue joue un certain rôle d'adjuvant.

Dans notre étude on a déterminé que la coagulation-floculation se produit dans un domaine de PH assez large donc l'avantage d'utiliser le chlorure ferrique. Et cela nécessite une concentration moyenne économique du Fecl_3 pour provoquer une bonne floculation.

IV.6 ETUDE PAR LE SPECTROPHOTOMETRE F. INFRA-ROUGE

Le Spectrophotomètre dont nous avons disposé est un appareil Perkin-Elmer. Les cellules utilisées sont en chlorure de sodium, et ont une épaisseur de 0,027mm.

a) détermination de la concentration des hydrocarbures par Infra - Rouge (Réf. 5)

On a déterminé la teneur des H.C dans l'échantillon initial. La teneur est de 50mg/l d'H.C. Ensuite on a dilué cet échantillon plusieurs fois à l'aide du tétrachlorure de carbone, afin de pouvoir déterminer la courbe d'étalonnage. Les différentes dilutions sont :

(réf.17)

N° des fioles	I	.I	II	III	III
Echantillon (ml)	0	10	20	60	100
Tétrachlorure de carbone (mg)	100	100	100	100	100
Correspondance en mg/l d'H-C	0	50	100	300	500

après traitement par Jar-Test, on détermine la concentration résiduelle d'H-C pour les différentes doses de $Fe\ Cl_3$.

- amener le pH des échantillons à analyser à 5 en utilisant le Hcl N.
- ajouter 5g de chlorure de sodium et 50 ml de tétrachlorure de carbone par litre d'eau.
- boucher et agiter pendant 15 mn au moyen d'un agitateur magnétique.
- laisser décanter
- filtrer 20mg de phase organique sur papier filtre contenant 1g de sulfate de sodium.
- effectuer une mesure spectrométrique à la longueur d'onde de $3,42\ \mu$, ce qui correspond à une fréquence de $2923,9\ cm^{-1}$

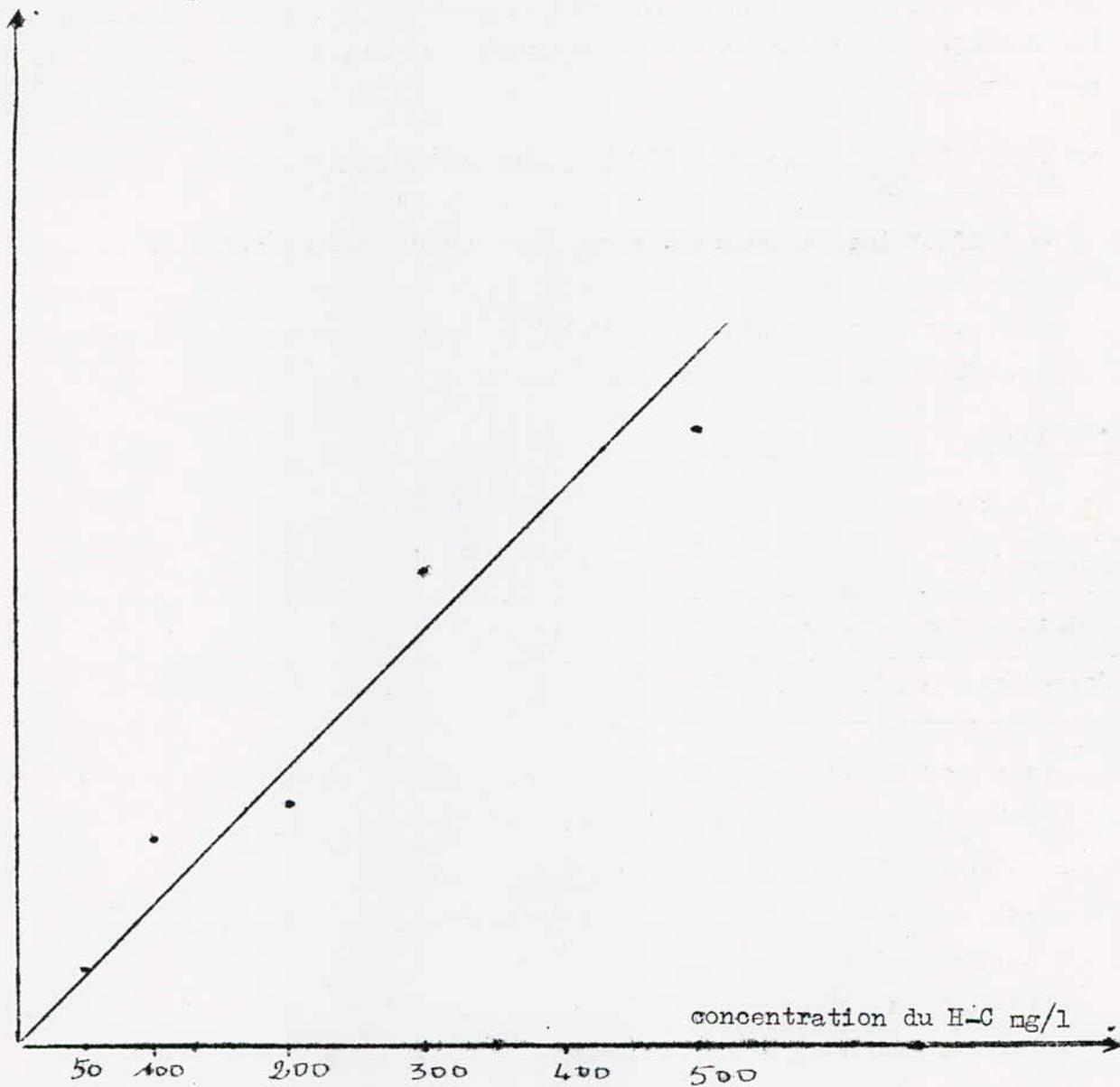
Résultat de calcul

Pour tracer la courbe d'étalonnage, on doit déterminer la densité optique D.

D = f (concentration H-C) courbe d'étalonnage

$$D = \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

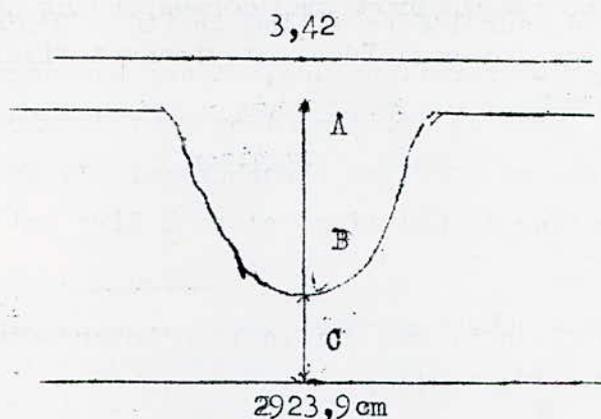
$$D = \text{Log} \left(\frac{I_0}{I} \right)$$



courbe d'étalonnage

$$D = f(\text{concentration H-C})$$

- I_0 = intensité initiale du faisceau, proportionnelle à ΔC
 I = intensité après passage par la solution, proportionnelle à BC



Le tableau A nous donne la densité optique de chaque solution étalon.

Temoin	I	II	III	IV	
$D = \text{Log} \left(\frac{I_0}{I} \right)$	0,24	0,30	0,83	1,38	1,5

Le tableau B nous indique la concentration résiduelle d'H-Courbe d'étalonnage dans les échantillons, et l'efficacité de traitement.

Dose du FeCl_3 (mg/l)	65	70	90	100	120
$D = \text{Log} \frac{I_0}{I}$	0,20	0,35	0,94	0,25	/
Concentration H-C mg/l	5	8,7	20	7,5	/
Efficacité d'élimination%	90%	82,6	60	85	/

Conclusion

Cette méthode confirme les résultats obtenus par la méthode volumétrique, la dose optimale est de 65mg/l. Cependant elle est plus précise que la précédente qui présente des risques

d'erreurs a plusieurs étapes d'expérimentations :

- les H-C légers se volatilisent lors de la mise à l'étuve.
- l'erreur de pesée

b) interprétation des spectres

Il nous a été difficile d'interpréter les spectres obtenus, par la complexité des pics.

Cependant, on pu déterminer des groupements particuliers caractérisés par des bandes de fréquence d'absorption qui se trouvent dans l'eau brute.

<u>Groupements</u>		<u>bande de fréquences</u>
O-H (alcools)		3.500 cm^{-1}
CH ₂ asymétriques	} (paraffines)	2924 cm^{-1}
CH ₂ -CH ₃ symétrique		2.850 cm^{-1}
Naphteniques		1.500 cm^{-1}
= CH (aromatics)		780 cm^{-1}

On a essayé d'étudier le spectre des échantillons traités par Jar-Test, et l'on a constaté pour l'échantillon traité à 70mg/l, les pics correspondants aux H-C paraffiniques, et aux hydrocarbures aromatics ont disparu, après le traitement. On peut déduire à la "limite" que ces composés ne sont pas absorbés par l'infra-rouge car ils n'existent plus dans la solution, c'est à dire ont été éliminés.

Pour les autres échantillon il est difficile d'interpréter les spectres, vu la complexité des pics.

IV.7 ETUDE MICROSCOPIQUE

I) au microscope

- Etude des floes à PH Basique

On a observé des plages brunâtres (couleur rouille) sur lesquelles s'étalent des parties plus claires ; parfois, elles les recouvrent totalement et l'on perçoit à peine la couleur rouille.

Autour de ces plages s'agglutinent des petits amas clairs, différents des précédants, ressemblant à des petites particules

Nous pensons que les plages brumâtres correspondent aux floes d'hydroxydes qui piège les colloïdes et viennent fixer ou absorber

d'autres polluants qui correspondent à toutes les parties claires.

- Etude des floccs à PH acide

Dans ce cas le contrat n'est pas net. Cependant, on observe des plages claires delimitées, par une zone de couleur plus foncée, où semblent s'agglutiner des particules. Les floccs formés dans ce cas présentent une très faible surface spécifique d'adsorption (délimitation foncé) et recouvrent une masse d'eau renfermant probablement des polluants (H-C) qui correspondent à la partie claire par la zone foncée

2) Au microscope électronique

l'interprétation est très complexe, on a observé des tâches très brunes, qui s'etalent sur des plages claires.

V. CONCLUSION GENERALE

La concentration optimale du $Fe\ Cl_3$ déterminée pour l'épuration de l'effluent aqueux de la raffinerie d'Alger (PH de 6,9 à 7,2) est de 65 mg/l, cela correspond à une bonne efficacité d'élimination de certains polluants comme les H.C, les M.E.S, l'azote total. Egalement à cette dose, il y a compression des boues ; donc elles s'épaississent mieux, et il sera plus facile de les traiter par la suite. La valeur de la DCO est très variable. Etant donné que c'est une grandeur qui dépend des conditions biologiques, elle évolue avec le temps ; et comme il nous a été impossible de la déterminer sur place et immédiatement, la marge d'erreur est grande.

Dans notre étude on a déterminé également la zone du PH favorable à la coagulation-floculation par le $Fe\ Cl_3$. Cette zone correspond à un domaine basique.

Le PH au milieu optimum est de 9 correspondant à la dose optimale du $Fe\ Cl_3$ de 100 mg/l.

On constate que la DCO varie linéairement avec les H.C, lorsque le PH du milieu varie. Pour des raisons économiques il vaut mieux traiter l'effluent à PH de 6,9 à 7,2.

Après le traitement physico-chimique, les eaux sont loin d'avoir les qualités exigées par les normes pour les H.C, la DCO et les phénols.

Les normes de rejets :

- température inférieure à 30° C
- PH 5,5 à 8,5
- M.E.S inférieur à 50 mg/l
- azote total inférieur à 30 mg/l
- DCO : comprise entre 90 et 120 mg O_2 /l
- phénols : traces non dosable
- H.C : 0,3 mg/l au maximum
- DBO5 : 10 mg/l

On propose pour cela un affinage du traitement par voie biologique.

Les concentrations résiduelles des matières en suspensions sont acceptables après le traitement physico-chimique, la température et le PH sont

conformes aux normes également. Il serait intéressant de suggérer une installation physico-chimique au niveau de l'évacuateur, qui sera suivie d'une installation biologique. De même que l'eau, au lieu d'être versée directement à l'oued, il devra être utilisé à des fins de recyclages bien précises, telles que lavage des dessaleurs.

Actuellement, les principales opérations au point de vue lutte contre la pollution dans les raffineries sont :

- consommer le moins possible, d'eau
- réemploi de l'eau (recyclage),
- réduction et élimination des résidus au niveau de chaque source de pollution.

On s'est abstenue du montage d'un pilote d'essai par manque de matériels, et par manque de temps également. Donc il nous a été impossible de déterminer les paramètres essentielles pour le dimensionnement d'une installation physico-chimique.

Cependant on peut toujours proposer succinctement la chaîne de traitement physico-chimique.

V.1. POSSIBILITES DE REDUCTION DE LA POLLUTION.

L'étude des réductions possibles est une grande préoccupation, afin d'économiser l'eau ; et d'en minimaliser la quantité par tonne de produits.

Les traitements locaux ont plusieurs objectifs qui ne sont d'ailleurs pas indépendants les uns des autres.

- 1) recyclages possibles
- 2) application d'une dépollution spécifique à une source déterminée : retenues à la source.

1) Recyclages :

discussion des possibilités de recyclages: L'eau est utilisée dans une raffinerie comme nous l'avons mentionné précédemment pour :

- réfrigération
- agent d'entretien et de nettoyage
- agent de fabrication.

- a) réfrigération : les qualités requises pour l'eau d'appoint d'un circuit de réfrigération concerne son potentiel corrosif et son potentiel

de salissure des réfrigérants. La prévention de ces inconvénients, si l'appoint est réalisé avec une eau résiduaire de la raffinerie même conforme aux normes de rejet devient très délicate dans la pratique.

- b) entretien et nettoyage : Le recyclage offre peu de difficulté pour cet usage.
- c) fabrication : l'eau intervient comme agent de fabrication essentiellement sous forme de vapeur. La qualité d'eau requise pour alimenter les chaudières exclue pratiquement d'y recycler d'autres qualités d'eau, que les condensats de vapeur n'étant pas entrés en contact avec les hydrocarbures.
- c) recyclages couramment pratiqués : une autre pratique très courante est l'utilisation des eaux de procédés issues des vapeurs de stripping, comme eau de lavage du pétrole brut dans les dessaleurs des distillations atmosphériques; à l'avantage de diminuer les volumes d'eaux résiduaires, mais aussi d'entraîner avec le pétrole brut, une fraction de certains polluants comme les phénols et les hydrocarbures légers solubles à l'eau de procédé, on peut joindre les eaux résiduaires traitées au lieu d'eau fraîche. Le volume du rejet au milieu naturel en sera diminué.

2) retenues à la source

c'est une philosophie très différente, puisqu'il s'agit de ne pas produire de pollution afin de ne pas avoir à la traiter ensuite.

les règles simples de retenues à la source sont les suivantes.

a) recycler les produits purgés ou empêcher les purges :

par des modifications ou des procédures adaptées. Les purges de niveau de colonnes, ou de fond de ballons doivent être collectées et envoyées dans un autres point de l'unité.

b) traiter sur place les sources concentrées.

l'idée est de ne pas diluer l'eau polluée et surtout de traiter les sources très concentrées avec des petits moyens (incinération, évaporation, adsorption sur charbon actif) éviter d'avoir à traiter une grosse quantité d'eaux résiduaires à faible concentration en éléments polluants.

c) sensibiliser le personnel au problème de la pollution

rien de valable ne peut être fait dans le cadre de la retenue à la source, si l'opérateur sur unité continue, comme auparavant, a avoir un comportement pollueur (ignorance de fuites de vannes, purges aberrantes etc..)

des deux méthodes qui permettent de réduire et de minimiser la pollution et les rejets, il faut mesurer les conséquences économiques de ce choix.

V.2 PROPOSITION D'UNE CHAÎNE DE TRAITEMENT

Après l'évacuateur, l'eau va vers un bassin de mélange rapide, équipé d'un dispositif d'agitation. Dans ce bassin, l'eau à traiter est mélangée sous une turbulence énergique avec les produits chimiques de coagulation (le chlorure ferrique. Dans un laps de temps très bref, une bonne répartition du chlorure ferrique doit avoir lieu. En même temps, une destabilisation doit avoir lieu., pour la formation d'une micro-floculation. Dans la zone de floculation un mouvement d'agitation lent doit être observé à l'aide des brasseurs à palettes disposés horizontalement. Les micro-flocs formés dans la destabilisation sont regroupés et composent des agglomérations de macro-flocs qui se déposent facilement. L'eau floculée est ensuite conduite vers le bassin de décantation. La zone de décantation est équipée d'un séparateur à plaques parallèles, afin d'agrandir la surface effective de décantation en tenant compte du peu de place disponible. La surface de décantation F effective correspond à la surface de base du bassin. La surface de décantation est agrandie par l'incorporation de n plaques horizontales. La surface de décantation F effective est égale à n surfaces de base F du bassin.

