

20/90

وزارة التعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

THÈSE

PRÉSENTÉE PAR MOHAMED MEKKI DAOUADJI
INGÉNIEUR I.A.P.

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN GENIE-CHIMIQUE

Sujet

Preconisation d'un mode de traitement tertiaire
pour le recyclage des eaux résiduaires traitées
du complexe COTITEX de DRAA Ben Khadda.

SOUTENUE LE 20 JUIN 1990 DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Monsieur R. BELABES	: Professeur ENP. (Président).
Madame N. MESBOUA	: Maître de conférence ENP. (Examinatrice).
Monsieur R. KERBACHI	: Professeur ENP. (Examinateur).
Monsieur A. TYCKOWSKI	: Maître de conférence I.A.P. (Examinateur).
Monsieur A. CIESLAK	: Maître assistant ENP. (Rapporteur).

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

THESE

*PRESENTEE PAR MOHAMED MEKKI DAOUADJI
INGENIEUR I.A.P.*

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN GENIE-CHIMIQUE

Sujet

Preconisation d'un mode de traitement tertiaire
pour le recyclage des eaux residuaires traitees
du complexe COTITEX de DRAA Ben Khadda.

SOUTENUE LE 20 JUI 1990 DEVANT LE JURY COMPOSE DE

Monsieur R. BELABES	: Professeur E.N.P. (President).
Madame N. MESBOUA	: Maitre de conference E.N.P. (Examinatrice).
Monsieur R. KEBBACHI	: Professeur E.N.P. (Examineur).
Monsieur A. TYCKOWSKI	: Maitre de conference I.A.P. (Examineur).
Monsieur A. CIESLAK	: Maitre assistant E.N.P. (Rapporteur).

REMERCIEMENTS :

Ce travail a été effectué au laboratoire de chimie physique du département chimie industrielle de l'institut Algerien du pétrole sous la direction de Monsieur A. CIESLAK .

A travers ces lignes je tiens a témoigner ma profonde reconnaissance pour la confiance qu'il m'a accordée , pour sa rigueur de jugement et son devouement , ainsi que pour ses incessants encouragements qui m'ont permis de bien mener a bien ce travail .

Monsieur le professeur R. BELABES de l'E.N.P nous honore en nous accordant un peu de temps de sa grande activité scientifique, pour juger ce travail et presider notre jury de thèse. Je le remercie vivement.

Je tiens à remercier Messieurs R. KERBACHI profsseur à l'E.N.P , A. TYCKOWSKI maitre de conference à l'I.A.P et madame N. MESBOUA maitre de conference à l'E.N.P ,pour l'intéret qu'ils ont porté à l'examen de ce travail et pour l'honneur qu'ils nous font par leur présence dans ce jury.

Je tiens à temoigner ma profonde gratitude à monsieur R. SELLAH ,chef de departement de la station d'épuration des eaux polluées du complexe COTITEX de la ville de Draa Ben Khadda, pour son aide amicale et precieuse durant mon séjour au complexe .

Je remercie tous les collègues de laboratoire et les assure de ma profonde gratitude .

Je remercie enfin toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail .

I-INTRODUCTION:

I.1 PREAMBULE:

Jamais encore l'Homme n'a disposé d'autant de moyens pour approfondir sa connaissance du monde, agir sur le milieu qui l'entoure et tenter d'améliorer ses conditions de vie. Pourtant l'angoisse le saisit quand il découvre l'ampleur croissante des nuisances qui empoisonnent la vie moderne. Parmi ces nuisances qu'il s'agisse de bruit, de la pollution de l'air ou celle des eaux, cette dernière est peut-être la plus incidieuse, la plus subtile dans le cas d'une micropollution et la plus difficile à combattre.

Les eaux de surface et souvent même les eaux souterraines reçoivent de tout, des matières minérales d'origine naturelle ou industrielle, des déchets végétaux ou des déchets de la vie des hommes et des animaux, des substances minérales ou organiques plus ou moins toxiques rejetées par les industries ou mises en circulation accidentellement ou volontairement au cours des transports terrestres ou maritimes des substances venant de l'atmosphère elle-même polluées.

Partout, dans le monde, les villes s'étendent absorbent une part de plus en plus grande de l'excédent démographique; en même temps, des complexes industriels s'établissent dans des régions jusqu'à présent préservées et sur les rivages des mers et des océans.

De ces phénomènes incontrôlables résultent une augmentation et une diffusion de la pollution qui la rendent difficile à appréhender et à maintenir; aussi de la demande en eau de qualité à laquelle il est évident qu'on ne pourra pas indéfiniment satisfaire sans recourir à des procédés compliqués et coûteux.

La pollution des eaux, à un certain degré, fait aujourd'hui partie intégrante de notre civilisation : le point important est qu'elle ne dépasse pas certaines limites qui sont connues et qu'il s'agit de faire dorénavant respecter.

Tout ce qu'on peut espérer est la réalisation aux prix d'efforts considérables mais à notre portée, d'un nouvel équilibre entre d'une part la production et l'élimination plus ou moins poussée des déchets de la vie humaine et des activités industrielles et agricoles et d'autre part les exigences biologiques.

La réalisation de cet équilibre doit être désormais une préoccupation essentielle des pouvoirs publics et aussi de la population correctement informée aussi bien dans les pays en voie de développement que dans les pays développés.

Le problème de protection de la qualité des eaux et de la lutte contre la pollution dans le monde n'est nullement insoluble. Plus qu'un problème technico-économique, c'est surtout une affaire d'information, d'éducation dans les bancs d'écoles, de volonté et de discipline de la part de tous les citoyens dans le pays.

I.2 PROBLEMATIQUE ET BUT DU TRAVAIL:

Il est évident qu'au fur et à mesure qu'augmenteront la demande et le coût de l'eau douce, le recyclage des eaux résiduaires deviendra une alternative attrayante du point de vue économique pour l'industrie dans un nombre de cas croissant.

De même, la réutilisation constitue la solution en vue de l'usage efficace et rationnel des ressources limitées en eaux douces parce qu'elles rendent disponible une nouvelle source importante de l'alimentation en eau dans l'avenir.

Il y a 31 ans déjà le conseil économique et social des nations unies a déclaré "on ne devrait jamais employer d'eau de qualité supérieure, à moins qu'on ait trop, quand une eau de qualité inférieure suffit". Les avantages d'un traitement poussé des eaux usées et de leur réutilisation ne résident pas uniquement dans une production supplémentaire de ressources en eaux douces, mais également dans la réduction du problème de la pollution.

Ainsi c'est dans cette optique que s'inscrit notre étude présente; en effet pour un éventuel recyclage des effluents du complexe textile de DRAA BEN KHADDA, qui en demeurant figure parmi les plus grands consommateurs d'eau douce- l'équivalent d'une ville de 100 000 habitants- une étude de faisabilité s'avère nécessaire afin d'adapter à ce type de rejets un mode de traitement qui complètera la chaîne de traitement actuelle du complexe (traitement primaire et secondaire) par un traitement tertiaire en vue de transformer le circuit ouvert en

circuit fermé sans rejets liquides.

D'autre part, l'Oued Sebaou où sont rejetés les effluents après traitement, communique avec la nappe phréatique. Or cette dernière pourvoit les besoins en eau du complexe textile ainsi que la ville municipale de DRAA BEN KHADDA, le danger d'une contamination de cette nappe par la pollution engendrée par le complexe COTITEX n'est ni invraisemblable, ni à écarter, ce qui corrobore la nécessité d'une étude de recyclage des eaux résiduaires traitées.

II. PRESENTATION GENERALE DU COMPLEXE COTITEX :

Toutes les informations concernant les aspects technologiques sont extraites des documents [1] et [2] .

II.1 HISTORIQUE :

L'idée de construire un complexe textile en Algérie a été proposée par un groupe de responsables Egyptiens, suite à leur visite en Algérie en 1964.

Les travaux de construction ont commencé juste après la signature du contrat , et étaient assurés et suivis par quatre sociétés étrangères ; pour le financement du projet, un crédit à long terme a été consenti à l'Algérie par l'Egypte et même pour l'engineering , et ce dans le cadre de la solidarité mutuelle inter Arabes. Le complexe a démarré en 1967 et a subi des extensions en 1979.

II.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le complexe textile COTITEX (Entreprise Nationale des Industries Textiles et Cotonnières) de Draa Ben Khadda est situé à 11 Kms à l'ouest de Tizi Ouzou, il s'étend sur une plaine se trouvant dans un secteur à vocation agricole. Sa superficie est de 28 hectares. L'effectif actuel est de 4500 employés.

II.3 MATIERES PREMIERES :

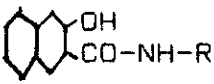
Les matières premières utilisées, la consommation annuelle ainsi que leurs provenances sont données ci-dessous.

La consommation des produits chimiques est donnée dans le tableau II.1, celle des produits d'encollage et de désencollage dans le tableau II.2

DESIGNATION	CONSOMMATION	PROVENANCE
coton	5500 t / an	Syrie _ Mali
viscose	300 t / an	Yougosl _ Irlande
polyester	600 t / an	Japon _ Allemagne

TABLEAU II.1

Consommation en produits chimiques:

APPELATION	FORMULE CHIMIQUE	CONSUMMATION (Kg/an)
Colorants directs	R-SO ₃ NA	445
COLORANTS AZOBIQUES		14090
COLORANTS AU SOUFRE	R-S-S'-R'	10722
COLORANTS REACTIFS	S-R-P-X	8199
COLORANTS DE CUVE	R≡C-O-SO ₃ Na	1583
COLORANTS DISPERSIFS	NH ₂ -ONHR	8057
ACIDE ACETIQUE	CH ₃ COOH	10948
ACIDE CHLORHYDRIQUE	Hcl	20755
ACIDE NITRIQUE	HNO ₃	1350
ACIDE STERAIQUE	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	1060
ACIDE SULFURIQUE	H ₂ SO ₄	9670
ACIDE TARTRIQUE	HOOC(CHOH) ₂ COOH	540
ACETATE DE CHROME	CR(CH ₃ COO) ₃	---
ACETATE DE SODIUM	NaCH ₃ COO	1750
ACETATE DE PLOMB	Pb(CH ₃ COO) ₂	--
AMIDON DE MAIS	-----	150000
AMIDON DE RIZ	-----	5500
AMONIAQUE	NH ₄ OH	750
BIOLASE	-----	100
BJRAX	Na ₂ B ₄ O ₇	1400
BICARBONATE DE SOUDE	NaHCO ₃	1000
CARBONATE DE POTASSIUM	K ₂ CO ₃	1000
CHAUX HYDRATEE	Ca(OH) ₂	300900
EAU OXYGENEE	H ₂ O ₂	74570

APPELLATION	FORMULE CHIMIQUE	CONSOMMATION (Kg/an)
HYDRAZINE	$N_2H_4 \cdot 2H_2O$	800
HYPOCHLORITE DE SODIUM	$NaClO$	73930
METABISULFITE DE SODIUM	$Na_2S_2O_5$	1880
SULFITE DE SODIUM	Na_2SO_3	2540
PHOSPHATE TRISODIQUE	Na_3PO_4	2500
PHOSPHATE D'AMMONIUM	$(NH_4)_3PO_4$	300
SILICATE DE SODIUM	Na_2SiO_2	15600
BOUDE CAUSTIQUE	$NaOH$	33800
SULFATE D'ALUMINIUM	$Al_2(SO_4)_3$	71000
SULFURE DE SODIUM	Na_2S	15000
SULFATE DE CUIVRE	$CuSO_4$	17000
TRIOXYDE DE CHROME	Cr_2O_3	500
TRIETHANOLAMINE	$(CH_2OHCH_2)_3N$	400
UREE TECHNIQUE	NH_2CONH_2	2600
SULFATE DE SODIUM	Na_2SO_4	1000
SULFATE DE FER	$FeSO_4$	26000
CHLORURE DE SODIUM	$NaCl$	195600

R: RADICAL

S: GROUPE SOLUBILISANT

S' : SOUFRE

R' : RADICAL ;

P: PORTEUR

X: HALOGENE.

TABLEAU II.2

Consommation en produits d'encollage et de désencollage:

APPELLATION	CONSDM. (Kg/an)	APPELLATION	CONSDM. (Kg/an)
ACRAFIX M	1200	LEVOGEN BF	200
ACRAMINE SLN	5600	LIANT HELIZARIM	900
ALGINATE DE SODIUM	4000	LUDIGOL A	7000
AMIDON DE MAIS	1500000	ENCOLLAGE CB	50000
AMIDON DE RIZ	5500	PERAPRET VA	2000
ANTHRAQUINONE	200	INVADINE LU	1200
AQUAZIN 60	14000	IRGAZOL NA	50
APPRETAM EM	3000	IRGAZOL QAM	20000
BETAMAPHTOL	9000	PERPARET HVN	5000
BIOLABE PCI	100	POLYRON 1020	16000
DERCOLIN	200	POLYRON T	1200
DECOL S	1500	PRESTOGEN PC	2500
DIAGUM PBWM	50	PRIMENIT CO	1300
INDELCA AG	500	RONGALITE C	1900
INDELCA UG	200	SAMDOZINE MIT	14000

II.4 PRODUCTION DU COMPLEXE

L'unité produit des tissus en coton. Les produits sont spécifiés en filature, tissage et finissage. Les capacités actuelles de production, y compris celles de l'extension, sont les suivantes:

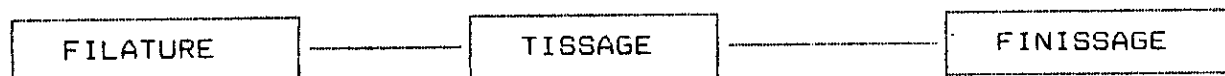
FILATURE = 78400 tonnes/an

TESSAGE = 47150000 mètres lineaires/an

FINISSAGE= 38000000 mètres lineaires /an

II.5 PROCEDE DE FABRICATION

La production des textiles suit le schema suivant



II.5.1 FILATURE

La filature est l'ensemble des opérations qui transforment la matière première textile en fils utilisables.

La matière première à son arrivée à l'usine est compacte, sale (présence de débris végétaux) et les fibres sont enchevêtrées, c'est le cas du coton.

- Les opérations préparatoires:

- a) Ouvrage-battage: le but est de desserer et nettoyer le coton.
- b) Le cadrage: il consiste à amorcer l'alignement des fibres.

- Filature proprement dite:

Elle transforme la mèche fine en fil simple par un dernier étirage et procède ainsi au bobinage du fil obtenu.

II.5.2 LE TESSAGE:

Le tissage consiste à assembler des fils suivant des règles déterminées afin d'obtenir des tissus. Les principales étapes du tissage sont le canettage, l'ourdissage, l'encollage, le séchage et le rentrage.

- Canettage:

C'est l'enroulement sur des bobines appelées "canettes", en bois, métal, carton, matières plastiques.

- Ourdissage:

C'est l'assemblage parallèle des fils sur une même longueur. Les fils sont séparés en groupes distinctifs, grâce à des dispositifs spéciaux. L'enroulement définitif se fait sur un cylindre appelé ensouple qui sera monté sur le métier à tisser. L'ensouple et le rouleau portant les fils de chaîne ourdis et encollés, placé à l'arrière du métier.

- Encollage:

C'est l'impregnation des fils par un produit laissant un dépôt superficiel qui leur permet de mieux supporter les fatigues du tissage.

Les produits d'encollage sont: des colles, des cires naturelles, des amidons.

- Séchage:

Il se fait souvent en étuves. Les fils séchés sont raidis.

- Le rentrage:

C'est le passage des fils dans les "maillons" du harnais. Les harnais sont des cadres portant des cordes verticales, chaque corde soutient un anneau ou un "maillon" dans lequel passe un fil de chaîne. Un harnais correspond à une nappe et contient autant de cordes qu'il y a de fils de chaîne dans la nappe.

II.5.3 LE FINISSAGE:

Le finissage se scinde en trois grandes parties: le blanchissement, la teinture et l'impression et enfin l'apprêtage.

- Le blanchissement:

Le blanchissement est l'ensemble des opérations ayant pour but d'éliminer des impuretés naturelles (matières pectiques, cireuses, graisses) et des impuretés acquises au cours de l'extraction, filature et tissage.

le blanchissement comporte les étapes suivantes:

a) grillage (flambage): il consiste à détruire par la chaleur les duvets qui couvrent le tissu, ceci pour permettre une bonne répartition des colorants.

b) Désencollage: il a pour but d'éliminer les produits d'encollage des chaînes, il se fait par trempage en eau tiède ou par l'utilisation de certaines enzymes (Diastase, rapidasse, Kidase)

c) Cuisson en soude: elle a pour but de solubiliser les cires et corps gras, et d'obtenir ainsi un tissu uniformément blanc susceptible de subir d'une manière satisfaisante une teinture et une impression.

Elle se fait généralement en solution de soude à 3% (la soude peut être remplacée par la chaux) et à haute température. Le tissu passe ensuite dans un bain contenant HCl très dilué afin de neutraliser l'excès de soude.

Le tissu est ensuite séché et dirigé vers la teinture.

-Teinture et impression:

a) Teinture: Le but de la teinture est de donner aux textiles une couleur différente de leur couleur naturelles. Cette pratique se justifie par certaines nécessités: obtention de teintes plus pratiques à l'usage (couleurs moins salissantes); acquisition d'un aspect agréable; réalisation de couleur en rapport avec les traditions.

b) Impression: L'impression est ^{une} teinture localisée limitée à certaines portions de la surface du tissu. La couleur répartie suivant un dessin, est souvent peu visible sur la face envers. Les colorants utilisés sont souvent identiques à ceux de la teinture. Souvent, avant de procéder à la teinture ou à l'impression on est amené à traiter le tissu par des produits chimiques appelés mordants, dans le but d'augmenter son affinité pour les colorants.

-Apprêtage:

Les tissus de coton sont soumis à un apprêt, soit à leur "descente du métier", c'est à dire après le tissage; soit après teinture ou impression, qui leur donne de la raideur, de la densité et du poids ainsi qu'un aspect plus agréable.

Comme agent d'apprêt, on utilise en général l'amidon, la dextrine, la colle, la cire et plus récemment on a fait appel ainsi à des résines synthétiques.

III. GESTION DES EAUX AU SEIN DU COMPLEXE COTITEX:

L'industrie textile figure parmi l'un des secteurs les plus consommateurs d'eau douce. Tout un dispositif d'alimentation, de stockage, de distribution et d'épuration des eaux résiduaires est mis en place.

III.1 CONSOMMATION EN EAU

III.1.1 SOURCE D'ALIMENTATION

L'eau utilisée au niveau du complexe, provient d'un forage sur nappe alluviale nourrie par l'oued Sebaou, ce forage est situé à 900 m au Nord Ouest de l'usine et à 200m de l'oued. La capacité de pompage du forage est aux environs de 900 mètres cubes par heure.

III.1.2 NATURES DES EAUX D'ALIMENTATION

a- Eau brute: c'est l'eau de forage qui a été stérilisée elle est utilisée dans les petites annexes (restaurant, administration et réseau d'incendie). La capacité de stockage de ces eaux est de 425 mètres cubes.

b- Eaux traitées: ce sont des eaux brutes auxquelles on a fait subir un traitement de décarbonatation à la chaux et un adoucissement sur échangeurs d'ions (de cations cycle Na).

On distingue deux sortes d'eau traitée:

- Eau décarbonatée "demi-douce": c'est l'eau brute dans laquelle on a supprimé les bicarbonates par addition de la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et du sulfate d'alumine ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Cette eau est utilisée dans

les départements de finissage et dans le réseau de climatisation. La capacité de stockage de ces eaux est de 1600 mètres cubes.

- "Eau adoucie": Elle est obtenue par adoucissement sur échangeurs d'ions (de cations) de cycle Na de l'eau decarbonatée afin d'éliminer tous les ions responsables de la dureté de l'eau (Ca^{2+} Mg^{2+}). L'eau douce est réservée pour l'alimentation des chaudières. La capacité de stockage est de 175 mètres cubes.

III.2 SOURCES, NATURE ET COMPOSITION DES DECHETS AVANT EPURATION

III.2.1 REJETS LIQUIDES:

L'eau à épurer provient des ateliers de production, du restaurant, des sanitaires et des diverses utilisations. Les eaux de rejets présentent deux sortes d'effluents à savoir:

- Des eaux dites "fortement polluées": provenant de la teinture, de l'impression et de la gravure accusant de fortes variations de coloration, de température et de pH au cours de la journée.

Le débit moyen horaire est estimé à 200 mètres cubes par heure.

- Des eaux dites "faiblement polluées": rassemblent les rejets de blanchiment, mercerissage, lavages, encollages, ainsi que les effluents sanitaires et de la cuisine de la cantine. Le débit moyen horaire de ces eaux est estimé à 248 mètres cubes par heure.

A ces types d'eaux polluées s'ajoutent les rejets d'eaux de chaudières, d'adoucisseurs et de refroidissement dont les débits moyens horaires sont les suivants:

Eaux de refroidissement	:	20 m ³ /H
Eaux de chaudières	:	15 m ³ /H
Eaux des adoucisseurs	:	14 m ³ /J

III.2.2 REJETS SOLIDES

Parmi des milliers de tonnes de rejets industriels produits par la COTITEX chaque année, on distingue :

a) Les rejets inertes ou banals:

Ces rejets sont assimilables aux ordures ménagères, et sont collectés par les services généraux du complexe pour être évacués quotidiennement dans la décharge communale environnante.

b) Les rejets industriels spéciaux:

Cette partie est constituée par les duvêts de coton et les copeaux de tissus. Ces rejets sont rassemblés en balles pour être vendus ensuite, aux autres unités de la SONITEX, en vue de leur réutilisation.

