

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE PAR :

Pamphile SOSSOU

ANNEE 1989-1990

FLOCULATION-DECANTATION
DES EAUX DE LOUMBILA :
ETUDE COMPAREE DE LA VITESSE
DE CHUTE DES PARTICULES
SELON LE REACTIF

Mention :

Encadrement

A. H. MAIGA

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée
le _____, N° 99/90

S O M M A I R E

<u>TITRES</u>	<u>Pages</u>
Dédicace	
Remerciements	
Résumé	1
I - <u>INTRODUCTION</u>	3
II - <u>INTERET DU SUJET</u>	5
III - <u>CADRE DE L'ETUDE</u>	6
IV - <u>GENERALITES</u>	7
4.1 - Coagulation - Flocculation	7
4.2 - Décantation	8
4.3 - Théorie sur la Vitesse de Chute des Particules Flocculées (décantation diffuse)	9
V - <u>PROPRIETES DES REACTIFS COAGULANTS ET DES ADJUVANTS</u>	10
5.1 - Le Sulfate d'Aluminium	10
5.2 - Le Sulfate Ferrique	11
5.3 - La Chaux	12
5.4 - Le Chlore	12
VI - <u>METHODOLOGIE</u>	13
6.1 - Prélèvement de l'Echantillon	13
6.2 - Recherche des Caractéristiques de l'Eau Brute	13
6.3 - Recherche des Doses Optimales de coagulation - Flocculation	14
6.3.1 - Préparation des Solutions de Travail	14
6.3.2 - Jar Test	16
6.3.3 - Appréciation de la Flocculation - Décantation	16
6.3.4 - Influence de la Chaux	16
6.3.5 - Influence du Chlore	17
6.4 - Recherche de la Vitesse de Chute des Particules Flocculées	17

VII	-	<u>RESULTATS</u>	18
		7.1 - Caractéristiques des Eaux Brutes	18
		7.2 - Doses Optimales de Réactifs Coagulants	21
		7.3 - Vitesse de Chute des Particules Floculées	25
VIII	-	<u>ANALYSES ET COMPARAISON DES RESULTATS</u>	27
		8.1 - Doses Optimales de Réactifs	27
		8.2 - Vitesse de chute des Particules Floculées	28
IX	-	<u>CONCLUSION</u>	30
X	-	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	32

ANNEXES

Annexe 1 : Protocole d'analyses

Annexe 2 :

- Annexe 2a : Tableau des Variations des MES résiduelles et de réductions de MES en fonction du temps
- Annexe 2b : Graphiques des Variations de MES résiduelles et des réductions de MES en fonction du temps.

) E D I C A C E

) MA TENDRE)AMAN

) MON BRAVE)APA

) TOUS MES)RERES ET)OEURS

) TOUTE LA FAMILLE)OHOU)OSSOU

) MA FUTURE)MUE

) ROUVEZ EN L'EXPRESSION DE MA PROFONDE

RECONNAISSANCE.

II) E M E R C I E M E N T S

Ce travail ne saurait être réalisé sans le concours de Monsieur Amadou H. MAIGA, Professeur à l'EIER qui, malgré ses multiples sollicitations, a accepté d'encadrer ce travail ; je tiens à lui exprimer mes marques de gratitude et de reconnaissance.

Aussi, dois-je songer à remercier Messieurs

- Jean Antoine FABY

- Kokou DENYGBA

pour leur franche collaboration.

A tous les professeurs qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à ma formation ; sincères remerciements.

.../...

R E S U M E

Ce rapport expose une étude dont le thème est intitulé :

"FLOCCULATION - DECANTATION DES EAUX DE LOUMBILA :
ETUDE COMPAREE DE LA VITESSE DE CHUTE DES PARTI-
CULES SELON LE REACTIF".

En réalité, l'étude a porté sur un mélange des eaux des barra-
ges de Loumbila et de Ouagadougou, la teneur en matières en suspension
et colloïdales des eaux de Loumbila étant trop faibles pour permettre
une bonne appréciation des résultats.

Cette étude contribuera à l'amélioration des systèmes de
traitement des eaux de surface en zone sahélienne qui jusque là souffrent
d'inadéquation.

Les expériences se sont déroulées au laboratoire de recherche
en Génie Sanitaire de l'EIER d'Avril à Mi-Mai 1990.

Les réactifs coagulants étudiés sont le sulfate d'aluminium
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ et le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, 5\text{H}_2\text{O}$.

La recherche de la vitesse de chute des particules a été
précédée de la recherche de certains paramètres physico-chimiques des
eaux brutes et des doses optimales de réactifs coagulants par la méthode
dite de "Jar Test".

Les doses optimales ainsi déterminées, à partir desquelles se
sont effectuées les mesures de la vitesse de chute, sont de 60 ppm pour
le sulfate d'aluminium et de 100 ppm pour le sulfate ferrique.

L'ajout de la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) comme adjuvant de floculation
ou du chlore ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) en préchloration ne s'est pas révélé nécessaire.

La méthode utilisée pour la mesure de la vitesse de chute des
particules est basée sur la clarification de la moitié supérieure du
surnageant dans les béchers après le processus de coagulation-floculation.

.../...

Au total neuf essais de mesure de vitesse sont réalisés pour chaque réactif coagulant.

A partir de chaque essai, on détermine une vitesse de chute admissible sur la base d'une réduction de 85 % de MES ou d'une teneur résiduelle en MES de 10 mg/l.

La vitesse de chute caractéristique est la moyenne arithmétique des vitesses de chute admissibles obtenues à partir de neuf essais.

Les valeurs de vitesse de chute caractéristique obtenues sont de 0,39 m/h avec le sulfate d'aluminium et de 0,55 m/h avec le sulfate ferrique.

Ces valeurs sont inférieures à celle généralement utilisée dans la conception des décanteurs (0,75 m/h).

Les valeurs trouvées dans cette étude, si elles arrivaient à être confirmées, seront plus fiables que la valeur théorique de 0,75 m/h dont la détermination ne tient pas toujours compte des réalités locales.

I - INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau potable des populations se fait généralement à partir des eaux souterraines ou des eaux de surface.

Les eaux souterraines, auxquelles on accède par des puits, forages, etc..., sont pour la plupart non chargées du fait de la traversée des couches souterraines dont l'importance et les caractéristiques définissent la qualité de ces eaux.

Les eaux de surface quant à elles sont accessibles par les cours d'eau, les lacs, les barrages réservoirs, etc. Elles sont toujours sujettes à des contaminations temporaires ou permanentes et ne peuvent être livrées à la consommation sans traitement préalable. Les procédés de traitement varient selon les cas et dépendent de la qualité et de la nature de l'eau brute. Mais dans tous les cas, on rencontre presque toujours l'ensemble des opérations et dans l'ordre suivant :

- Dégrillage
- Coagulation - Flocculation
- Décantation
- Filtration
- Neutralisation
- Désinfection
- Stérilisation.

L'objet de ce traitement est d'éliminer les substances indésirables se trouvant dans l'eau brute ou tout au moins de ramener leurs teneurs en dessous des valeurs fixées par les normes de qualité choisies.

Ces substances, qui se présentent sous les formes ci-après :

- en suspension ;
- colloïdale ;
- dissoute ;

sont éliminées en grande partie au niveau de la décantation après le processus de coagulation - flocculation. Le rendement d'une station de traitement dépend fortement de celui des décanteurs d'où la nécessité d'une parfaite connaissance des paramètres de dimensionnement de ces derniers. Le plus important de ces paramètres se trouve être la "vitesse de chute" des particules floculées.

Cette vitesse varie en fonction de plusieurs facteurs dont la nature du réactif coagulant.

C'est sur cet important paramètre que porte la présente étude dont le thème est intitulé "Floculation - Décantation des Eaux de Loumbila : Etude Comparée de la vitesse de chute des particules selon le réactif".

Dans cette étude, la recherche de la vitesse de chute est faite avec la dose optimale de réactif. Les réactifs utilisés sont le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$) et la sulfate ferrique ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3, 5\text{H}_2\text{O}$).

II - INTERET U UJET

La vitesse de chute des particules est un paramètre très important qui intervient dans le dimensionnement des décanteurs. C'est un paramètre d'efficacité des décanteurs. En effet, un décanteur sera d'autant plus efficace qu'il arrêtera des particules à vitesse de chute plus lente.

Pour un décanteur horizontal, la surface S nécessaire pour éliminer une particule de vitesse de chute U_0 est donnée par la relation :

$$U_0 = \frac{Q}{S} \left(1 + \frac{1}{K} \times \frac{L}{H} \right)$$

avec $K = 20$ à 30 (coefficient de turbulence)

$\frac{L}{H}$ = rapport de la longueur à la hauteur du décanteur

Q = débit affluent.

Il est alors important de déterminer la valeur de U_0 pour une eau donnée avant de définir les caractéristiques d'un ouvrage de décantation. Cette détermination doit être expérimentale pour les particules floculées, les modèles mathématiques étant rendues beaucoup plus complexes à cause de la modification continue des caractéristiques de ces particules.

.../...

III - L'ADRE DE L'ÉTUDE

L'étude est initialement prévue sur les eaux du barrage de Loumbila situé à 17 km environ de la ville de Ouagadougou. Ce barrage, en plus des barrages N° 2 et 3 sis à Ouagadougou assure l'alimentation en eau de consommation de la ville. La qualité de ses eaux, du point de vue teneur en matières en suspension (très faible), durant la période de l'étude, ne permet pas une bonne appréciation des résultats.

Ces eaux étant semblables à celles des barrages N° 2 et 3 du point de vue nature des matières en suspension et colloïdales, l'étude est finalement faite sur un mélange des eaux de ces trois barrages. Les prélèvements d'échantillons se font à la station de l'ONEA* à partir d'une prise installée sur la conduite d'amenée d'eau brute.

Les expériences se sont déroulées au laboratoire de recherche en Génie Sanitaire de l'EIER d'Avril à Mi-Mai 1990.

* ONEA (Office National des Eaux et de l'Assainissement) est l'Organisme National qui s'occupe de la gestion des systèmes d'alimentation en eau potable et d'assainissement au Burkina Faso.

IV - ENERALITES

4.1 - COAGULATION - FLOCULATION

Le traitement des eaux consiste d'abord à séparer de ces dernières toutes les particules qui sont à l'origine de leur turbidité et de leur coloration. Ces particules vont des matières dont la structure est assez grosssière et qui se déposent facilement aux particules très fines (colloïdes) généralement de charge négative. Ces particules colloïdales sont maintenues en suspension grâce à des phénomènes de répulsion électrostatique et d'hydratation. Cette dispersion des particules est mesurée à l'aide d'une valeur exprimée en "potentiel Zéta". Pour les particules alcalines telles qu'on les rencontre dans nos pays, le "potentiel Zéta" varie de -50 à -100 mv, et pour les particules acides, il est de l'ordre de 150 à 10 mv.

La coagulation a pour but de :

- détruire les charges électrostatiques des particules
- donner naissance à un précipité.

Le produit utilisé en appelé coagulant de charge généralement positive. Les précipités formés par la coagulation sont finement divisés et il est nécessaire de les agglomérer en particules solides de plus fort diamètre ou en un véritable floc facilement séparables de l'eau par décantation ou par filtration : c'est la floculation. Cette agglomération s'obtient par un brassage homogène et lent de l'eau coagulée. Il existe des produits qui peuvent exercer une action au niveau de la vitesse de réaction (floculation plus rapide) ou au niveau de la qualité du floc (floc plus lourd, plus volumineux, plus cohérent). On les appelle flocculants ou adjuvants de coagulation ou encore adjuvants de floculation.

.../...

4.2 - DECANTATION

La décantation est un phénomène physique qui réside dans l'utilisation de forces de gravité pour séparer les particules de densité supérieure à celle du liquide jusqu'à une surface ou une zone de stockage.

Elle joue un rôle de prétraitement pour la filtration en diminuant la concentration des particules en suspension qu'il faudra retenir au niveau des filtres.

On distingue deux types de particules décantables :

- les particules grenues qui se sédimentent indépendamment les unes des autres avec une vitesse de chute constante ;
- les particules plus ou moins floculées qui résultent d'une agglomération naturelle ou provoquée des matières colloïdales en suspension. Lorsque la concentration des matières est faible, le floc dispersé décante comme s'il était seul, mais sa vitesse de chute augmente au fur et à mesure que ses dimensions se développent par suite de sa rencontre avec des particules plus fines : c'est la décantation diffuse.