Les plaques sont disposées inclinées d'un angle θ , pour que la boue sédimentée puisse glisser vers le bas.

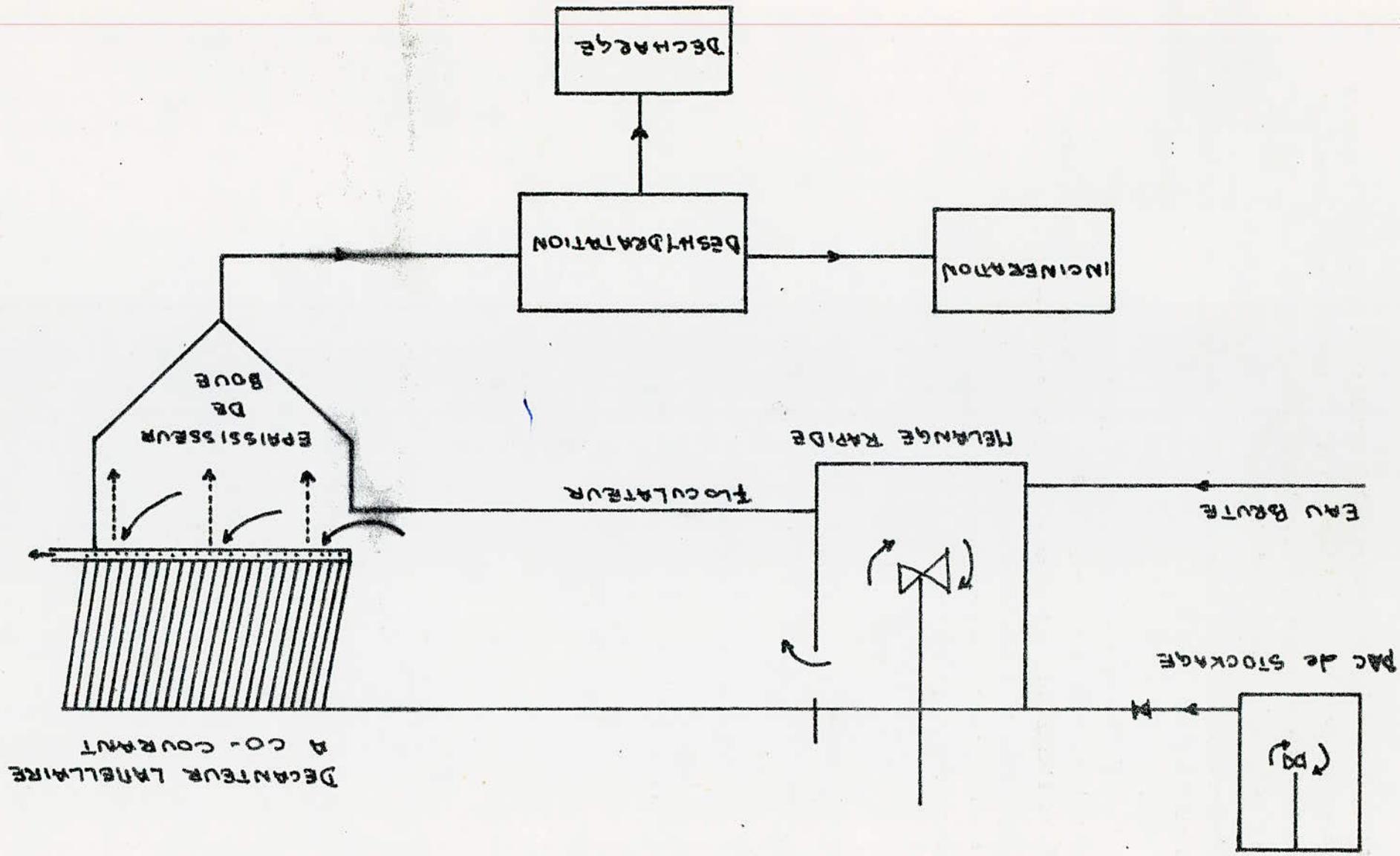
on propose un séparateur lamellaire à co-courant. La boue déposée ainsi que l'eau claire, traversent les espaces entre les plaques dans la même direction d'écoulement vers le bas. L'eau est évacuée au dessous de chaque lamelle et coule sous pression hydrostatique vers une canalisation débouchant sur le milieu naturel. Les boues minces qui glissent le long des lamelles sont collectées dans les épaisseurs disposés au dessous. Les lamelles doivent être rapprochées autant que possibles pour éviter les phénomènes hydrauliques parasites (cité dans le chapitre III).

Le séparateur lamellaire à co-courant à l'avantage selon lequel les boues sédimentables glissent vers le dépaississeur, et les matières flottantes restent en surface, Le séparateur lamellaire permet une économie de surface par une augmentation de l'efficacité de la décantation.

De même l'entretien de ces bassins est réduit, et demande une main d'oeuvre non qualifiée.

Comme on l'a déjà remarqué à la raffinerie, il n'ya aucun contrôle de l'effluent rejeté, hors il est indispensable de contrôler et surveiller la qualité de l'effluent rejeté pour suivre le fonctionnement et l'efficacité de la chaine de traitement. Le contrôle est basé sur des analyses de routine journalières sur les polluants les plus importants : tels que la mesure de la DCO, du H₂, dosage des hydrocarbures et de phénols.

CHAÎNE DE TRAITEMENT PROPOSÉE



BIBLIOGRAPHIE

- 1) Anonyme : "Coût de l'amélioration de la qualité des eaux résiduaires des raffineries" rédigé par un groupe d'étude anonyme. Technique de l'eau n°395.
- 2) Anonyme : "Les installations d'eau à la raffinerie d'Alger" plan document.
- 3) Anonyme : "principes et directives applicables aux déversements de déchets dans le milieu marin" publié sous les auspices du programme O.M.S
- 4) Anonyme : "Coagulation, floculation" cours international d'Ingénieurs praticiens Fondation de l'eau.
- 5) Baaziz B : "Optimisation du procédé de coagulation - floculation de la station de traitement d'eau potable de Médéa" thèse d'ingénieurat agronomie 1977.
- 6) Bauman M, Bonnet J, Aurelle Y, Masse P et Averdies "les traitements des huiles solubles par les polyélectrolytes" technique de l'eau n°394
- 7) Berne F : "Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière" Publication de l'Institut Français du Pétrole.
- 8) Bormans J : "Analyse des eaux résiduaires industrielles"
- 9) Chevalier R. : "Les eaux résiduaires des raffineries de Pétrole brut" technique de l'eau N°386.
- 10) Deyremont : "Memento-technique de l'eau"
- 11) Eckenfelder W Wesley jr. "L'eau dans l'industrie, pollution; traitement recherche de la qualité.
- 12) Emschwiller G : "Chimie, physique" Tome II
- 13) Fliessinger M. : "Coagulation, errements anciens et connaissances nouvelles" extrait de T.S.M n°4 1979

- 14) Gamsrasni : "les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées industrielles"
Synthèse bibliographique.
- 15) Kettab : "traitement des eaux usées d'annaba".
thèse d'ingénieur agronome 1977.
- 16) Lannoy F : "la décantation lamellaire dans l'épuration des eaux"
cebedeau 399
- 17) Rodier f : "l'analyse des eaux résiduaires"
- 18) Shulman J : "cours de traitement des eaux"
partie I (O.M.S)
- 19) Stevan Jankovic : "Manuel de chimie de l'environnement" (O.M.S)
- 20) Vanderfortier W : "le traitement des eaux résiduaires en petrochimie"
Technique de l'eau et de l'assainissement
398 Fevrier 80.
- 21) Vanderveen H : "Procédés de traitement des émulsions usées, d'huile soluble"
technique de l'eau 382.
- 22) Wuitthier P : "Pétrole et raffinage en Algérie chimique"
- 23) Wicky MR : "Traitement des eaux usées des stations touristiques, procédés physico-chimiques"
technique de l'eau et de l'assainissement mensuel 400
- 24) Vogouret J : "Le potentiel Zeta TSM.3.

ANNEXES

H-C	Hydrocarbures
phe	phénols
NK	Azote Kjeldhal
M.E.S	Matière en suspension
PHi	initial
PHf	PH de floculation
Cl-	Chlorures

PRISE D'ESSAI LE 24.04.1982

A ICh

Caractéristiques de l'effluent : I

- Temperature	23 ^o C
- PH	7,2
- Hydrocarbures	98 mg/l
- DCO	430 mg/l
- Chlorures	360 mg/l
- Phénols	9,8 mg/l
- Azote	70 mg/l
- DBO5	

- Essai du Jar Test.

TABLEAU n° I

n° de cher	Taux Fecl3 mg/l	RESULTATS D'ANALYSES					EFFICACITE DU TRAIEMENT%		RESULTAT FLOCCULATION		
		PH	Hc mg/l	DCO mg/l	phe mg/l	Nk mg/l	Eff HC	Eff DCO	Eff phe	Eff Nk	
0	0	7,2	98	430	33,2	70					
I	50	6,9	24,5	182,7			75	57,5			2
2	60	6,8	14,8	215,4	16,5	35	84,8	49,9	50,3	50	
3	65	6,7	12	234,3	15,3	26,6	87,7	45,5	50,9	62,5	10
4	70	6,6	8,4	184,9	17,8		91,4	57	46,3		8
5	90	6,6	12	172	23,7	18,75	87,7	60	28,6	73,2	6

PRISE D'ESSAI LE 26.04.1982

A 9h

- Caracteristiques de l'effluent : I

- Temperature 25° C
- PH 7,1
- Hydrocarbures 96 mg/l
- DCO 513,3 mg/l
- Chlorures -
- Phénols 91,8 mg/l
- Azote 98 mg/l
- DBO5 76 mgO2 /l

- Essai du Jar Test.

--- purge de chaux dans le bassin d'accumulation

TABLEAU n°2

N° de cher	Taux Fe ¹³ mg/l	Résultats d'analyses					Efficacité du traitement %				Résultat floculation
		PH _f	HC mg/l	DCO mg/l	Phe mg/l	Nk mg/l	Eff H.o	Eff DCO	Eff Phe	Eff Nk	
0	0	7,1	96	513,3	91,8	98					
1	60	6,7	10	307,9	40,1		89,5	40	56,3		6
2	65	6,7	4	359,3	28,8	48,6	95,8	30	68,6	50,4	10
3	85	6,5	16	164,2	52,7	32,9	83,3	68	42,5	66,4	8
4	90	6,4	19	256,6	63,4	313	80,2	50	30,9	68	4
5	100	5,4	15	256,6			84,3	50			2

PRISE D'ESSAI LE 04/05/1982

A IOh

- Caracteristiques de l'effluent : I

- Temperature	26 ^o C
- PH	6,9 ^o C
- Hydrocarbures	52 mg/l
- DCO	—
- Chlorures	—
- Phénols	61 mg/l
- Azote	87,5 mg/g
- TA	0 ^o F
- T A C	1,5 ^o F
- DBO5	61,6 mgO ₂ /l

- Essai du Jar Test à concentration variable de Fe cl₃, et pH de l'eau brute constant.
- Purge de chaux dans le bassin d'accumulation
- la mesure de la DCO n'a pas pu être déterminé par manque de sulfate de mercure.

TABLEAU n°3

n° becher	Taux Fe cl ₃ mg/l	RESULTATS D'ANALYSES				EFFICACITE %			RESULTAT FLOCCULATION
		PHf	Hc mg/l	Ph mg/l	Nk mg/l	Eff. H.C	Eff. ph.	Eff. Nk	
0	0	6,9	52	61	87,5				
I	62	6,7	7,2	15,2		86	75,1		8
2	65	6,6	4,5	18,0	35,9	91,3	70,4	58,9	10
3	68	6,5	6,1	18,8		88,2	69,1		8
4	87	6,4	10	28,7	31,0	80,7	52,8	64,5	6
5	90	6,2	8,5	35,6	30,3	83,6	41,6	65,3	4

PRISE D'ESSAI LE 09.05.1982

A 9h

- Caracteristiques des effluents : 1, 2, 3, 4, 5

TABLEAU n° 4

N° efflu- ent	t _{2c}	PH	HC mg/l	phe. mg/l	Nk mg/l	TA g F	TAC g F	MES mg/l	DBO5 mg O ₂ /l
1	18	6,9	92	32,5	8,4	0	7,5	40	60
2	21	7,2	104		16,8	1,5	13	122	
3	21	7,2	168	33,5		1	14	332	57,5
4	23,5	6,4	420	98,5	30,6	0	6	216	72,5
5	22,	6,0	2350,6	122		0		1116	35

PRISE D'ESSAI LE 11.05.82
A 9h 30mn

- Caractéristiques de l'effluent : I, 2, 3, 4, 5
- Essai du Jar Test :
 - évaluation du volume de boue sur cône imhorff
 - évaluation de la matière sèche

Purge de chaux dans le bassin d'accumulation qui influence le traitement de l'effluent I. par Jar Test.

La mesure de la DCO n'a pas été effectuée par manque de sulfate de mercure.

Caractéristiques de l'effluent I,2,3,4,5

TABLEAU n°5

N° effluent	t° C	PH	HC mg/l	phc. mg/l	Nk mg/l	TAC° F	TAC° P	MES mg/l
I	22,5	7,5	116	40,5	4,2	3,5	11	76
2	22	8,7	172	42,6	4,2	5,0	15	264
3	29	9,2	210	54,8	8,4	4,5	16	490
4	27,5	6,4	180	112,8	15,2	0	5,5	216
5	25,5	6,1	1835	120	16,8	0	7,5	1087,2

TABLEAU n°6 Essai du cône imhorff après Jar Test de l'effluent I

N° becher	Taux Fe cl ₃ mg/l	PHf	VOLUME DE BOUE ml					matières sèches mg/l	résultats floculation
			t1 30mn	t2 60mn	t3 90mn	t4 120mn	t5 24h		
0	0	7,5						76	
I	60	6,8		0,2	1,7	3	5	22,6	6
2	65	6,8	0,15	3,5	4,5	6	5,5	18,4	10
3	70	6,7	0,2	5,5	6,25	6,5	7	20,8	8
4	80	6,7	0,1	10	8,25	8	8	32,3	4
5	100	6,6	0,1	2,7	4,5	5	6,2	27	2

PRISE D'ESSAI LE 15.05.82
A 10h

- Caractéristiques de l'effluent I, 2, 3, 4, 5
- Essai du Jar Test sur l'effluent I
Le taux de traitement du Fe cl₃ variable
Le PH maintenu constant
PH basique : 9,0
PH Acide : 4,3
- La mesure de la DCO n'a pas été effectuée par manque de sulfate de mercure.
- Problèmes d'analyses pour la détermination des phénols.

Caractéristiques des effluents I,2,3,4,5

TABLEAU n°7

N° Effluent	t°C	PH	H.C mg/l	phé mg/l	Nk mg/l	TA ² F	TAC ² F	MES mg/l
I	28	7	116	54	23,9	0	9,0	164
2	33	7,2	148,8	56,2		3,5	7,5	222
3	32	8,6	244	63,4	33,4	10,0	12,5	492
4	24	6,4	288	98,2		0	6	284
5	24	6,0	1084	113		4	7	1660

TABLEAU n° 8

pH = 9,2

dose Fe cl ₃	Resultats d'analyses				Efficacité d'élimination			résultats de flocculation	DESCRIPTION DU FLOC
	pH f	H.C mg/l	ph mg/l	M.E.S mg/l	Eff. H.C %	Eff. ph %	Eff. MES %		
0	9	116	64	164					
60	7,9	12	33,7	15,5	89,6	47,3	90,1	2	flocs a peine visibles
65	7,1	6	32,1	15,0	93,1	49,8	90,6	6	flocs moyens
80	6,6	10		16,9	91,3		89,6	6	flocs moyens, très dense
100	6,3	8	28,8	16,8	94,8	55	89,7	10	la flocculation et la décantation est rapide. boue de couleur caractéristique..
120	6,01	14		25,9	90		84,2	10	la flocculation et la décantation est la plus rapide grande quantité de boue de couleur caractéristique.