III.3 PRESENTATION DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX POLUÉES

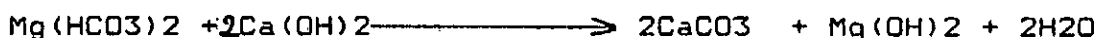
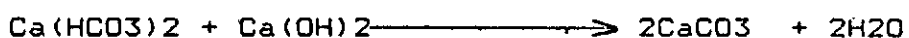
Les différentes unités de traitement existantes au sein du complexe sont:

- Une chaîne de décarbonatation de l'eau brute
- Une chaîne d'adoucissement de l'eau décarbonatée
- Un poste de traitement des eaux de décharge contenant du chrome et du cuivre
- La station d'épuration des eaux résiduaires avec recyclage des boues (STEP)

III.3.1 CHAINE DE DECARBONATATION DES EAUX

La décarbonatation est un adoucissement de l'eau brute par élimination partielle du TAC (titre alcalimétrique complet). Dans un décanteur, il est ajouté à l'eau brute de la chaux (Ca(OH)_2) et du sulfate d'alumine ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) comme coagulant.

Les réactions mises en jeu sont:



L'eau en haut du décanteur s'écoule et passe sur un lit de sable où elle est filtrée, le sable retient la charge et autres particules ayant échappé à la décantation.

L'eau est ensuite neutralisée avec du HCl, puis stockée dans une citerne, c'est l'eau demi-douce.

III.3.2 CHAINE D'ADOUCCISSEMENT:

L'adoucissement se fait par échange d'ions, il a pour but d'éliminer les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} responsables de la dureté de l'eau. L'adoucissement se fait par des résines échangeuses d'ions du type Duolite forme NaCl , qui ont la propriété de fixer les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} contenus dans l'eau et de les échanger contre les ions Na^+



Les nouveaux sels formés sont solubles.

L'unité dispose de trois adoucisseurs ($\varnothing = 2,5\text{m}$; $\text{H} = 3,5\text{m}$).

La régénération des résines saturées se fait avec une solution de

NaCl (15%).

III.3.3 POSTE DE TRAITEMENT DES EAUX DE DECHARGE CONTENANT DES

CHROMES:

Il est à noter en ce qui concerne les décharges polluées par le chrome au niveau de l'atelier du chromage, il existe un traitement discontinu pour la réduction du Cr+6 en Cr+3 seulement. Les eaux sont pompées dans un réacteur avec une capacité utile de 1 mètre cube. L'eau est dosée de bisulfite et acidifiée jusqu'à pH = 2 à 2,3 avec du HCl.

Le mélange est assuré par un agitateur. Cette solution réduite est déchargée aux égouts fortement pollués.

III.3.4 STATION D'EPURATION (STEP):

Cette station est composée d'une chaîne de traitement des eaux résiduaires constituée d'éléments suivants:

- Tamisage
- Station de relevage des eaux
- Traitement physico-chimique des eaux fortement polluées.
- Homogénéisation de toutes les eaux sales et correction du pH.
- Traitement biologique à boues activées
- Epaissement des boues
- Filtrage des boues
- Station de dosage des réactifs chimiques.

Contrairement à la station du traitement des eaux brutes (adoucissement qui existe depuis la création du complexe, la

station d'épuration (STEP) n'existe que depuis 1985. C'est une station qui traite les eaux déchargées par l'usine qui proviennent des cuisines, des sanitaires, du lavage des tissus ou de la teinture.

III.3.4.a TAMISAGE :

On effectue le tamisage au moyens de grilles, constituées de barres inclinées.

Il existe deux grilles pour chaque station de relevage des eaux dont une est automatique. Le nettoyage des grilles se fait, actuellement, manuellement à l'aide de râteliers. Les matières premières sont transportées à un bac de ramassage.

III.3.4.b STATION DE RELEVAGE DES EAUX :

L'eau après avoir été tamisée, s'écoule par gravité dans la station de relevage où sont installées des pompes immergées surélevatrices. La commande y est asservie, le débit de chaque pompe est de 135 mètre cube par heure.

Les eaux faiblement polluées sont actuellement envoyées vers le décanteur primaire au lieu du bassin d'homogénéisation.

III.3.4.c TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX FORTEMENT POLLUEES

Ces eaux sont envoyées dans le bac de coagulation floculation, ce dernier ayant un volume de 55 m³, permet un temps de permanence de 16,5 min et 9,4 min pour un débit maximum.

Les coagulants utilisés sont le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique, ce dernier n'est plus utilisé actuellement.

Le dosage de l'eau est obtenue d'une façon automatique par commande asservie à un pH-mètre installé dans le bac.

III.3.4.d DECANTATION PRIMAIRE:

Le mélange eau-flocons, qui s'est formé dans le floccateur, est envoyé par gravité dans le décanteur primaire de volume utile de 1000 m³, ce dernier reçoit aussi les eaux faiblement polluées.

Les boues s'entassent au fond du décanteur primaire et sont envoyées par gravité jusqu'à la station de relevage des boues primaires.

III.3.4.e HOMOGENEISATION ET NEUTRALISATION

Les eaux clarifiées dans le décanteur primaire et les eaux faiblement polluées, sont envoyées dans le bassin d'homogénéisation.

Le bac d'homogénéisation permet l'alimentation de la successive "section biologique" à débit constant et à niveau de pollution constant. Ainsi il est assuré un environnement adéquat pour le développement de la flore microbienne.

Le volume du bassin est de 4000 m³, ce qui permet une homogénéisation pendant au moins huit (08) heures. Une turbine en étoile aspire le CO₂ acheminé depuis la chaufferie et le mélange avec les eaux résiduaires dans le bassin d'homogénéisation. Ceci va permettre une correction du pH.

La correction finale de la valeur du pH est automatique le pH-mètre à soude installé dans le bac permet à la pompe d'effectuer le dosage du HCl en fonction de l'alcalinité de l'eau résiduelle généralement ce dosage est minime.

III.3.4.f TRAITEMENT BIOLOGIQUE A BOUES ACTIVEES:

Le traitement par boues activées est de type à oxydation étendue avec recyclage continu de la boue. L'établissement des conditions optimales pour la boue biologique est assuré par l'apport de l'urée synthétique et de l'acide phosphorique H_3PO_4 . L'oxygène est fourni par deux aérateurs de surface qui assurent aussi une bonne homogénéisation eau-boue. Ce mélange gravite vers le bassin de sédimentation finale.

III.3.4.g DECANTATION FINALE:

Le débit affluent du bassin de sédimentation est de 450 m³/H. La boue s'amasse au fond du bassin, et est envoyée par un système à rotation dans un tremier central. L'eau, quant à elle passe dans le déversoir et est rejetée vers l'oued.

III.3.4.h EPAISSISSEMENT DES BOUES:

Une partie des boues du bassin de sédimentation finale sont recyclées dans le bac d'oxydation biologique et l'autre partie est évacuée vers la station de relevage des boues où sont mélangés différentes boues:

- les boues provenant du bac coagulation - floculation
- les boues du bassin de décantation
- les boues de décarbonatation

Ces boues sont pompées à la station de relevage et envoyées dans un épaisseur de 18m de diamètre. Les boues s'entassent et une extraction de 190 m³/j de boues se fait automatiquement par l'ouverture d'une soupape pneumatique. Ces boues sont déchargées

dans un bac à boue et de là acheminées au filtre presse.

III.3.4.i FILTRAGE DES BOUES:

Les boues épaissies sont déshydratées par filtre presse de capacité de 12 m³/H.

Avant de passer dans la presse ,la boue est additionnée,d'un polyélectrolyte qui améliore la déshydratation.

La boue déshydratée de 30 à 40% est envoyée au moyen d'une boucle transporteuse directement dans les bennes d'évacuation.

IV. ETUDE SUR LA QUANTIFICATION DE LA POLLUTION DES EAUX

RESIDUAIRES DU COMPLEXE COTITEX:

IV.1 INTRODUCTION

En vue d'apporter plus d'informations sur l'eau traitée qui est rejetée à l'oued de Sébaou, un travail préliminaire a été effectué durant l'année 1987-1988 [3],[4].

La présentation des résultats de ces travaux nous permettra de définir le problème posé et de l'étudier pour un éventuel recyclage de ces eaux.

IV.2 TRAVAUX ANTERIEURS SUR LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX:

IV.2.1 RESULTATS D'ANALYSES:

TABLEAU IV.1: RESULTATS D'ANALYSES DE L'EAU TRAITEE

Date du prélèvement	05/03/88	12/03/88	28/03/88	04/04/88	19/04/88
Heure	10h15mn	11h00mn	10h15mn	11h15mn	11h50mn
Temperature (°C)	14	26	28	26	23
pH	7,96	8,09	8,14	7,86	8,32
Couleur	transpar -ente	grise claire	transpar -ente	transpar -ente	rouge claire
Turbidité (+)	10	19	22	12	18
M.E.S (mg/l)	63	90	96	85	102
Conductivité (ms/cm)	0,95	0,70	0,40	0,70	0,15
T.A.C (°F)	52	54	48,5	36	42
DBO5 (mgd' O2/l)	31	19	22	--	35,3

DCO (mgd*O2/l)	90	--	120	64	79
Chlorures (mg/l)	180	130	98	146	108
Ammoniaque (mg NH3/l)	0,4	0,9	0,7	--	0,5
Azote total (mg N2/l)	1,2	1,6	0,9	1,1	0,1
Sulfates (mg/l)	Nd	Nd	0,08	Nd	0,07
Phosphates (mg/l)	0,05	Nd	0,08	Nd	0,07
Huiles (mg/l)	79	--	59	98	208
Chrome (mg/l)	Nd	0,07	0,05	0,01	Nd
Cuivre (mg/l)	0,01	Nd	0,12	Nd	0,05
Zinc (mg/l)	0,08	0,06	Nd	0,03	Nd
Fer (mg/l)	6,32	2,41	0,78	2	0,8

(+) : unité formazine

TAC : Titre Alcalimétrique Complet (en degré français)

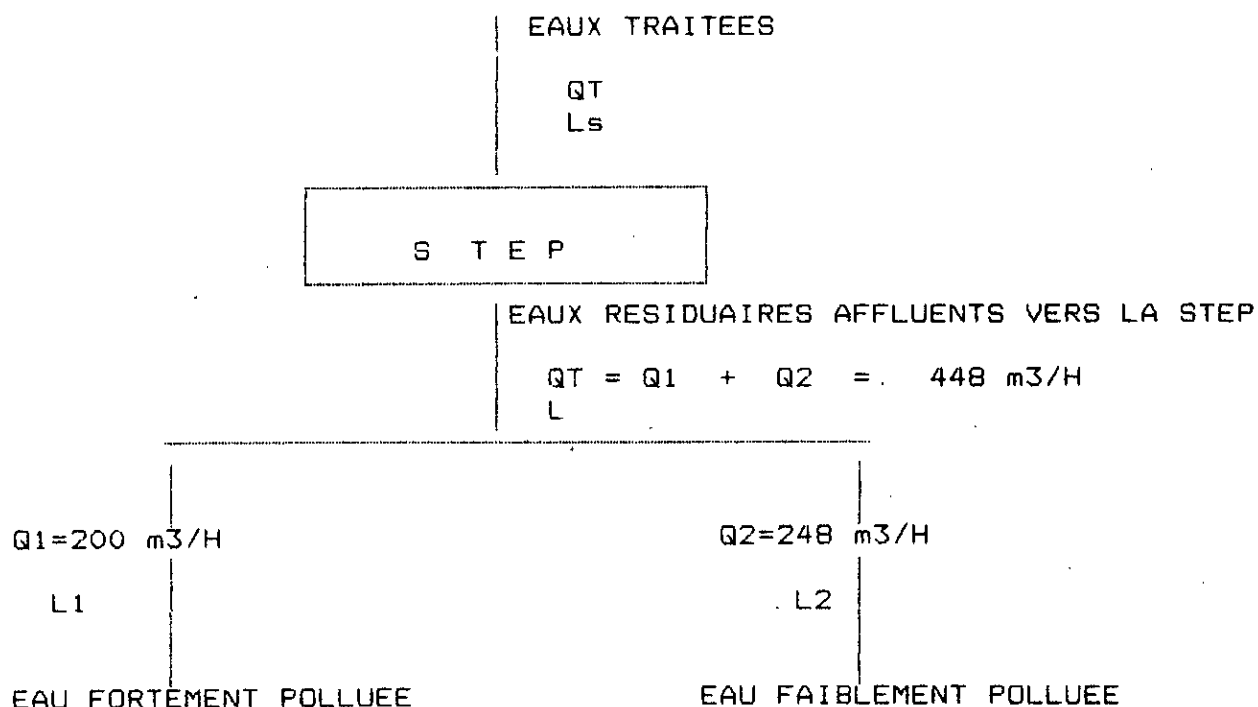
Nd : non decelable.

TABLEAU IV.2 "RESULTATS D'EVALUATION DES % DE REDUCTION
DES DIFFERENTS POLLUANTS

Les analyses des eaux fortement et faiblement polluées ont été effectuées en même temps que les eaux traitées.

Paramètre de pollution	A1	A2	A3	A4	Pourcentage de réduction
MES (mg/l)	773	895	840	87	89,6
TAC (°F)	24,5	67,4	48,2	46,5	3,5
DBO5 (mg O2/l)	119	300	219	27	86,7
DCO (mg O2/l)	338	584	474	88	81,5
AZOTE TOTAL (mgN/l)	14	61	40	1	97,5
CLORURES (mgCl-/l)	98	197	153	132	13,7
SULFATES (mgSO4/l)	Nd	1,4	1,4	Nd	100,0
PHOSPHATES (mgPO4/l)	2	1,3	1,6	0,04	97,5
HUILES (mg/l)	137	538	359	111	69,1
CHROME (mg/l)	0,13	Nd	0,06	0,03	50,0
CUIVRE (mg/l)	0,24	Nd	0,11	0,04	63,6
ZINC (mg/l)	0,41	Nd	0,18	0,03	83,3
FER (mg/l)	0,26	Nd	0,12	2,46	0,0

- A1 : Concentration moyenne en divers polluants de l'eau dite "fortement polluée".
- A2 : Concentration moyenne en divers polluants de l'eau dite "faiblement polluée".
- A3 : Concentration moyenne estimée, en divers polluants de l'ensemble des eaux à traiter.
- A4 : Concentration moyenne en divers polluants de l'eau traitée.



Les pourcentages de réduction sont estimés par la relation suivante:
$$E = \left(1 - \frac{L_s}{L} \right) * 100\%$$

$$L = (Q_1 L_1 + Q_2 L_2) / Q_T$$

Q1 : Débit des eaux dites "fortement polluées"

Q2 : Débit des eaux dites "faiblement polluées"

QT : Débit total des eaux affluents vers la station d'épuration

L1 : La valeur moyenne d'un paramètre de pollution des eaux dites "fortement polluées"

L2 : La valeur moyenne d'un paramètre de pollution des eaux dites "faiblement polluées"

Ls : La valeur moyenne d'un paramètre de pollution des eaux traitées

L : La valeur moyenne d'un paramètre de pollution des eaux à traiter

D'après les résultats obtenus (tableau N°2), on peut dire que le rendement moyen d'élimination de la pollution par la station

d'épuration des eaux se situe aux environs de 65%.

IV.2.2 INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES

Voir aussi normes de rejets en annexe N°2.

a) ASPECT DE L'EAU TRAITÉE:

En ce qui concerne la couleur de l'effluent (eaux traitées) elle est dans la plupart des cas presque transparente, sauf que quelquefois, on enregistre la présence de traces de matières colorantes non éliminées.

On peut dire que 90 à 95% de la couleur est éliminée par la station d'épuration et les eaux traitées ne présentent aucun effet nuisible par leur couleur sur le milieu receveur.

b) LA TEMPERATURE

La température moyenne des eaux traitées est pratiquement égale à la température ambiante, donc conforme aux normes Européennes, ceci est dû à l'existence des systèmes d'homogénéisation et d'aération au sein de la STEP.

c) LE pH:

Le pH des eaux traitées est neutre ou légèrement alcalin, il varie entre 7,8 et 8,3 ; les valeurs du pH sont conformes aux normes Européennes.

d) LA CONDUCTIVITE:

Les eaux traitées présentent une conductivité très variable, elle va de 150 jusqu'à 950 $\mu\text{s}/\text{cm}$ représentant ainsi une minéralisation faible parfois moyenne. Selon les normes

françaises ,une conductivité dépassant 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ indique une minéralisation élevée.

e) LES MATIÈRES EN SUSPENSION (MES):

La station d'épuration permet l'élimination d'environ 90% des matières en suspension présentes dans les eaux résiduaires.

La valeur moyenne des matières en suspension des eaux traitées est de l'ordre de 87 mg/l. Or les normes Européennes exigent que les matières en suspension de toute nature ne doivent pas dépasser 30 mg/l.

Une telle concentration en matières en suspension peut exercer des effets nuisibles sur l'émissaire. En effet ces éléments fins ont plusieurs effets sur la biocénose aquatique [5].

- Un effet direct sur les animaux conduisant notamment à une destruction partielle ou totale des organes respiratoires.
- Des effets indirects qui provoquent par le colmatage de fonds, une asphyxie des organismes benthiques dont le biotope normal est à fort granulométrie et une asphyxie des oeufs des espèces de poissons frapants sous les graviers (salmonides)
- Une augmentation sensible de la turbidité des eaux plus souvent nuisible à la photosynthèse en limitant la capture de l'énergie solaire et par suite la productivité.

f) LA DBO5 ET LA DCO:

La DBO5 et la DCO des eaux traitées répondent bien aux normes Européennes qui exigent respectivement une DBO5

et une DCO inférieures à 30 et 120 mg/l.

On remarque aussi que le rapport DCO/DBO5 se stabilise à environ 2,3 ; ceci s'explique par le type de traitement biologique des eaux par boues activées où seules les matières biodégradables sont éliminées ou consommées par les microorganismes.

g) LES CHLORURES:

La présence des chlorures dans les eaux peut correspondre à une pollution par les urines, mais elle peut avoir une origine industrielle suite à l'utilisation des composés chlorés dans le traitement de finissage des tissus.

Le chlore libre présent dans les eaux résiduaires est détruit par des réactions mutuelles avec les réducteurs et les microorganismes et il se produit une neutralisation partielle lorsqu'on introduit ensemble les eaux résiduaires dans l'installation de traitement des eaux.

Malgré la faible élimination des chlorures (13%) par la station d'épuration, la teneur des eaux traitées en chlorures reste conforme aux normes Européennes.

h) AZOTE TOTAL, PHOSPHATES ET SULFATES:

Les résultats d'analyses montrent que l'élimination de ces composés par la station d'épuration est presque totale et les faibles quantités qui en subsistent dans les eaux traitées ne posent aucun problème sur le milieu récepteur.

i) LES HUILES:

Les eaux résiduaires si elles sont introduites dans un émissaire doivent ,en général contenir au maximum 10 mg/l d'huiles.La teneur des huiles dans les eaux résiduaires du complexe COTITEX est très variable.

Durant la journée,en effet,elle atteint des valeurs extrêmement élevées au moment de lavage des machines et de vidange de bains de décapage,les valeurs peuvent atteindre 1000 mg/l.

Le taux d'élimination des huiles par la station d'épuration est d'environ 69%,cette élimination y est possible particulièrement dans le bassin d'aération où les microorganismes les, métabolisent.

La concentration résiduelle des huiles est évaluée en moyenne à 111 mg/l. Une telle teneur ne répond nullement aux normes Européennes et pouvant ainsi causer de sérieux problèmes pour le milieu récepteur. En effet les huiles représentées par les hydrocarbures cycliques donnent à l'eau une saveur et une odeur désagréables.

Les matières grasses et les huiles ont la propriété d'être difficilement oxydables et les nappes souterraines polluées pourront être nuisibles pendant de très longues années. De plus les films huileux colorés,en diminuant la capacité d'oxygénation de l'eau et enrobant les flocculats,gênent les opérations de coagulation et de filtration dans les stations d'épuration.

Du point de vue industriel,il a été montré [6] que les hydrocarbures étaient susceptibles d'entraîner une corrosion des circuits de vapeur.

j) LES METAUX LOURDS:

Les métaux lourds (chrome, cuivre, fer, zinc..) contenus essentiellement dans les eaux dites fortement polluées ne sont pas éliminées au sein de la station d'épuration.

Fort heureusement, ce problème se trouve résolu à la sortie de la station d'épuration où on enregistre des teneurs en métaux précités très faibles et sont conformes aux normes Européennes pour les rejets d'eaux résiduaires à cause de la dilution apportée par les eaux dites faiblement polluées, qui sont supposées exemptes de ces métaux.

IV.3 CONTRE ANALYSES RECENTES:

En plus des résultats antérieurs dont nous disposons et les informations collectées chez les exploitants de la station d'épuration qui confirment l'existence de ces deux problèmes (matières en suspension et les huiles), on a été amené à procéder à une campagne d'analyses pour une éventuelle vérification quantitative de la teneur des matières en suspension et les huiles dans les eaux résiduaires traitées par la station d'épuration.