Pour des concentrations élevées, l'abondance des floes crée une décantation d'ensemble freinée, caractérisée par une interface nettement marquée entre la masse boueuse et le liquide surnageant : c'est la décantation en piston (ou freinée).

Pour ce qui concerne les eaux de Ouagadougou, il s'agit d'une décantation diffuse.

.../...

4.3 - THEORIE SUR LA VITESSE DE CHUTE DES PARTICULES FLOCULEES (DECANTATION DIFFUSE)

Les particules floculées décantent avec une vitesse croissante. Dans un bassin de décantation à flux hydraulique horizontal, leur trajectoire est curviligne (figure 1).

Contrairement aux particules grenues dont la vitesse de chute obéit à la loi de Stokes, on ne dispose pas de formule mathématique permettant le calcul de la vitesse de décantation des particules floculées. On procède donc à une analyse de décantation en laboratoire généralement dans une colonne de décantation (fig. 2). On effectue des prélèvements d'échantillons à 0,6 ; 1,2 ; 1,8 m de la surface. Le prélèvement d'échantillons à intervalles de temps réguliers permet de tracer des courbes de même pourcentage d'élimination p en fonction de la hauteur H et du temps t (fig. 3).

A partir de la figure 3, on peut définir la vitesse de décantation effective V_s qui est le rapport entre la hauteur effective H (profondeur utile de décantation) et le temps nécessaire pour obtenir un pourcentage d'élimination donné.

Toutes les particules floculées ayant une vitesse de décantation supérieure ou égale à V_s sont éliminées dans un décanteur idéal dont la charge superficielle est égale à V_s .

.../...

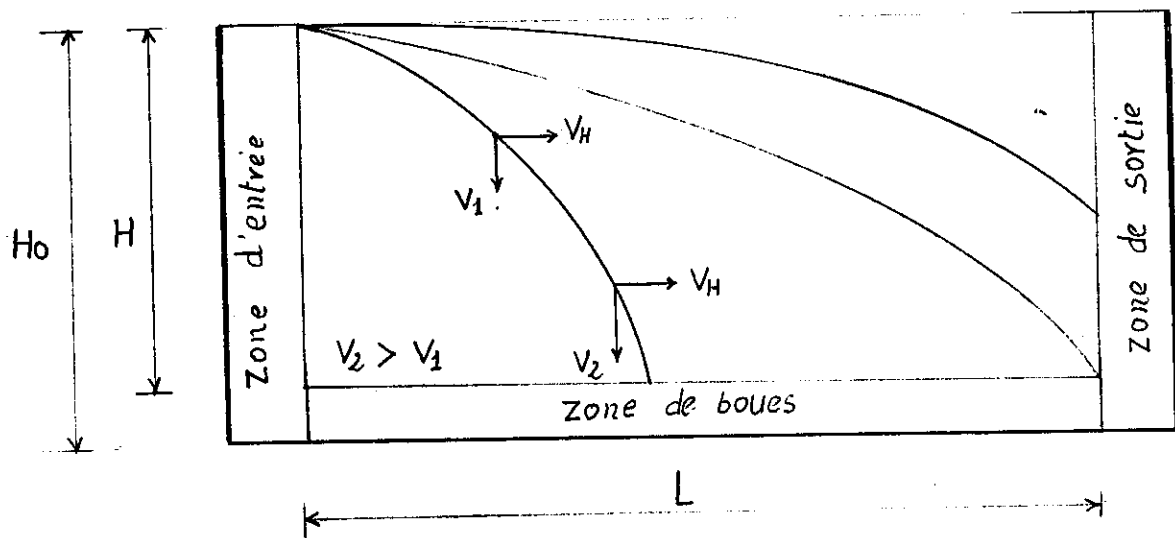


Figure n° 1 Trajectoire de décantation des
particules floculées : décantation diffuse

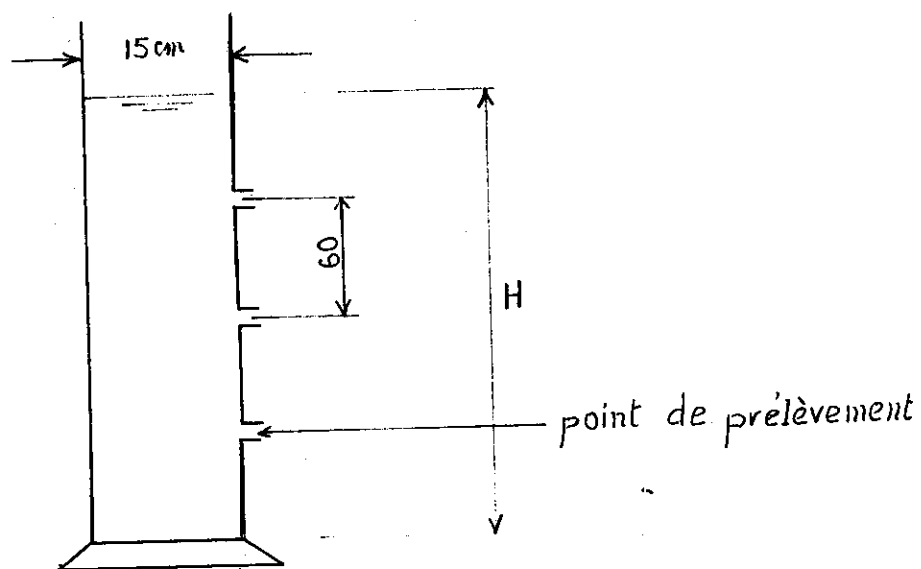


Figure n°2 Colonne de décantation

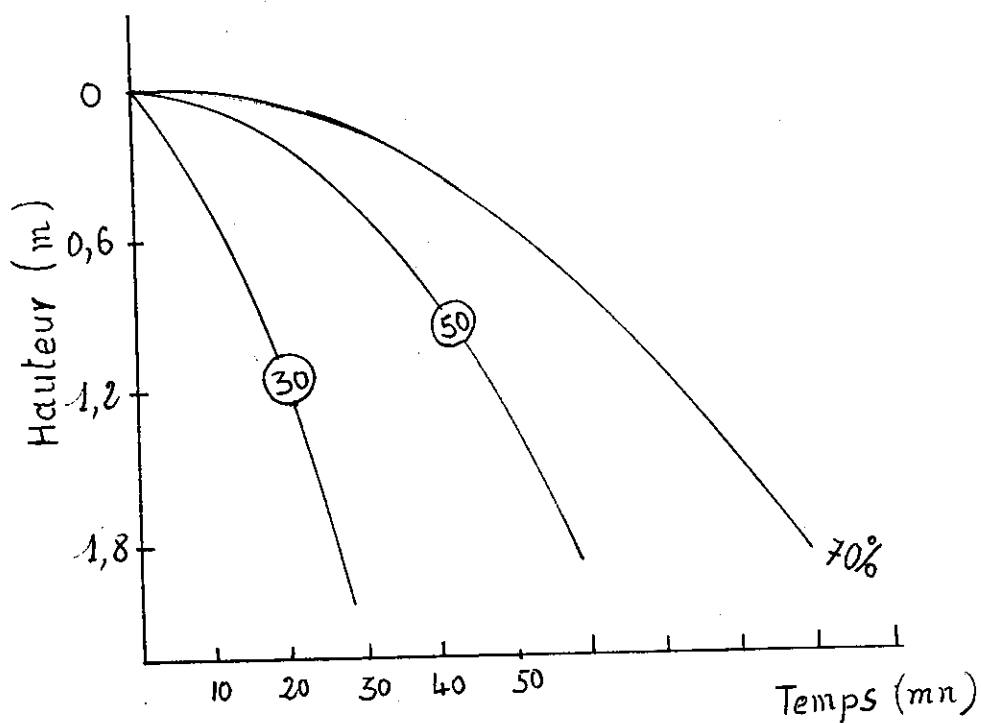


Figure n°3 Courbes de mêmes pourcentages d'élimination des particules

V - PROPRIETES DES REACTIFS COAGULANTS ET DES ADJUVANTS

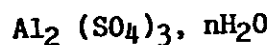
En traitement des eaux, les réactifs coagulants le plus couramment utilisés sont à base de sels d'aluminium ou de fer. Le choix d'un réactif pour une eau donnée se fait à partir d'une étude en laboratoire basée sur la technique des essais de floculation. Ce choix dépend essentiellement de :

- nature et qualité de l'eau brute
- variations de la qualité de l'eau brute (variations journalières ou saisonnières en particulier influence de la température)
- destination de l'eau traitée
- nature des équipements de traitement installés à l'aval de la coagulation.

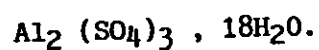
Dans la présente étude les réactifs coagulants utilisés sont le sulfate d'aluminium et le sulfate ferrique. A côté de ces réactifs des produits d'addition (adjuvants) tels que la chaux et le chlore sont utilisés. Ces produits sont capables de modifier le comportement des réactifs coagulants en ce qui concerne la rapidité dans la formation des floes, la dimension des floes, leur densité et leur vitesse de sédimentation.

5.1 - LE SULFATE D'ALUMINIUM

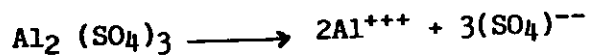
C'est le réactif coagulant le plus communément employé dans les pays d'Afrique francophone. Il est commercialisé sous forme de poudre ou de granules blanches. Il est représenté par la formule générale :



qui comprend l'eau de cristallisation. Le produit utilisé dans cette étude est en poudre et de formule :

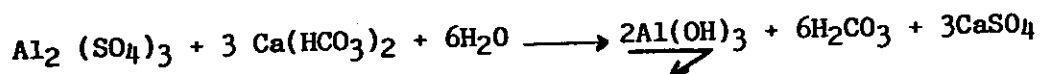


Le sulfate d'alumine est introduit dans l'eau brute sous forme de solution dans laquelle il se dissocie.



Les ions aluminium réagissent avec les ions hydroxydes dont la présence est due à l'alcalinité naturelle de l'eau exprimée en bicarbonate de calcium : $\text{Ca} (\text{HCO}_3)_2$.

Cette réaction donne un précipité d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al} (\text{OH})_3$ sur lequel les particules vont se fixer pour donner des floccs. La réaction globale se présente comme suit :

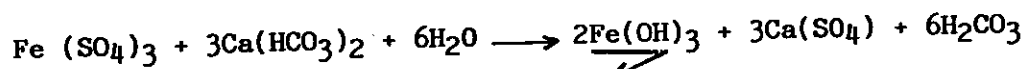


Si l'alcalinité naturelle de l'eau n'est pas suffisante, on y remédie en ajoutant de la chaux $\text{Ca} (\text{OH})_2$ ou ^{du} bicarbonate de sodium Na_2CO_3 .

Le sulfate d'aluminium est efficace dans un intervalle de pH compris entre 5,5 et 8,0. Il n'abaisse pas trop le pH donc ne nécessite pas de grande dose de neutralisant.

5.2 - LE SULFATE FERRIQUE

Le sulfate ferrique est un coagulant vendu sous forme de granules ou de poudre rougeâtre. Il est représenté par la formule générale $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ qui comprend l'eau de cristallisation. Celui dont on a disposé dans cette étude est sous forme de poudre et comporte cinq molécules d'eau. Le sulfate ferrique réagit avec l'alcalinité (naturelle ou provoquée) de l'eau brute pour former des floccs d'hydroxyde ferrique :



son efficacité s'étend de pH 4 à 11

Il est aussi utilisé en épuration des eaux usées.

5.3 - LA CHAUX

Il s'agit de la chaux éteinte également désigné sous le nom d'hydroxyde de calcium^{Ca} de formule chimique $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Elle est vendue sous forme de poudre blanche dans des sacs de papier ou de toile.

Elle est utilisée le plus souvent comme réactif alcalin et comme neutralisant pour rehausser le pH des eaux filtrées agressives.

Dans des cas particuliers, elle est utilisée comme réactif coagulant.

Dans cette étude, la chaux est utilisée comme réactif alcalin pouvant influencer sur le processus de coagulation - floculation.

5.4 - LE CHLORE

Le produit étudié est de l'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ en poudre blanche. IL peut être utilisé en préchloration comme c'est le cas dans cette étude ou en désinfection - stérilisation de l'eau filtrée. En préchloration, on assiste à la destruction d'organismes responsables des goûts et des odeurs de même que ceux qui gênent la floculation et la décantation (surtout les algues).

VI - /)/) ETHODOLOGIE

6.1 - PRELEVEMENTS DE L'ECHANTILLON

En analyse des eaux, le prélèvement est aussi important que l'analyse en elle-même. Il doit tenir compte du phénomène que l'on veut étudier et il nécessaire d'adopter le maximum de rigueur.