TABLEAU n°9

pH = 4,3

dose Fe cl ₃	Resultats d'analyses mg/l				Efficacité d'élimination			résultat. flocculation	DESCRIPTION DU FLOC
	pHf	H.C mg/l	ph mg/l	M.E.S mg/l	Eff. H-C %	Eff. ph %	Eff. MES %		
0	4,3	116	64	164					
60	3,9	20	29,9	37,7	82,7	53,2	78,2	6	gros floes, très denses, boues blanchâtres
65	3,7	14	32,5	30	87,9	49,2	81,7	10	flocs très volumineux boues blanchâtres
80	3,4	24	29,6	28	79,3	53,6	82,9	6	gros floes, et assez dense boue qui présente une légère couleur.
100	3,2	19,7	26,0	16,5	83	59,3	89,9	10	très gros floes, boues de couleur caractéristique au fer.
120	3,0	18		16,2	84,4		90,1	4	flocs moyens, la boue présente une couleur prononcée rouille.

PRISE D'ESSAI LE 18.05.82

A IOh

Caracteristiques de l'effluent. I

- Temperature 29,0
 - pH 7,2
 - Hydrocarbures 123 mg/l
 - DCO 544 ng^{Op}/l
 - Chlorures 454,5 mg/l
 - TA 0
 - SAC 9,5⁵F
- Le taux de traitement du Fe cl₃ est maintenu constant à 65 mg/l et 80 mg/l
- LE pH est variable.

Taux Fe cl₃ = 65 mg/l

TABLEAU n°10

pHi	Resultats d'analyses			Efficacite d'elimination		Resultat de floculation	DESCRIPTION DU FLOC
	pH f	H.C mg/l	DCO mg/l	Eff. H.C %	Eff. DCO %		
5,5	4,9	6	256,2	95,1	52,9	6	bon floc, dense, compact, rigide de couleur blanchatre et decantant lentement.
6,6	6,2	9,4	224,1	92,3	58,8	6	floc moyen, et assez dense, vivant, légèrement vers la couleur rouille
7,2 EB	6,8	12,3	136,	90	75 %	6	floc, volumineux parsemes, laches decante vite, couleur rouille.
9	8,5	5,4	112,6	95,6	78%	10	flocs très volumineux, floculation decantation rapide, boue grande quantité de couleur rouille.
10	9,8	7	224,1	94,3	58,8	4	petits flocs, couleur caractéristiques.

TABLEAU n° III

Taux Fe cl₃ 80 mg/l

pHi	Resultats d'analyses			Efficacite d'elimination		Resultat de floculation	DESCRIPTION DU FLOC
	pHf	HC mg/l	DCO mg/l	Eff. HC mg/l	Eff. DCO mg/l		
3,7	3,2	15,2		87,6		6	gros flocs, dispersés, couleurs blanchatres compacts et rigide.
5,5	4,4	11,4	369,8	90,7	39,9	6	bon floc, boues de couleurs légèrement rouille.
6,5	5,6	9,9	246,4	91,9	60	10	très gros flocs, decantant rapidement surnageant claire.
7,2 EB	6,6	9,2	184,8	92,5	70	10	flocs, volumineux et dense, boues floconneuses, laches, de couleurs rouilles.
9	7,2	8	157,7	93,4	71	6	flocs moyens denses, boues de couleurs très caractéristiques.
10	9,2	13	308	89,4	50	6	flocs très denses, grande quantité de boues couleurs rouilles.

PRISE D'ESSAI LE 25.05.1982

A 9 H 30 mm

Caractéristiques de l'effluent. I

- Température 26° C
- pH 6,7
- Hydrocarbures 136 mg/l
- DCO 924 mg/O₂ /l
- Chlorures 430 mg/l
- TA 0
- TAC' 7,5 : F
- Le taux de traitement 100 mg/l et 120 mg/l
- Le pH est variable

L'effluent est très chargée, une épaisse couche d'hydrocarbure se trouve à la surface du bassin d'accumulation.

TABLEAU n°12

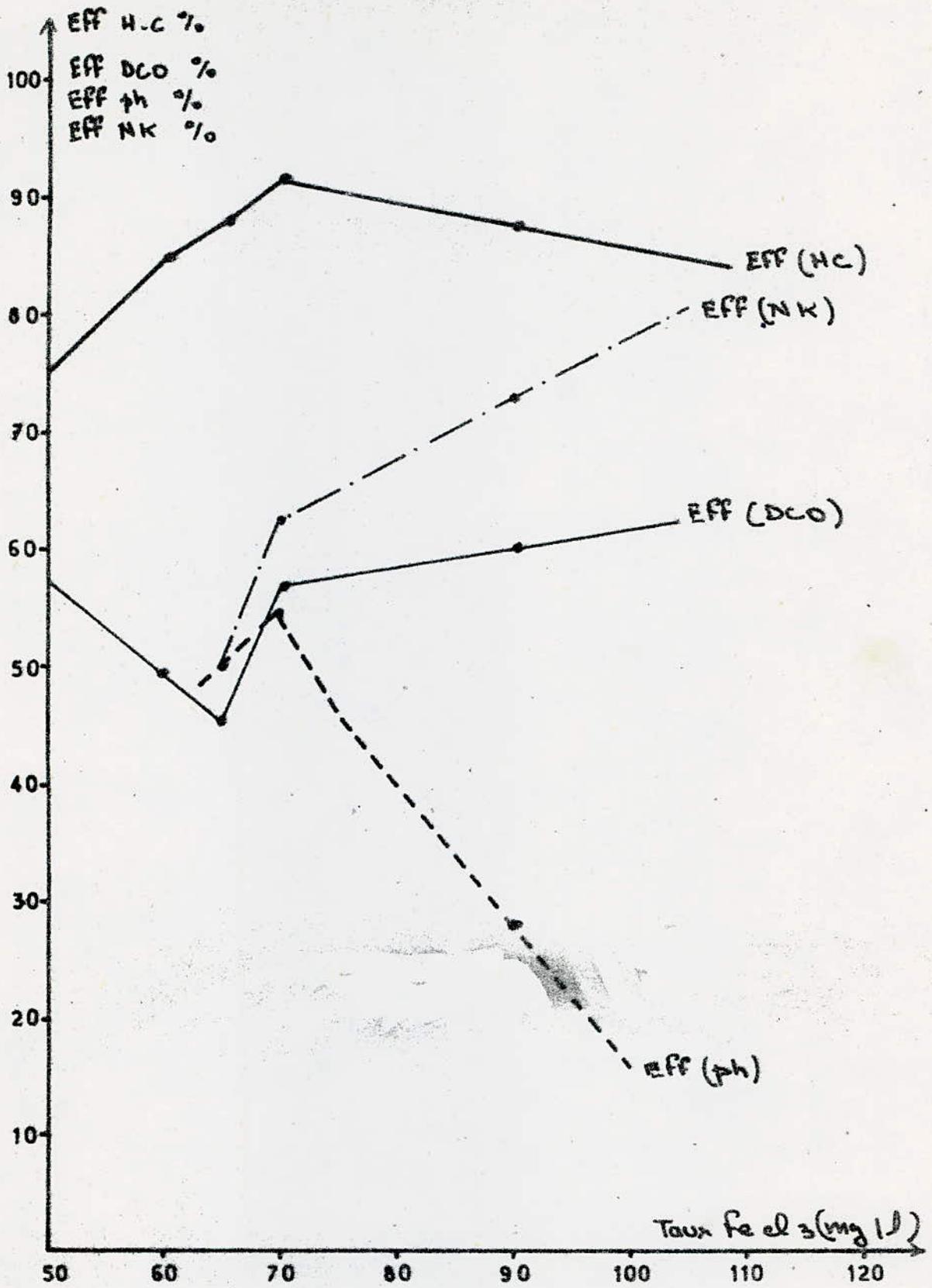
Taux Fe cl₃ = 100 mg/l

PHi	Résultats d'analyses			Efficacité d'élimination		résultat flocculation	DESCRIPTION DU FLOC
	PHf	H-C mg/l	DCO mg/l	Eff. H-C %	Eff. DCO %		
3,7	3	28	770	79,2	16,6	0	très petits floccs, très compacts surnageant trouble
4,3	3,3	20,1	739,2	85,2	20	2	Petits floccs, surnageant trouble
5,5	4,6	17,3	492,8	87,2	46,6	4	floccs moyens, couleur rouille surnageant clair.
6,7	5,6	13,9	338,8	89,7	63,3	6	Floccs moyens, couleur rouille surnageant clair
9	6,8	9,9	311,3	97,3	66,3	8	Gros floccs, denses, couleur caractéristique au fer
10	8,7	5	462	92,7	50	10	Gros volumineux, flocculation décantation rapide surnageant clair

TABLEAU n°13

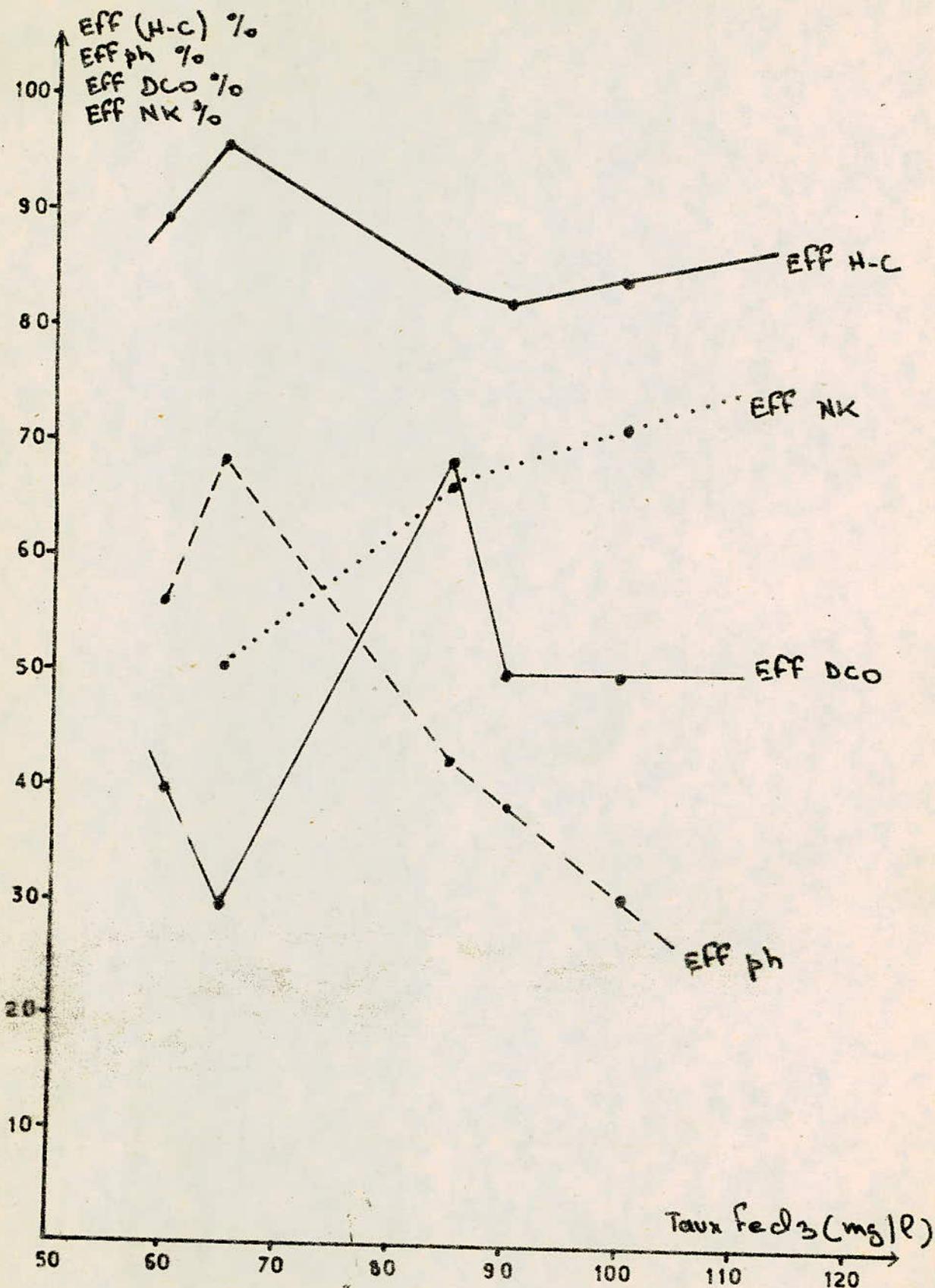
Taux Fe cl₃ = 120 mg/l

PHi	Résultats d'analyses			Efficacité d'élimination		Résultat de flocculation	DESCRIPTION DU FLOC
	PHf	H-C mg/l	DCO mg/l	Eff. H-C %	Eff. DCO %		
3,7	2,9	63,2	700	46,8	13,4	2	mauvaise flocculation surnageant trouble.
4,5	3,3	30,0	770	77,9	16,6	2	floccs à peine visibles, surnageant très trouble.
5,5	4,4	24,4	616	82	33,3	4	floccs petits, compact, trouble surnageant
6,7	5,3	9,3	392,7	93,1	51,5	6	bons floccs, lâches, hydrophiles, floccs à une couleur rouille surnageant clair
9	6,5	6,8	277,2	95	70,0	10	floccs volumineux, boues lâches, flocconneuses grande quantité surnageant clair.
10	8,6	9,6	462	93,2	50	10	floccs volumineux, flocculation décantation très rapide, boues grande couleur foncée, surnageant limpide



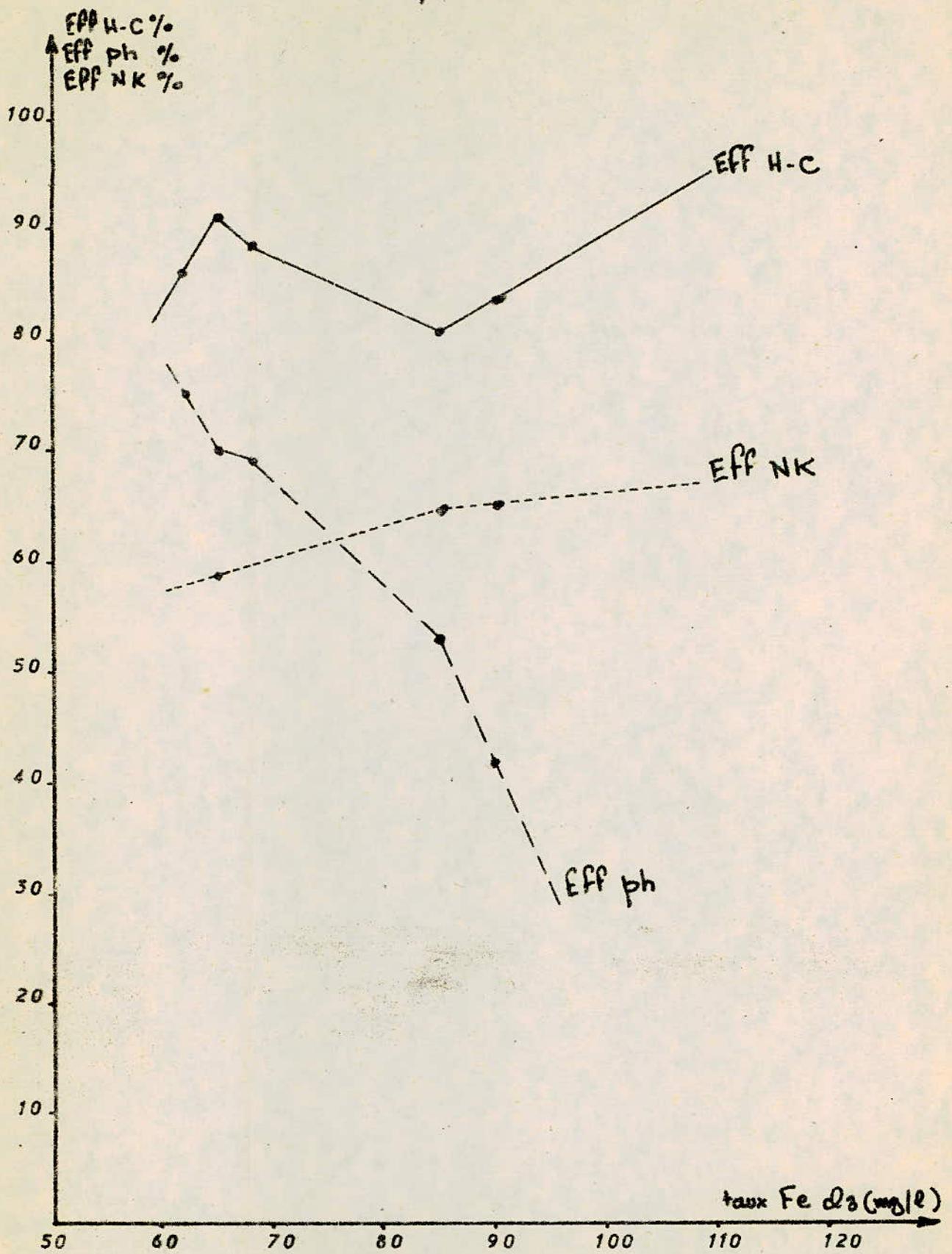
COURSE : 1 $EFF (\text{Traitement}) = F (\text{taux Fe el 3})$