IV.3.1 LES MATIERES EN SUSPENSION (MES)

IV.3.1.a METHODES D'ANALYSE

- principe: Les matières en suspension comportent des matières organiques et minérales qui sont ni solubilisées ni à l'état colloïdal.

La détermination des matières en suspension se fait par filtration [7] .

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues par le filtre est déterminée par pesée différentielle. Les matières grossières doivent être préalablement éliminées par passage sur un tamis .

MODE OPERATOIRE : Nous procédons à la filtration d'un litre d'eau sous vide , en utilisant un filtre de 1 micron préalablement pesé .

Après séchage du filtre dans l'éluve à une température de 50°C, nous procédons à la détermination des matières en suspension par pesée différentielle . Cette opération est répétée jusqu'à poids constant .

Les résultats ainsi obtenus indiquent directement la quantité des matières en suspension .

IV.3.1.b RESULTATS D'ANALYSE :

- prélèvement et conservation de l'eau : [7]

- Durée de la campagne d'analyse : 16 semaines

Un échantillon de 5 l d'eau résiduaire traitée est prélevé dans un contenant en verre chaque samedi à 10 h du matin où la concentration des huiles devrait être importante vu la fréquence importante de lavage des machines durant cette période .

Le prélèvement s'effectue juste à la sortie du decanteur secondaire, après avoir purgé suffisamment d'eau de la prise d'échantillon.

L'échantillon ainsi prélevé est acidifié rapidement par Hcl concentré jusqu'à PH=5 pour hydrolyser les savons et casser les émulsions éventuelles.

L'échantillon prélevé servira à la fois à la détermination des matières en suspension et à la détermination de la teneur des huiles.

- Technique ou produit à utiliser : neant
- Temps maximum de non évolution : 6 heures
- Type du contenant : en verre ou en polyethylene.

RESULTATS

TABLEAU IV.3: CONCENTRATION DES MATIERES EN SUSPENSION DANS LES
EAUX RESIDUAIRES TRAITÉES

Numero de l'échantillon	Concentration des matières en suspension (mg/l)
1	66,1
2	82,3
3	104,7
4	97,3
5	87,2
6	52,0
7	68,4
8	91,6
9	83,3
10	75,2
11	96,9
12	60,5
13	68,8
14	85,6
15	73,3
16	81,9

Concentration moyenne des MES= 79,7 mg/l.

IV.3.1.c INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES ET CONCLUSION

En se référant à nos résultats expérimentaux et ceux des travaux antérieurs, trois points sont à souligner:

- La fourchette de fluctuation de la concentration des matières en suspension dans les eaux résiduaires traitées est importante

mais reste acceptable pour une unité de traitement des eaux d'une telle importance sur le plan capacité de traitement ainsi que la variation de la teneur des polluants dans les eaux à l'entrée de la station d'épuration.

- La concentration moyenne des matières en suspension des eaux résiduaires traitées est plus ou moins conforme (79,7 mg/l) à celle obtenue par les travaux antérieurs (87,2 mg/l).

- Dans les deux cas, la teneur des matières en suspension dans les eaux résiduaires traitées dépasse de loin les normes de rejets Européennes (30 mg/l).

Il est évident, dans le cas où l'on préconise le recyclage des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX, une réduction importante de la teneur des matières en suspension ou de turbidité de ces eaux doit être assurée dans le cadre d'un traitement tertiaire.

IV.3.2 LES HUILES

IV.3.2.a METHODE D'ANALYSE

- Principe:

Les huiles sont extraites de l'échantillon, acidifiées à pH=5 par du trichloréthylène et dosées gravimétriquement après évaporation du solvant [7].

- Mode opératoire:

Dans une ampoule à décanter de deux litres, prélever 1 l d'eau à analyser et acidifier par de l'acide chlorhydrique jusqu'à pH=5, pour hydrolyser les savons et casser les émulsions éventuelles.

Ajouter 100 ml de trichloroethylene dont 25 ml serviront au rincage du flacon ayant contenu l'échantillon. Agiter 2 minutes et laisser décanter.

Récupérer la phase organique dans un petit flacon prépesé. Répéter l'extraction deux autres fois sur la phase aqueuse en utilisant que 50 ml de trichloroethylene. Réunir les trois phases organiques. Distiller le solvant (la température du bain ne doit pas dépasser 70 C) .

On termine l'évaporation sous vide et on pese à poids constant. La différence entre le poids du flacon après distillation et le poids de sa tare donne directement la teneur en matières grasses exprimées en milligrammes par litre d'eau. Tenir compte éventuellement du résidu sec du solvant.

IV.3.2.b: RESULTATS D'ANALYSES :

- prélèvement et conservation de l'eau : [7]
- Durée de la campagne d'analyse : 16 semaines
mêmes conditions de prélèvement que pour les matières en suspension.
- Technique ou produit à utiliser : 2 ml d'HCl
ou conservation à 4°C.
- Temps maximum de non évolution : 24 heures [8]
- Type du contenant : en verre.

RESULTATS :

TABLEAU IV.4 : "Concentration des huiles dans les eaux résiduelles traitées"

Numero de l'échantillon	Concentration des huiles (mg/l)
1	76,7
2	102,3
3	116,4
4	148,9
5	163,7
6	160,2
7	95,5
8	89,6
9	109,1
10	104,2
11	122,4
12	136,4
13	91,3
14	128,3
15	136,1
16	52,6

Concentration moyenne des huiles = 114,6 mg/l.

IV.3.2.c INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES ET CONCLUSION

Suite à ces résultats, on note les points suivants:

- La concentration des huiles dans les eaux résiduelles traitées est énormément variable, on pense que ceci dépend considérablement de la fréquence des opérations de décapage des rouleaux d'impression et de lavage des machines.

- La concentration moyenne des huiles dans les eaux résiduaires traitées (114,6 mg/l) est comparable à celle obtenue par les travaux antérieurs (111 mg/l).

- L'importance de la concentration des huiles dans les eaux résiduaires traitées dans les deux cas constitue un danger permanent sur l'émissaire, tout en sachant que les normes Européennes des rejets exigent une concentration maximale de 10 mg/l.

La déshuilage des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX s'avère donc une étape déterminante dans le cadre d'un traitement tertiaire pour une éventuelle réutilisation de ces eaux.

V. PRECONISATION D'UN MODE DE TRAITEMENT TERTIAIRE POUR LA REDUCTION DE LA TURBIDITE DES EAUX RESIDUAIRES TRAITÉES

V.1 INTRODUCTION:

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées: argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.....

L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes. [7]

Dependant l'apparence trouble d'une eau est une notion subjective liée à l'appréciation visuelle de l'observateur. On a cherché à définir le degré de turbidité par des mesures optiques reliées à des échantillons empiriques, les principes de mesure et le mode de préparation des étalons de référence variant d'un pays à l'autre. En fait la plus grande confusion règne dans ce domaine d'autant plus que les mesures sont souvent exprimées dans les mêmes unités, le degré de silice, alors que le phénomène optique mesuré est différent: opacité, combinaison de transmission et de diffusion.

c'est en France que la définition la plus claire et la plus rationnelle a été élaborée par Dienert [9].

Sous une description empirique, la mesure de l'opalescence en gouttes de mastic consiste en fait, à une détermination du coefficient de diffusion ou constante de Raleigh de l'échantillon examiné.

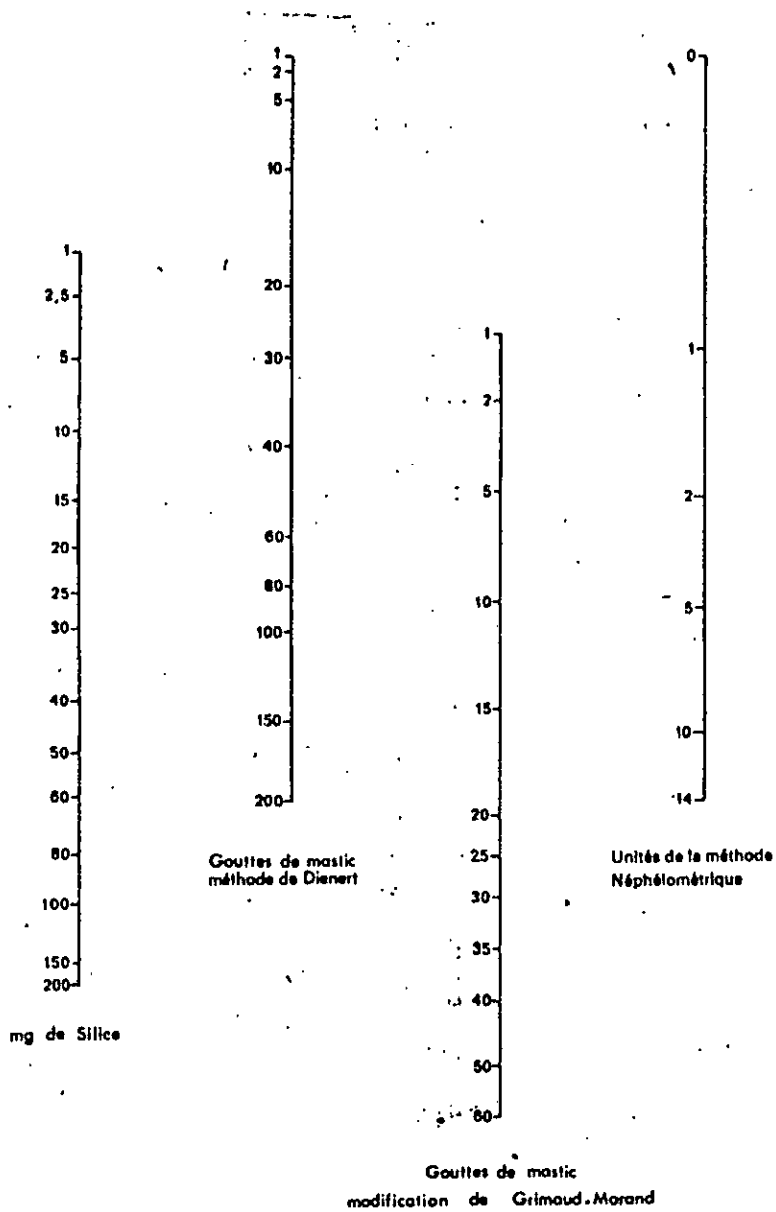
La méthode de Dienert se réfère, malheureusement à un échantillon empirique (solution alcoolique de résine de mastic) qu'il est difficile de préparer et qui n'est pas stable. Pour prévenir cette difficulté, on utilise en France des appareils optiques de mesure du flux lumineux diffusé à 90° (comme défini par Dienert) au moyen de montages optiques précis équipés de comparateurs visuels ou à cellule photoélectrique. [9].

Actuellement il existe plusieurs méthodes de mesure de turbidité au laboratoire, parmi ces méthodes on cite:

- Méthode des gouttes de mastic
- Méthode à la silice
- Méthode néphélométrique
- Méthode de l'indice de diffusion.

Une comparaison entre les diverses unités de turbidité est donnée à la figure V.1 [7].

FIGURE V. 1.



Nomogramme de correspondance entre les différentes unités de turbidité.

C'est sans aucun doute la présence dans l'eau de diverses substances solides qui constitue la partie la plus importante et la plus apparente de la pollution.

Les principaux inconvénients de la présence d'une partie solide dans l'eau sont:

- L'obstruction de canalisations ou de réfrigérants, abrasion des pompes ou d'organes de mesure, usure de matériel divers, ect...
- Exigences de la réglementation à satisfaire

La séparation des particules solides et de l'eau peut se faire selon deux principes différents, à savoir:

- Décantation ou flottation
- Filtration ou tamisage.

Toutefois, l'application pure et simple de ces principes se heurte à une difficulté due à la grande dispersion de la taille des particules, même pour un type donné de pollution. [8].

Dans le tableau ci-dessous sont répertoriés certains matériaux ou organismes avec leur dimension moyenne et l'ordre de grandeur du temps nécessaire pour que, sous la seule influence de leur poids, les particules parcourent verticalement un mètre d'eau.

Diamètre de la particule (mm)		temps de décantation pour 1m
10	GRAVIER	1 SECONDE
1	SABLE	10 SECONDES
0,1	SABLE FIN	2 MINUTES
0,01	ARGILE	2 HEURES
0,001	BACTERIE	8 JOURS
0,0001	PARTICULE COLLOIDALE	2 ANS
0,00001	PARTICULE COLLOIDALE	20 ANS

Ces résultats mettent en évidence la très faible vitesse de décantation naturelle des particules fines dites colloïdales qui constituent une partie importante de la pollution, cause en particulier de la turbidité.

Avant de procéder à la mise en oeuvre à l'échelle expérimentale, les moyens adéquats pour la réduction de la turbidité des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de Draa Ben Khadda, on présentera certains éléments de théorie concernant les techniques utilisées pour l'élimination de la turbidité des eaux résiduaires, à savoir la coagulation-floculation.

V.2. THEORIE DE LA REDUCTION DE LA TURBIDITE DES EAUX

On tend ici à répondre à une question fondamentale: pourquoi une eau est turbide? et comment peut-on la clarifier?

V.2.1 STABILITE DES SUSPENSIONS COLLOIDALES DANS L'EAU

Les colloïdes peuvent être considérés comme des particules de diamètres infimes. Lorsqu'ils sont assimilés à des sphères, le rapport surface sur volume est égal à $3/R$. Les propriétés de surface deviennent donc prépondérantes vis à vis des propriétés de volume lorsque R tend vers zéro.

Les suspensions colloïdes sont en fait stables pour deux raisons [10]:

- Le mouvement Brownien

- Les effets de surface

Les plus importants sont les effets de surface, c'est à dire les effets électrocinétiques d'adsorption et de solvatation.

Si l'on considère la limite entre une phase solide (S) et une phase liquide (L) aqueuse, on constate que la surface solide est couverte de charges électriques généralement négatives, qui forment une pellicule continue.

En effet dans les eaux naturelles, les colloïdes sont toujours chargés négativement. Dans les eaux usées, ils le sont souvent [8].

L'origine de ces charges varie suivant le cas considéré, mais leur présence est une règle quasi-générale. Cette situation crée un déséquilibre électrique qui tend à être compensé par l'apport de charges positives provenant de la phase liquide. Ces charges se placent face aux charges négatives et dans la théorie initiale de Helmholtz, on considèrerait l'équilibre ainsi rétabli. En fait l'agitation thermique perturbe la couche positive et la disperse en partie créant une couche diffuse où il règne une certaine prédominance de charges positives, excès qui va en diminuant lorsqu'on s'éloigne de la surface vers le coeur de la phase liquide où l'équilibre électrique est obtenu.

Cette structure en couche négative de surface, couche fixe et couche diffuse a été élucidée par les travaux de Stern et de Gouy-Chapman.

Si on le considère maintenant du seul point de vue électrique, en prenant $\Omega 0$ comme potentiel au niveau du feuillet négatif, on démontre qu'il diminue de façon linéaire jusqu'à $\Omega \delta$ à la limite

du feuillet fixe positif pour évoluer ensuite vers $\Omega = 0$ au sein du liquide.

Le potentiel $\Omega\delta$ est encore appelé Zeta (fig V.2) et caractérise en fait la couche diffuse. Ce potentiel Zeta qui joue un rôle important dans les phénomènes qui nous intéressent, trouve son origine dans les études sur l'électrophorèse. C'est d'ailleurs par électrophorèse qu'on mesure sa valeur pour des particules en suspension.

A ce moment, il s'exprime par la formule suivante:

$$\Omega\delta = \frac{4 \pi \eta V}{D H}$$

Où:

η : viscosité de la phase liquide

V : vitesse de la particule dans un champ électrique

D : constante diélectrique du milieu fluide

H : gradient de potentiel.

FIGURE V.2

POTENTIEL ZETA

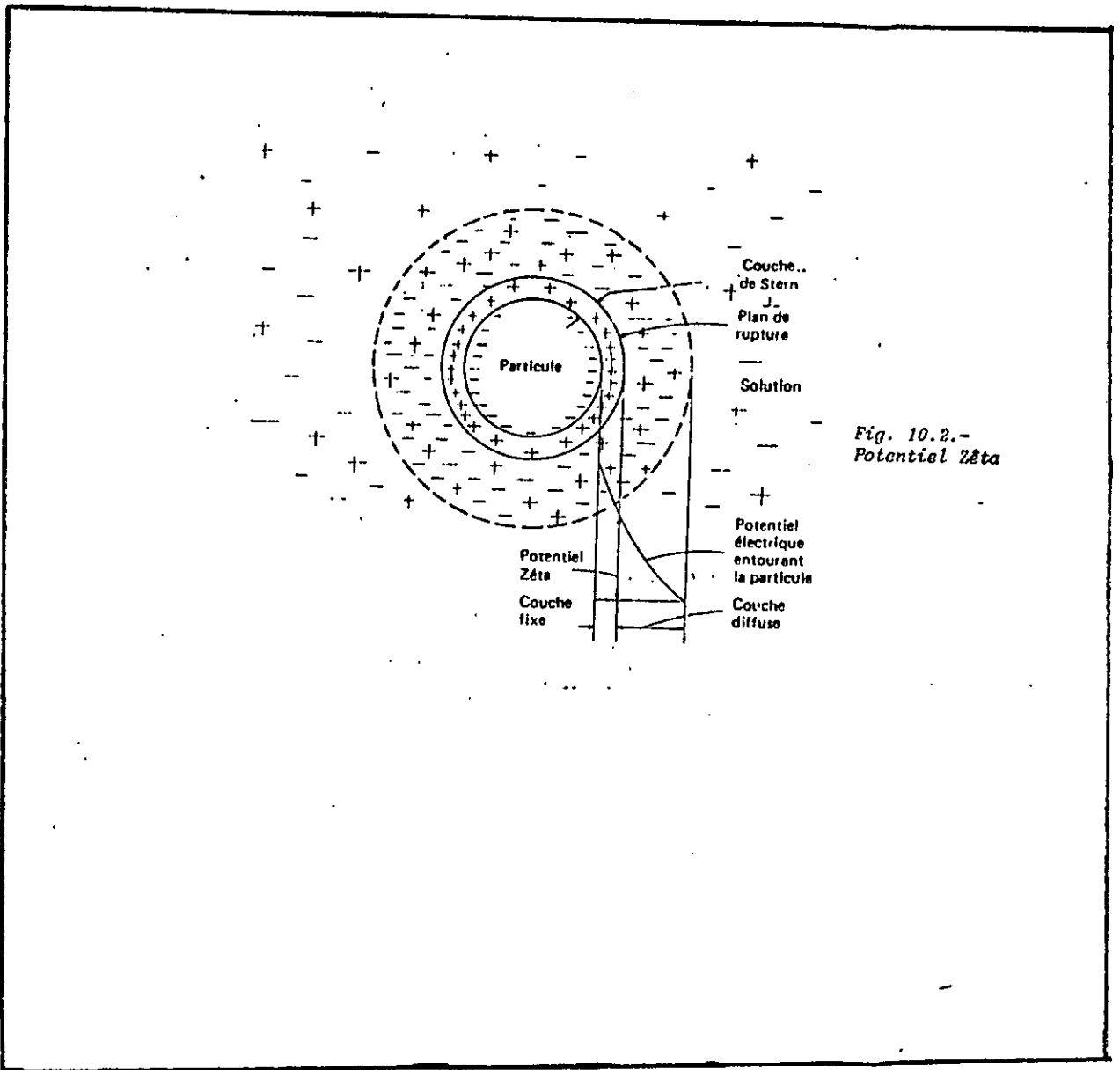


Fig. 10.2.-
Potential Zéta

V.2.2 DESTABILISATION DE L'ETAT COLLOIDAL PAR COAGULATION

FLOCCULATION

L'existence de la double couche diffuse dont Zeta permet de mesurer l'importance explique la stabilisation des particules.

En effet, la répulsion entre charges de même signe appartenant à deux particules voisines empêche celles-ci de se rapprocher jusqu'à une distance suffisamment faible pour que les forces de Van der Waals commencent à agir.

Dès lors, l'agglomération étant impossible, les particules demeurent isolées et la sédimentation ne peut se produire du fait de la trop faible valeur de leur vitesse.

Par contre, si la couche diffuse est détruite, l'agglomération devient possible, la taille des particules résultantes augmente et la vitesse de sédimentation atteint des valeurs suffisantes.

L'introduction d'un agent cationique en concentration croissante fait passer le potentiel Zeta d'une valeur négative à une valeur positive.

La mesure de la turbidité résiduelle après 30 minutes permet de mettre en évidence l'ampleur de la sédimentation. On constate que lorsque Zeta avoisine zéro, la sédimentation est plus intense.

Lorsque Zeta change de signe, c'est à dire que la concentration en agent cationique augmente encore, la suspension se restabilise.

L'annulation de Zeta permet l'approche des particules à des distances telles que les forces de Van der Waals exercent une action prépondérante et provoquent les agglomérations désirées.

Le surdosage correspond à la constitution d'une double couche de

signe inverse, qui empêche à nouveau le rapprochement des particules [10].