Le matériel de prélèvement doit être propre, mais l'application apportée à son nettoyage dépend de ce qu'on veut analyser.

Pour cette étude, les prélèvements se font chaque jour d'analyse dans des bidons de 20 litres en plastique. Ces derniers sont lavés à l'eau potable puis rincés à l'eau distillée avant d'être transportés sur le lieu de prélèvement. Là, ils sont enfin rincés à l'eau brute. Avant le prélèvement, on ouvre le robinet et on laisse couler l'eau pendant environ cinq minutes. Les bidons sont bien fermés après le prélèvement.

6.2 - RECHERCHE DES CARACTERISTIQUES DE L'EAU BRUTE

Pour avoir une idée de la qualité de l'eau brute sur laquelle porte l'étude, on a mesuré certains paramètres physico-chimiques. Il s'agit notamment de :

- Température *
- pH *
- Turbidité *
- Conductivité
- Matières en suspension (MES) *
- Matières organiques ($O_2 - KMnO_4$)
- Titre alcalimétrique (TA)
- Titre alcalimétrique complet (TAC)
- Bicarbonates (HCO_3^-)
- Dureté totale (TH)
- Calcium (Ca^{++})
- Magnésium (Mg^{++})

- Nitrites (NO_2^-)
- Nitrates (NO_3^-)
- Ammonium (NH_4^+)
- Fer (Fe^{3+} , Fe^{2+})
- Phosphates (PO_4^{3-})

Le protocole d'analyse des paramètres étoilés est indiqué en annexe 1. Ces derniers ont servi soit dans la recherche des doses optimales soit dans la recherche de la vitesse de chute des particules.

6.3 - RECHERCHE DES DOSES OPTIMALES DE COAGULATION-FLOCCULATION

Il s'agit de déterminer les doses économiques de réactifs qui permettent de traiter l'eau dans les meilleures conditions, c'est-à-dire donnant par coagulation-floculation des floccs facilement séparables de l'eau par décantation. La méthode utilisée est celle du Jar - Test qui reproduit à toute petite échelle l'ensemble des processus complexes de la coagulation - floculation.

6.3.1 - Préparation des Solutions de Travail

a/ - Sulfate d'Aluminium : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$

Le produit brut est en poudre. L'expérience est faite avec une solution fille à 10 g/l préparée à partir d'une solution - mère à 100 g/l. Dans une mole de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ (666 g) il y a 342 g de sulfate d'alumine pur.

. Solution - mère à 100 g/l : Un volume de 250 l est préparé.

$$\text{Quantité de produit brut : } \frac{666 \times 25}{342} = 48,684 \text{ g}$$

On pèse 48,684 g de produit brut dans une fiole jaugée de 250 ml et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Cette solution est conservée dans un flacon bien bouché.

.../...

- . Solution fille à 10 g/l : c'est une dilution au 1/10ème de la solution mère. On prélève à l'aide d'une pipette 50 ml de la solution mère qu'on introduit dans une fiole jaugée de 500 ml et on complète avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

b/ - Sulfate Ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Masse molaire = 490 g

Dans une mole, il y a 490 g de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ pur

. Solution mère à 100 g/l

Pour un volume de 250 ml, il faut 25 g de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ pur.

Quantité de produit brut : $\frac{490 \times 25}{490} = 25$ g

On pèse 25 g de produit brut dans une fiole jaugée de 250 ml et on complète avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

- . Solution fille à 10 g/l : c'est une dilution au 1/10ème de la solution mère.

c/ - Chaux : $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Elle est sous forme de poudre blanche. L'expérience est faite avec une solution à 10 g/l (lait de chaux).

Masse molaire $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 74$ g

Pour un volume 500 l de solution à 10 g/l, on pèse 10 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans une fiole jaugée de 500 ml et on complète avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Avant chaque prélèvement, la solution est bien agitée pour éviter de prélever l'eau de chaux.

.../...

6.3.2 - Jar Test (Schéma 1)

On dispose sur un banc d'agitation à palettes rotatives, dont la vitesse de rotation peut être réglée, une série de six béchers identiques remplis chacun de 1 l d'eau brute. Ils sont numérotés de 1 à 6. On ajoute dans les béchers différentes quantités de réactifs (sulfate d'alumine - sulfate ferrique). Après avoir branché l'appareil, on procède à :

- un mélange rapide à une vitesse de 120 à 140 tours / mn pendant environ 1 mn : c'est la coagulation
- un mélange lent de 10 mn environ à une vitesse de 40 tours / mn : c'est la floculation.

On arrête ensuite l'agitation et au bout de 15 mn on procède à l'appréciation de la floculation - décantation.

6.3.3 - Appréciation de la Floculation - Décantation

Après la période de repos on apprécie visuellement l'aspect des floccs et leur vitesse de décantation. Des mesures analytiques de pH et de turbidité sont faites sur le surnageant prélevé à l'aide d'une pipette.

La dose retenue pour l'essai est la plus petite permettant une réduction de la turbidité d'au moins 90 % par rapport à celle de l'eau brute.

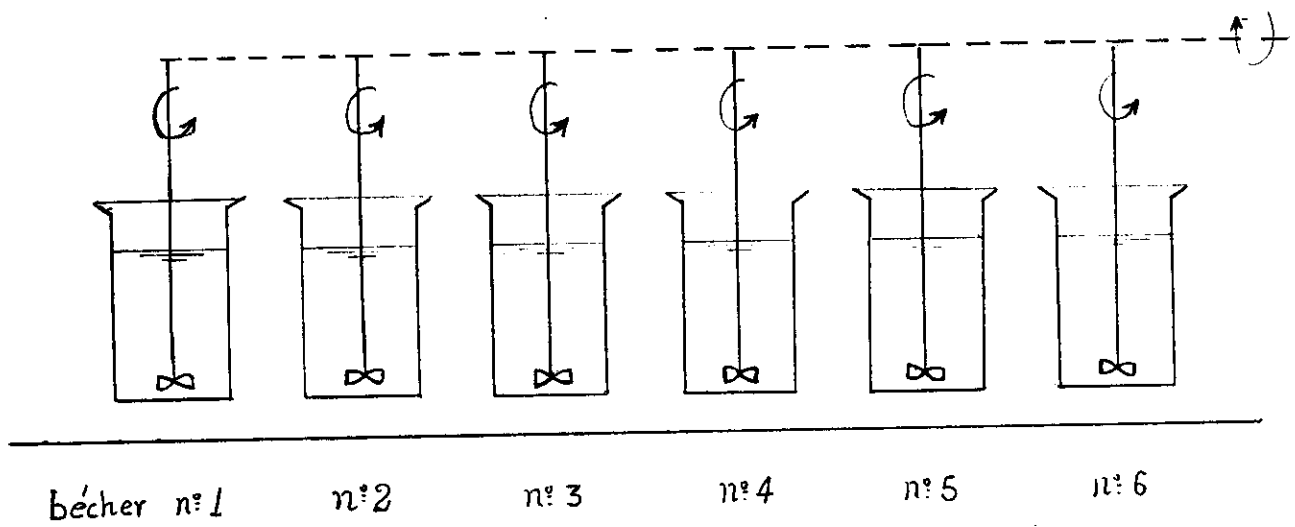
6.3.4 - Influence de la Chaux

Le "Jar Test" est repris en ajoutant dans les six béchers remplis chacun de 1 l d'eau brute, les doses croissantes de chaux, puis la meilleure dose de réactif coagulant. A la fin de l'essai, on procède à l'appréciation de la floculation - décantation. La meilleure dose de chaux est la plus petite permettant une diminution remarquable de la turbidité par rapport à celle obtenue sans ajout de chaux.

.../...

Schéma n°1

Principe de floculation
au jar test



6.3.5 - Influence du Chlore

Les essais au Jar Test ont montré que la floculation et la décantation sont correctes, la tendance à la flottation étant pratiquement négligeable. Il n'est donc pas nécessaire de procéder à une préchloration de l'eau brute avant la coagulation.

6.4 - RECHERCHE DE LA VITESSE DE CHUTE DES PARTICULES FLOCULEES

La vitesse de chute des particules floculées est déterminée avec les doses optimales de coagulation - floculation. Le "Jar Test" est fait sur cinq béchers remplis chacun de 1 l d'eau brute auquel on ajoute les doses optimales prédéterminées (réactif coagulant plus éventuellement adjuvants). A la fin de la phase d'agitation lente, on laisse reposer les béchers suivant le schéma ci-dessous :

N° Bécher	1	2	3	4	5
Temps de repos (en mn)	0	1	2	5	10

Après ces différents temps de repos, on prélève de chaque bécher 500 ml de surnageant. Ce volume correspond à une hauteur $H = 6$ cm sur les béchers utilisés. On détermine ensuite la teneur en MES de chaque prélèvement puis le pourcentage de leur réduction par rapport à celle correspondant au bécher dont le temps de repos est nul. On reporte sur deux graphiques portant en ordonnée les temps de repos et en abscisse les pourcentages de réduction d'une part et les MES résiduelles d'autre part. A partir des points reportés, on ajuste une courbe à l'aide d'un logiciel informatique "HARVARD Graphique". Au moyen des courbes ajustées, on détermine les temps de repos assurant d'une part l'élimination de 85 % des MES et d'autre part la réduction des MES à 10 mg/l. De ces deux valeurs du temps de repos, on retient la plus petite ; soit T . La vitesse de chute caractéristique qui en découle est calculée par la relation $V = \frac{H}{T}$.

.../...

VII - R E S U L T A T S

7. 1 - CARACTERISTIQUES DES EAUX BRUTES

Certains paramètres physico-chimiques ont été mesurés sur les eaux de Loumbila d'une part et sur le mélange des eaux de Loumbila et de Ouagadougou d'autre part.

Les résultats de ces analyses sont portés dans les tableaux n° 1 et n° 2.

Aux vues de ces résultats, on remarque que les eaux sont en général peu minéralisées, le niveau guide étant de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (à 20°C) selon la directive du Conseil des Communautés Européennes du 16 Juin 1975. Outre cette faible minéralisation, les autres paramètres répondent aux normes de qualité des eaux brutes destinées à la production d'eau de consommation humaine. Le mélange des eaux de Loumbila et Ouagadougou est beaucoup plus turbide que les eaux de Loumbila seules. Ceci se justifie par la forte turbidité des eaux de Ouagadougou, laquelle est liée essentiellement aux rejets domestiques et industriels.

.../...

Tableau N° 1

Caractéristiques des Eaux de Loumbila13/04/90

PARAMETRES	Résultats	Unités
Température	31,5	°C
pH	6,85	Unité pH
Turbidité	5,15	NTC
Conductivité	116,5	µS/cm
Matières en suspension (MES)	7	mg/l
Matières organiques (O ₂ - KMnO ₄)	1,95	mg/10 ₂
Titre alcalimétrique (TA)	0	°F
Titre alcalimétrique complet (TAC)	3,85	°F
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	46,97	mg/l
Dureté Totale (TH)	3,49	°F
Calcium (Ca ⁺⁺)	10,16	mg/l
Magnésium (Mg ⁺⁺)	2,33	mg/l
Nitrites (NO ₂ ⁻)	0,005	mg/l
Nitrates (NO ₃ ⁻)	0,15	mg/l
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,12	mg/l
Fer total (Fe ³⁺ , Fe ²⁺)	0,28	mg/l
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	non détectable	mg/l

Tableau N° 2

Caractéristiques du Mélange des Eaux
de Loumbila et de Ouagadougou

23/04/90

PARAMETRES	Résultats	Unités
Température	31,0	°C
pH	7,25	unité pH
Turbidité	22,1	NTU
Conductivité	129,5	µS/cm
Matières en suspension (MES)	13	mg/l
Matières organiques (O ₂ - KMnO ₄)	1,87	mg/l O ₂
Titre alcalimétrique (TA)	0	°F
Titre alcalimétrique complet (TAC)	4,47	°F
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	54,53	mg/l
Dureté totale (TH)	3,23	°F
Calcium (Ca ⁺⁺)	9,44	mg/l
Magnésium (Mg ⁺⁺)	2,13	mg/l
Nitrites (NO ₂ ⁻)	non détectable	mg/l
Nitrates (NO ₃ ⁻)	0,11	mg/l
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,08	mg/l
Fer Total (Fe ³⁺ , Fe ²⁺)	0,12	mg/l
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	non détectable	mg/l

7.2 - DOSES OPTIMALES DE REACTIFS COAGULANTS

Les doses optimales de réactifs déterminées dans cette étude ne sont qu'indicatives. En effet, les conditions de coagulation - floculation dans une station de traitement sont différentes de celles de laboratoire.