ESSAI DU 24/4/82



COURSE : 2 EFF (Traitement) = F (taux FeCl₃)

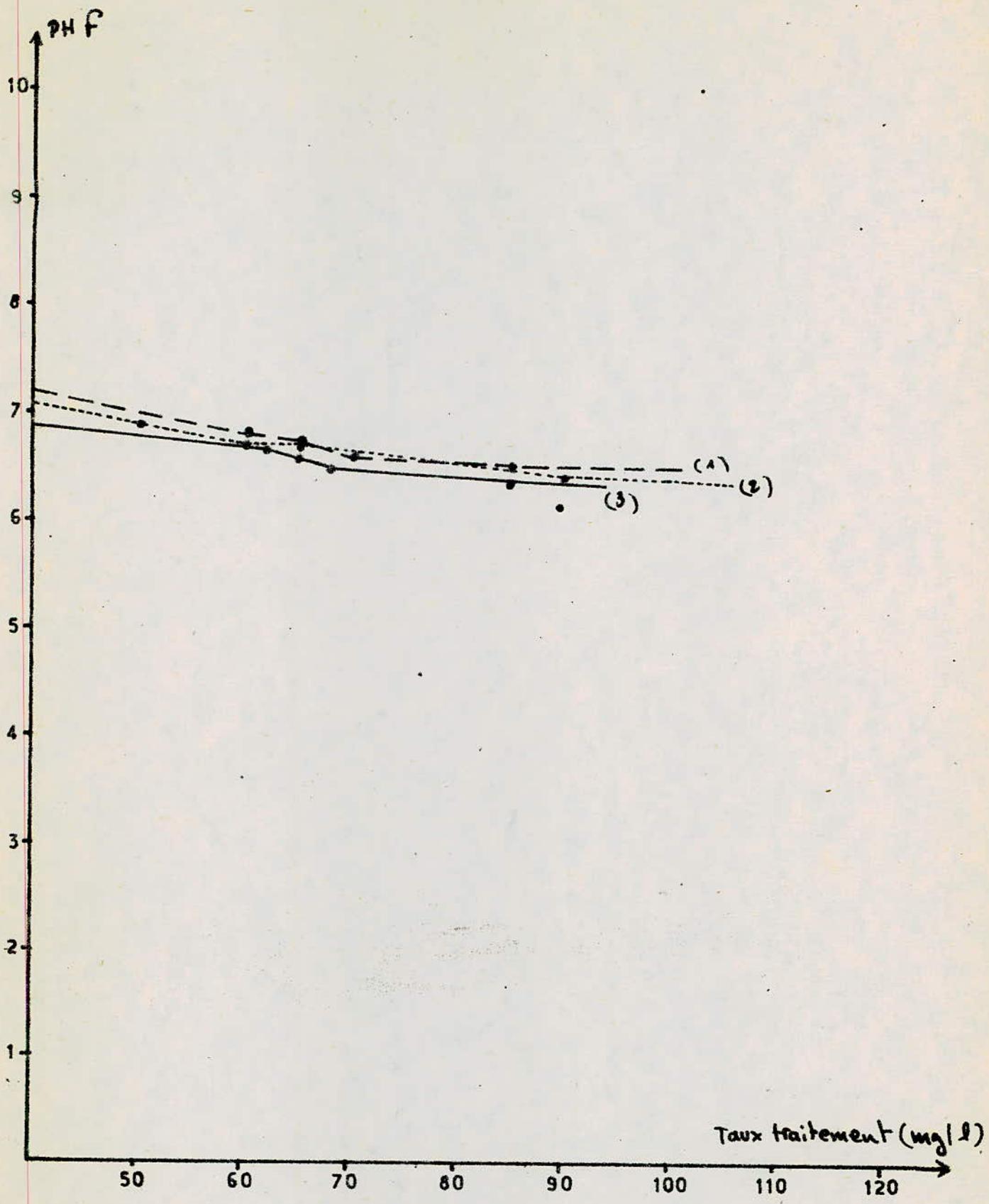
ESSAI DU 26 / 4 / 82



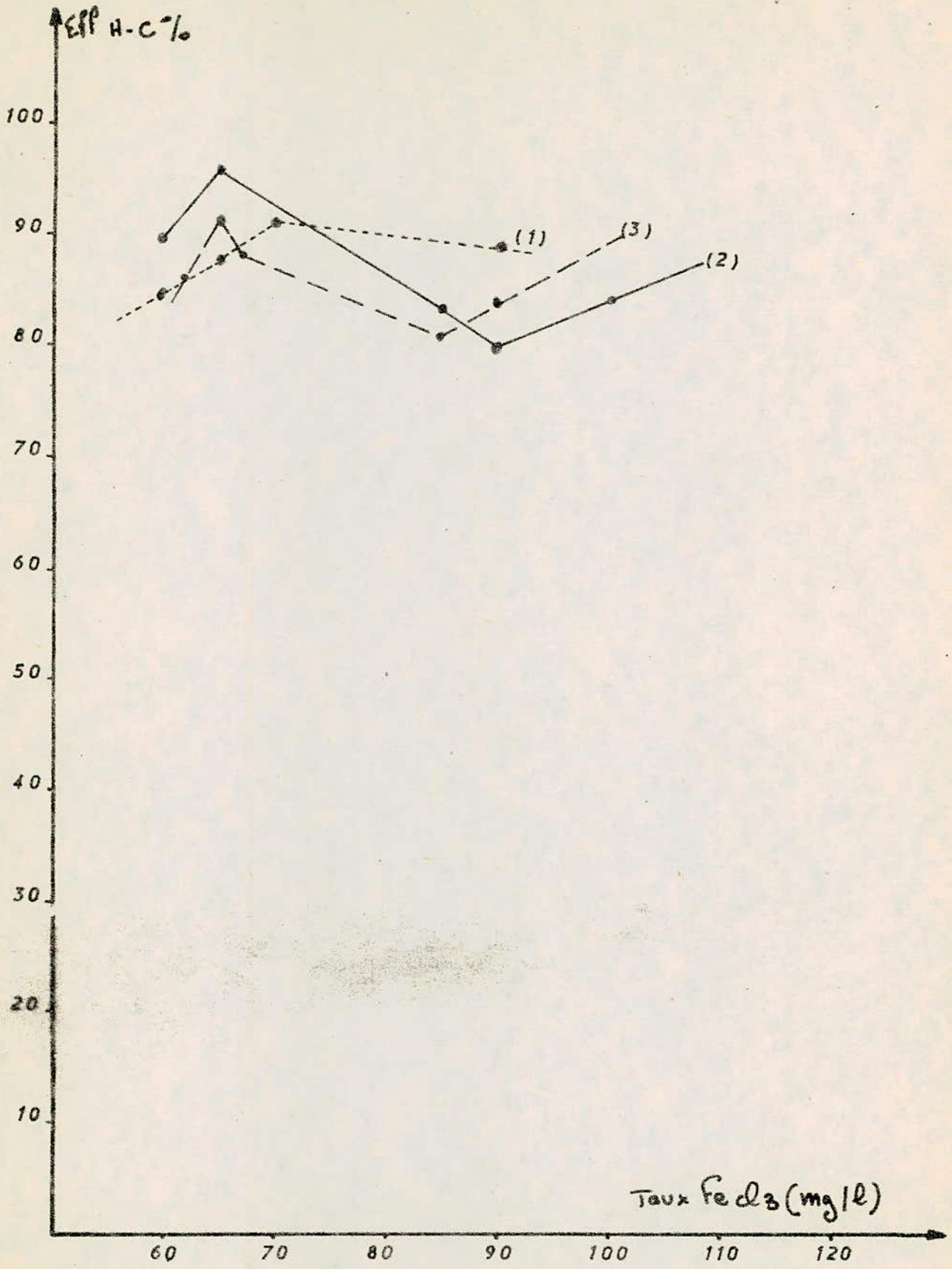
COURBE : 3

EFF (Traitement) = f (taux Fe ds)