La coagulation a donc pour but de réduire le potentiel Zeta par addition d'ions en provoquant l'agglomération des particules déstabilisées et elle est réalisée par [11] :

1- Abaissement du potentiel Zeta par addition d'un électrolyte cationique fort tel que $Al_2(SO_4)_3$.

Celui-ci réduit les forces de répulsion et permet l'action des forces de Van der Waals, qui conduiront à l'agglomération des particules. Le dosage dépendra de la concentration du colloïde.

2- Addition d'un électrolyte cationique et d'un alcali pour former les hydroxydes chargés du type $Mx(OH)_y^{z+}$. Ces complexes ioniques sont adsorbés par le colloïde en formant une enveloppe.

3- Addition d'un polyelectrolyte cationique en quantité suffisante pour abaisser le potentiel Zeta à zéro. Les forces d'attraction deviennent effectives et le polyelectrolyte agit alors par pontage mécanique. Plus la chaîne organique est longue, meilleur est le pontage.

4- Coagulation mutuelle de polyélectrolytes anioniques et cationiques.

5- Agglomération d'un colloïde négatif avec un polyélectrolyte anionique ou non ionique.

6- Inclusion dans un floc d'hydroxyde. Ces floccs décantent et s'épaississent difficilement. On a montré qu'en mélangeant un floc préformé avec l'eau usée avant coagulation, on obtient un floc plus compact et grenu.

On estime que la coagulation des eaux résiduaires par les sels d'aluminium et de fer procède essentiellement selon le mécanisme 2, et en plus faible proportion selon le mécanisme 6. Le mécanisme de la coagulation est schématiquement présenté à la figure V.3.

FIGURE V.3

MECANISME DE LA COAGULATION

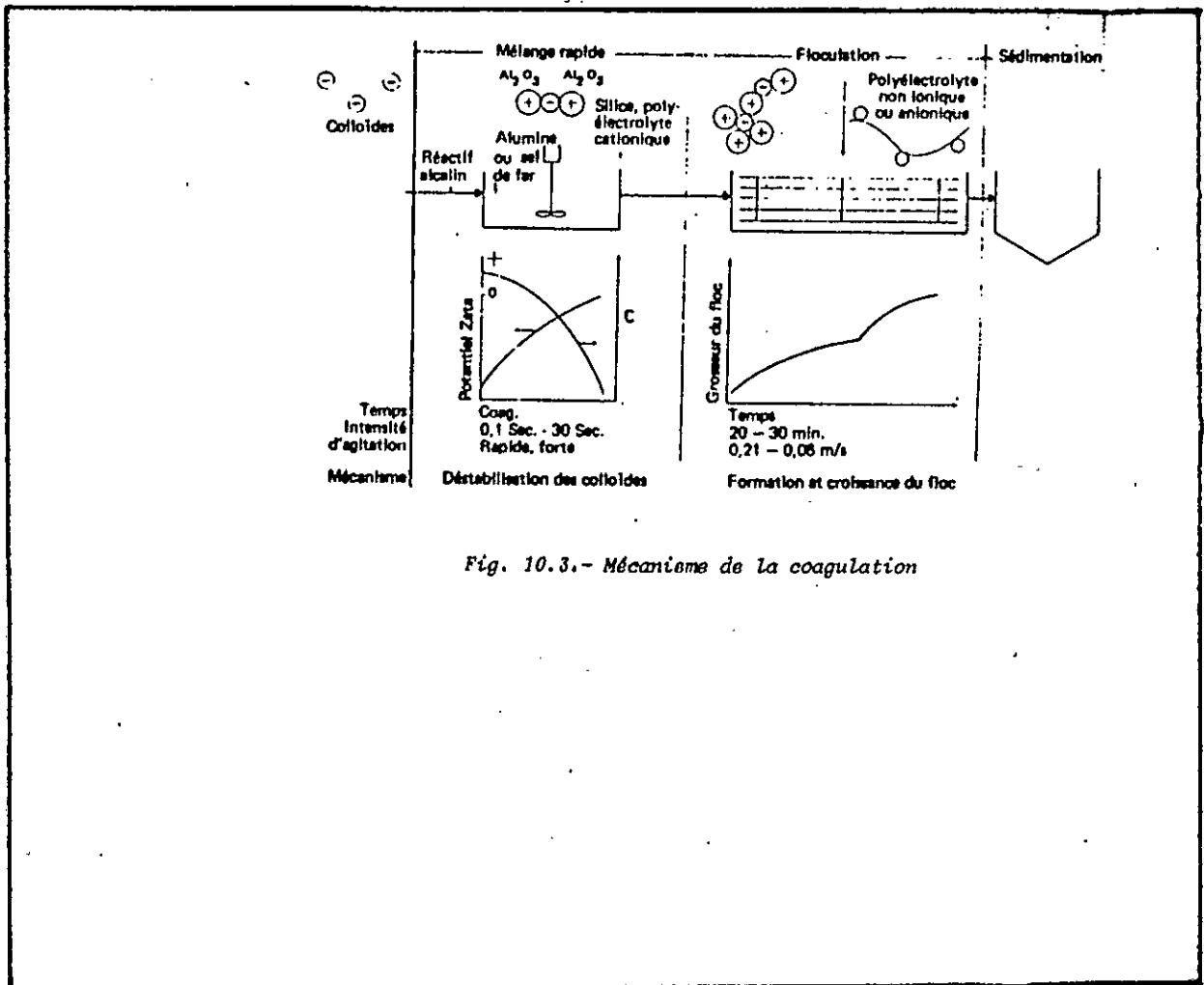


Fig. 10.3.- Mécanisme de la coagulation

On distingue, dans ce mécanisme les phases suivantes:

a- La suspension colloïde de particules fines est détruite rapidement (<1minute) par l'action de coagulants annulant le potentiel Zeta.

b- Les particules déjà regroupées sont reprises dans un système plus complexe par l'action de flocculants qui créent lentement (environ 30 minutes) des édifices plus grands appelés "flocs".

c- Ceux-ci profitant de la morphologie adéquate des installations ou de moyens mécaniques supplémentaires, sédimentent et donnent d'une part des boues, encore très riches en eau, et d'autre part une eau claire.

Il est d'usage chez les traiteurs d'eau de réserver le terme "coagulation" au phénomène de déstabilisation et celui de "floculation" à l'agglomération des colloïdes déchargés. Les réactifs sont appelés respectivement coagulants et flocculants. [8], [10], [11].

V.2.3 APPROCHE CINÉTIQUE DE LA FLOCCULATION

En un premier temps, le flocculant et l'eau doivent être fortement agités, afin de répartir le réactif.

Ensuite une agitation douce est nécessaire à la formation des flocs, puisque les grains, pour s'agglomérer doivent se rencontrer.

Ces rencontres peuvent être dues au mouvement brownien, pour les particules de faible diamètre (de l'ordre du micron) et sont

alors régies par la loi de Fick, caractérisant la diffusion.

Cette floculation dite pericinétique, s'oppose à la floculation orthocinétique, due aux vitesses propres du fluide et qui affecte les particules les plus importantes.

Celle-ci s'aborde en considérant 2 grains i et j. Pour que i s'accroche à j, il doit passer dans la sphère d'attraction de j, de rayon r_j . (Figure V.4)

Cette particule j étant considérée comme le centre (O) du repère (X,Y,Z), il suffit donc que i passe dans la sphère de centre (O) de rayon r_j+r_i , car i possède aussi sa sphère d'attraction.

Si le courant a pour direction OX, le nombre de particules entrant en cohésion avec j sera égal au produit de la vitesse du flot relative à (O), par la section de la sphère de centre (O) et de rayon r_i+r_j par le nombre de particules i, par unité de volume, soit n_i .

La vitesse relative à O, à la distance Z de O sur l'axe Z, est

$$Z * \frac{dV}{dZ}$$

La longueur du segment qp est de $2 \sqrt{(r_i+r_j)^2 - Z^2}$

(Théorème de Pythagore appliqué au triangle OqK) donc dS aire de

qpp'q' sera fourni par la formule: $dS = 2 \sqrt{(r_i+r_j)^2 - Z^2} * dZ$

Le débit élémentaire dQ relatif à cette surface, se calcule facilement:

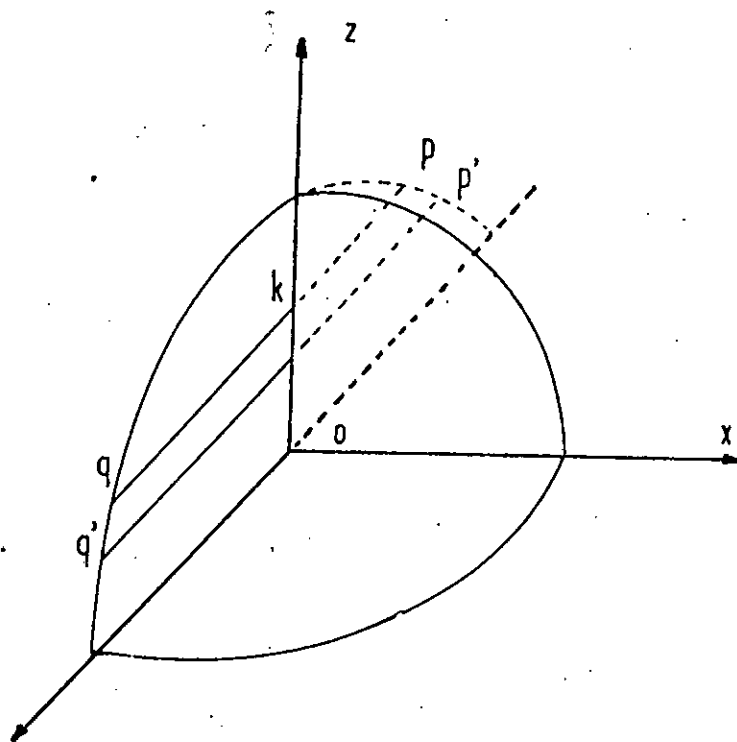
$$dQ = dS * Z * \frac{dV}{dZ} = 2 \sqrt{(r_i+r_j)^2 - Z^2} * Z * \frac{dV}{dZ}$$

si $\frac{dV}{dZ}$ est une constante, l'intégration est simple:

$$Q = \frac{4}{3} n_i (r_i+r_j)^3 \frac{dV}{dZ} \quad \text{avec } n = 3$$

FIGURE V. 4

" Représentation schématique sur l'approche cinétique de la floculation"



Le nombre de rencontres par unité de temps entre les particules i et la particule j , soit N_j , s'en déduit:

$$N_j = \frac{4}{3} n_i (r_i + r_j)^3 \frac{dV}{dZ} \quad \text{avec } n=3$$

S'il y a n_j particules j par unité de volume, le nombre de rencontres entre particules i et j , soit $N_{i,j}$ sera:

$$N_{ij} = \frac{4}{3} n_i n_j (r_i + r_j)^3 \frac{dV}{dZ} \quad \text{avec } n=3$$

La variation du nombre d'agrégats K , $\frac{dn_K}{dt}$, est fonction des apparitions par cohésion d'agrégats de taille inférieure, et des disparitions par cohésion de K avec d'autres particules:

$$\frac{dn_K}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=K-1}^{4} n_i n_j (r_i + r_j)^3 \frac{dV}{dZ} - n_K \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=1}^{4} n_i (r_i + r_j)^3 \frac{dV}{dZ}$$

avec $n=3$.

L'appréciation du gradient de vitesse, $\frac{dV}{dZ}$, lié à celle du taux de cisaillement (τ), a été introduit par Camp et Stein. Il faut considérer un petit cube $dx \cdot dy \cdot dz$ soumis au cisaillement τ induit par un couple C .

La puissance dépensée, rapport du travail au temps, est égal au produit du couple par la vitesse angulaire. Lors d'une petite rotation $d\theta$, un point fluide situé à une distance R du centre de rotation, s'est déplacé de $R \cdot d\theta$. La vitesse angulaire $d\theta/dt$ s'en déduit:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{R} V$$

ainsi que la puissance dissipée:

$$P = (\tau \, dx \, dy \, R) \frac{V}{R} = \tau \, dx \, dy \, V$$

Dans cette expression, $\frac{V}{R}$ représente le gradient de vitesse. La

puissance dissipée dans le cube peut donc être approchée si R est remplacé par dz et V par dV.

$$P = \tau \, dx \, dy \, dz \frac{dV}{dz} = \tau \, V \frac{dV}{dz}$$

Par définition la viscosité μ de l'eau, fluide Newtonien permet de relier τ à $\mu \frac{dV}{dz}$.

En introduisant G symbole du gradient $\frac{dV}{dz}$, il vient :

$$G^2 = \frac{P}{\mu V} \quad \left(\tau = \mu \frac{dV}{dz} \right)$$

Ce résultat est généralement étendu à des bassins entiers. Dans un tel cas, lorsque t désigne le temps de rétention V/Q il est possible d'utiliser la grandeur sans dimension $G \cdot t$:

$$G \cdot t = \frac{V}{Q} \sqrt{(P/\mu V)}$$

$$N_{i,j} = \frac{4}{3} n_i n_j (r_i + r_j)^n G \quad \text{avec } n=3.$$

Si le nombre de collisions $N_{i,j}$ par unité de temps est proportionnel à G, il ne faut pas oublier que les forces de cisaillement, également fonction de G, peuvent détruire les floccs formés si elles sont trop importantes.

Aussi, pendant la phase floculation, dont la durée est d'une trentaine de minutes, G est maintenu entre 30 et 60 1/sec dans la phase "dispersion du flocculant".

En général, Gt est voisin de 10000 - 100000 dans un floccateur [12].

Selon les travaux de Riddick [13], on déconseille des vitesses périphériques décroissantes de 0,25 m/sec à 0,06 m/sec dans une série de bassins. Le gradient de vitesse (G) étant compris entre

50 et 175 1/sec.

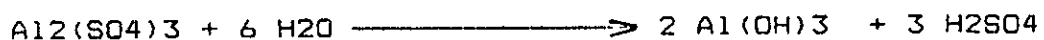
V.2.4 REACTIFS COAGULANTS

Ce sont des produits qui neutralisent ou inversent les charges de surface des matières en suspension (diminution ou inversion du potentiel Zeta). Ce sont surtout des composés minéraux:

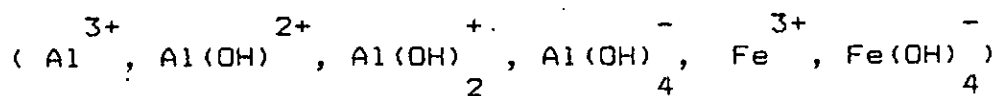
Sulfate d'alumine, chlorure ferrique, chaux, chlorure de calcium sulfate ferreux, chlorure de magnesium. Ils réagissent avec les charges de surface des particules unitaires. [14]

Mais les coagulants les plus fréquemment utilisés sont des sels de fer ou d'aluminium et plus particulièrement, pour des raisons économiques, le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique. [8]

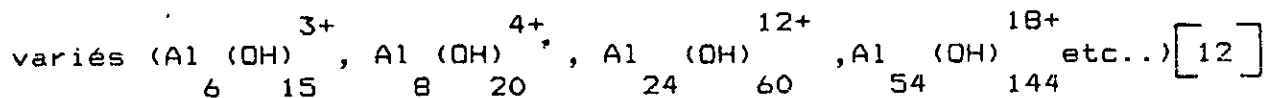
Le mode d'action peut être schématisé comme suit:



L'hydroxyde apparu est, en fait, polymérisé de façon complexe, et peuvent ainsi coexister des formes monomères :



des micro germes solides ($\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$) et des polymères



Ces composés intermédiaires de l'aluminium complexes hydroxo-alumineux, non seulement apportent des charges nécessaires à la

neutralisation des colloïdes, mais sont susceptibles, d'après certains auteurs de se polymériser, donc de créer certains ponts entre les colloïdes et d'amorcer le processus de floculation. [8]

V.2.5 REACTIFS FLOCCULANTS:

Ce sont des produits qui ont des actions inter-particules par pontage. On conçoit que ces flocculants soient pour la plupart constitués de polymères à haut poids moléculaire possédant des groupes réactifs de charge inverse à celle de la suspension à traiter.

Un flocculant cationique réagira sur une suspension électronégative (potentiel Zeta négatif : silice, composés organiques). Cependant, cette règle n'est pas générale car les liaisons de Van der Waals peuvent être prépondérantes dans la floculation. C'est le cas des argiles (électronégatives) flocculées par des flocculants anioniques.

Les flocculants peuvent être classés de la manière suivante: [14]

1- Flocculants minéraux:

Ce sont des composés très colloïdaux réagissant, soit par adsorption, soit par neutralisation de charges sur les produits en suspension.

On peut citer:

- silice activée
- certains argiles colloïdaux (bentonites)
- certains hydroxydes métalliques à structure polymère (alumine hydroxyde ferrique).

2- Floculants naturels:

Ce sont des polymères hydrosolubles pouvant avoir une charge anionique ou cationique ou neutre.

Dans ce dernier cas, ils réagissent par adsorption.

Parmi les plus connus, on peut citer:

- dérivés amylicés: vendus le plus souvent sous forme prégelatinisée et donc solubles directement dans l'eau, ce sont les amidons de maïs et les féculés de pomme de terre.

On trouve des amidons neutres, des amidons oxydés anioniques et les amidons traités par des amines ou amidons cationiques.

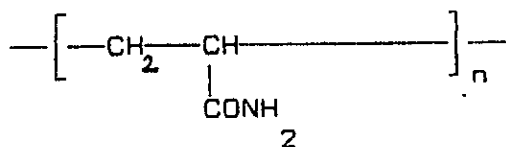
Ils sont de moins en moins utilisés en traitement d'eau mais donnent par contre de très bons résultats en papeterie.

- les polysaccharides: représentés surtout par la gomme aguar tirée du fruit du caroubier. Ils sont de caractère non ionique et surtout utilisés dans les milieux acides.

- les alginates: tirés des algues et de caractère anionique. Ils sont pour l'instant les seuls floculants admis en France pour les eaux potables.

3- Floculants synthétiques:

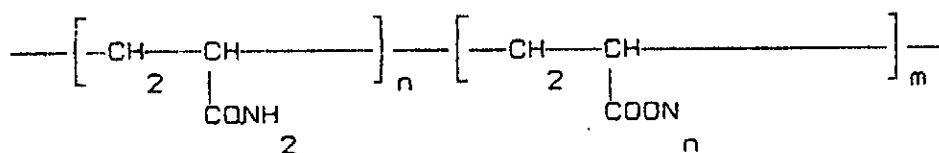
Les polyacrylamides qui sont des dérivés de l'acrylamide ayant pour formule générale:



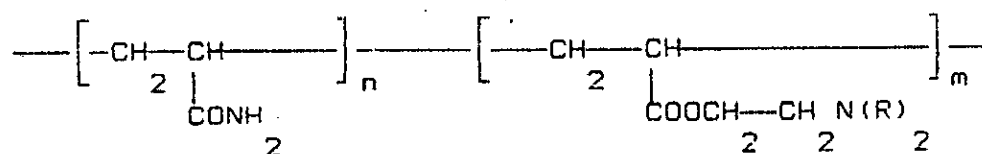
donc de caractère non ionique. La fonction amide très polaire permet des pontages avec les matières en suspension par liaison de Van der Waals.

Toute une série de dérivés ont été préparés à partir de cette structure de base par copolymerisation:

- soit avec des composés acides comme l'acide acrylique pour donner des copolymères anionique.



- soit avec des composés du type amine comme l'acrylate de diméthylaminoéthyle pour donner des copolymères cationiques.

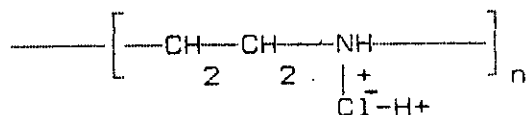


Tous ces produits se distinguent entre eux par le type et la proportion de monomère ionique, le poids moléculaire moyen et la répartition moléculaire.

Un nombre très élevé de molécules polymères a été synthétisé pour arriver le plus souvent à une meilleure spécificité visàvis de la suspension à traiter.

Les poids moléculaires obtenus sont les plus élevés connus dans le secteur industriel, de l'ordre de 10 à 20 millions.

- Les polyéthylène imines:

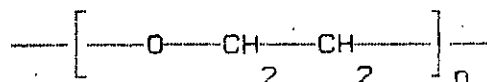


de caractère très cationique et de faible poids moléculaire, surtout utilisés dans la fabrication du papier (agent d'égouttage).

- Les polyamides amines: qui sont des condensats acide adipique diéthylentriamine - épichlorhydrine de bas poids moléculaire, surtout utilisés dans le papier.

- Les polyamines: qui sont des condensats de composés halogénés (dichlorethane, épichlorhydrine) et de polyamines.

- Les polyoxydes d'éthylène: de très haut poids moléculaire (2 à 5 millions) surtout spécifiques des floculants de silice. Bien que ne possédant pas de charge électrique, ils ont un caractère cationique.



- Les composés sulfonés: du type polystyrène sulfonate de soude ou polyvinylsulfonate de soude.

De nombreux produits, bien que possédant des propriétés floculantes, n'ont pas reçu d'application industrielle à cause de leur efficacité moindre ou du coût de fabrication.

V.2.6 MODE D'ACTION DES FLOCCULANTS SYNTHETIQUES

La floculation des matières en suspension coagulables par action d'un flocculant polymère découle de la neutralisation des charges électriques situées sur la surface des matières en suspension ou des colloïdes par celles des groupes actifs du polymère.