L'impossibilité de pouvoir déterminer ces doses avec une plus grande précision fait qu'elles sont gardées constantes durant toute la période des expériences, la teneur en matières en suspension de l'eau brute variant de 13 à 23 mg/l.

Ainsi les essais de Jar Test ont donné comme dose optimale 60 ppm pour le sulfate d'alumine et 100 ppm pour le sulfate ferrique. L'ajout de la chaux comme adjuvant de coagulation ou du chlore en préchloration ne s'est pas révélé nécessaire ni avec le sulfate d'alumine, ni avec le sulfate ferrique. Les résultats de ces différents essais sont portés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau N° 3Essai de Jar Test au Sulfate d'Aluminium $Al_2(SO_4)_3$

23/04/90

Eau Brute : pH = 7,25 - Turbidité = 22,1 NTU

Tableau 3a : $Al_2(SO_4)_3$ Seul

1er essai

N° BECHER	1	2	3	4	5	6
Dose $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	20	40	60	80	100	120
Volume solution à 10g/l (ml)	2	4	6	8	10	12
Appréciation des floccs*	2	4	6	6	6	4
Turbidité eau décantée (NTU)	9,80	4,05	0,65	0,36	0,88	2,33
PH eau décantée	6,65	6,33	6,14	5,76	4,92	4,32

Dose retenue = 60 ppm

2ème essai

N° BECHERS	1	2	3
Dose $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	50	60	70
Volume solution à 10 g/l (ml)	5	6	7
Appréciation des floccs *	4	6	6
Turbidité eau décantée (NTU)	2,35	0,73	0,57
PH eau décantée	6,27	6,05	5,84

Dose optimale = 60 ppm

- * 2 = floc à peine visible
 4 = petit floc
 6 = floc de dimension moyenne

Tableau 3b : $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ + Chaux ($\text{Ca} (\text{OH})_2$)Dose $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ = 60 ppm

N° BECHERS	1	2	3	4	5	6
Dose de chaux (ppm)	0	10	20	30	40	50
Appréciation des floccs *	6	6	6	8	8	8
Turbidité eau décantée (NTU)	0,56	0,88	1,02	0,57	0,36	0,43
PH eau décantée	6,17	6,34	6,73	6,47	6,69	6,86

* 6 = Flocc de dimension moyenne
8 = bon flocc

Tableau N° 4

Essai de Jar Test au Sulfate ferrique : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

23/04/90

Eau Brute : pH = 7,25 - Turbidité = 22,1 NTU

Tableau 4a : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ Seul

1er essai

N° BECHERS	1	2	3	4	5	6
Dose $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	20	40	60	80	100	120
Volume solution à 10g/l (ml)	2	4	6	8	10	12
Appréciation des floccs *	4	4	6	6	8	8
Turbidité eau décantée (NTU)	12,10	11,40	10,22	6,22	1,85	0,87
pH eau décantée	6,41	6,23	6,12	5,81	5,14	5,06

Dose retenue = 100 ppm

.../...

2ème essai

N° BECHERS	1	2	3
Dose $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	90	100	110
Volume solution à 10 g/l (ml)	9	10	11
Appréciation des floccs *	8	8	8
Turbidité eau décantée (NTU)	3,17	1,72	1,09
pH eau décantée	5,53	5,22	5,13

Dose optimale = 100 ppm

Tableau 4b : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ + Chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)Dose $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ = 100 ppm

N° BECHERS	1	2	3	4	5	6
Dose de chaux (ppm)	0	10	20	30	40	50
Appréciation des floccs *	8	6	6	8	8	8
Turbidité eau décantée (NTU)	1,77	2,35	2,06	1,63	1,41	1,88
pH eau décantée	5,19	5,32	5,41	5,77	5,93	6,33

- * 2 = floc à peine visible
 4 = petit floc
 6 = floc de dimension moyenne
 8 = bon floc

.../...

7.3 - VITESSE DE CHUTE DES PARTICULES FLOCULEES

Tous les essais, portant sur un réactif, ont été effectués avec la même dose (dose optimale) sans ajout de chaux ni de chlore.

Au total neuf essais ont été menés sur chaque réactif. Chaque essai aboutit à la détermination d'une valeur de la vitesse de chute u_i à partir soit de la courbe des MES résiduelles en fonction du temps soit de celle des réductions de MES en fonction du ^{temps} (voir les tableaux 5 et 6 et en annexe 2 les tableaux et les graphiques).

La vitesse de chute caractéristique U des particules est donnée par la moyenne arithmétique des vitesses u_i obtenues à partir de chaque essai.

Pour apprécier les erreurs de mesure liées essentiellement aux erreurs de manipulation, on calcule l'écart type de la moyenne. Il caractérise la répartition des valeurs mesurées autour de la moyenne. Le nombre de mesures étant réduit, il est calculé par la formule :

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{U - u_i}{n-1} \right)^2}$$

n = nombre d'essai

u_i = vitesse de chute correspondant à l'essai i

U = moyenne des n vitesses de chute correspondant aux n essais.

Réactif	$Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$	$Fe_2(SO_4)_3, 5H_2O$
Nombre d'essais	9	9
"U" moyen (m/h)	0,39	0,55
Ecart - type	0,03	0,14

.../...

Tableau N°5

Vitesse de chute des particules floculée avec
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $18\text{H}_2\text{O}$

DATE	24/04	25/04	26/04	27/04	28/04	04/05	09/05	10/05	11/05
Temps de décanta- tion (mn)	8,2	8,5	9,6	9,3	10,9	9,6	9,1	8,9	9,5
U * (m/h)	0,44	0,38	0,39	0,33	0,38	0,39	0,40	0,40	0,38
"U" moyen (m/h)	0,39								
Ecart type	0,03								

Tableau N°6

Vitesse de chute des particules floculées avec
 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $5\text{H}_2\text{O}$

DATE	24/04	25/04	26/04	27/04	28/04	04/05	09/05	10/04	11/04
Temps de décanta- tion (m/h)	6,4	7,3	8,4	8,5	8,9	8,2	5,3	5,1	4,6
U * (m/h)	0,56	0,49	0,43	0,42	0,40	0,44	0,68	0,71	0,78
"U" moyen (m/h)	0,55								
Ecart type	0,14								

$$* U = \frac{H}{T} \quad \text{avec } H = 6 \text{ cm}$$

.../...

VIII - ANALYSE ET COMPARAISON DES RESULTATS8.1 - DOSES OPTIMALES DE REACTIFS

La dose optimale du sulfate ferrique est plus élevée que celle du sulfate d'alumine. Par contre l'eau décantée après 15 mn est plus claire avec la dose optimale de sulfate d'alumine qu'avec celle du sulfate ferrique. Il ressort de ces constatations que le sulfate ferrique n'est pas adapté aux eaux brutes concernées par cette étude. Toutefois, on peut noter que le sulfate ferrique donne des floccs plus visibles et plus denses que le sulfate d'aluminium mais le pH de l'eau décantée est rendu plus bas.

L'influence de la chaux sur la coagulation n'est pas perceptible ni avec le sulfate d'alumine ni avec le sulfate ferrique. Ceci s'explique par le fait que l'alcalinité naturelle de l'eau brute liée au pH se situe dans les gammes de pH optimal des deux réactifs. L'addition du chlore (préchloration) n'a pas été nécessaire, les floccs formés ayant décanté seuls sans une tendance significative à la flottation ni au décollement après décantation. Ceci suppose l'absence d'algues dans les eaux brutes. Or il a été prouvé que, pendant la période de Janvier à Juin, le grand ensoleillement et les températures élevées entraînent une prolifération d'algues au niveau des eaux des barrages de Loumbila et de Ouagadougou.

On ne peut pas alors parler d'absence d'algues dans ces eaux. Aux vues de ces observations, on peut poser comme hypothèse que les espèces d'algues qui se développent dans ces eaux brutes ne gênent pas de façon remarquable la floculation et la décantation. Le phénomène de remontée de boues observé au niveau du décanteur statique de la station de Ouaga n'est pas lié à la présence d'algues dans les eaux brutes mais à la grande différence de température entre le milieu ambiant et le fond des décanteurs pendant les périodes de fort ensoleillement. Ce phénomène ne peut pas être observé dans les conditions de l'étude.

.../...

Toujours au niveau de la station de traitement aucun adjuvant (chaux ou chlore en préchloration) n'est utilisé pendant la période de l'étude, ce qui confirme quelque peu les résultats. Le réactif coagulant qu'ils utilisent est le sulfate d'alumine avec une dose actuelle de 35 ppm.

Cette dose est largement inférieure à la dose optimale obtenue dans le cadre de cette étude (60 ppm). La différence est très grande et on ne peut pas parler d'erreur d'appréciation. Une explication probable à cette différence serait un manque de suivi de la dose de réactif en fonction de la variation de la qualité de l'eau brute.

Ce problème de réajustement de la dose optimale de réactif constitue d'ailleurs une des difficultés auxquelles sont confrontées plusieurs stations de traitement d'eau dans la sous-région et qui est à la base des baisses de rendement au niveau des décanteurs.

8.2 - VITESSE DE CHUTE DES PARTICULES FLOCULEES

Les valeurs de la vitesse de chute obtenues varient de 0,33 à 0,44 m/h pour les floccs d'aluminium avec une moyenne de 0,39 m/h et de 0,40 à 0,78 m/h pour les floccs de fer avec une moyenne de 0,55 m/h.

Les écarts types calculés (0,03 pour le sulfate d'aluminium et 0,14 pour le sulfate ferrique) prouvent que les expériences ont été bien menées. Cependant on constate une différence non moins négligeable entre les valeurs moyennes trouvées d'une part et la valeur généralement utilisée (0,75 m/h) dans la conception des décanteurs d'autre part. Cette différence proviendrait alors de quelques insuffisances au niveau de la méthode utilisée, laquelle est basée sur la clarification du surnageant dans les béciers après essai au Jar Test. Ces insuffisances seraient essentiellement liées à la hauteur de chute des floccs considérée (6 cm) d'une part et au mode de prélèvement de la moitié supérieure du surnageant d'autre part. En effet, cette hauteur de chute, correspondant à la moitié supérieure du surnageant, est trop faible par rapport à celle considérée pour les expériences classiques de mesure de vitesse de chute au laboratoire (50 cm au minimal).

.../...

Pour le prélèvement du surnageant, on incline le b cher ce qui ne donne pas la certitude que l'échantillon prélevé représente effectivement la moitié supérieure du surnageant. De même en soulevant le b cher pour le prélèvement, il y a risque de remise en suspension des particules déjà décantées.

D'une manière générale, on constate que les pourcentages de réduction de MES auxquels on aboutit après les 10 mn de décantation deviennent élevés au fur et à mesure que la teneur en MES de l'eau brute augmente.

La vitesse de chute des particules floculées à partir du sulfate ferrique est plus élevée que celle des particules floculées à partir du sulfate d'alumine. Ceci est d  à la densité plus élevée du fer par rapport à celle de l'aluminium.

IX - /--- O N C L U S I O N

Les résultats de ce travail sont à prendre en compte dans les conditions de l'étude. Il s'agit essentiellement de la nature de l'eau brute, de la nature et des doses optimales des réactifs et enfin des critères de performances au niveau de la décantation.

Par extension, on peut dire que l'étude porte sur les eaux des barrages en terre en zone sahelienne. Les réactifs étudiés sont le sulfate d'aluminium et le sulfate ferrique avec des doses optimales respectives de 60 ppm et de 100 ppm. Il n'y a pas eu d'addition de chaux ni de chlore (en préchloration). Les vitesses de chutes sont déterminées sur la base d'une réduction de 85 % de MES ou d'une teneur résiduelle en MES de 10 mg/l.

La méthode utilisée pour la recherche des vitesses de chute est basée sur la clarification du surnageant dans les béciers après le processus de coagulation - floculation.

La vitesse de chute des particules floculées obtenue dans cette étude est de 0,39 m/h avec le sulfate d'aluminium et de 0,55 m/h avec le sulfate ferrique. Ces résultats, s'ils arrivaient à être confirmés, pourront être exploités dans la sous région (zone sahelienne) dans le cadre de la conception des ouvrages de ^{ou de l'amélioration du rendement des} décantation/existants. Ceci aura pour effet direct dans les systèmes de traitement d'eau, l'augmentation de la durée de vie des filtres réduisant ainsi les pertes d'eau estimées à 5,8 m³ par lavage de 1 m² de surface de filtration.