ESSAI DU 4/5/82

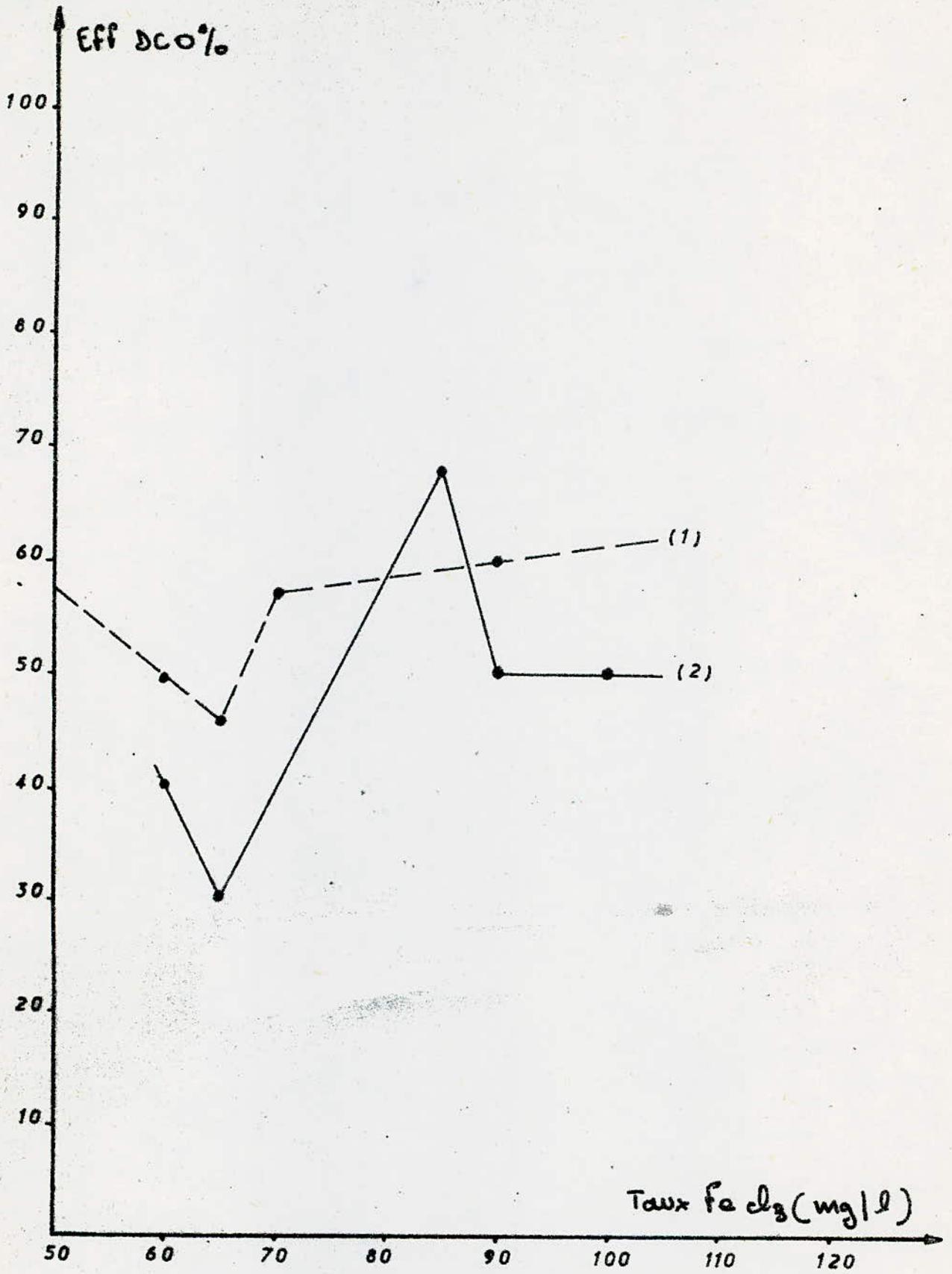


COURBE : 4 $\text{pH F} = f(\text{Taux Fe d 3})$
 POUR LES 3 ESSAIS



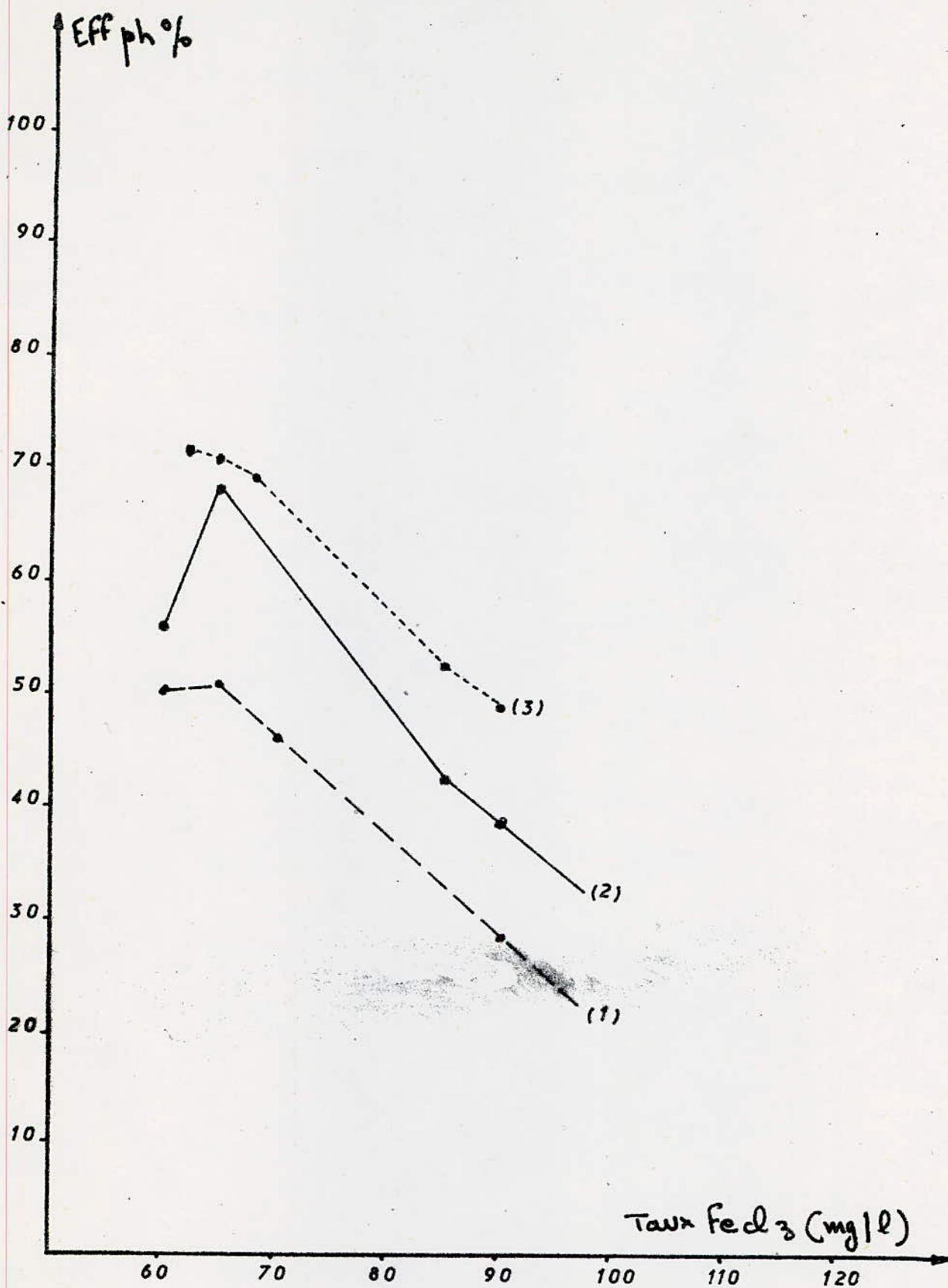
COURBE : 5

$$EFF (H-C) = F (\text{taux } FeCl_3)$$



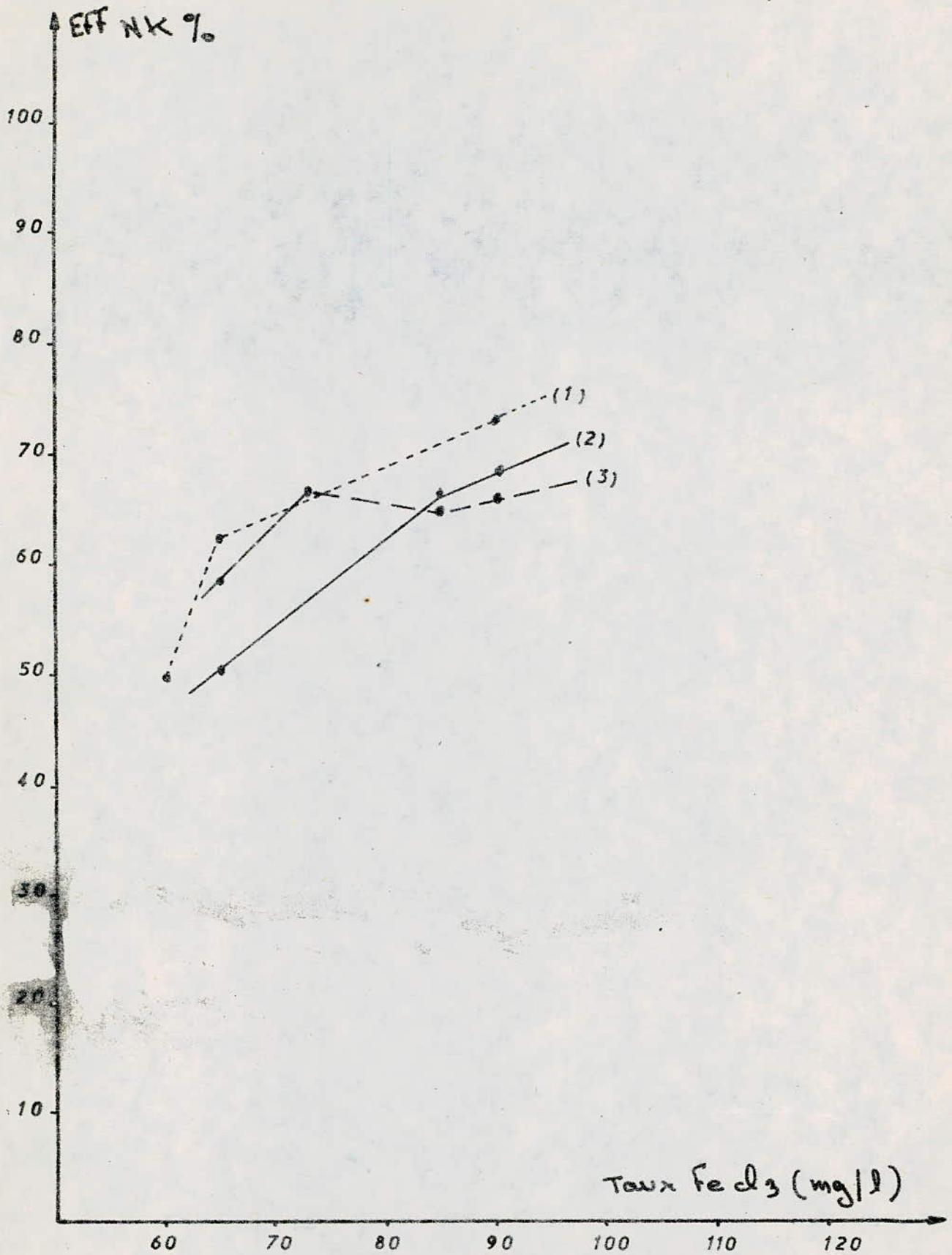
COURSE : 6

$$EFF(DCO) = f(\text{taux } FeCl_3)$$



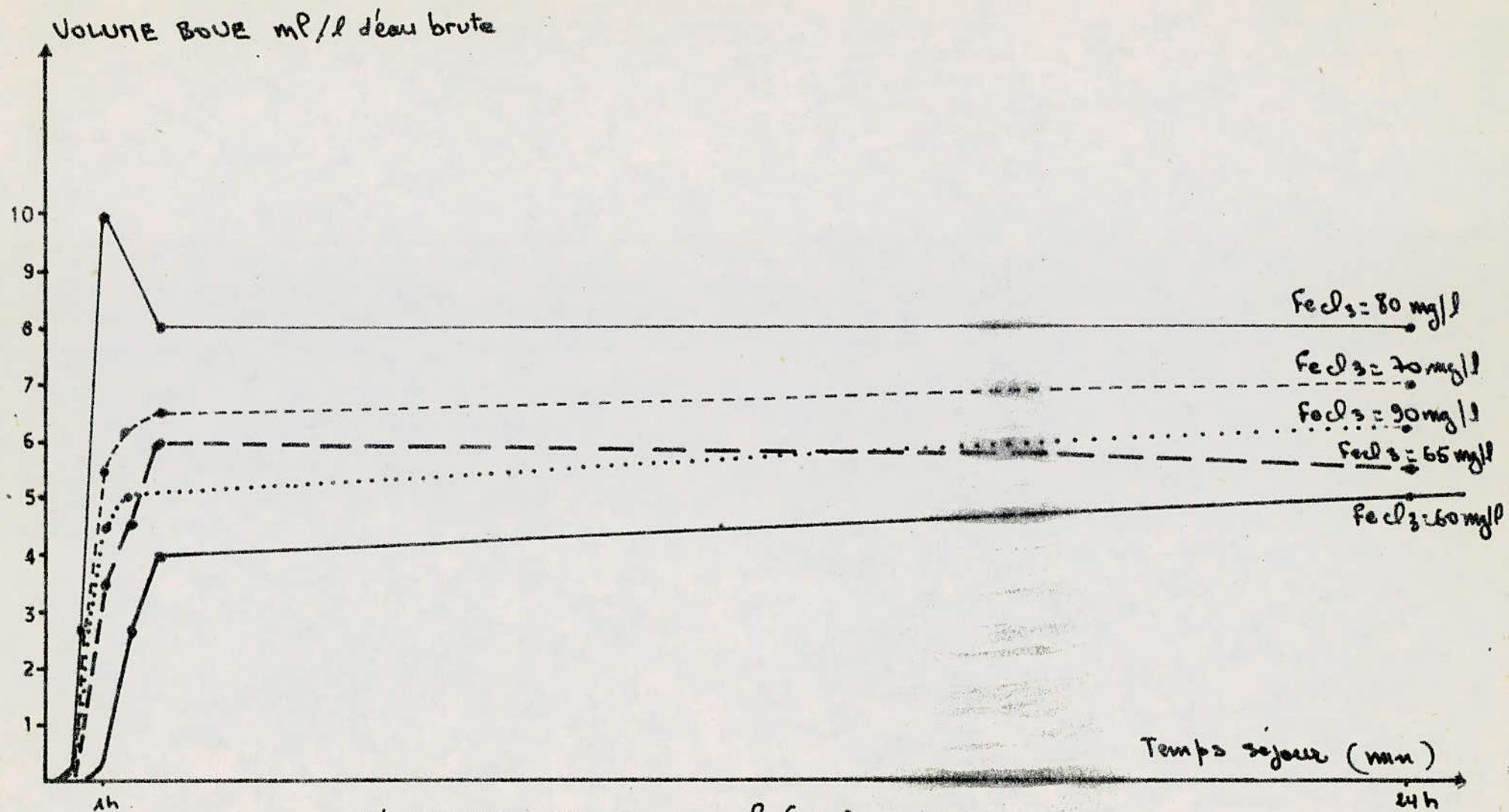
COURSE : 7

EFF ph = f (taux Fe d₃)



COURS : 8

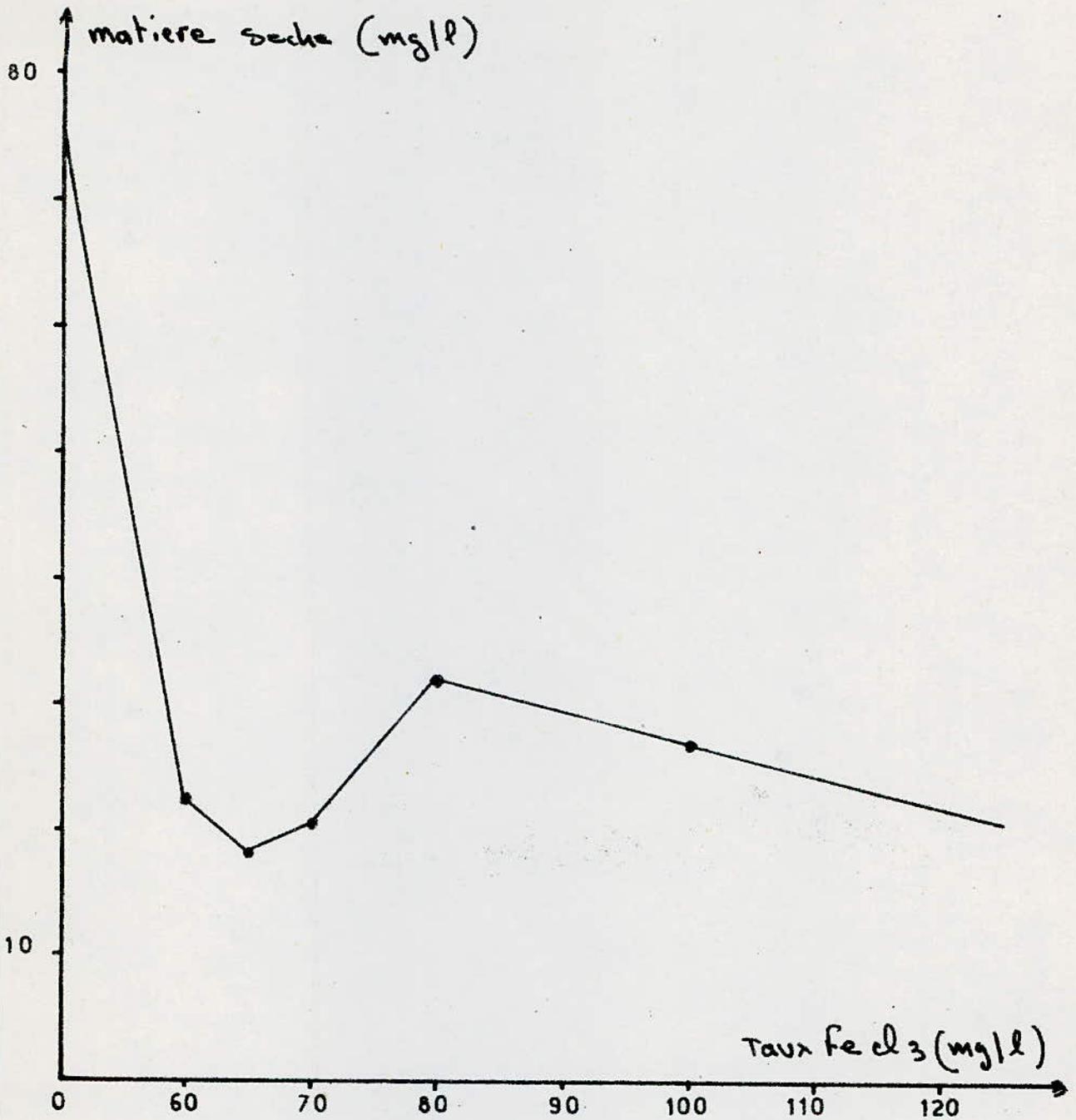
$EFF(NK) = f(\text{taux Fe d}_3)$



COURBE : 9

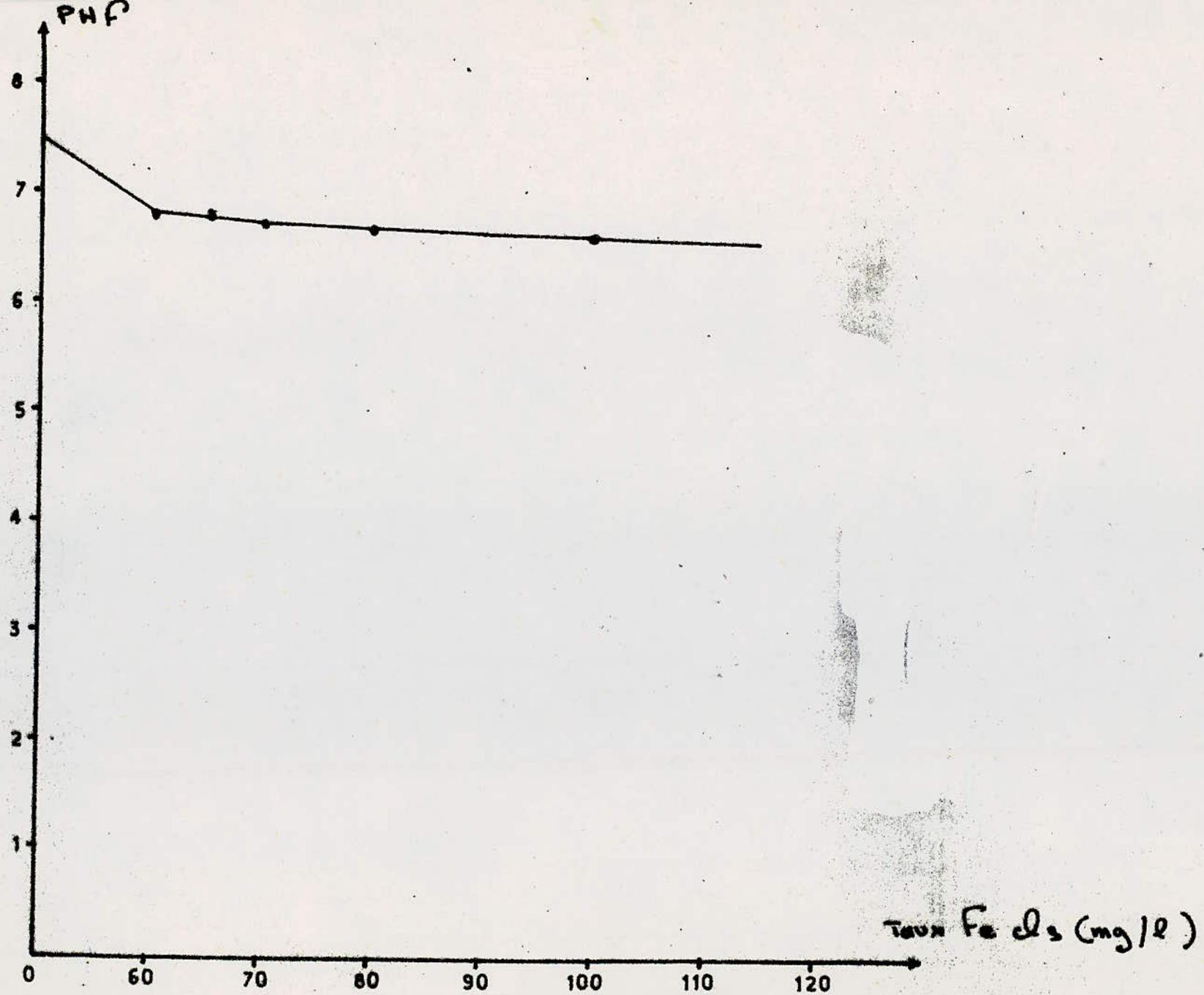
VOLUME DE BOUE = f(T₀)

ESSAI DU 11/5/82



COURBE : 10 M. seche = f (taux FeCl₃)