Les réactions suivantes [15] peuvent entrer en jeu:

- La liaison directe du polymère sur la surface des particules par neutralisation électrique
- La liaison par ponts d'activation
- La liaison par ponts d'hydrogène sur la couche d'hydratation liée à la surface des particules.

La liaison directe entre les sites actifs d'un polymère et les sites ionisés à la surface des particules est la première à se produire, et suppose la disparition préalable de la couche d'hydratation des particules. Ceci n'est possible que lorsque le potentiel d'attraction entre les groupes actifs du polymère et des particules est supérieur aux forces de liaison entre la surface de la particule et les molécules d'eau de la couche d'hydratation.

La liaison par ponts d'activation suppose la présence à proximité de la surface du minéral d'ions adsorbés qui portent des charges opposées à celles des groupes actifs du polymère.

Ces "ions auxiliaires" sont vraisemblablement adsorbés dans la couche de Stern et réagissent avec les groupes polaires de charge

opposée du polymère.

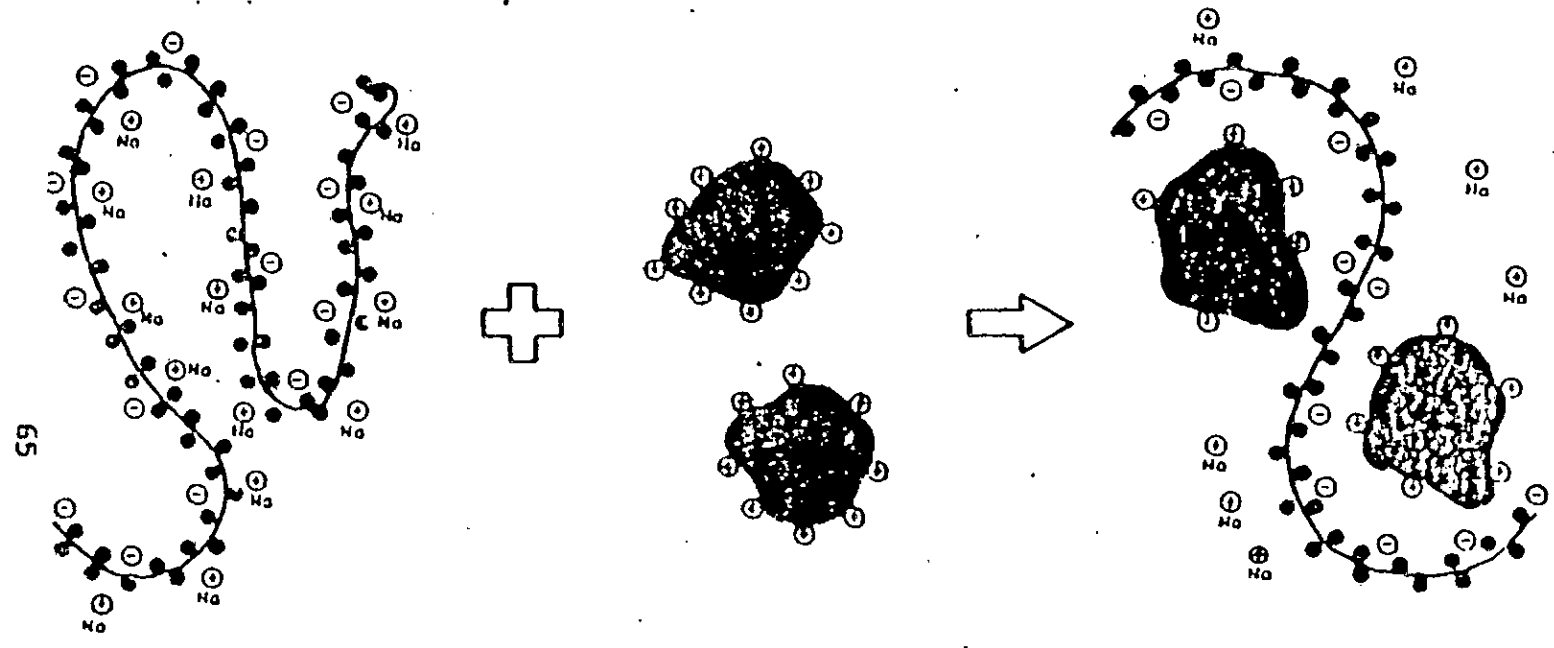
Les groupes non ioniques ou non dissociés d'un polymère ne peuvent entrer en contact avec la surface des matières en suspension que dans le cas de forces électrostatiques faibles.

Il est démontré que les substances non ioniques ou non dissociées sont adsorbées par l'intermédiaire de ponts hydrogène sur les parties fortement hydratées de la surface des particules, lorsqu'un élément fortement négatif se trouve dans le groupe polaire du polymère. Dans le cas du polyacrylamide, il s'agit de l'azote du groupe amide.

Lors du mélange d'un polymère avec une suspension colloïdale, certaines parties des molécules du polymère sont adsorbées à la surface des colloïdes ou des particules selon une ou plusieurs réactions décrites pendant qu'une autre partie de la molécule réagit avec d'autres particules ou colloïdes.

Il en résulte des liaisons et une réticulation entre plusieurs molécules de polymère et de nombreuses particules en un agrégat volumineux, c'est à dire un floc, qu'il devient par la suite facile à éliminer par décantation, flottation ou filtration et en produire une eau clarifiée.

La figure V.5 montre schématiquement cette réaction.



65

Polymère en solution

Particules et colloïdes en suspension

Adsorption entre polymère et particules: floculation, agglomération.

Représentation schématique de l'adsorption partielle des molécules de floculant sur la surface des particules

V.3 TESTS POUR LA SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION

FLOCCULATION

Il existe différentes méthodes utilisées pour la détermination des types et dosages des polyélectrolytes adéquats pour la clarification d'une eau de composition donnée.

Trois méthodes [16] seront seulement présentées:

V.3.1 JAR TEST:

Certainement la méthode la plus familière et la plus utilisée dans les tests de coagulation pour le traitement des eaux usées est le jar test.

Essentiellement, le jar test est une série d'échantillons identiques à égal volume qui seront soumis au contrôle d'une variété de conditions de traitement.

Durant les tests effectués, l'effet de chaque variation sur le processus de clarification de l'eau à traiter est observé.

L'observation du degré de clarification peut être obtenu soit par de simples observations visuelles, soit à l'aide d'instruments de mesure de la clarté de l'eau, soit par des analyses de laboratoires relatives à la qualité de l'eau.

Le jar test a été utilisé pour la première fois par Langelier et Hyde en 1918.

Depuis plusieurs modifications ont été apportées en vue d'obtenir le maximum de résultats et d'informations sur l'efficacité du traitement adopté, cependant le principe général reste à reproduire le même échantillon à l'échelle laboratoire comparativement à l'échantillon réel.

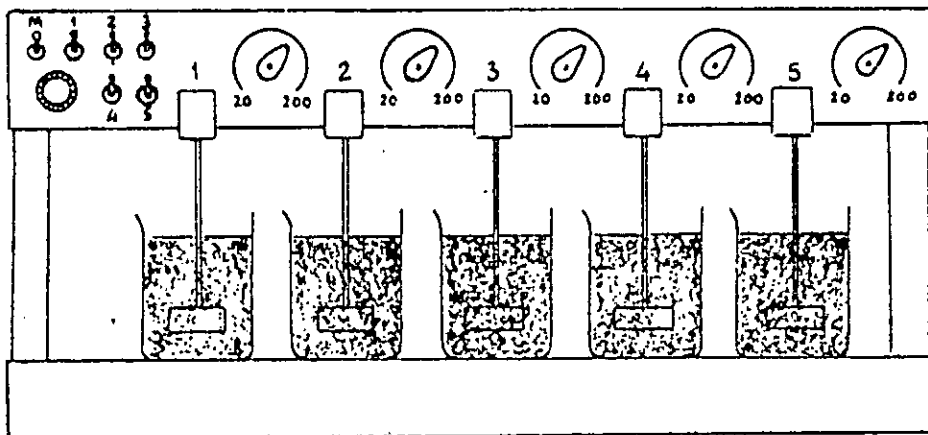
Dans le jar test, on cherche surtout l'effet qu'apportera la variation d'une variable en maintenant les autres constantes sur la qualité de l'eau épurée.

Ceci nous permettra enfin de déterminer les paramètres d'exploitation optimales au stade de la coagulation-floculation dans la chaîne d'épuration des eaux résiduaires.

La figure V.6 schématise l'appareil utilisé pour réaliser le jar test.

FIGURE V. 6

" Banc du jar test "



M : Interrupteur principal

M_1 à M_5 : Interrupteurs

1 à 5 : Agitateurs mécaniques à vitesse de rotation réglable.

V.3.2 POTENTIEL ZETA:

Le potentiel Zeta est la mesure de la charge électrostatique sur la surface des particules en suspension dans un liquide.

Dans les eaux naturelles, les suspensions colloïdales possèdent généralement un potentiel Zeta de l'ordre de 20 à 30 mV et chargés négativement.

Pour les eaux résiduaires, ce potentiel est de l'ordre de 40 à 50 mV.

Pour admettre une bonne coagulation de ces systèmes, le potentiel Zeta doit être réduit à moins de 10 mV.

Le potentiel Zeta est utilisé dans les tests de coagulation pour la recherche des conditions de traitement permettant la réduction du potentiel Zeta des particules à un interval optimal de ± 5 mV.

A ce niveau, on observe une coagulation intense.

Le coagulant ou les conditions de traitement utilisées pour produire un potentiel Zeta optimum, sont les conditions de traitement effectives de la coagulation et la clarification des eaux qu'il faut mettre en avant plan avant toute étude approfondie.

D'une part, la détermination de l'effet d'un dosage spécifique de coagulant peut être réalisée en quelques minutes pour une expérience donnée, d'autre part la mesure du potentiel Zeta est importante pour l'estimation de la dose du coagulant et permet le contrôle de tous les types de processus de coagulation.

Cette méthode connaît des applications importantes dans le contrôle de la dose de coagulant dans les procédés de filtration

directe ou associée en ligne à une étape de coagulation.

V.3.3 VITESSE DE REFILTRATION

La vitesse de refiltration est aussi une technique qui est décrite comme pour la détermination des dosages optimums de coagulants et apparait particulièrement utilisée pour les applications des polyelectrolytes. [17]

L'échantillon est filtré sur un papier filtre afin de produire un gâteau de solides sur le filtre et le filtrat est collecté dans un réservoir.

Lorsque la totalité du liquide est filtrée, le filtrat est refiltré sur le gâteau de solides filtrant.

La vitesse de la filtration initiale et de la refiltration de l'échantillon (par exemple, volume par unité de temps) est mesurée pour chaque concentration du polyélectrolyte utilisé pour flocculer l'échantillon.

La MER montra dans cette méthode que la détermination d'un dosage optimum de polymère pour un échantillon spécifique est reproductible jusqu'à $\pm 2\%$.

Il trouva que la représentation graphique de la vitesse de refiltration en fonction de la concentration du polymère présente l'allure suivante:

La vitesse de refiltration augmente rapidement au début avec la concentration du polymère jusqu'à atteindre un certain maximum, si on continue à augmenter la concentration du polymère, on constate la diminution de la vitesse de refiltration jusqu'à ce qu'elle devient inférieure à la vitesse de refiltration de la suspension non traitée.

La diminution de la vitesse de refiltration est attribuée à deux raisons principales:

- dosage excessif du polymère provoquant la peptisation d'une partie de solides flocculés en particules fines donnant ainsi un aspect turbide au filtrat et colmatant le filtre rapidement.
- selon le même auteur, la diminution de la vitesse de refiltration est attribuée partiellement dans le cas de polymère à haut poids moléculaire à l'augmentation de la viscosité du liquide causée par la non adsorption de certaines molécules du polymère.

Dans les deux cas, cette méthode permet donc la prédiction de l'excès en dose de polymère, ce qui permet le respect des doses optimums de flocculants utilisés dans le processus de filtration directe ou comme traitement de finition après une étape de sédimentation.

V.3.4 SYNTHESE RELATIVE AU CHOIX DES TESTS DE SELECTION DES REACTIFS DE LA COAGULATION - FLOCCULATION

Avant de conclure laquelle des méthodes précitées est la plus avantageuse dans notre cas, on doit considérer les objectifs de ces tests.

Des objectifs typiques pour le jar test sont listés ci-dessous.

Ces paramètres ne sont pas nécessairement arrangés dans un ordre de priorité.

1- Déterminez les types de coagulants qui effectivement éliminent les suspensions solides pour la clarification des eaux

résiduaire.

- 2- Déterminez les traitements chimiques qui effectivement éliminent les solides dissous des eaux résiduaires.
- 3- Etablissez les intervalles de concentration effectifs de traitement (chimiques/coagulants).
- 4- Etablissez les dosages optimums de traitement (chimiques/coagulants)
- 5- Etablissez l'ordre et le temps d'addition pour le traitement (chimiques/coagulants)
- 6- Déterminez le temps optimum de floculation
- 7- Estimez la qualité de l'effluent traité
- 8- Estimez la vitesse de sédimentation des floes
- 9- Estimez le volume de boues produit comme résultat pour chaque variation de paramètre de chaque traitement.

La méthode du potentiel Zeta permet de sélectionner le coagulant ainsi que sa dose optimale, mais ne permet pas d'estimer la vitesse de sédimentation, le volume de boues produit et la rigidité des floes.

Le jar test peut cependant satisfaire tous les objectifs déjà cités, dans le cas où les tests sont exécutés d'une façon minutieuse.

La méthode de la vitesse de refiltration s'avère adaptée pour l'évaluation de la rigidité des floes et le dosage optimum des

réactifs.

Suite à ces éléments de théorie, on constate que l'étape de la coagulation-floculation dans la chaîne d'épuration des eaux résiduaires est assez complexe.

La détermination des paramètres de traitement de l'étape coagulation-floculation n'est possible que par voie expérimentale en vue de déterminer les conditions optimales de traitement (choix des réactifs, pH, durée et vitesse d'agitation, stabilité des floccs obtenus, dose des réactifs).

V.4 ETUDE EXPERIMENTALE

V.4.1 INTRODUCTION

Au cours de cette première étape de notre étude expérimentale, notre objectif essentiel à atteindre est l'établissement des paramètres optimum de traitement des eaux résiduaires traitées du complexe textile de Draa Ben Khadda, lors de la coagulation-floculation.

Afin de satisfaire cet objectif, on a choisi le jar test comme technique expérimentale vu les différents avantages précités par rapport aux deux autres méthodes (potentiel Zeta et vitesse de refiltration).

Le contrôle du degré de clarification a été obtenu à l'aide d'instruments de mesure de la clarté de l'eau, ceci nous a permis d'observer l'effet de chaque variation sur le processus de clarification de l'eau à épurer.

Tout échantillon d'eau épuré à l'échelle laboratoire a été comparé à un échantillon d'eau bidistillée et filtrée prise comme référence, pour en déduire le degré de clarification atteint lors de la clarification de l'eau résiduaire traitée.

En tenant compte de quelques critères d'ordre général ou parfois spécifiques, les coagulants et floculants synthétiques que nous avons choisi d'une manière préliminaire sont les suivants:

<u>coagulants</u>	<u>floculants</u>
Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	PR 2540
Chlorure ferrique $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	PR 2515
Sulfate ferreux $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	

Le choix définitif d'un coagulant primaire et d'un flocculant synthétique a fait l'objet d'une étude de sélection dans le banc de jar test. Ce choix a été basé essentiellement sur l'obtention d'un degré de clarification maximal de l'eau résiduaire épurée. La recherche des paramètres de clarification des eaux résiduaires traitées par coagulation-floculation à l'aide d'un coagulant et d'un flocculant déjà choisi a été aussi effectué dans le banc de jar test. Les différents paramètres qui ont ^{fait} l'objet d'un examen minutieux sont les suivants:

- le pH de l'eau à épurer
- la dose du coagulant primaire
- la durée de coagulation
- l'intensité d'agitation lors de la coagulation
- la dose du flocculant synthétique
- la durée de floculation
- l'intensité d'agitation lors de la floculation
- la stabilité des floccs obtenus

C'est la connaissance de ces paramètres qui nous ont permis d'une part de maximiser le degré de clarification des eaux résiduaires traitées, d'autre part de faciliter la séparation des phases solides-liquides du système lors des traitements ultérieurs (décantation, filtration, ou decantation associée à une filtration en ligne).

V.4.2 TECHNIQUES EXPERIMENTALES D'ANALYSES

V.4.2.a Produits utilisés:

Ils figurent dans le tableau V.1.

En plus des coagulants primaires utilisés, les produits PR 2540 et PR 2515 sont des dérivés du polyacrylamides (copolymères d'acrylamides et d'acrylates).

TABLEAU V.1.: Produits chimiques utilisés

Produits	Origine et Pureté	fonction
FeCl ₃ .6H ₂ O	MERCK , 99%	Coagulant primaire
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	MERCK , 99%	Coagulant primaire
FeSO ₄ .7H ₂ O	MERCK , 99%	Coagulant primaire
PR 2540	Stockhausen (RFA), très pur	Floculant synthétique moyennement anionique
PR 2515	Stockhausen (RFA), très pur	Floculant synthétique faiblement anionique

V.4.2.b APPAREILLAGE UTILISE:

L'établissement des paramètres de clarification des eaux résiduaires traitées a été effectué dans un banc de jar test (figure V.6), qui a été monté à partir des accessoires suivants:

- 04 agitateurs mécaniques type HEIDOLPH (moteur d'entraînement)
- 04 dégradateurs de puissance pour respecter la gamme des vitesses de rotation des agitateurs.
- 04 chronomètres
- 04 agitateurs de pâles identiques (L=7cm, l=7cm)
- 04 béciers identiques (volume du bécier = 1000 ml, D_{int}=10 cm)
- pipettes pour injection de produits chimiques (coagulant-floculant-acide et base)

V.4.2.C TECHNIQUE D'ÉVALUATION DE LA TURBIDITÉ DES EAUX :

Devant la multiplicité des échantillons étudiés, on s'est amené à choisir une technique d'analyse qui satisfait les critères de reproductibilité et de précision, mais aussi de rapidité dans l'exécution des analyses.

Ainsi notre choix a été porté sur la turbidité comme paramètre de contrôle du degré de clarification des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de la ville de Draa Ben Khadda.

La mesure de la turbidité a été réalisée par voie turbidimétrique (annexe III).

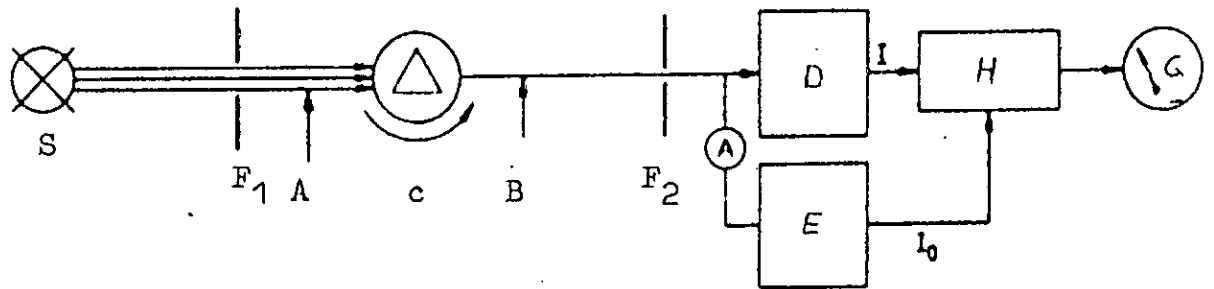
Pour ce faire, on a utilisé un spectrophotomètre à double faisceau, type Varian series 634 S, dont un schéma de principe est donné à la figure V.7.

Selon la loi de L'AMBERT-BEER, les mesures de la turbidité ou de la densité optique (voir chapitre d'étalonnage en annexe III) se font toujours à la comparaison de deux intensités lumineuses; l'une correspond au faisceau après avoir traversé la solution absorbante, l'autre I_0 correspond au faisceau incident. Pour une analyse exacte et sensible, on prend la longueur d'onde qui correspond au maximum d'absorption. C'est pour cette longueur d'onde que la variation de la densité optique en fonction de la concentration sera la plus grande.

Avec un spectrophotomètre, on peut s'arranger pour travailler généralement au centre de la bande. (Un exemple typique d'absorption est

FIGURE V. 7

"Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceau".



- avec A lumière polychromatique
B lumière monochromatique
S source
 F_1, F_2 fentes d'entrée et de sortie
C monochromateur
D cuve contenant la solution absorbante
E cuve contenant le blanc
H détecteur
G indicateur

spectre pour l'obtention de la densité optique à une longueur d'onde bien choisie est donné à la figure V.8 concernant un point expérimental de la courbe d'étalonnage, densité optique en fonction de la turbidité donnée en annexe n°1.

Tout échantillon traité, lors de notre étude a fait l'objet d'un balayage de spectre avant la mesure de sa densité optique, on se contentera lors de la présentation des résultats expérimentaux de fournir seulement la longueur d'onde obtenue pour un maximum d'absorbance.