Mais les maux dont souffrent plusieurs systèmes d'alimentation d'eau potable dans la sous région ne se limitent pas à la détermination de la vitesse de chute des particules floculées. Le grand problème reste celui des remontées de boues observées dans la plupart des stations de traitement en Afrique Tropicale en période de grand ensoleillement et de fortes températures (selon une enquête du CIEH menée en 1982).

.../...

Selon le Service d'Exploitation de la Station de traitement de Ouagadougou, même la préchloration ne permet pas de remédier à ce phénomène. Une étude sérieuse devra être menée dans ce sens ; par exemple à partir de deux décanteurs statiques pilotes dont un serait sous abri, on étudiera l'influence des rayonnements solaires sur le phénomène en déterminant la fréquence optimale d'extraction de boues au niveau de chaque décanteur. On peut noter que l'extraction des boues en une source de perte d'eau au niveau d'une station de traitement.

**ANNEXE 2b : GRAPHIQUES DES VARIATIONS DE MES RESIDUELLES
ET DES REDUCTIONS DE MES EN FONCTION DU TEMPS.**

(/ /)
 (/ /) I B L I O G R A P H I E

1. Memento Technique de l'eau - DEGREMONT
2. Le traitement des Eaux de Distribution - C. GOMELLA et H. GUERREE
Eyrolles.
3. Technique et Contrôle du Traitement des Eaux - Charles R. COX.
Organisation Mondiale de la Santé
4. Le Traitement des Eaux - Raymond DESJARDINS
Ecole Polytechnique de Montréal
5. L'alimentation en Eau des Agglomérations - Pierre KOCH
Dunod
6. Alimentation en Eau des Petites Collectivités - Centre International
de Référence pour l'approvisionnement en eau collective et l'assai-
nissement.
Documents Techniques
7. Coagulation - floculation et décantabilité des Eaux de Surface en
Zone Sahélienne - Amadou H. MAIGA
Rapport de Recherche.

[7-] N N E X E S

ANNEXE 1 : PROTOCOLE D'ANALYSES

1. Température : Mesure directe au thermomètre électronique
2. pH : Méthode potentiométrique directe à l'aide d'électrode
3. Turbidité : Mesure directe au turbidimètre TL 31
4. Matières en suspension (MES) :

Méthode par filtration

4.1 - Matériel

- Membranes filtrantes de $0,45 \mu$
- Support de filtre
- Fiole à vide
- Epprouvette graduée
- Etuve (105 ± 1)°C
- Dessiccateur
- Balance analytique (précision 0,1 mg)
- Pinces à creuset.

4.2 - Mode Opératoire

La membrane filtrante est lavée à l'eau distillée puis séchée à l'étuve à 105 °C pendant 2 heures. Elle est ensuite placée au dessiccateur pour refroidissement pendant environ 20 mn, puis pesée à 0,1 mg près ; sa masse M_0 est notée.

Après la pesée, elle est placée sur le porte filtre et on ouvre le robinet pour faire le vide et aspirer les 100 ml d'échantillon qu'on y verse. L'éprouvette ayant contenu les 100 ml d'échantillon est rincée à l'eau distillée (10 ml environ) puis les eaux passées sur la membrane. Cette dernière est retirée puis séchée à l'étuve à 105 °C pendant 2 heures. Elle est ensuite refroidie au dessiccateur pendant 20 mn environ puis repesée. Sa nouvelle masse M_1 est notée.

.../...

4.3 - Résultats

$$\frac{\text{MES}}{\text{mg/l}} = \frac{M1 - Mo}{V} \times 10^6$$

ou $M1$ = Masse de la membrane filtrante et du résidu (g)

Mo = Masse de la membrane filtrante vide (g)

V = Volume de l'échantillon (ml)

Le volume de l'échantillon V étant pris égal à 100 ml on a :

$$\frac{\text{MES}}{(\text{mg/l})} = (M1 - Mo) \times 10^4$$

ANNEXE 2

Annexe 2a : Tableaux de variation des MES résiduelles et des réductions de MES en fonction du temps

- $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$, $18\text{H}_2\text{O}$

24/4/90 - MES Eau Brute = 13 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	56	38	21	14	7
Réduction MES (%)	0	32,1	62,5	75	87,5

25/4/90 - MES Eau Brute = 13 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	55	39	19	13	8
Réduction MES (%)	0	29,1	65,4	76,4	85,5

26/4/90 - MES Eau Brute = 14 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	63	42	26	17	9
Résiduction MES (%)	0	33,3	58,7	73,0	85,7

27/4/90 - MES Eau Brute = 13 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	59	39	22	17	8
Réduction MES (%)	0	33,9	62,7	71,2	86,4

28/4/90 - MES Eau Brute = 14 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	62	42	24	19	11
Réduction MES (%)	0	32,2	61,3	69,3	82,3

.../...

ANNEXE 2a (Suite)

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

04/5/90 - MES Eau Brute = 15 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	65	38	26	19	9
Réduction MES (%)	0	41,5	60,0	70,8	86,2

09/5/90 - MES Eau Brute = 18 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	65	39	24	15	9
Réduction MES (%)	0	40,0	63,1	76,9	86,2

10/5/90 - MES Eau Brute = 21 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	68	39	19	13	10
Réduction MES (%)	0	42,6	72,1	80,9	85,3

11/5/90 - MES Eau Brute = 23 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	80	49	21	14	11
Réduction MES (%)	0	38,7	73,8	82,5	86,2

Annexe 2a (Suite)

- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

24/4/90 - MES Eau Brute = 13 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	59	33	19	8	9
Réduction MES (%)	0	44,1	67,8	86,4	84,7

25/4/90 - MES Eau Brute = 13 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	62	32	22	11	7
Réduction MES (%)	0	48,4	64,5	82,2	88,7

26/4/90 - MES Eau Brute = 14 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	60	31	23	14	7
Réduction MES (%)	0	48,3	61,7	76,7	88,3

27/4/90 - MES Eau Brute = 13 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	62	31	24	11	9
Réduction MES (%)	0	50,0	61,3	82,3	85,5

28/04/90 - MES Eau Brute = 14 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	69	34	26	21	8
Réduction MES (%)	0	50,7	62,3	69,6	88,4

.../...

ANNEXE 2a (Suite)

- $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

04/05/90 - MES Eau Brute = 15 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	69	30	26	17	7
Réduction MES (%)	0	56,5	62,3	75,4	89,8

09/05/90 - MES Eau Brute = 18 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	79	31	19	11	8
Réduction MES (%)	0	60,8	75,9	86,1	89,9

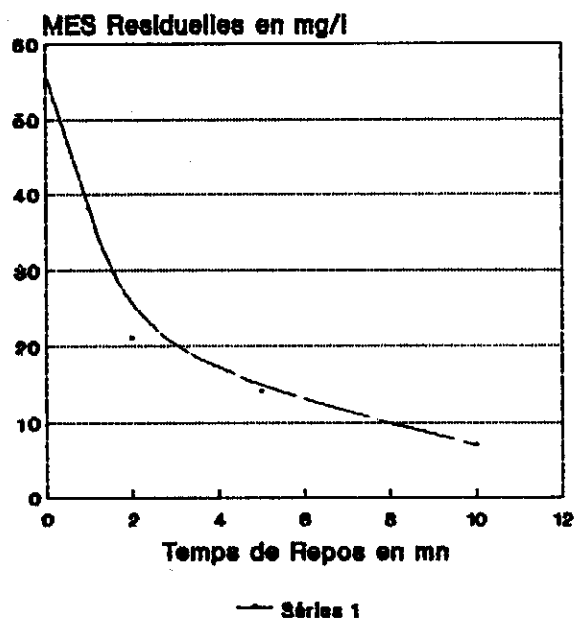
10/05/90 - MES Eau Brute = 21 mg/l

N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	82	32	17	11	9
Résiduction MES (%)	0	61,0	79,3	86,6	89,0

11/05/90 - MES Eau Brute = 23 mg/l

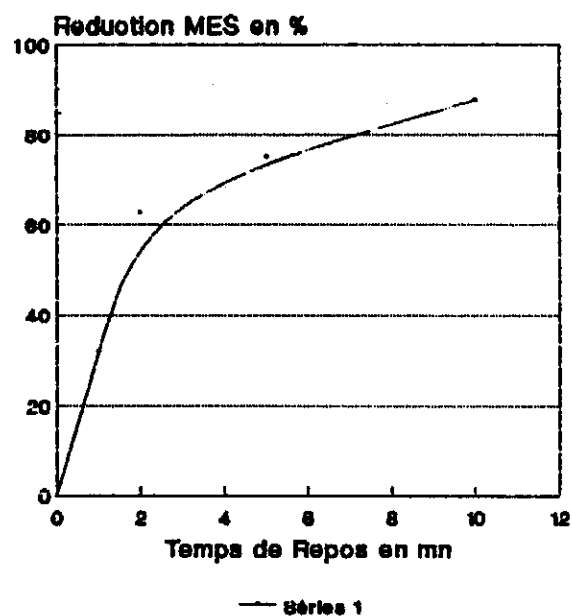
N° BECHERS	1	2	3	4	5
Temps de décantation (mn)	0	1	2	5	10
MES résiduelles (mg/l)	81	33	16	10	8
Réduction MES (%)	0	59,2	80,2	87,6	90,1

MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



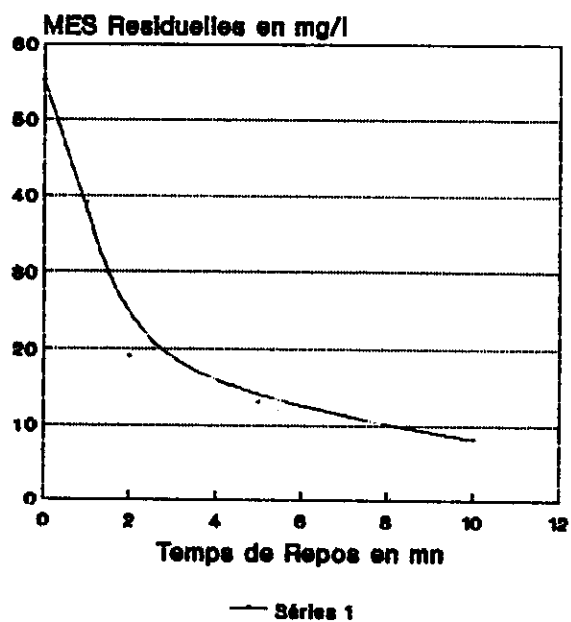
24/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



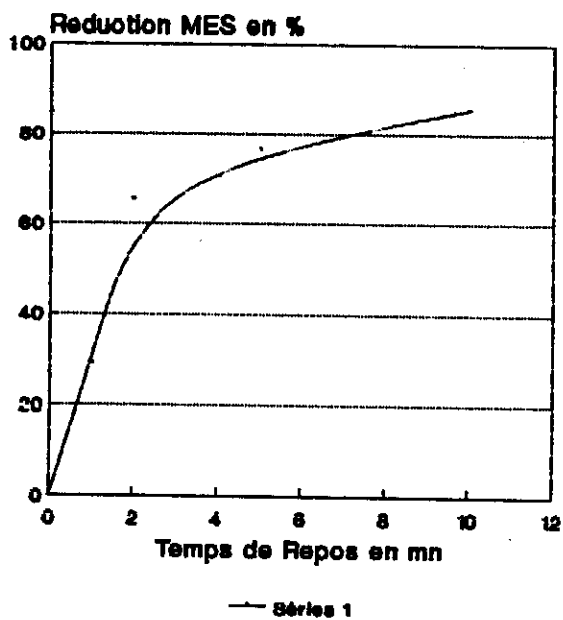
24/04/90

MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



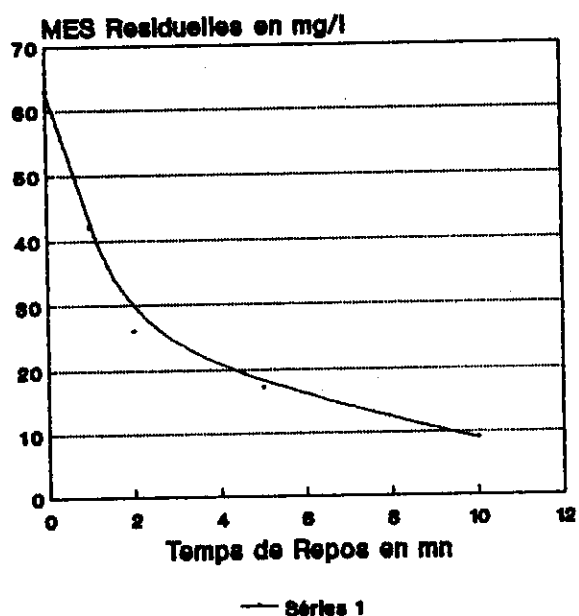
25/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