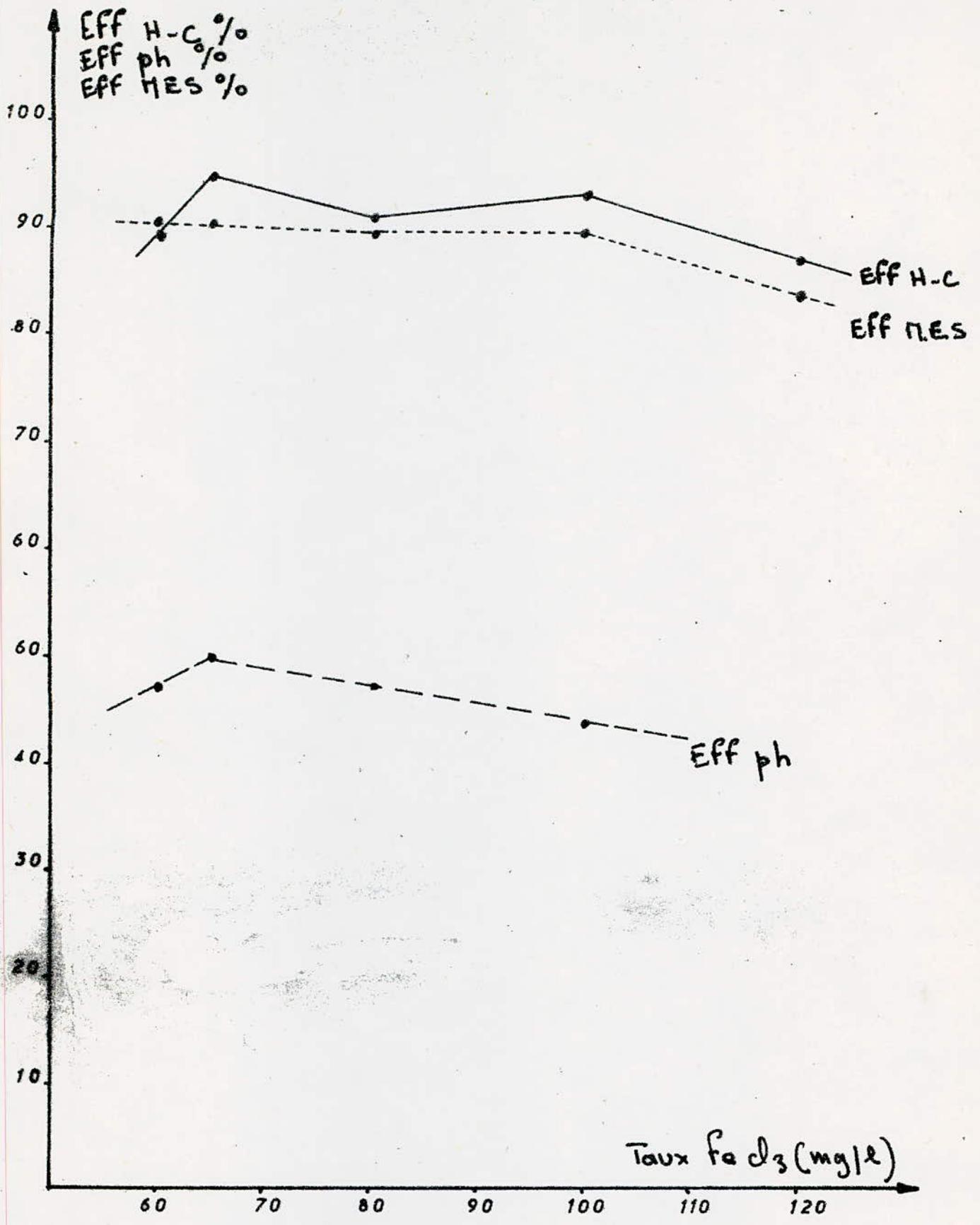
ESSAI DU 11/5/82



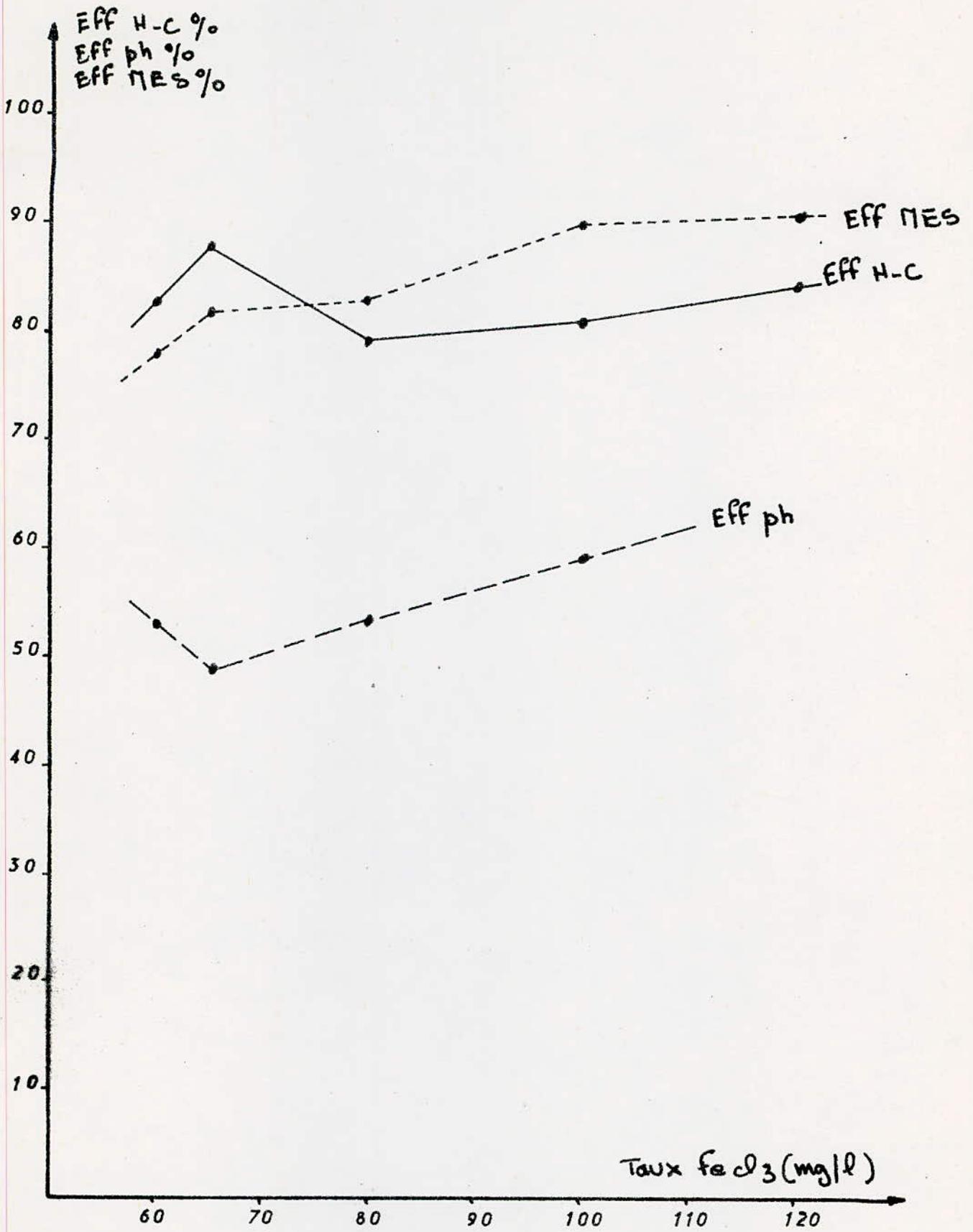
COURBE : 11

$PHF = f(\text{Taux Fe ds})$

ESSAI DU 11/5/82



COURBE : 12 EFF = f (Taux FeCl₃) PH = 9,3
 ESSAI DU 15/5/82

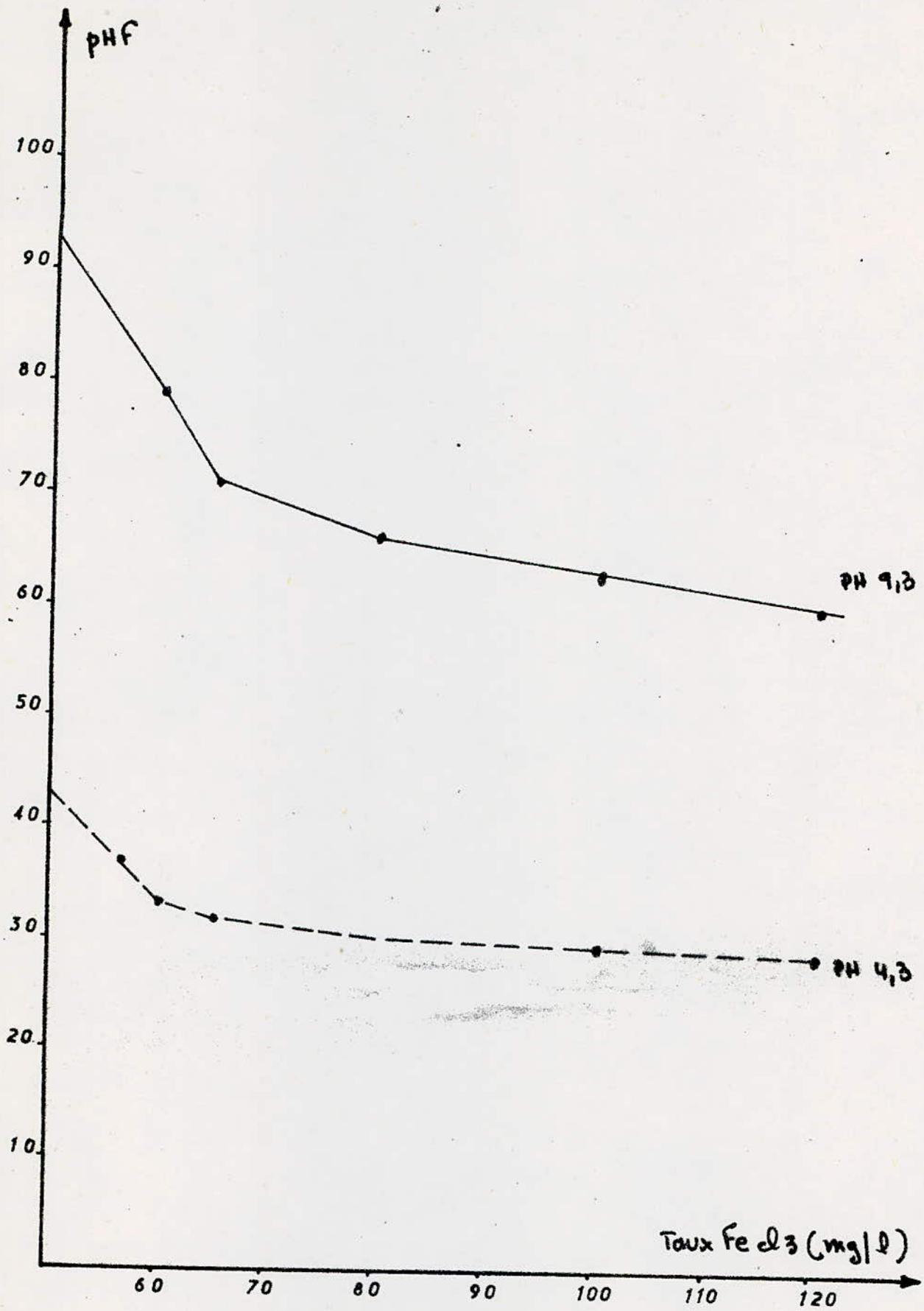


COURBE : 13

EFF = F (Taux FeCl₃)