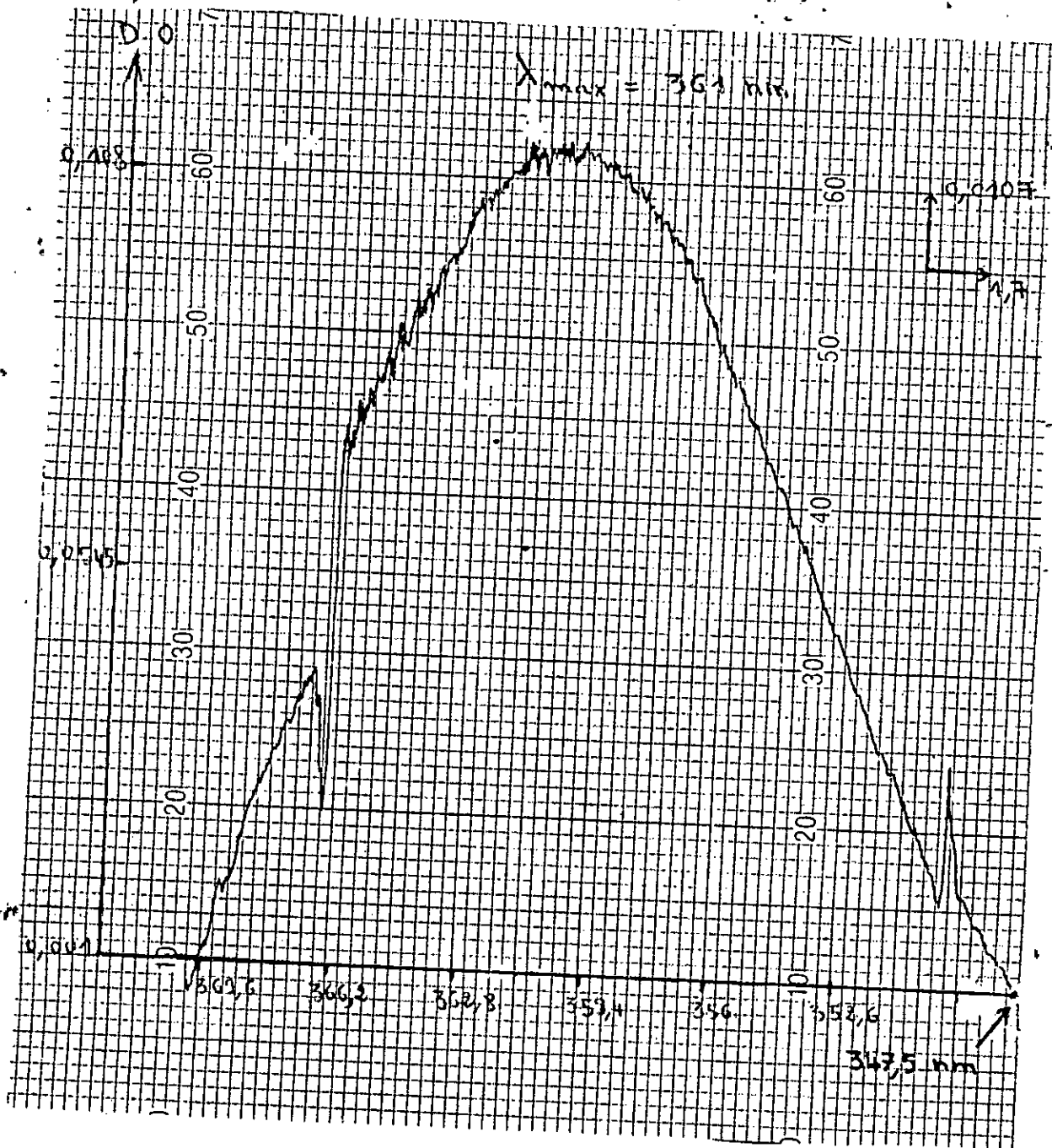
FIGURE V. 8

Exemple d'un balayage de spectre

Densité optique = $f(\lambda)$

Vitesse du papier = 300 mm/min

Vitesse de balayage = 50 nm/min



V.4.3 RESULTATS EXPERIMENTAUX

V.4.3.a SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION-FLOCCULATION

Le principe de sélection des réactifs de coagulation-floculation est basé sur l'effet apporté par la nature chimique des divers coagulants et floculants utilisés sur le degré de clarification dans les mêmes conditions expérimentales.

Trois coagulants primaires ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ et $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) et deux floculants synthétiques (PR 2540, PR 2515) ont été choisis d'une façon préliminaire pour les raisons citées ci-dessous:

* Choix des coagulants: ce choix a été basé essentiellement sur les critères suivants:

- large disponibilité
- utilisation répandue dans le domaine de traitement des eaux
- coût des produits faible
- bonne efficacité de coagulation

* Choix des floculants: En règle générale la clarification des eaux résiduaires industrielles est effectuée par les floculants anioniques, cependant les floculants PRAESTOL sont influencés en terme d'efficacité par de nombreuses caractéristiques tel que le pH, la dureté, la conductivité électrique, la nature, la concentration et la granulométrie des particules solides en suspension.

En effet la dureté, le pH et la conductivité électrique d'une pulpe sont déterminées par les électrolytes dissous dans la phase liquide.

Ces électrolytes peuvent influencer non seulement les propriétés de surface des particules en suspension qui sont importantes pour la floculation, mais aussi les propriétés floculantes des PRAESTOL non ioniques eux-mêmes.

Certaines règles générales, nous ont été très utiles pour sélectionner les floculants qu'on a utilisés.

- Dans le cas des eaux douces (moins de 10 degrés hydrotimétrique français environ), les polyélectrolytes ne donnent qu'une médiocre floculation et une mauvaise clarification, car les particules les plus fines et colloïdes ne réagissent que faiblement avec les molécules de polymères, il est recommandé de remédier à cette situation en durcissant l'eau à plus de 10 degrés, par exemple en ajoutant du lait de chaux ou du gypse.

- Dans le cas des pulpes neutres ou faiblement alcalines (pH de 6 à 9), on obtient les meilleurs résultats avec les PRAESTOL anioniques, contenant de 20 à 40% de groupements anioniques.

- En milieu plus alcalin (pH > 9), ce sont généralement les PRAESTOL plus fortement anioniques (50% de groupements anioniques et plus) qui sont les plus efficaces.

- Les PRAESTOL très anioniques ont tout particulièrement fait leurs preuves dans la zone des pH très alcalin (pH 14, attaque de la bauxite).

- Aux faibles pH, par exemple de 4 à 6, les PRAESTOL plus faiblement anioniques (10 à 20% de groupements anioniques) sont

généralement très efficaces.

- A pH encore plus bas, et surtout en présence d'ions métalliques polyvalents libres tels que Al, Cu et Cr, les PRAESTOL très faiblement anioniques et non-anioniques donnent une très bonne floculation. Mais il convient aussi, dans ce cas, d'essayer les PRAESTOL très fortement cationiques.

Le choix donc des flocculants moyennement et faiblement anioniques (PR 2540 et PR 2515) est dû principalement à ces deux caractéristiques à savoir: (voir tableau IV.1)

TAC (°F) > 10	36 < TAC (°F) < 54
pH faiblement alcalin	7,8 < pH < 8,3

Sur la base de ce choix préliminaire, toutes les combinaisons coagulant-flocculant possibles ont été testées expérimentalement dans le banc du jar test et qui sont au nombre de six:

FeCl ₃ .6H ₂ O	—————	PRAESTOL	2540
FeCl ₃ .18H ₂ O	—————	PRAESTOL	2515
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	—————	PRAESTOL	2540
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	—————	PRAESTOL	2515
FeSO ₄ .7H ₂ O	—————	PRAESTOL	2540
FeSO ₄ .7H ₂ O	—————	PRAESTOL	2515

La sélection des réactifs s'est effectuée dans un interval de pH compatible avec les eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA, dans des conditions expérimentales identiques. Les grandeurs numériques affectées à ces conditions ont été choisies parmi celles utilisées d'une manière courante dans le domaine de traitement des eaux résiduaires et sont présentées ci-dessous:

- dose du coagulant primaire = 200 mg/l
- dose du flocculant PRAESTOL = 2 mg/l
- temps de coagulation = 3 minutes
- temps de floculation = 20 minutes
- vitesse d'agitation en phase de coagulation = 280 T/min
- vitesse d'agitation en phase de floculation = 30 T/ min
- volume d'eau traitée = 500 ml
- temps de décantation après traitement = 15 min
- prélèvement de l'échantillon d'eau après traitement à 200 ml de profondeur du bécber pour la mesure de la densité optique résiduelle. (DO)

R

Les résultats expérimentaux de chaque combinaison coagulant-flocculant sont notés dans les tableaux (V.2) à (V.7) Les courbes établies sont représentées par les figures (V.9) à (V.14).

Le choix définitif de la combinaison coagulant-flocculant adéquate est basé sur l'obtention d'une turbidité résiduelle minimale de l'eau résiduaire épurée pour un pH optimal ou tout au moins une zone de pH optimale.

SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

Fe Cl3 . 6 H2O - PR 2515

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.6
- * Densité Optique Initiale = 0.105
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 300 nm

Tableau (V - 2)

PH	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
DOR	0.824	0.362	0.038	0.026	0.023	0.017	0.016	0.020
λ_{max}	300	300	300	300	300	300	300	300
E (%)	-	-	63.8	75.2	78.1	83.3	84.8	80.9
OBS	2	4	8	10	10	10	10	10

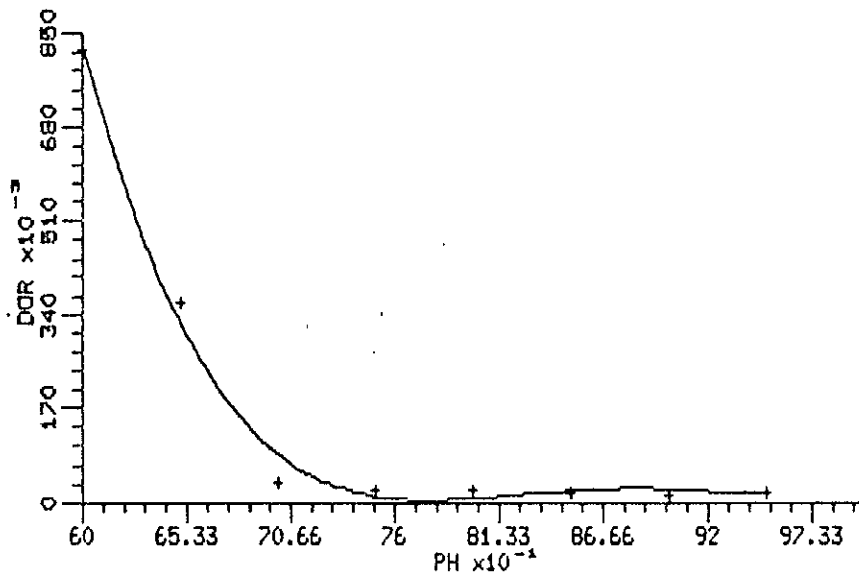
* LEGENDE :

- λ_{max} (nm) : Longueur d'Onde d'Absorption Maximale
- DOR : Densité Optique Résiduelle
- E (%) : Pourcentage de Réduction de la Turbidité
- OBS : Observation
 - (0) ==> Pas de Floc : (2) ==> Floc à peine Visible
 - (4) ==> Petit Floc : (6) ==> Floc de Dimensions Moyennes
 - (8) ==> Bon Floc : (10) ==> Très Gros Floc

FIGURE (V o 9)

SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION-FLOCCULATION

FeCl₃ · 6H₂O — PR 2515



SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

Fe Cl₃ . 6H₂O - PR 2540

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.6
- * Densité Optique Initiale = 0.107
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 277 nm

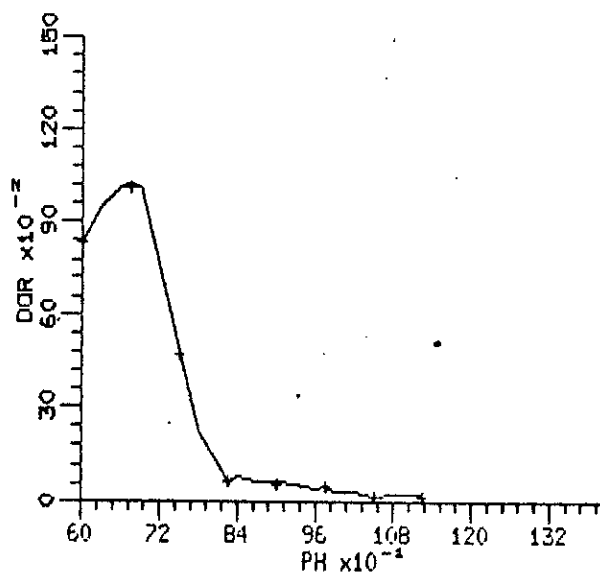
Tableau (V - 3)

PH	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
ODR	0.836	1.017	0.479	0.065	0.061	0.050	0.019	0.021
λ_{max}	310	310	310	310	310	310	310	310
E (%)	-	-	-	39.3	43.0	53.3	82.2	80.4
OBS	2	2	2	6	8	10	10	10

FIGURE (V . 10)

SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ - PR 2540



SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

A12 (SO4)3.18H2O - PR 2515

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.3
- * Densité Optique Initiale = 0.101
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 300 nm

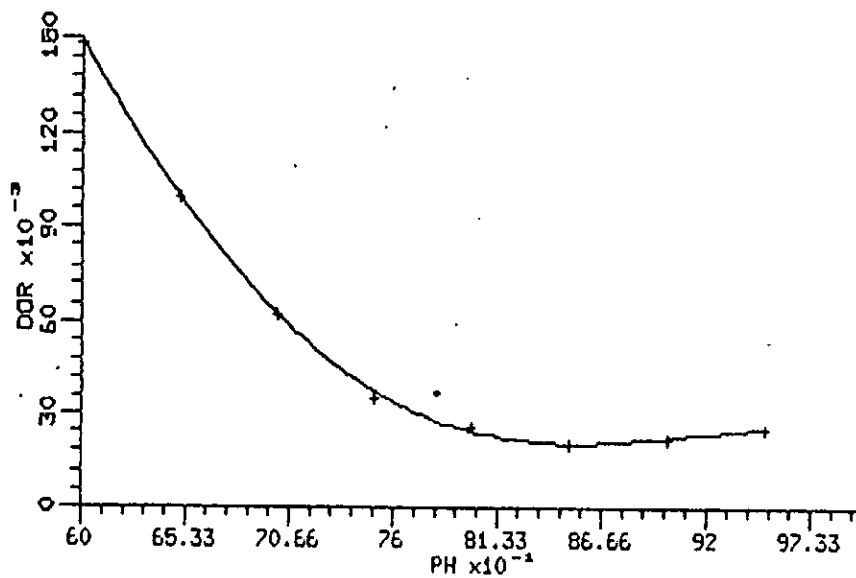
Tableau (V - 4)

PH	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
DOR	0.149	0.100	0.063	0.036	0.026	0.020	0.022	0.025
λ_{max}	290	290	290	290	290	290	290	290
E (%)	-	1.0	37.6	64.4	74.3	80.2	78.2	75.2
OBS	2	2	8	8	8	10	10	10

FIGURE (V • 11)

SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

A12 (SO4)3 . 18 H2O - PR 2515



SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

A12 (S04)3.18H2O - PR 2540

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.6
- * Densité Optique Initiale = 0.105
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 300 nm

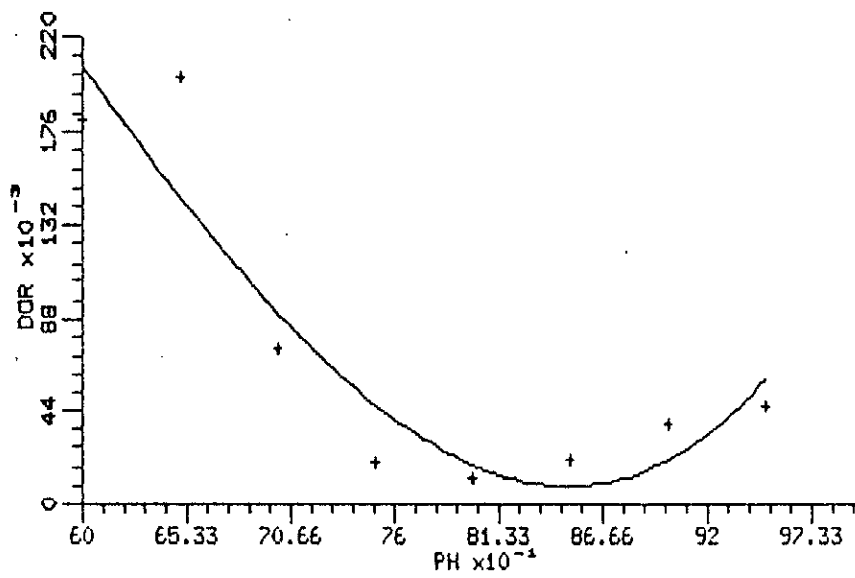
Tableau (V - 5)

PH	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
DOR	0.182	0.202	0.074	0.020	0.012	0.021	0.039	0.047
λ_{max}	290	290	290	290	290	290	290	290
E (%)	-	-	29.5	80.9	88.6	80.0	62.9	55.2
OBS	2	2	6	8	10	10	10	10

FIGURE (V . 12)

SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

A12 (SO4)3 . 18 H2O - PR 2540



SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

FeSO4 7 H2O - PR 2515

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 7.9
- * Densité Optique Initiale = 0.101
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 360 nm

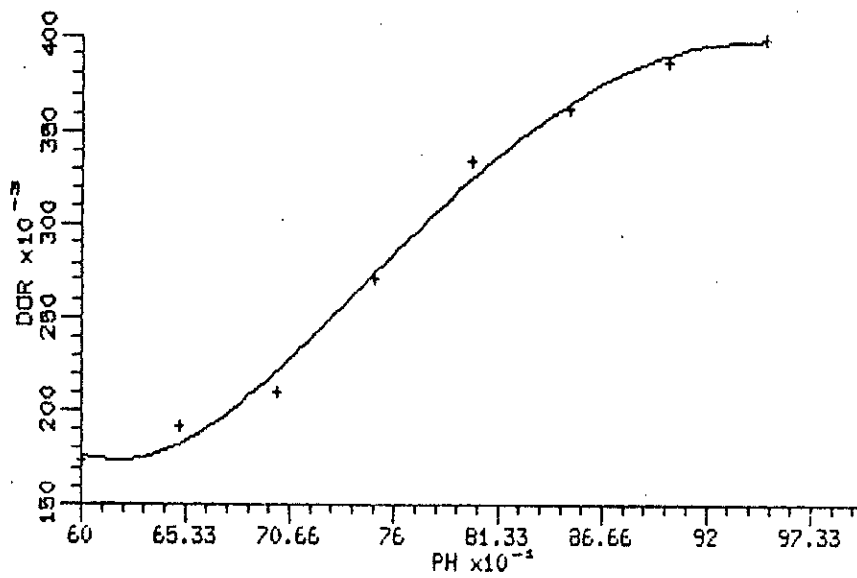
Tableau (V - 6)

PH	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
DOR	0.174	0.193	0.211	0.271	0.335	0.363	0.386	0.400
λ_{max}	360	360	360	360	360	360	360	360
E (%)	-	-	-	-	-	-	-	-
OBS	2	2	6	6	6	6	8	8

FIGURE(V . 13)

SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ - PR 2515



SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

FeSO₄ 7 H₂O - PR 2540

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.1
- * Densité Optique Initiale = 0.106
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 300 nm

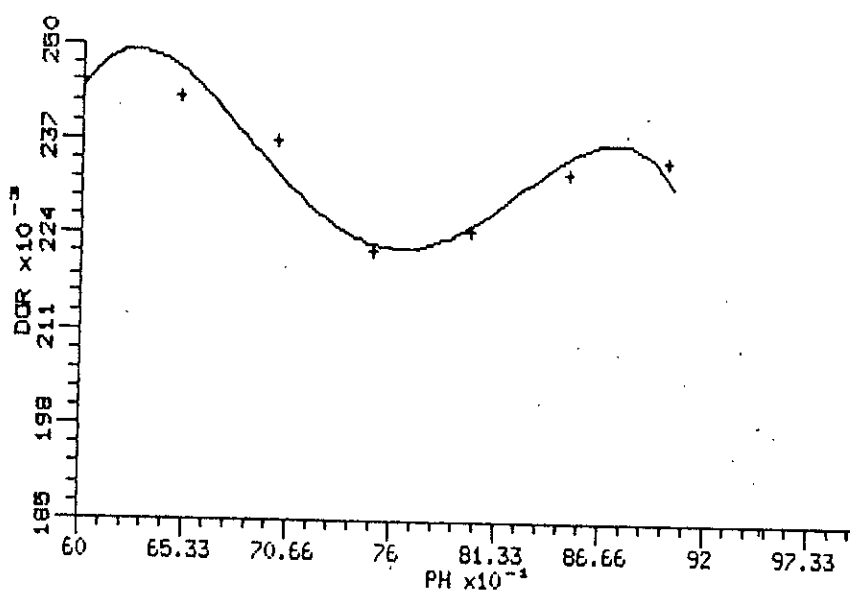
Tableau (V - 7)

PH	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
DOR	0.245	0.243	0.237	0.222	0.225	0.233	0.235	0.185
λ_{max}	301	301	301	301	301	301	301	301
E (%)	-	-	-	-	-	-	-	-
OBS	2	6	6	6	6	6	8	8

FIGURE (V • 14)

SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION - FLOCCULATION

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - PR 2540



V.4.3.b RECHERCHE DES PARAMETRES DE CLARIFICATION DES EAUX RESIDUAIRES TRAITÉES PAR COAGULATION-FLOCCULATION

L'examen des résultats expérimentaux obtenus lors de l'étude consacrée à la sélection des réactifs de coagulation-floculation nous ont permis d'observer deux effets importants:

- l'effet du pH sur le rendement de clarification
- l'effet de la nature chimique des coagulants et des flocculants synthétiques sur le rendement de clarification.