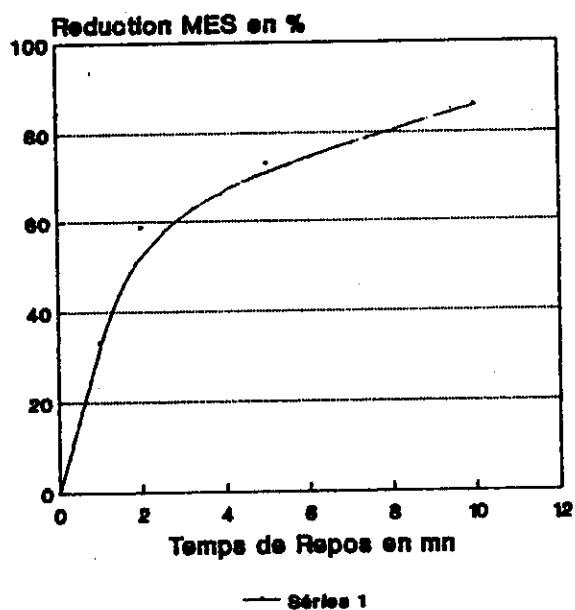
25/04/90

MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



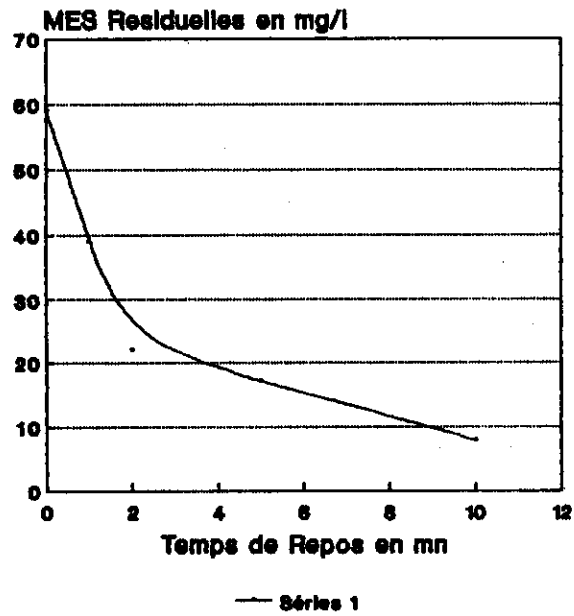
28/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



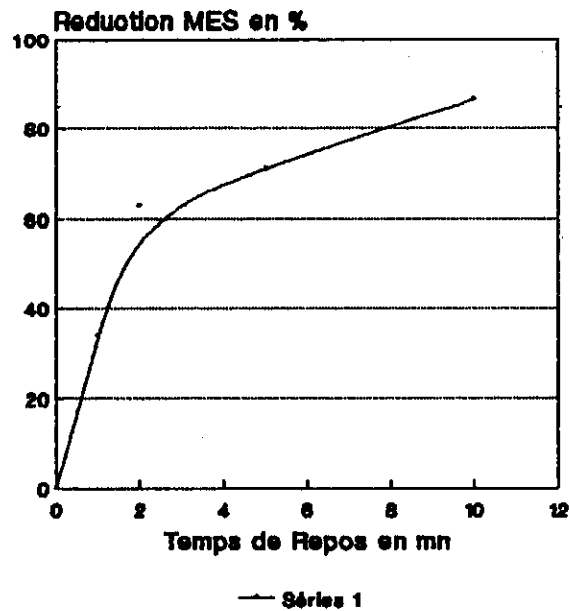
26/04/90

MES en fonct. du Temps
Al₂(SO₄)₃:Dose 60ppm



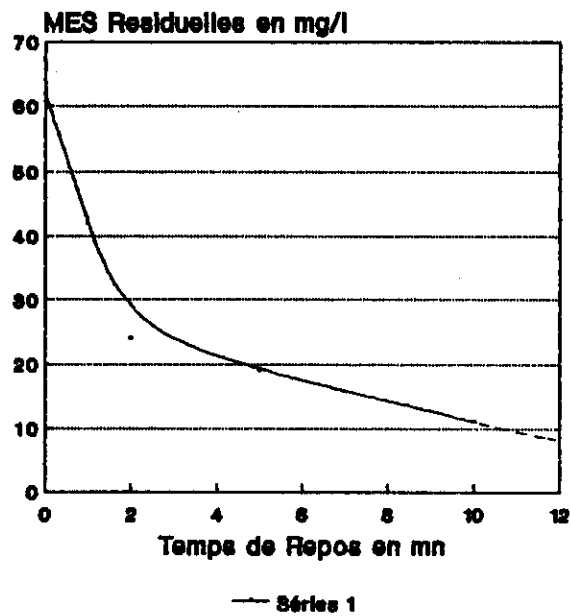
27/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps
Al₂(SO₄)₃:Dose 60ppm



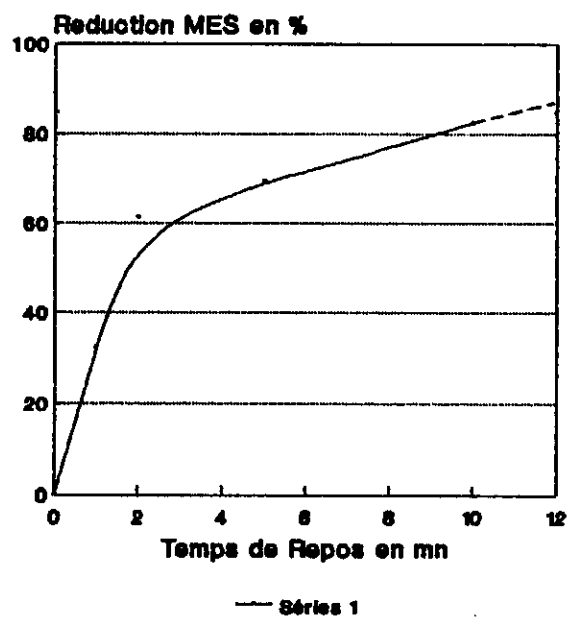
27/04/90

MES en fonct. du Temps
Al₂(SO₄)₃:Dose 60ppm



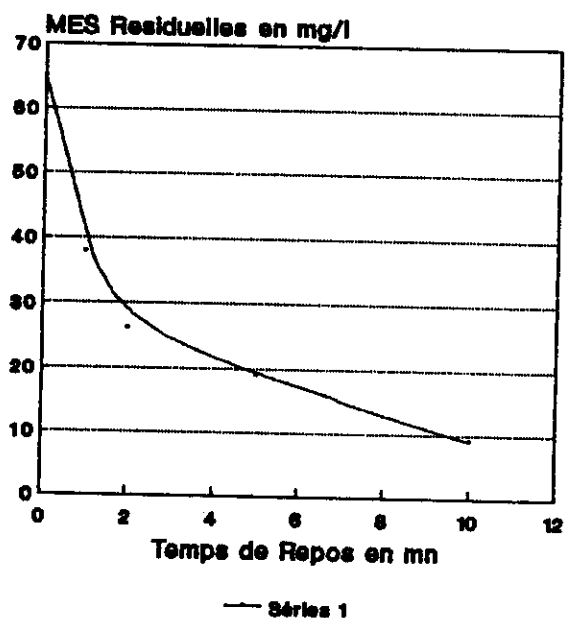
28/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps
Al₂(SO₄)₃:Dose 60ppm



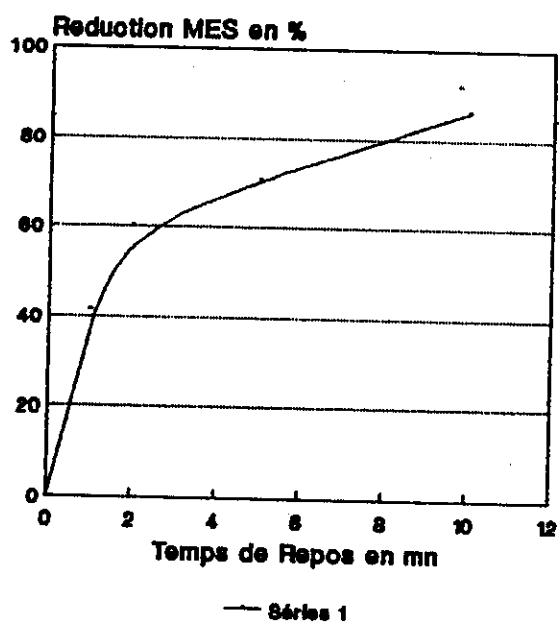
28/04/90

MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



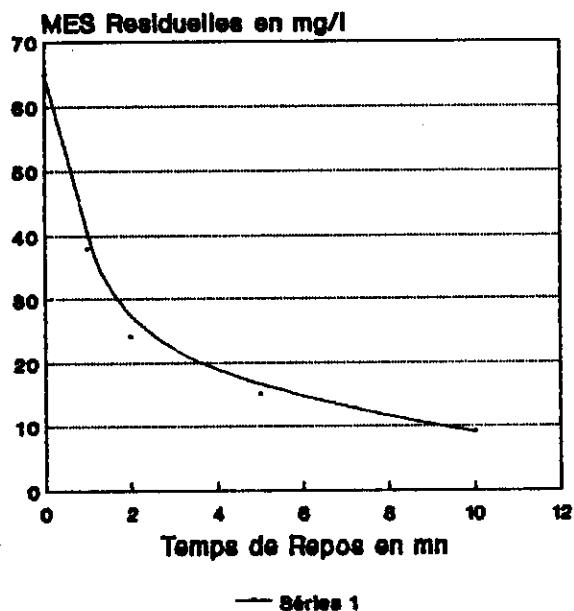
4/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



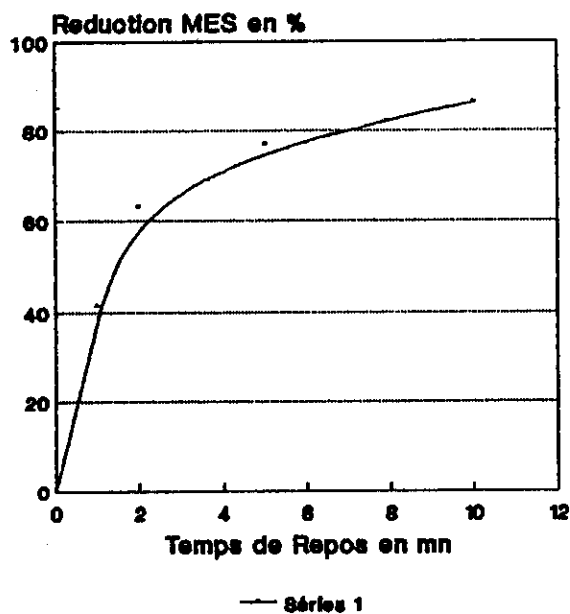
4/05/90

MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



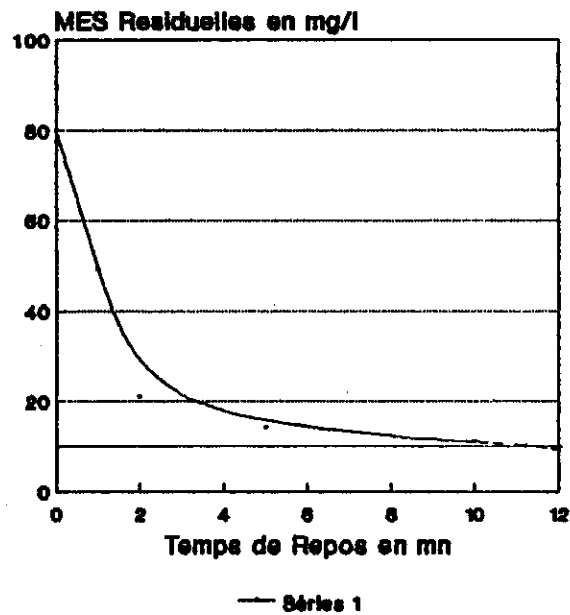
9/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