ESSAI DU 15/5/82

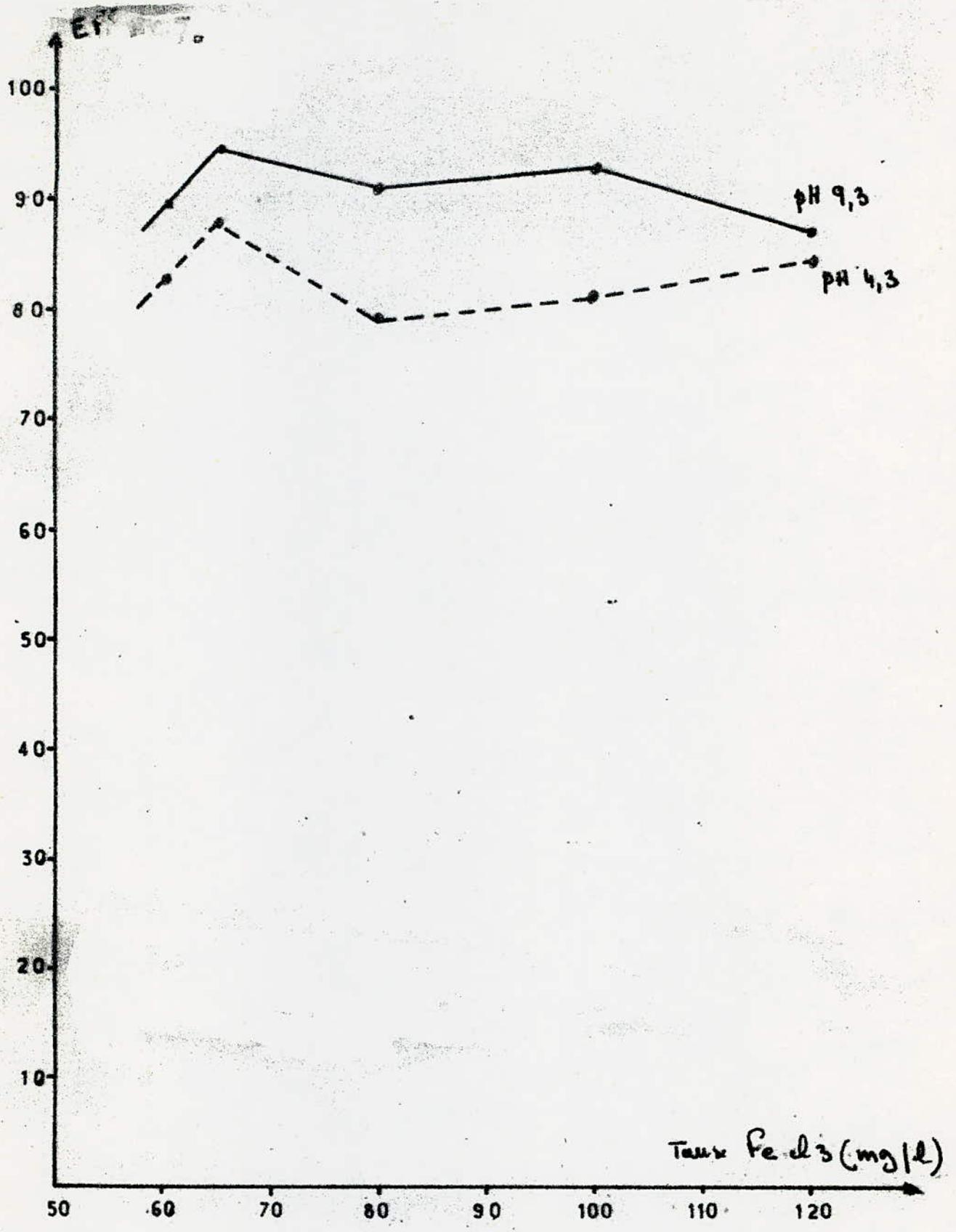
PH = 4,3



COURBE : 14

$PHF = f(\text{Taux Fe d}_3)$

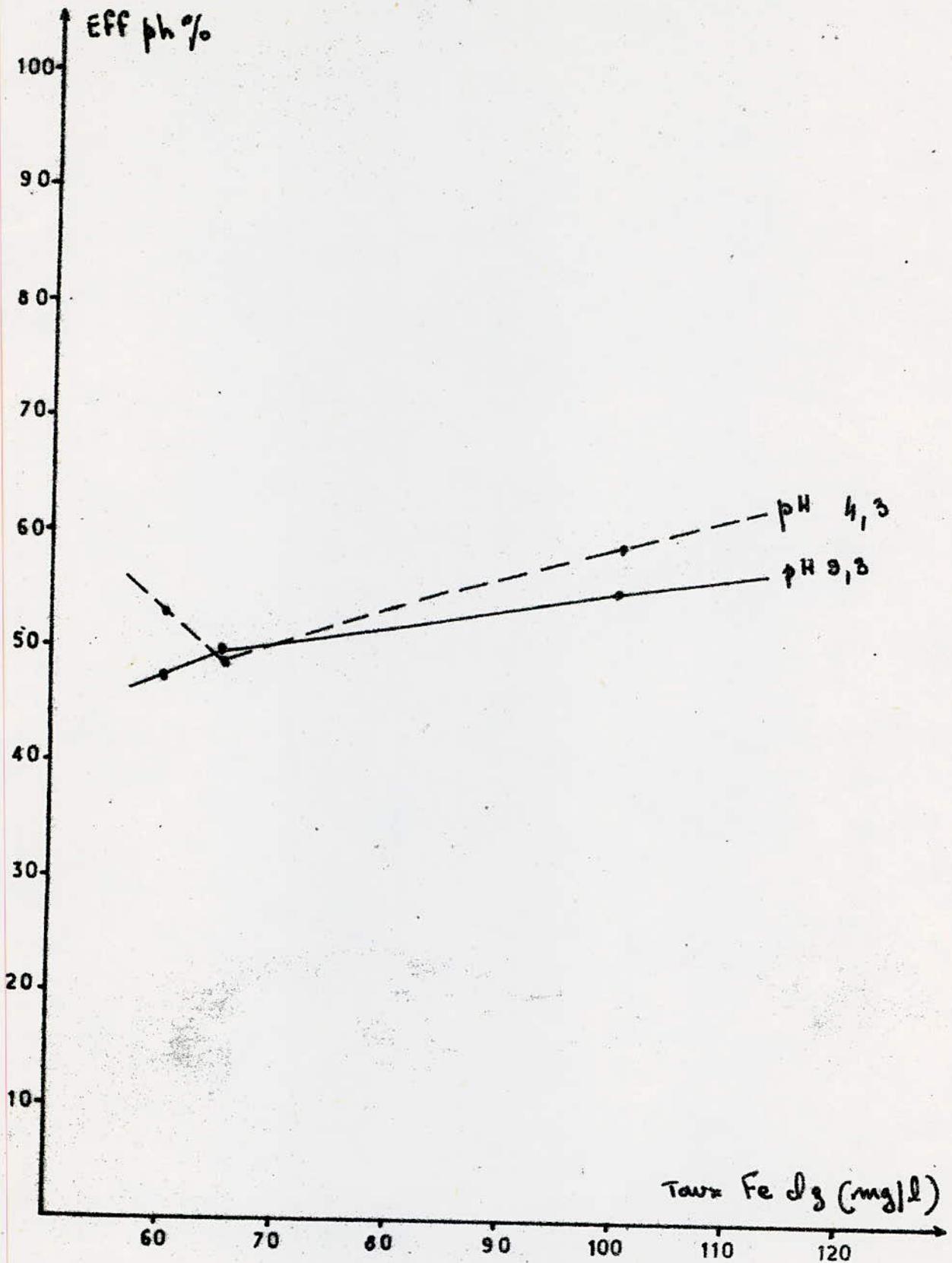
ESSAI DU 15/5/82



COURSE : 15

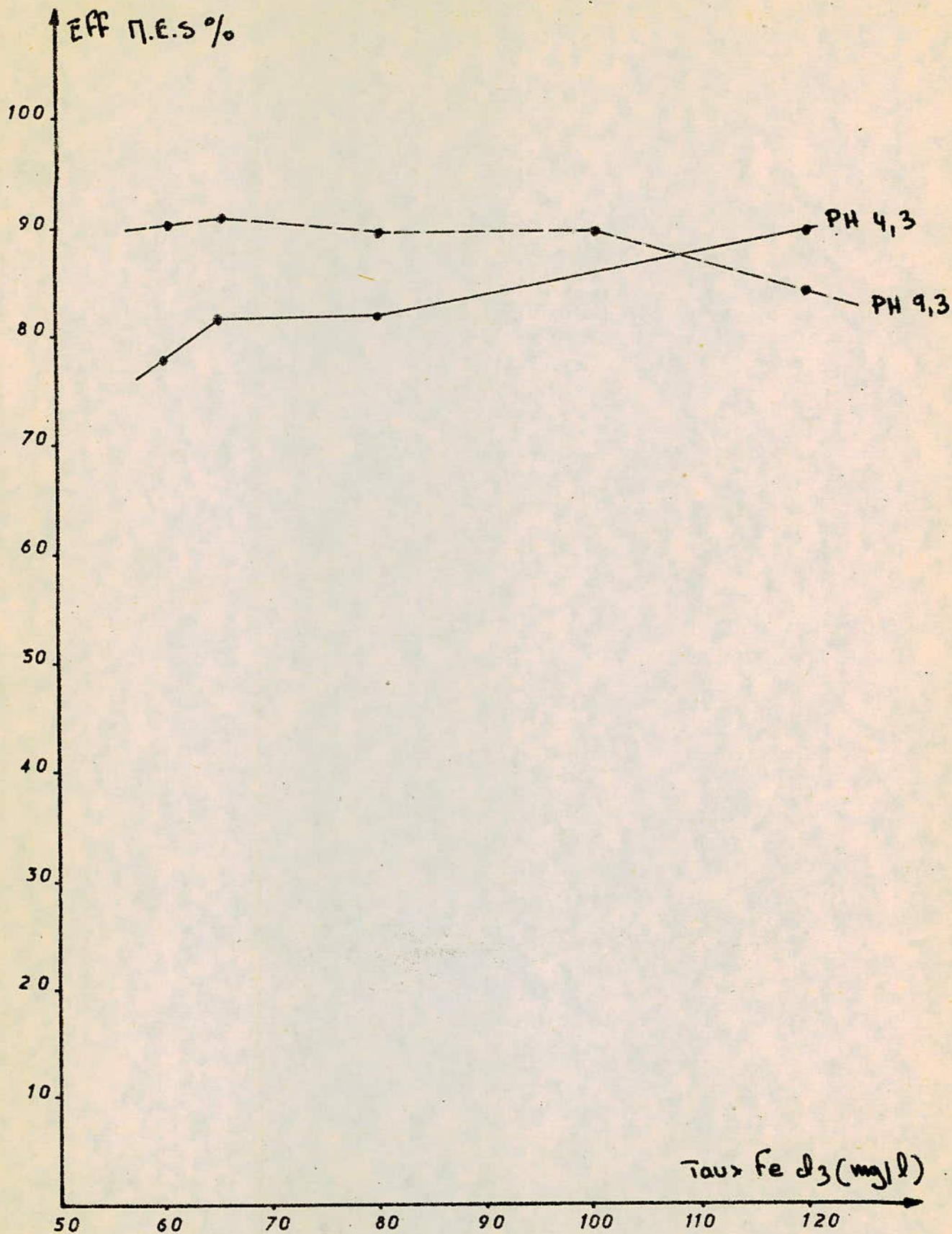
$$EFF(H-C) = F(\text{Taux FeCl}_3)$$

ESSAI DU 15/5/82



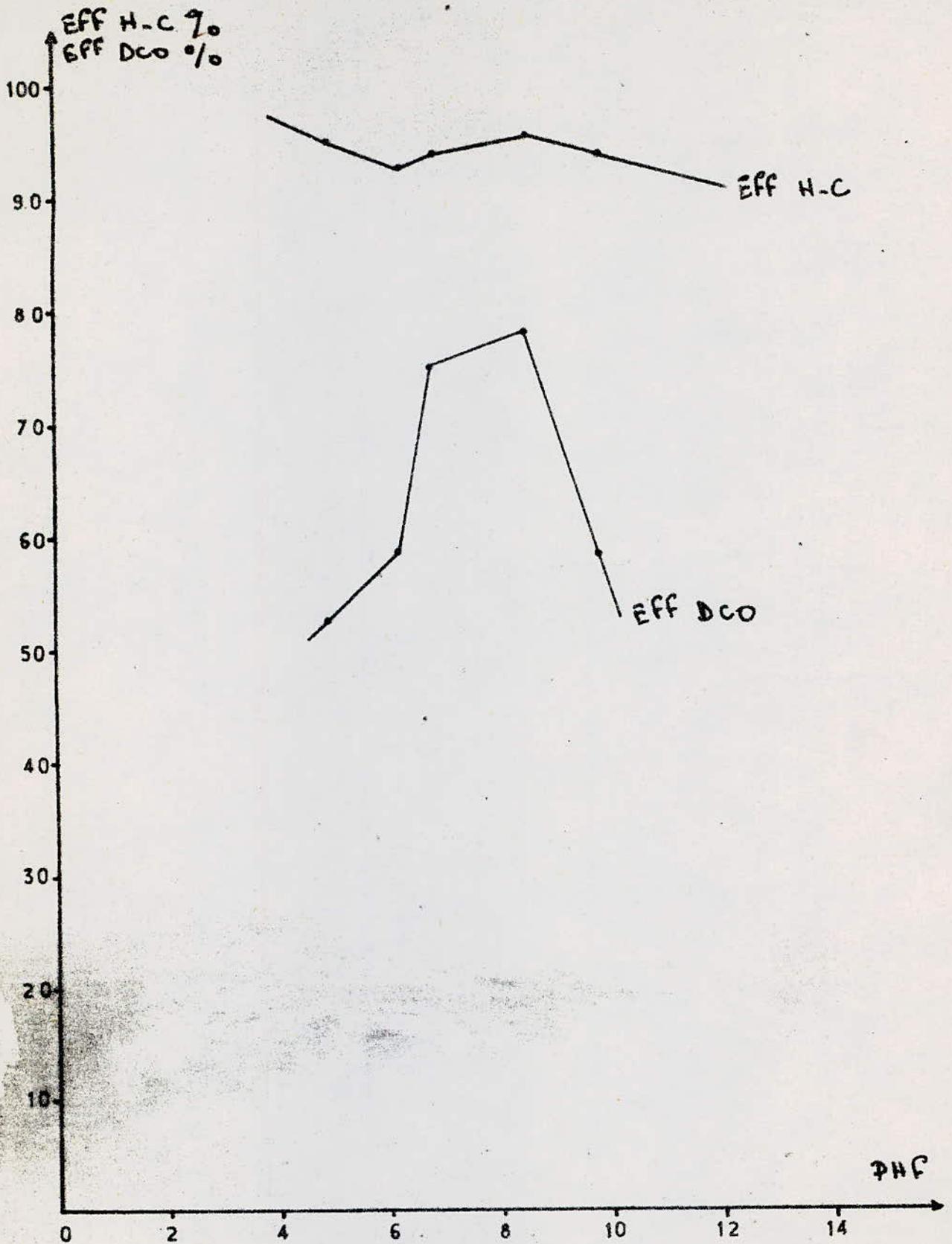
COURBE : 16 $EFF(ph) = F(\text{Taux Fe dg})$