A la lumière de ces résultats, on a retenu la combinaison $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ -PR 2540 qui nous a permis d'atteindre un degré de clarification maximal ($E\%=88,6\%$) à un pH optimum de 8,0 (fig.V.12). Les paramètres de clarification des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA recherchés à l'échelle laboratoire sont présentés ci-dessous:

- La dose optimale du coagulant primaire $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
- La dose optimale du flocculant synthétique PRAESTOL (PR 2540)
- La durée de floculation
- La vitesse d'agitation durant la floculation.

On s'aperçoit ici que la vitesse d'agitation ainsi que la durée d'agitation durant la coagulation n'ont pas fait l'objet d'une étude expérimentale, si on sait d'avantage que le processus de coagulation est très rapide, ne nécessitant que quelques secondes pour la déstabilisation des colloïdes en maintenant une agitation intense. Durant la coagulation on a adopté un temps de coagulation de 3 minutes ^{et une vitesse} d'agitation de 280 t/min. [11], [8]

Les paramètres donnés ci-dessous ont été maintenus constants lors de la recherche de la dose optimale ^{du coagulant} primaire et du flocculant

synthétique PR 2540:

- pH initial de l'eau corrigé, par ajout d'une base ou d'un acide concentré = 8,0
- Temps de coagulation = 3 minutes
- Temps de floculation = 20 minutes
- Vitesse d'agitation durant la coagulation = 280 t/min
- Vitesse d'agitation durant la floculation = 3 t/min
- Volume de l'échantillon traité = 500 ml
- Prélèvement de l'échantillon d'eau à 200ml de profondeur du béccher pour la mesure de la densité optique résiduelle (DO)_R
- Temps de décantation = 15 minutes.

Tous les tests ont été effectués dans le banc du jar test.

a- La dose du coagulant primaire $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$:

Les paramètres de clarification précités ont été maintenus constants dans le banc du jar test.

Pour une concentration constante de 2 ppm de flocculant synthétique PRAESTOL 2540, on a étudié l'évolution du degré de clarification de l'eau résiduaire traitée (E%) en fonction de la dose du coagulant primaire $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

Les résultats expérimentaux sont notés dans le tableau V.8.

La courbe établie est représentée par la figure V.15.

DOSE DU COAGULANT PRIMAIRE OPTIMALE

A12 (S04)3.18H20

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.4
- * Densité Optique Initiale = 0.106
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 284 nm

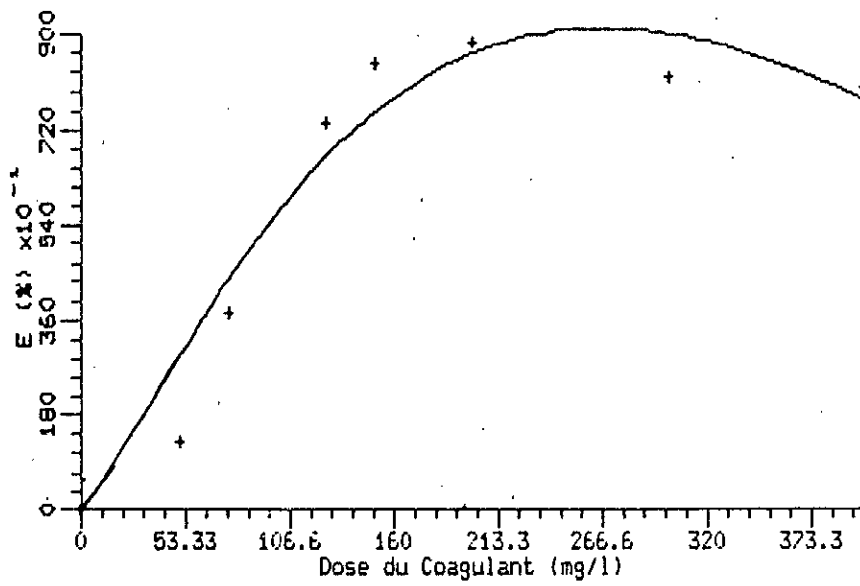
Tableau (V - 8)

Dose du Coagulant (mg/l)	0	50	75	125	150	200	300	400
DDR	0.106	0.092	0.066	0.028	0.016	0.012	0.019	0.021
λ_{max}	284	284	284	284	284	284	284	284
E (%)	0.0	13.2	37.7	73.6	84.9	88.7	82.1	80.2
OBS	0	10	10	10	10	10	10	10

FIGURE (V 15)

DOSE OPTIMALE DU COAGULANT PRIMAIRE

$AL_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$



b- La dose du flocculant synthétique PRAESTOL 2540:

Les mêmes paramètres de clarification précités ont été maintenus constants dans le banc du jar test.

Pour une concentration optimale évaluée à 200 mg/l du coagulant primaire $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (figure V.15) ; on a étudié l'évolution du degré de clarification de l'eau résiduaire traitée (E%) en fonction de la dose du flocculant synthétique PRAESTOL 2540.

Les résultats expérimentaux sont notés dans le tableau V.9

La courbe établie est représentée par la figure V.16.

DOSE DU FLOCCULANT SYNTHETIQUE OPTIMALE

PRAESTOL 2540

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.4
- * Densité Optique Initiale = 0.107
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 280 nm

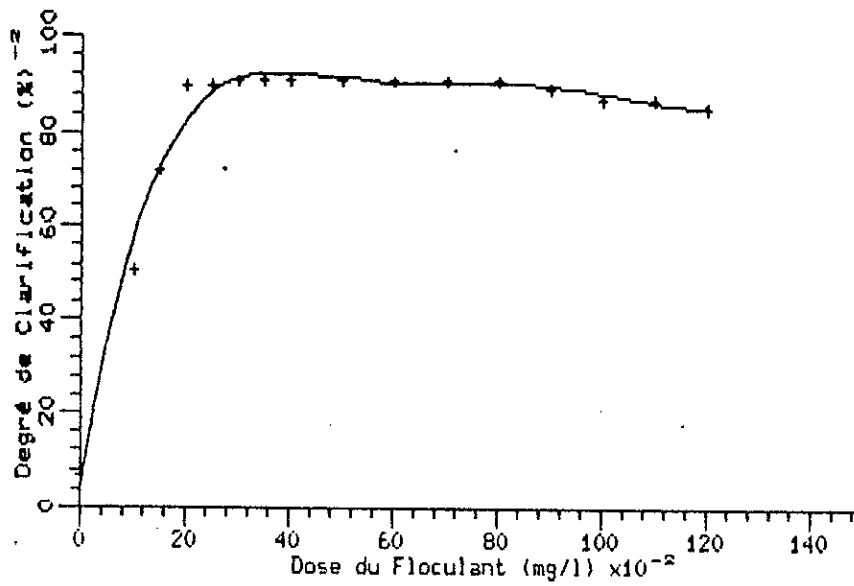
Tableau (V - 9)

Dose du Flocculant PR 2540 (mg/l)	DOR	λ max	E %	OBS
0.00	0.100	280	6.5	2
0.10	0.053	280	50.5	10
0.15	0.029	280	72.5	10
0.20	0.011	280	89.7	10
0.25	0.011	280	89.7	10
0.30	0.010	280	90.6	10
0.35	0.010	280	90.6	10
0.40	0.010	280	90.6	10
0.50	0.010	280	90.6	10
0.60	0.010	280	90.6	10
0.70	0.010	280	90.6	10
0.80	0.010	280	90.6	10
0.90	0.012	280	88.8	10
1.00	0.014	280	86.9	10
1.10	0.014	280	86.9	10
1.20	0.016	280	85.0	10

FIGURE (V . 16)

DOSE OPTIMALE DU FLOCCULANT SYNTHETIQUE

PRAESTDL 2540



c- Vitesse et durée d'agitation durant la floculation

1- Introduction:

Il a été décrit dans le mécanisme de la coagulation-floculation que l'obtention des floccs de taille et de rigidité suffisantes pour une séparation liquide-solide dans les traitements ultérieurs est fondamentale.

Le processus de floculation en particulier , gouverne ces résultats qui eux-mêmes dépendent de la vitesse d'agitation ainsi que la durée d'agitation durant la floculation.

Dans cette partie de notre étude expérimentale , on s'est basé sur la vitesse de sédimentation des floccs comme paramètre de recherche pour optimiser la vitesse et la durée d'agitation durant la floculation.

En vue de confirmer ces résultats, une étude sur la stabilité des floccs a été aussi réalisée.

Differentes méthodes sont décrites dans la littérature [15], [23] pour l'utilisation des flocculants comme adjuvant de clarification et accélérateur de sédimentation :

- méthode par agitation mécanique
- méthode par retournement
- méthode par brassage manuel

* Méthode par agitation mécanique:

Dans cette méthode , la suspension à tester est introduite dans une éprouvette normalisée et est agitée à l'aide d'un agitateur mécanique. La quantité nécessaire de flocculant à la concentration désirée est introduite dans le liquide sous agitation à l'aide

d'une pipette. (figure V.17).

Après la fin de l'addition du polymère, la suspension est encore agitée pendant un temps convenu.

Après l'arrêt de l'agitateur, le temps de sédimentation des floccs sur une hauteur déterminée est mesuré.

La vitesse moyenne de décantation V peut-être calculée en fonction du temps de sédimentation t pour une hauteur de décantation H .

$$V = \frac{H}{t}$$

En même temps, le degré de clarification de l'eau surnageant est estimé visuellement ou mesuré par des méthodes turbidimétriques.

Par l'installation en parallèle de plusieurs agitateurs, il est possible d'effectuer des séries d'essais. On peut ainsi dans 4 ou 6 éprouvettes comparer l'efficacité de différents polymères à la même dose, ou d'un polymère à différents dosages ou concentrations.

* Méthode par retournement:

Dans cette méthode, l'échantillon de la suspension est introduit dans une éprouvette et la quantité nécessaire du flocculant à tester est ajoutée à l'aide d'une pipette.

L'éprouvette est ensuite obstruée avec un bouchon ou avec la paume de la main et est agitée par retournement. (figure V.18)

Cette agitation provoque un mélange intensif de la suspension et

de la solution de polymère.

Après un nombre de retournement fixé , l'éprouvette est posée sur une table et le temps de décantation de la surface libre du sédiment en fonction de la distance est mesuré.

Dans ce cas aussi, la vitesse de décantation moyenne V est calculée à partir du temps de décantation t pour une distance H .

La courbe de décantation $H=f(t)$ peut être tracée.

Cette méthode permet également d'estimer la stabilité des floccs: le temps de décantation est mesuré pour une distance donnée après un nombre de retournement de X fois.

Ce processus est répété plusieurs fois jusqu'à ce que les valeurs du temps de décantation pour une hauteur donnée donnent une valeur de la vitesse moyenne de décantation constante.

Les résultats obtenus par cette série de mesures permettent de déterminer la durée et l'intensité d'agitation nécessaires pour obtenir un bon mélange de la suspension et de la solution de flocculant , ainsi que de connaître le polymère qui donne la meilleure stabilité du floc pour une zone de turbulence donnée.

Pour cette méthode , il est également possible de construire un appareil permettant d'utiliser plusieurs éprouvettes en parallèle.

* Méthode par brassage manuel:

Cette méthode est surtout utilisée pour les pulpes très concentrées ou très corrosives. Elle fait également appel à des éprouvettes de plusieurs dimensions différentes.

L'agitation est obtenue à l'aide d'un disque en acier ou en

plastique, perforé ou muni de fentes , de diamètre légèrement inférieur à celui de l'éprouvette, et fixé en son centre à une tige qui lui est perpendiculaire, de longueur suffisante pour que , cette tige étant tenue à la main , on puisse imprimer au disque un mouvement de va-et-vient et la durée de chacun d'eux doivent , là encore être maintenus constants pendant toute la série d'essais. (figure V.19)

Une fois terminée cette agitation , destinée à bien mélanger le flocculant et la pulpe , on mesure à nouveau la vitesse de sédimentation des particules solides flocculées.

FIGURE V. 17

*Essais de sédimentation par la
méthode avec agitation
(mesure de la vitesse de sédimentation)*

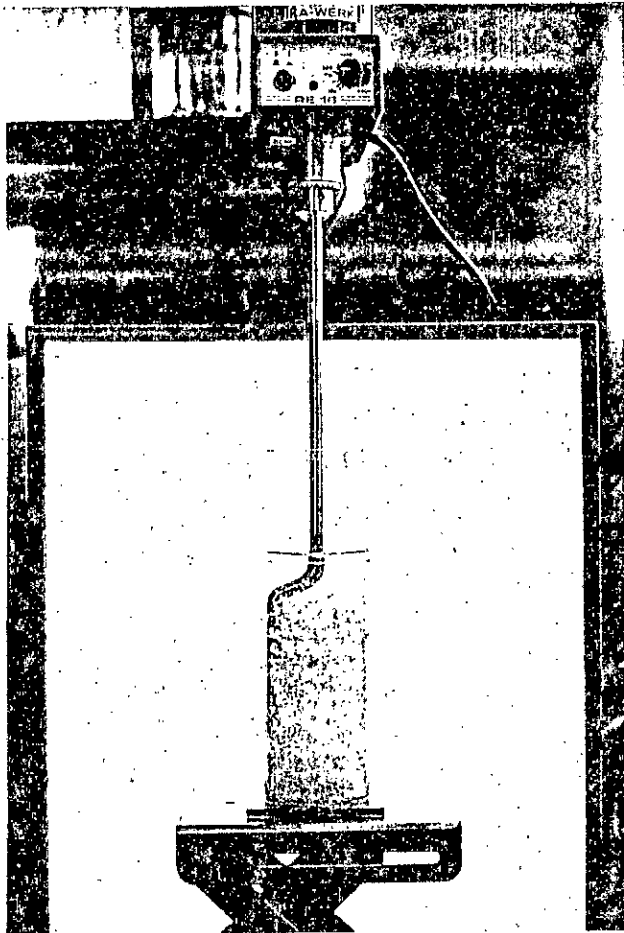


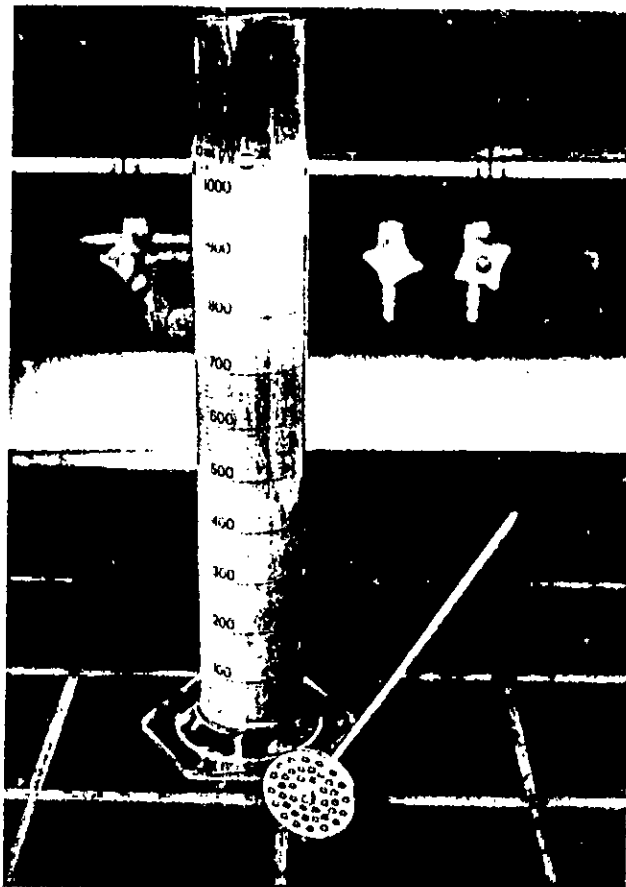
FIGURE V. 18

*Méthode par retournement
de l'éprouvette*



FIGURE V. 19

Méthode avec brassage manuel



2- Intensité de l'agitation durant la floculation:

On a mesuré la hauteur d'eau clarifiée après son traitement par coagulation-floculation contenue dans une éprouvette de 500 ml par la méthode d'agitation mécanique en fonction du temps.

Les paramètres suivants ont été maintenus constants durant tout les tests:

- dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O = 200 \text{ mg/l}$ (optimale)
- dose du flocculant PR 2540 = 0,2 mg/l (optimale)
- pH initial de l'eau après correction = 8,0 (optimal)
- temps de coagulation = 3 minutes
- temps de floculation = 20 minutes
- vitesse d'agitation durant la coagulation = 280 t/min
- volume de l'échantillon traité = 500 ml.

Les résultats expérimentaux obtenus pour chaque vitesse d'agitation durant 20 minutes de floculation sont notés dans les tableaux (V.10) à (V.18).

HAUTEUR D'EAU CLARIFIEE EN FONCTION DU TEMPS

VITESSE D'AGITATION DURANT LA FLOCCULATION VARIABLE

* Caracteristiques de l'Eau :

* PH Initial = 8.7

* Densité Optique Initiale = 0.104

* Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 302 nm

Tableau (V - 10)

Vitesse d'Agitation = 10 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	30.1
100	59.4
150	85.8
200	111.2
250	159.1

Tableau (V - 11)

Vitesse d'Agitation = 20 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	16.8
100	33.6
150	52.8
200	72.0
250	98.4

Tableau (V - 12)

Vitesse d'Agitation = 30 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	12.3
100	27.1
150	43.7
200	61.1
250	81.6

Tableau (V - 13)

Vitesse d'Agitation = 50 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	13.9
100	31.2
150	48.6
200	66.1
250	90.3

Tableau (V - 14)

Vitesse d'Agitation = 80 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	16.2
100	35.4
150	57.1
200	76.8
250	132

Tableau (V - 15)

Vitesse d'Agitation = 100 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	19.2
100	37.2
150	62.4
200	85.8
250	139.3

Tableau (V - 16)

Vitesse d'Agitation = 120 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	23.3
100	42.1
150	69.0
200	91.8
250	145.2

Tableau (V - 17)

Vitesse d'Agitation = 150 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	26.2
100	47.3
150	74.4
200	99.6
250	145.3

Tableau (V - 18)

Vitesse d'Agitation = 200 t/min

H (mm)	Temps (min)
0	0
50	36.6
100	67.2
150	93.7
200	120.1
250	174.0

INTENSITE D'AGITATION OPTIMALE (FLOCCULATION)

TEMPS DE FLOCCULATION = 20 Minutes

* Caractéristiques de l'Eau :

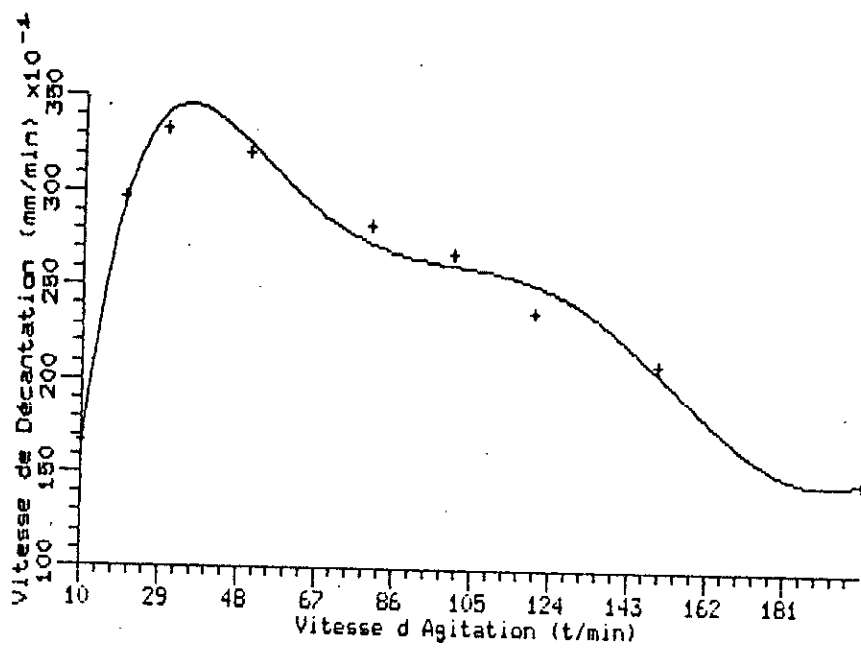
- * PH Initial = 8.7
* Densité Optique Initiale = 0.104
* Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 302 nm

Tableau (V - 19)

Vitesse d'Agitation (t/min)	Vitesse de Décantation (mn/min)
10	1.68
20	2.98
30	3.34
50	3.21
80	2.83
100	2.69
120	2.38
150	2.11
200	1.49

FIGURE (V . 20)

INTENSITE D'AGITATION OPTIMALE DURANT LA FLOCCULATION



Sur la base de ces résultats , il nous a été possible de définir une vitesse de décantation effective qui est le rapport entre la hauteur d'eau clarifiée effective ($H=100$ mm) et le temps nécessaire pour la clarification de cette hauteur.