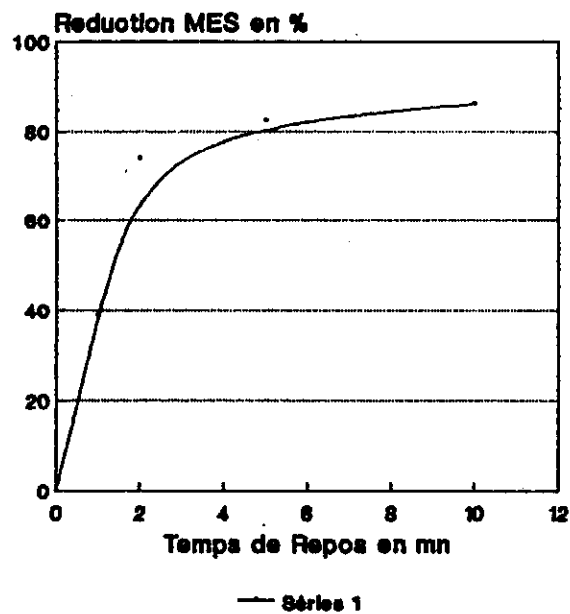
9/05/90

MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



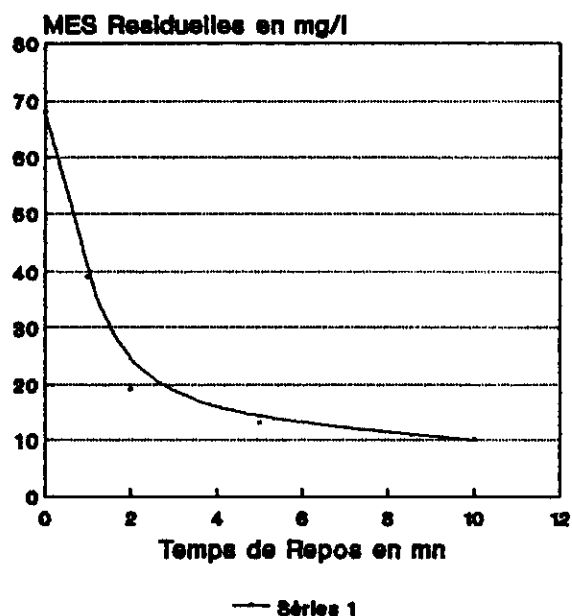
11/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



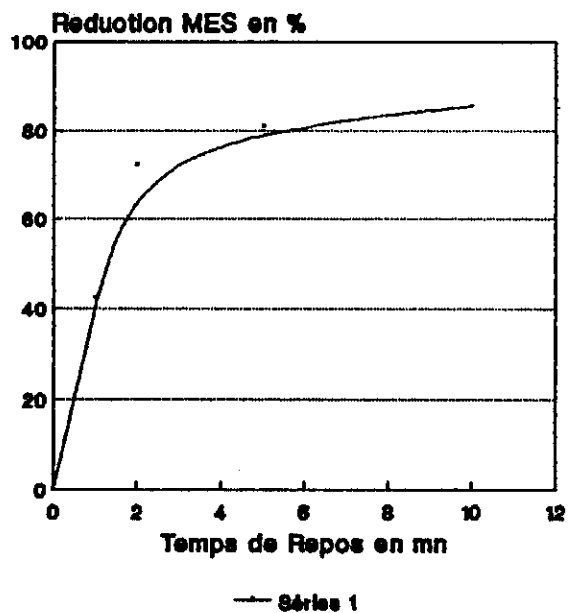
11/05/90

MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



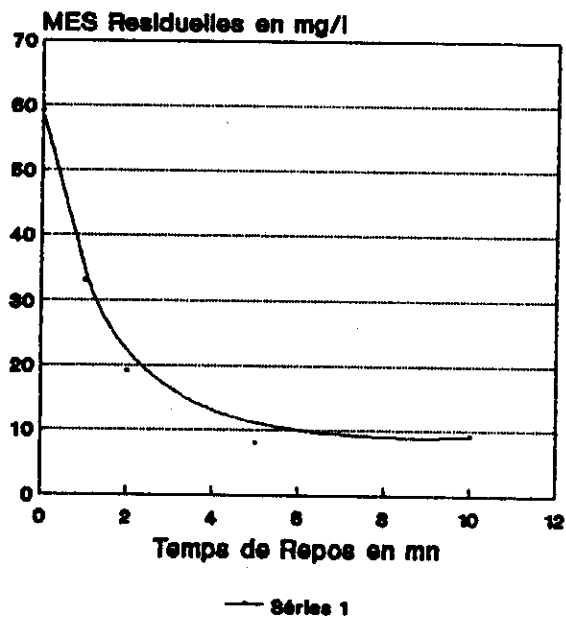
10/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 60ppm



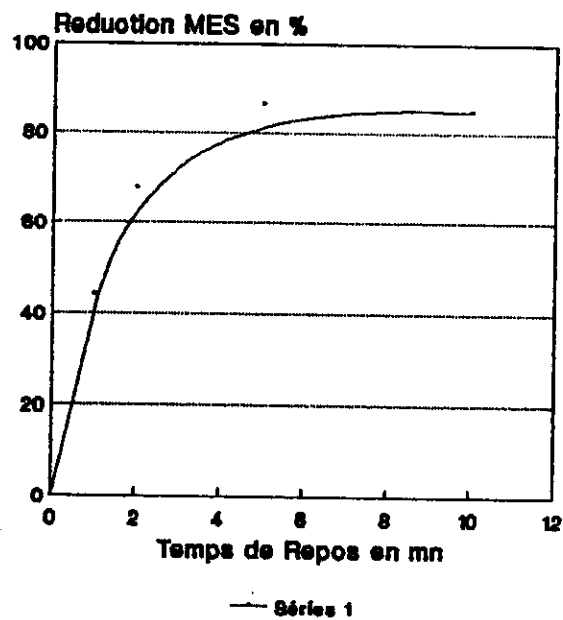
10/05/90

MES en fonct. du Temps
Fe₂(SO₄)₃:Dose 100ppm



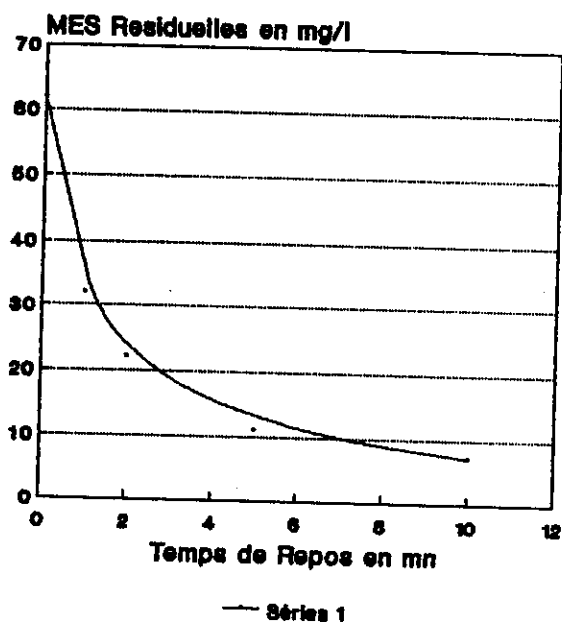
24/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps
Fe₂(SO₄)₃:Dose 100ppm



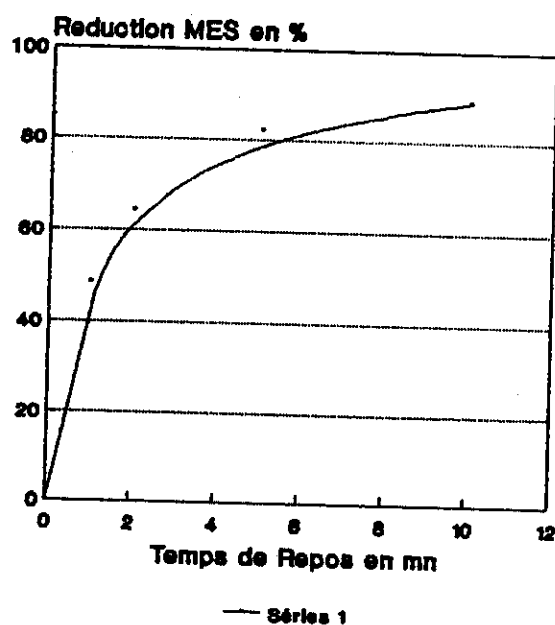
24/04/90

MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



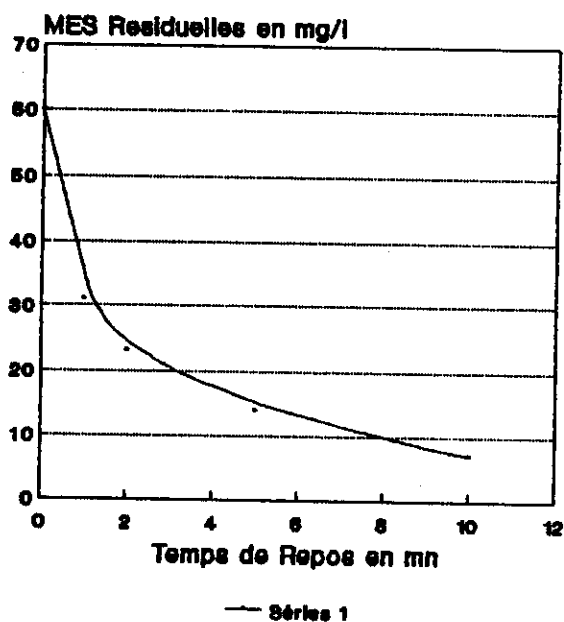
25/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



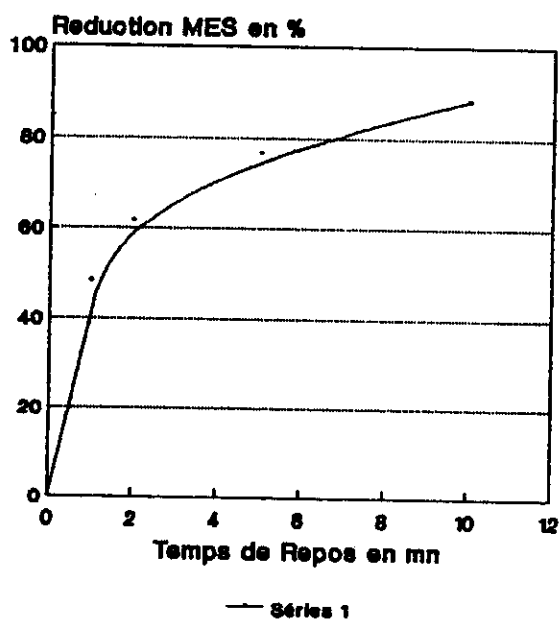
25/04/90

MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



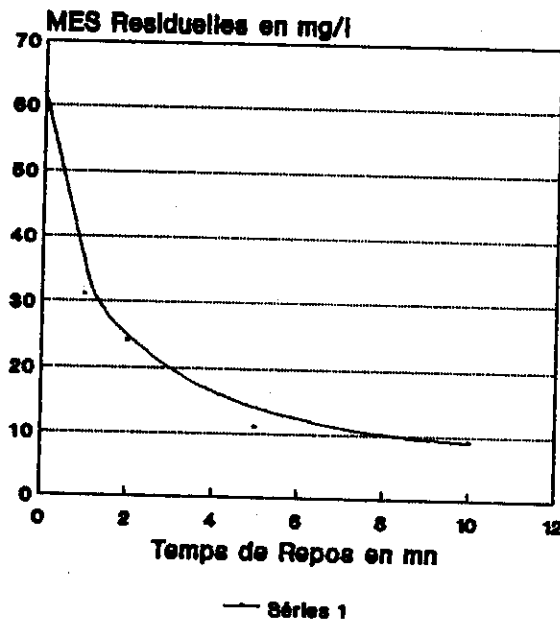
26/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