ESSAI DU 15/5/82



COURBE: 17 $EFF(\eta.E.S.) = f(\text{Taux Fe } d_3)$

ESSAI DU 15/5/82

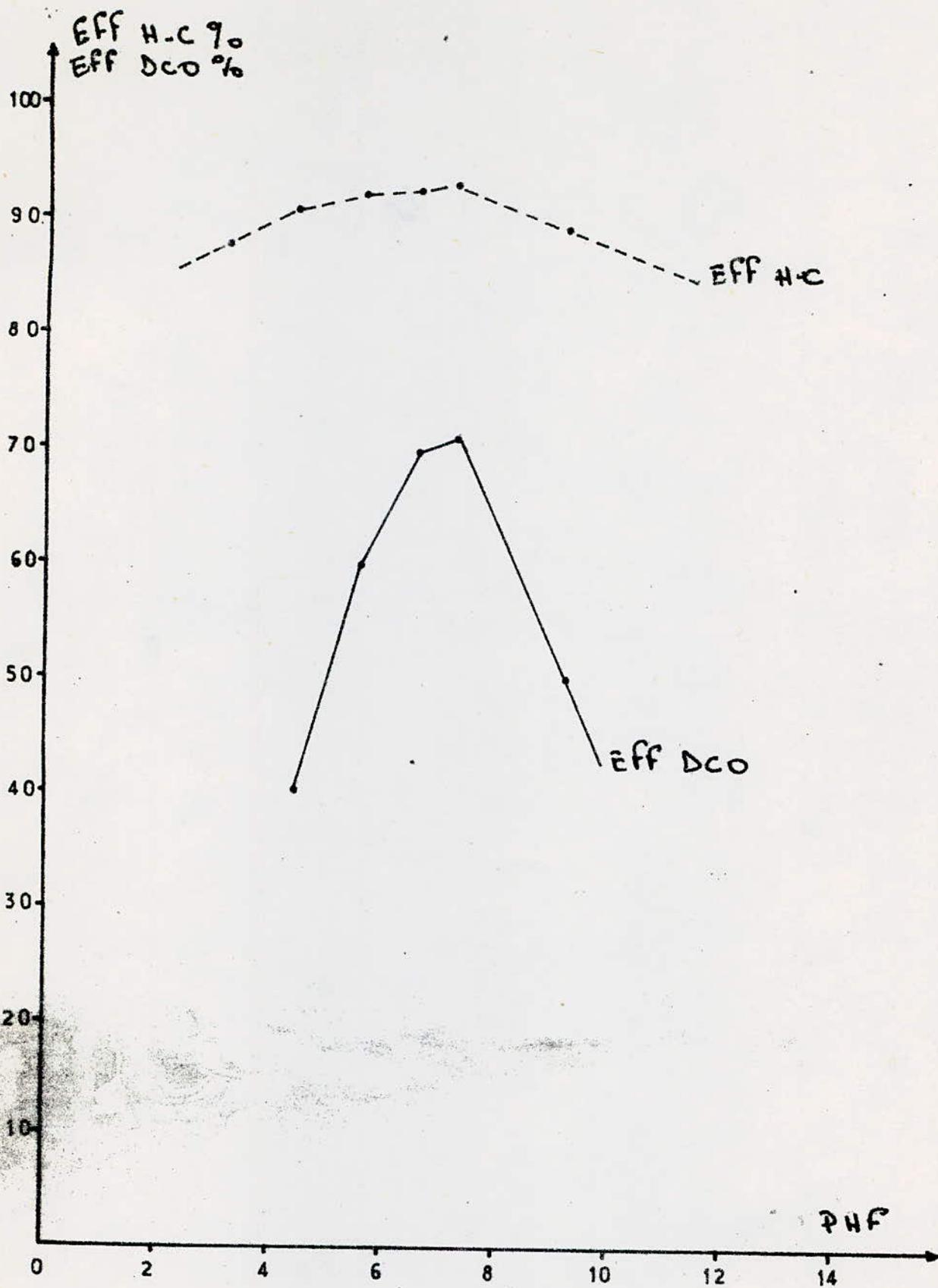


COURBE : 18

$EFF (H-C, DCO) = f (PHF)$

à un taux $FeCl_3 = 65 \text{ mg/l}$

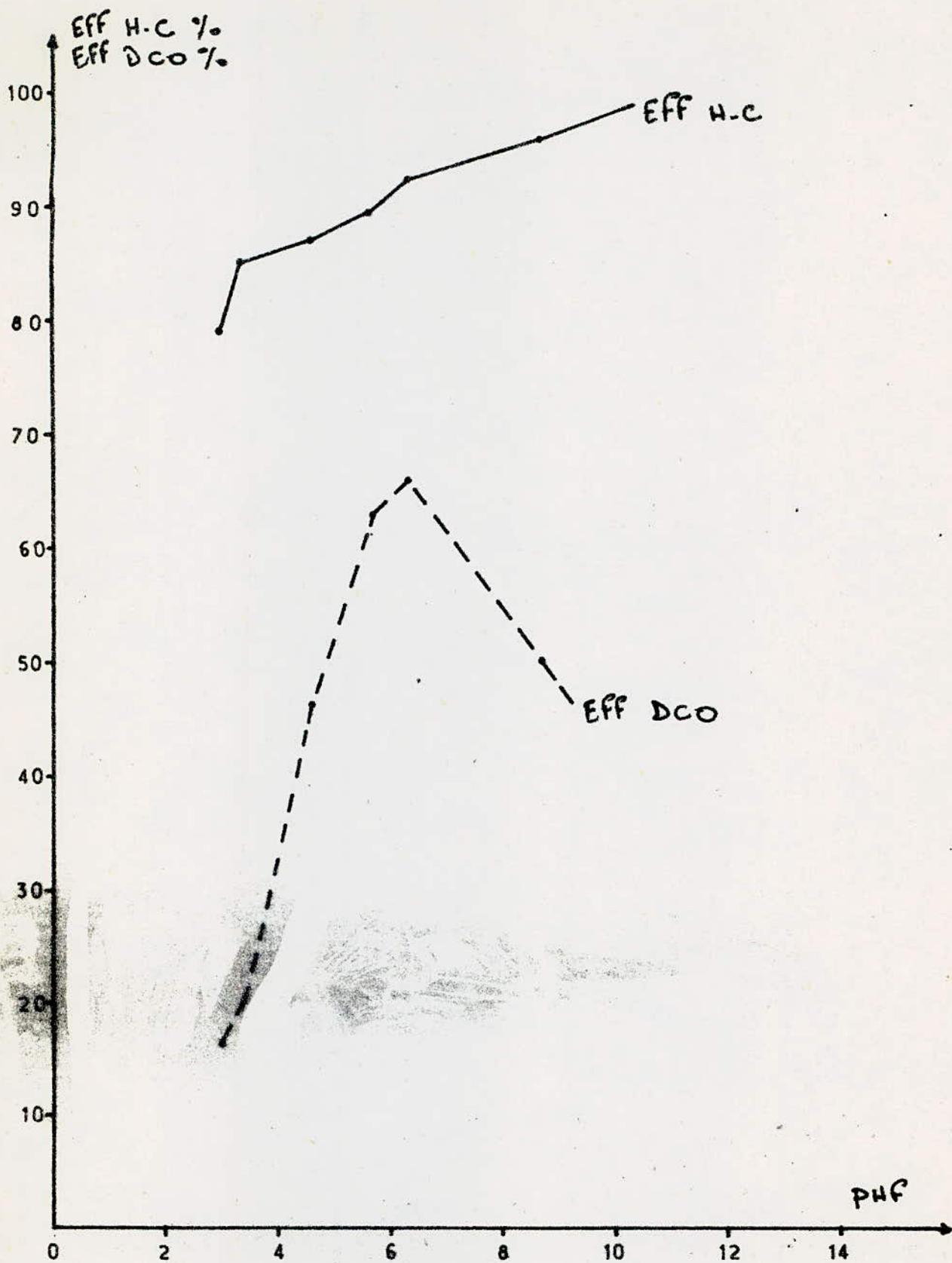
ESSAI DU 18/5/82



COURBE : 19

EFF (H-C, DCO) = F (PHP)
Taux fe d3 = 80 mg/l

ESSAI DU 10/5/82

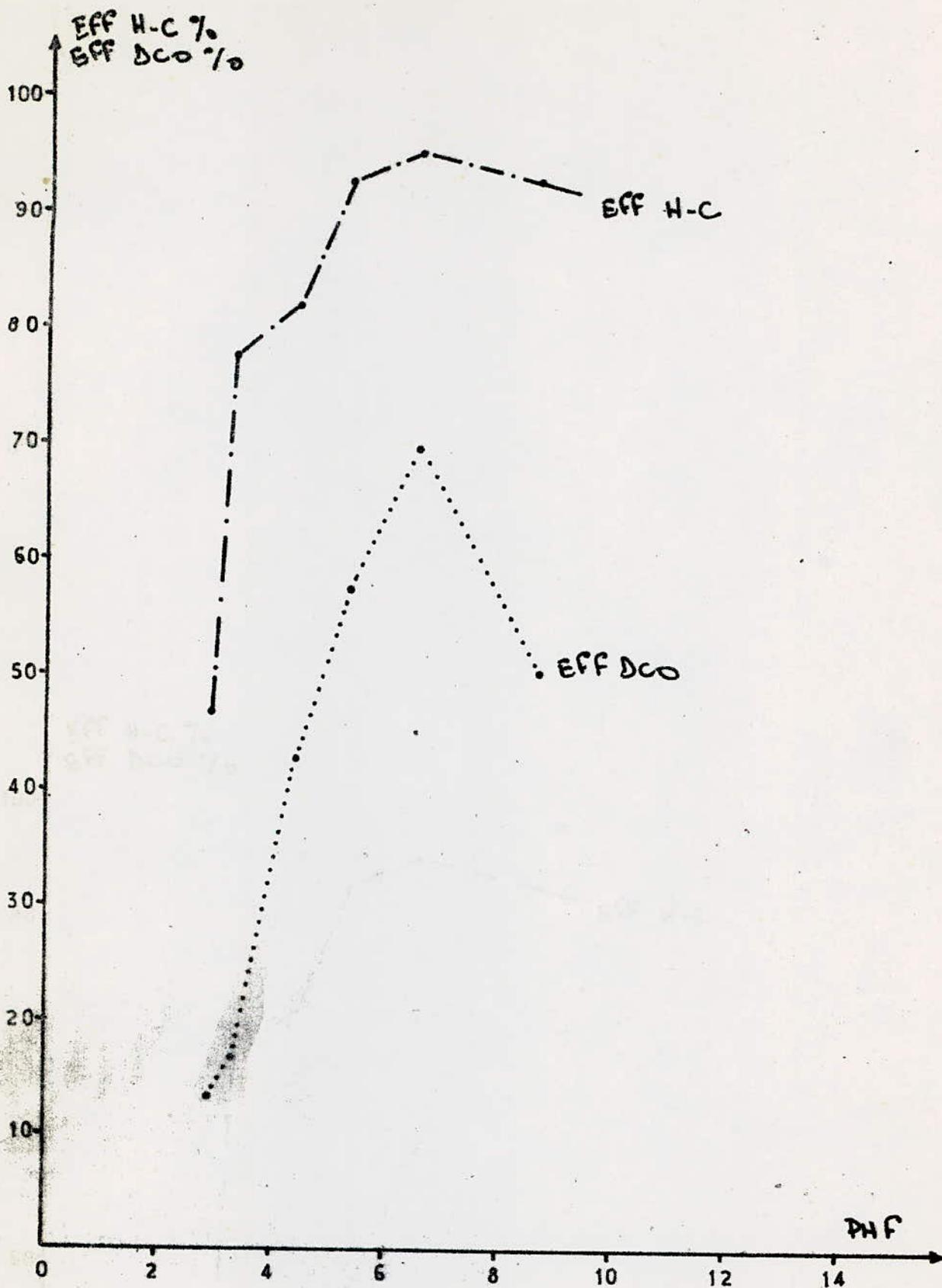


COURBE: 20

$$\text{EFF (H-C, DCO)} = F(\text{PHF})$$

$$\text{Taux FeCl}_3 = 100 \text{ mg/l}$$

ESSAI DU 25/5/82

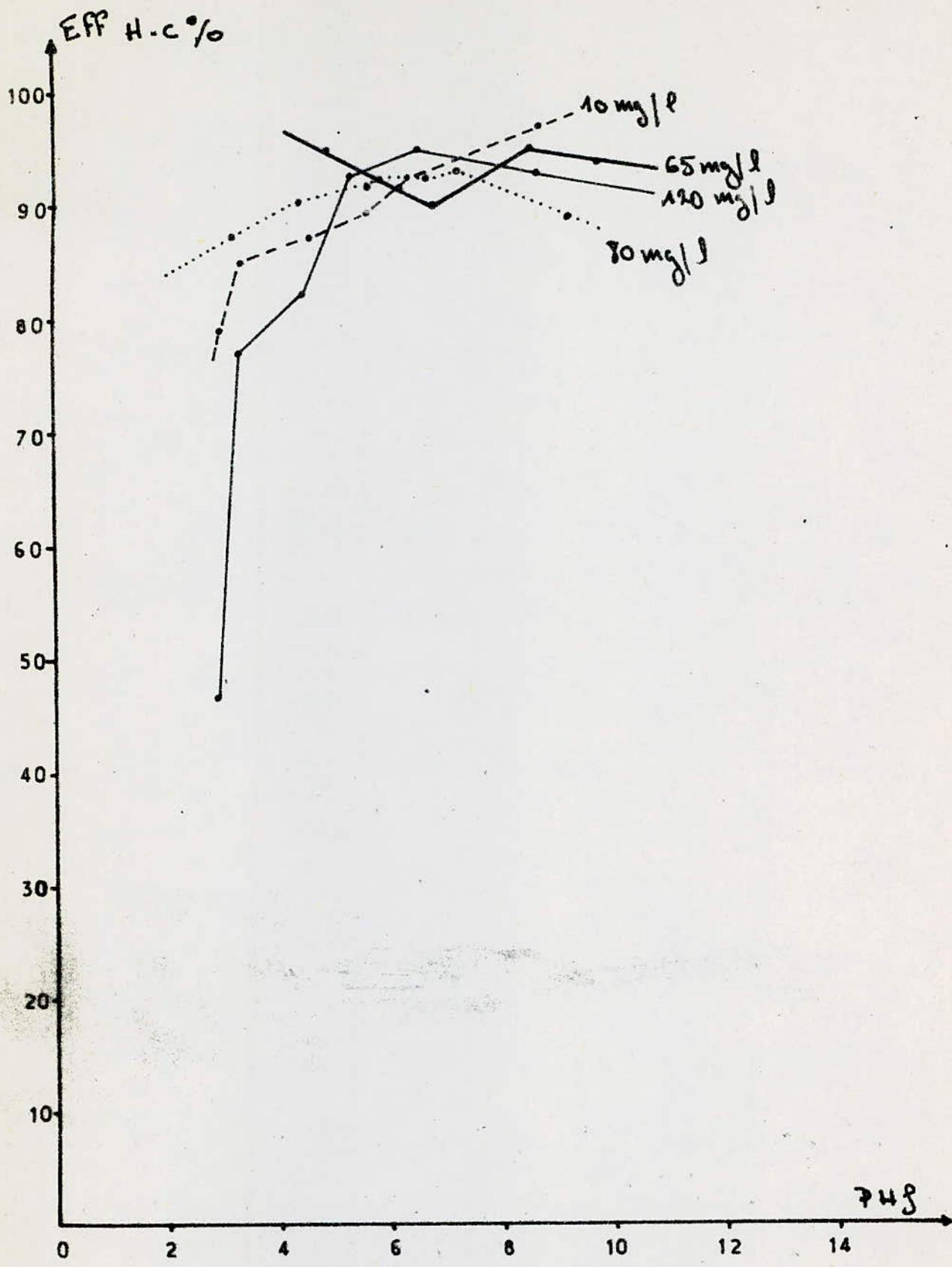


COURBE : 2/1

$EFF(H-C, DCO) = F(PHF)$

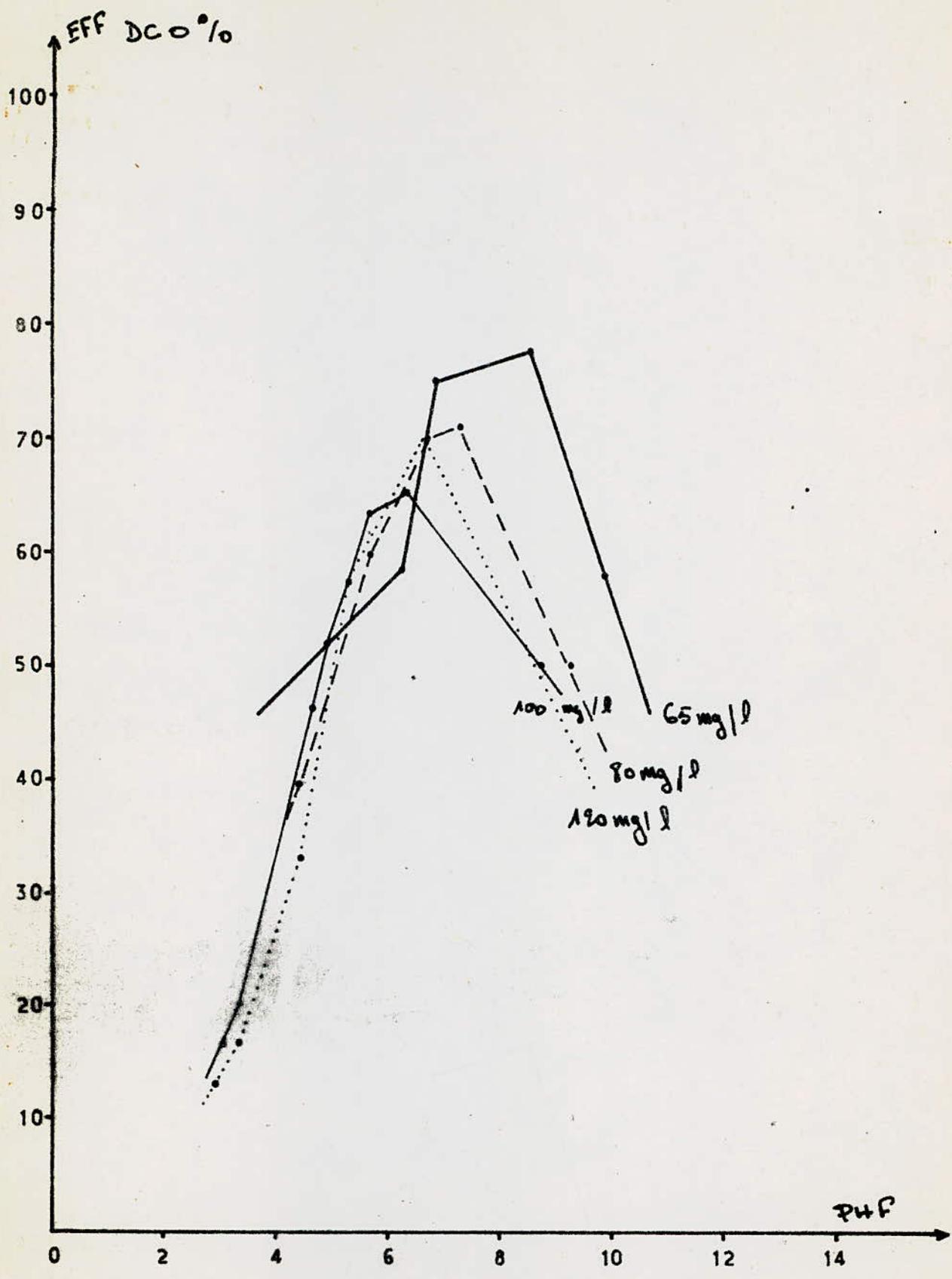
Taux $FeCl_3 = 120 mg/l$

ESSAI DU 25/5/82



COURSE: 22

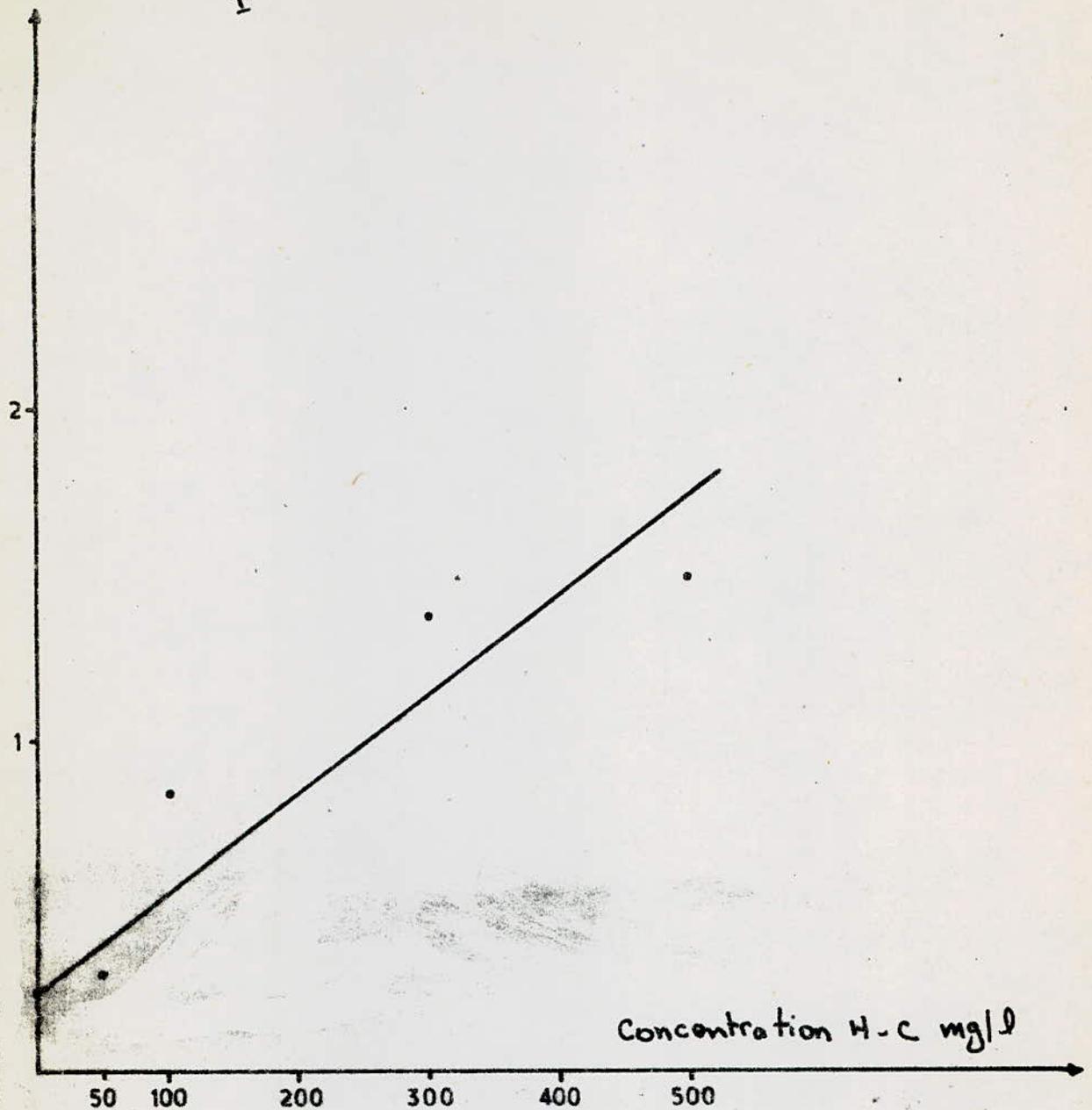
$$EFF (H-C) = F (PH8)$$



COURSE: 23

$$EFF(DCO) = F(pHF)$$

$$D = \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$$



COURBE : 24

$$D = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = f(\text{Concentration H-C})$$

Courbe d'étalonnage par Infra-rouge

ESSAI DU 30/5/82