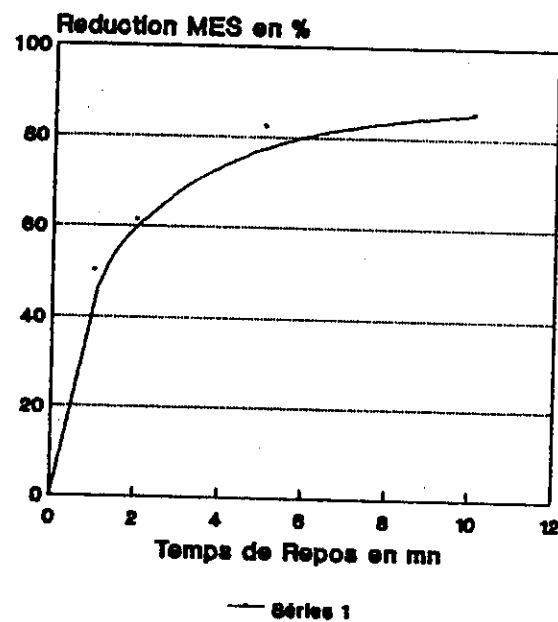
26/04/90

MES en fonct. du Temps
Fe₂(SO₄)₃:Dose 100ppm



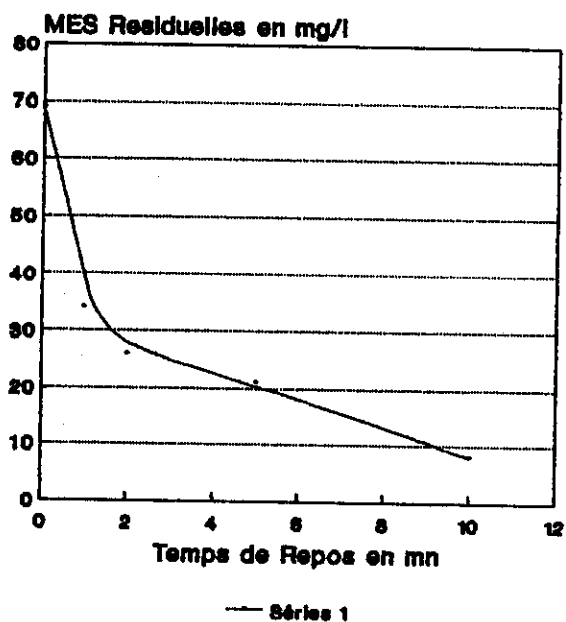
27/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps
Fe₂(SO₄)₃:Dose 100ppm



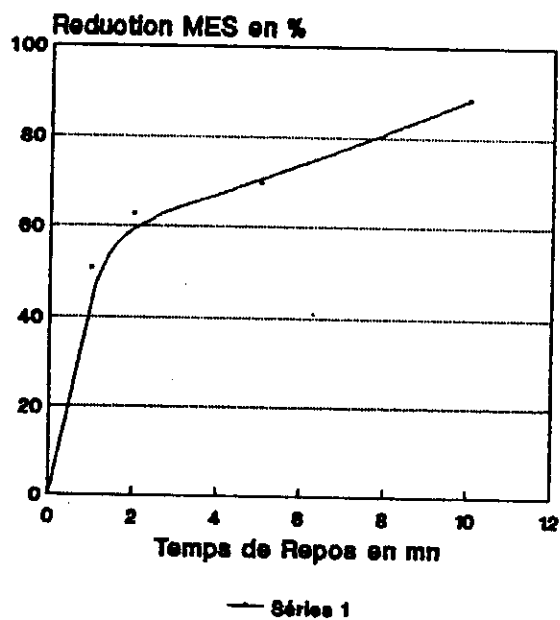
27/04/90

MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



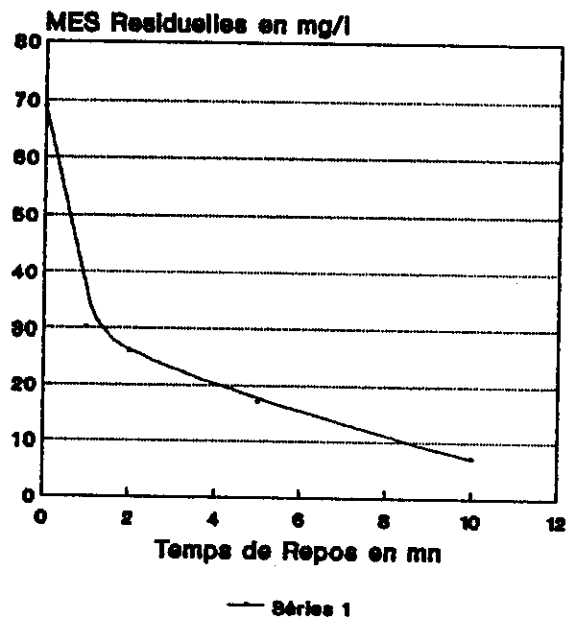
28/04/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



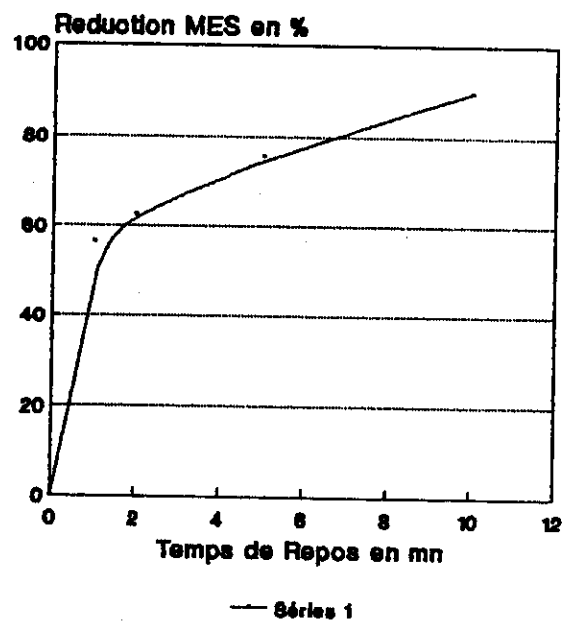
28/04/90

MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



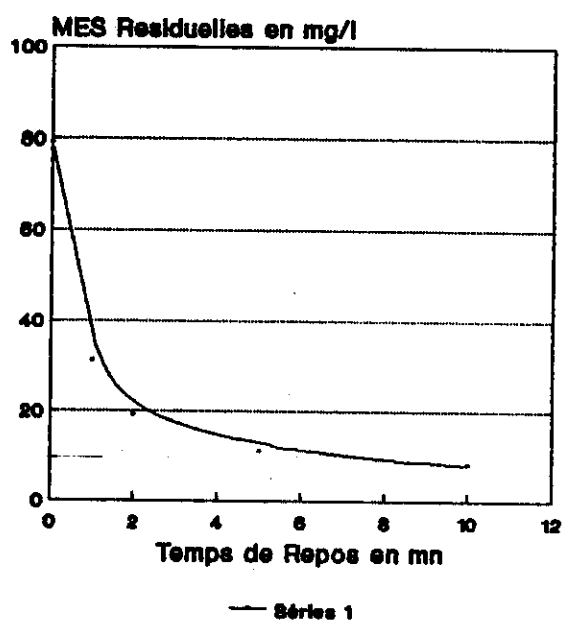
4/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



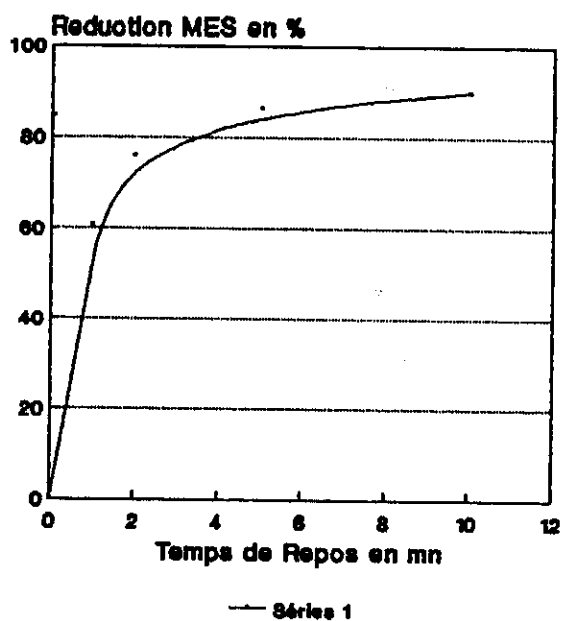
4/05/90

MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



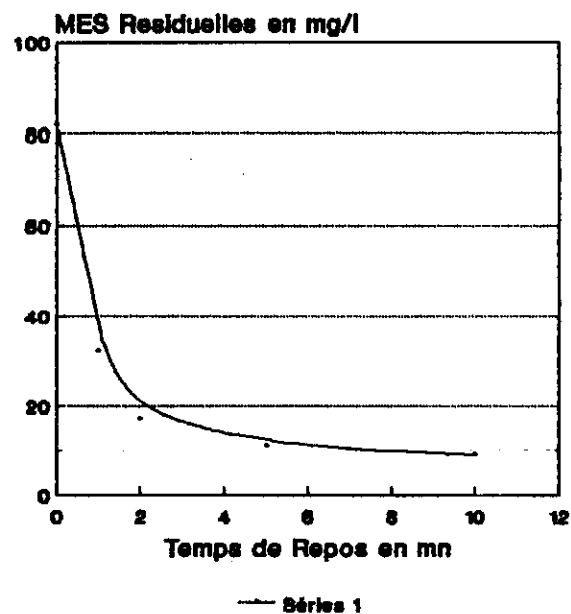
9/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



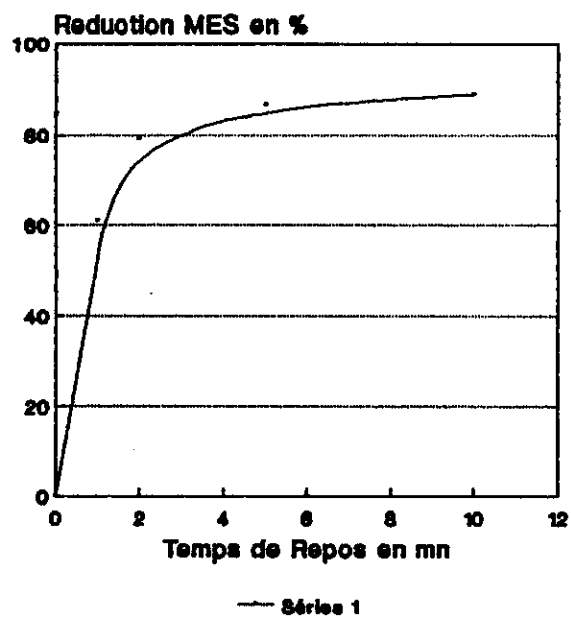
9/05/90

MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



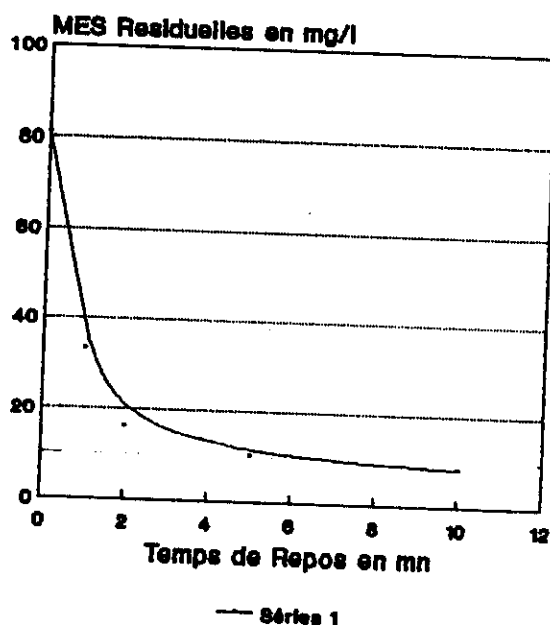
10/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



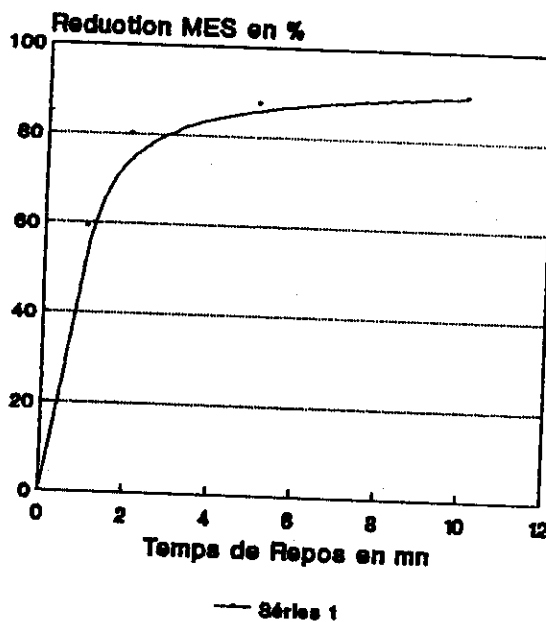
10/05/90

MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



11/05/90

Reduct.MES en fonct. du Temps $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:Dose 100ppm



11/05/90