Les résultats expérimentaux , concernant l'évolution de la vitesse de décantation et donc la taille des floccs en fonction de l'intensité d'agitation pour un temps de floculation constant (20 minutes) sont notés dans le tableau (V.19).

De la courbe établie et représentée par la figure (V.20) , il ressort une intensité d'agitation optimale égale à 30 t/min.

3 Durée d'agitation durant la floculation:

On mesure toujours la hauteur (H=100 mm) d'eau clarifiée après son traitement par coagulation-floculation contenue dans une éprouvette de 500 ml par la méthode d'agitation mécanique en fonction du temps de clarification de cette hauteur. A une vitesse d'agitation durant la floculation constante et égale à 30 t/min, on a étudié l'effet de la durée de floculation sur la vitesse de décantation et donc la taille des floccs.

Les résultats expérimentaux après évaluation des vitesses de décantation sont notés dans le tableau (V.20).

La courbe établie est représentée par la figure (V.21) et montre une durée de floculation optimale de 30 minutes.

DUREE D'AGITATION OPTIMALE (FLOCCULATION)

VITESSE D'AGITATION OPTIMALE = 30 t/min

* Caractéristiques de l'Eau :

* PH Initial = 8.2

* Densité Optique Initiale = 0.107

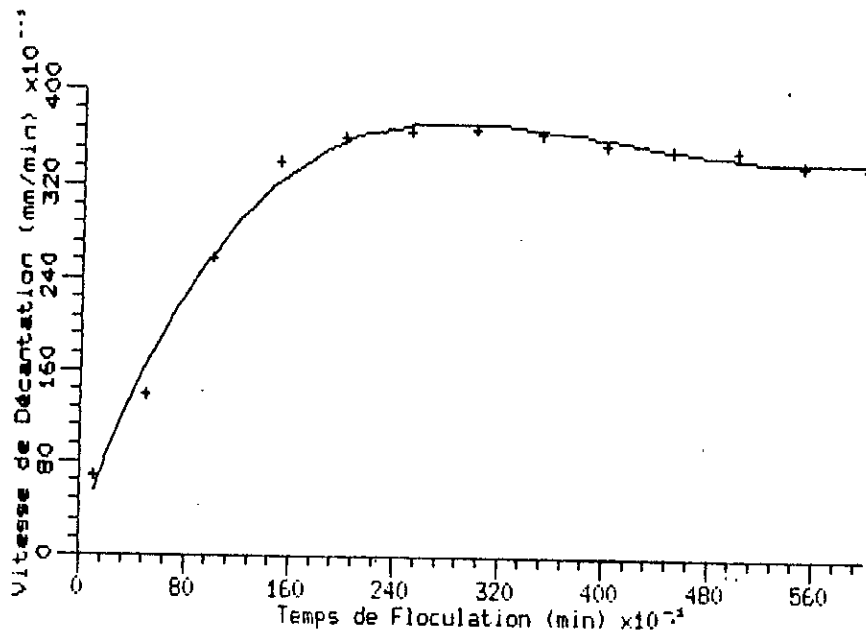
* Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 300 nm

Tableau (V - 20)

Temps de Flocculation (min)	Vitesse de Décantation (mm/min)
1	7.0
5	14.0
10	26.0
15	34.1
20	36.0
25	36.8
30	37.1
35	36.6
40	35.6
45	35.2
50	35.1
55	34.1
60	33.9

FIGURE (V .21)

DUREE D'AGITATION OPTIMALE DURANT LA FLOCCULATION.



V.4.3.c ETUDE DE LA STABILITE DES FLOCS:

Le traitement des eaux par coagulation-floculation donne lieu à la formation de floccs décantables, et la clarification de l'eau est d'autant meilleure si les floccs sont stables.

L'étude de la stabilité des floccs a été réalisée par la méthode de retournement des éprouvettes dans les conditions optimales de clarification à savoir:

- dose du coagulant = 200 mg/l
- dose du flocculant = 0,2 mg/l
- vitesse d'agitation durant la coagulation = 280 t/min
- temps de coagulation = 3 minutes
- pH de l'eau après correction = 8,0
- volume de l'échantillon traité = 500 ml

En variant le nombre de retournement (360°) de l'éprouvette, on a évalué la vitesse de décantation moyenne correspondant au temps de clarification d'une hauteur effective de 100 mm.

Les résultats expérimentaux sont notés dans le tableau (V.21)

La courbe établie est représentée par la figure (V.22).

ETUDE DE LA STABILITE DES FLOCS

* Caractéristiques de l'Eau :

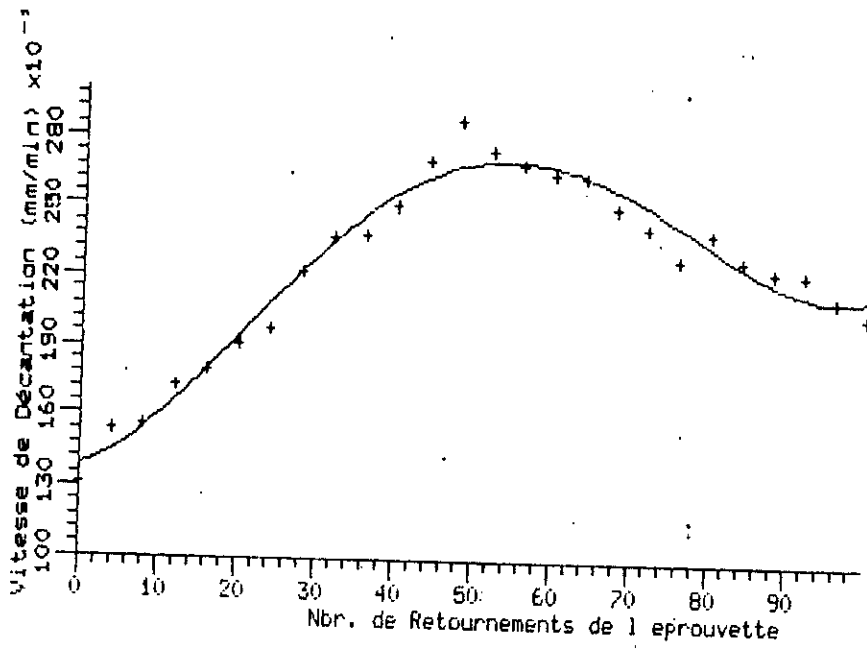
- * PH Initiale = 7.4
- * Densité Optique Initiale = 0.101
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 293 nm

Tableau (V - 21)

Nombre de Retournements de l'éprouvette (360 °)	Vitesse de Décantation (mm/min)
0	13.2
4	15.4
8	15.6
12	17.3
16	18.0
20	19.1
24	19.8
28	22.3
32	23.7
36	23.9
40	25.1
44	27.2
48	28.8
52	27.6
56	27.0
60	26.6
64	26.4
68	27.1
72	24.3
76	23.0
80	24.1
84	23.0
88	22.5
92	22.4
96	21.3
100	20.6

FIGURE (V • 22)

ETUDE DE LA STABILITE DES FLOCS



V.4.4 DISCUSSION DES RESULTATS ET CONCLUSION

1- SELECTION DES REACTIFS DE COAGULATION-FLOCCULATION:

Cette sélection a été basée sur l'obtention de la plus faible turbidité résiduelle, donc un rendement de réduction de turbidité maximal.

Les résultats obtenus nous ont permis de discuter les points suivants:

a- La turbidité initiale de l'eau résiduaire traitée:

La turbidité initiale de l'eau résiduaire traitée du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA varie, exprimée en densité optique elle varie dans la fourchette 0,101 à 0,107 avec une moyenne de 0,104; ce qui correspond à une turbidité moyenne de 37,7 unités formazine.

Une telle eau s'avère donc trop turbide et ne peut en aucun cas être réutilisée dans le procédé de fabrication.

En effet quand il s'agit d'industrie textile et surtout de teinture, la turbidité doit être non détectable par analyse ou à la limite très faible. [14]

b- Rendement de réduction de la turbidité:

En effectuant 48 tests, regroupés en 6 expériences dans l'intervalle de pH 6 à 9,5, il nous a été possible d'évaluer le rendement maximal de réduction de la turbidité pour chaque combinaison coagulant-floculant dont les résultats sont regroupés ci-dessous:

Combinaison coagulant-floculant	pH optimum	Rendement maximal (%)
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O-PR 2540	8,0	88,6
FeCl ₃ .6H ₂ O - PR 2515	9,5	84,8
FeCl ₃ .6H ₂ O - PR 2540	9,0	82,2
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O-PR 2515	8,5	80,2

Le sulfate ferreux (FeSO₄.7H₂O) testé avec les deux types de floculants synthétiques PR 2540 et PR 2515 confère à l'eau durant le traitement une coloration intense en dépit de l'obtention de floes de taille moyenne, ce qui donne à l'eau une densité optique ou une turbidité supérieure, comparée à celle initiale. Suite à ces observations et ces résultats, le sulfate ferreux a été écarté, le sulfate d'aluminium combiné au floculant synthétique moyennement anionique PR 2540 a été retenu du fait qu'on a obtenu le meilleur rendement de clarification avec cette combinaison à un pH optimum de 8.

2-Recherche des paramètres de clarification des eaux résiduaires traitées par coagulation-floculation

a- Le pH optimal de traitement:

Pour la plupart des eaux traitées avec les sels d'aluminium ou les sels ferriques, il existe un pH optimum de coagulation, ce pH est généralement proche du pH de solubilité minimum; ce n'est pas le cas, par exemple, de certaines eaux de l'industrie des textiles et des peintures. [11]

En fait le pH joue un rôle très important et détermine la nature du coagulant à employer, influe sur la dose procurant un effet donné recherché, influe sur la quantité résiduelle non précipitée du coagulant restant dans l'eau après traitement et conditionne la cinétique de formation des flocons.

La nature du complexe formé par le coagulant primaire est fonction du pH, or la vitesse de coagulation s'avère intimement liée à la nature de ces complexes, d'où la nécessité de la recherche dans chaque cas de coagulation et pour chaque coagulant un pH optimal ou tout au moins des zones de pH optimales. [9]

Selon nos résultats expérimentaux, les coagulants utilisés manifestent les zones de pH optimales suivantes:

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	$7,5 \leq pH \leq 8,5$
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	$9 \leq pH \leq 9,5$

b- Dose optimale du coagulant:

La recherche d'un tel paramètre est importante non seulement sur le plan économique (prix du réactif) mais aussi sur le plan technique (affecte le rendement de clarification).

On sait que lorsque le potentiel Zeta des colloïdes est de l'ordre de 50 à 100 millivolts, le mouvement Brownien ne peut arriver à faire entrer en contact les particules entre-elles, l'expérience montre que le potentiel Zeta doit être abaissé au-dessous de 30 ou même de 5 millivolts.

Cet abaissement est obtenu par rapport des charges électriques extérieures, les ions de valeur élevée étant les plus actifs dans ce domaine; on trouve là une explication de l'efficacité

coagulante particulière d'électrolytes susceptibles d'apporter des cations trivalents (sels ferriques, sels d'aluminium).

Dans notre cas la suspension colloïdale est chargée négativement (test positif avec les coagulants cationiques), cependant un apport trop élevé peut avoir un effet défavorable dans le cas où les particules colloïdales sont susceptibles de changer de charge et de reformer des particules colloïdales nouvelles de potentiel Zeta de signe contraire, on parle ainsi; de réstabilisation de la suspension colloïdale.

C'est pourquoi pour chaque type d'eau destinée à être traitée lui correspond une dose optimale de coagulant primaire.

Dans le cas des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA on distingue les zones suivantes:

$$0 < C_{\text{coagulant}} < 200 \text{ mg/l}$$

Le rendement de clarification reste plus ou moins bon ($80\% < E\% < 85\%$), plus on augmente la concentration du coagulant plus l'effet de neutralisation des charges négatives augmente, ce qui nous permet de s'approcher du point isoélectrique, ce qui se traduit par une nette augmentation du rendement de clarification.

$$C_{\text{coagulant}} = 200 \text{ mg/l}$$

Le rendement de clarification est maximal, ce qui rend compte de la neutralisation presque totale des charges négatives.

$$C_{\text{coagulant}} > 200 \text{ mg/l}$$

Le rendement de clarification diminue , ceci s'explique par le début de formation d'une couche de charges électriques de signe opposé à celle que possédait initialement la suspension colloïdale ayant le même effet , c'est à dire sa réstabilisation. Ainsi une dose de 200 mg/l en coagulant primaire a été retenue.

c- Dose du flocculant synthétique PR 2540

Les flocculants synthétiques ne sont que des adjuvants de coagulation et ne permettent généralement pas de remplacer complètement les coagulants minéraux , surtout dans le cas des eaux où les turbidités avant traitement sont faibles. L'utilisation des flocculants anioniques en fait ne provoquent pas l'élimination du potentiel Zeta mais agissent par adsorption et réticulation.

En comparant nos résultats avec ceux des travaux antérieurs [4], on s'aperçoit facilement que l'addition d'une très faible dose de flocculant (0,2 mg/l) nous a permis de réduire la consommation du coagulant primaire $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ de 4000 mg/l d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à 200 mg/l d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$,ou 103 mg/l d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Cette consommation 40 fois plus faible en coagulant primaire montre la grande efficacité des flocculants synthétiques , ce qui nous permet de limiter à quelques ppm la dose utile d'emploi , mais elle rend assez critique le réglage optimum.

Il suffit d'examiner les résultats obtenus lors de l'expérience consacrée à la recherche de la dose optimale du flocculant pour constater qu'il existe en fait un rapport optimum: dose flocculant/quantité solide à flocculer qui correspond à la proportion de flocculant susceptible d'être adsorbé par le solide

en suspension.

Un excès de flocculant isole la surface des micelles qui auraient pu constituer des ponts de liaison, ce qui inhibe la floculation. D'ailleurs une dose trop faible de flocculant peut être complètement inopérante.

En effet une dose inférieure à 0,10 ppm s'avère trop faible pour une bonne clarification.

Une dose allant de 0,2 à 0,9 ppm assure une clarification fiable.

Au delà de 0,9 ppm, l'augmentation de la dose du flocculant ne fait que inhiber la floculation pour les raisons citées ci-dessus.

Les travaux de black [24] sur la réduction de la turbidité des eaux argileuses ont aussi abouti aux mêmes résultats, à savoir une diminution de la turbidité, ensuite son augmentation en continuant à augmenter la dose du flocculant.

d- Durée et intensité d'agitation durant la floculation:

Le but recherché de cette étape est l'agglomération des colloïdes déjà déchargés par le coagulant primaire $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$.

L'agglomération des colloïdes en flocons est une action nécessaire pour faciliter toute séparation solide-liquide, soit qu'il s'agit de décantation ou de filtration.

En fait, cette agglomération des colloïdes déchargés exige deux fonctions principales:

- une interaction intense entre les particules déchargées en vue d'augmenter la probabilité de rencontres et de collisions, ce qui permettra la formation des flocons.

- éviter la destruction des floccs formés par voie mécanique.

Or le nombre de collisions entre particules est proportionnel au gradient de vitesse, mais les forces de cisaillement le sont aussi.

Ainsi la recherche d'un gradient de vitesse optimum est très important lors de la floculation.

Pour atteindre ce but, on doit chercher la durée et l'intensité d'agitation lors de cette étape pour assurer non seulement la formation des floccs mais aussi leur mûrissement.

A travers la recherche d'une vitesse de décantation maximale évaluée pour une hauteur de décantation effective, en variant la vitesse d'agitation de 10 t/min à 200 t/min où la durée de floculation est constante, il nous a été possible de déterminer une intensité d'agitation optimale qui est de l'ordre de 30 t/min. La détermination d'une durée de floculation optimale a été aussi basée sur la détermination d'une vitesse de décantation maximale tout en variant le temps de floculation à intensité d'agitation constante (30 t/min). La durée de floculation optimale obtenue est égale à 20 minutes.

On a aussi remarqué selon les résultats expérimentaux obtenus que l'augmentation de l'intensité ou la durée d'agitation au delà des valeurs optimales provoque une légère diminution des vitesses de décantation, ce qui suggère une bonne stabilité des floccs avec une très faible destruction de ces derniers.

La confirmation de ces résultats ont fait l'objet de notre étude sur la stabilité des floccs.

e- Stabilité des floccs:

Après avoir réuni toutes les conditions de traitement optimales de cette eau par coagulation-floculation en vue de sa clarification, l'étude de la stabilité des floccs a été effectuée par la méthode de retournement de l'éprouvette.

Les résultats qui en découlent de cette étude sont d'une aide précieuse pour fixer la forme et l'emplacement du dispositif d'introduction du flocculant dans l'installation industrielle.

Les résultats obtenus (figure V.22) nous ont permis de mettre en évidence la très faible destruction des floccs après leur mûrissement.

Cette faible destruction des floccs explique en grande partie la très faible diminution des vitesses de décantation, donc de taille des floccs pour des gradients de vitesses dépassant les valeurs optimales.

En conclusion, la réduction de la turbidité des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA est possible par coagulation-floculation si on envisage un traitement tertiaire.

Dans le but d'atteindre une clarification maximale de cette eau durant son traitement tertiaire, les paramètres de clarification suivants sont conseillés:

- dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O = 200 \text{ mg/l}$
- dose du flocculant moyennement anionique PR2540 = 0,2 mg/l
- temps de coagulation = 3 minutes
- temps de floculation = 20 minutes
- intensité d'agitation durant la coagulation = 280 t/min
- intensité d'agitation durant la floculation = 30 t/min
- pH de l'eau avant traitement = 8,0

Durant nos expériences, il a été constaté que le volume de boues formées durant la décantation est faible.

De telles observations se justifient par le fait que cette eau destinée à un traitement tertiaire contient une faible quantité de matières en suspension (MES < 87 mg / l) suite à son traitement primaire et secondaire.

Ainsi deux options se présentent pour préconiser un traitement tertiaire des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de Draa Ben Khadda :

* Coagulation - floculation / adsorption des huiles / décantation / filtration .

Enfin il est important à souligner que toutes les absorbances mesurées dans cette étude sont faibles (résultats aléatoires). Nous sommes en fait contraints de travailler dans ce domaine d'absorbance du fait que notre étude a été réalisée sur une eau résiduaire qui a déjà fait l'objet d'un traitement primaire et secondaire (teneur des matières en suspension très faible) .

VI PRECONISATION D'UN MODE DE TRAITEMENT TERTIAIRE POUR LA REDUCTION DE LA TENEUR DES HUILES DANS LES EAUX RESIDUAIRES TRAITEES:

VI.1 ELEMENTS DE THEORIE

VI.1.1 INTRODUCTION

La pollution par les produits pétroliers est essentiellement une pollution par les hydrocarbures qui, en raison des propriétés de ceux-ci présente la particularité d'être d'autant plus nocive qu'elle est dispersée.

Ainsi , paradoxalement , les rejets massifs sont spectaculaires mais susceptibles d'être collectés relativement aisément quand il ne s'agit pas de rejets en mers , alors que les pollutions chroniques sous forme d'émulsions sont finalement plus dangereuses.

Les effets de la pollution par les hydrocarbures seront en fonction de la disposition des huiles dans l'eau:

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

Dans le premier cas , les dommages sont liés à la présence d'une nappe plus ou moins épaisse , mais imperméable à l'air provoquant:

- a- Salissure des rives , aspect et odeurs désagréables
- b- obstruction des bronchies des poissons et engluage des oiseaux
- c- agglutination des algues et du plancton rendus inutilisables
- d- création d'un film superficiel empêchant la dissolution d'O₂ dans les eaux calmes.

Dans le deuxième cas , il y a création d'une forte demande chimique en oxygène , complétée d'une certaine demande biologique entraînant la disparition progressive de l'oxygène dissous et la fixation croissante de composés organiques dans les tissus animaux.

Les procédés de déshuilage devront donc concerner d'une part les systèmes de collecte des huiles et d'autre part la destruction des hydrocarbures finement dispersés. [18]

Dans le but de recycler les eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA , la teneur des huiles doit être nulle ou non détectables par analyse , or cette eau contient en moyenne 114 mg/l , teneur qui dépasse de loin les normes de rejet en émissaire (10 mg/l).

Le déshuilage de ces eaux lors d'un traitement tertiaire s'avère donc une étape inévitable.

VI.1.2 PROCEDES DE DESHUILAGE

VI.1.2.A Procédés physiques de déshuilage:

Ce sont les procédés n'employant pas de coagulation par l'addition de réactifs chimiques solubles.

Ils se divisent en procédés par décantation simple s'appliquant aux pollutions fréquentes et massives et en procédés par adsorption qui ne peuvent intéresser que les pollutions soit accidentelles, soit faibles en raison du prix des adsorbants.

Il est toujours nécessaire de procéder ou de compléter la mise en oeuvre de ces procédés physiques par des dispositifs communs de

collecte d'huile statiques ou dynamiques.

a- La décantation simple: [18]

La séparation de l'huile par simple décantation repose sur l'existence d'une vitesse ascensionnelle de remontée de gouttelettes d'huile dans l'eau en raison de la densité de l'huile inférieure à celle de l'eau. On trouve que cette vitesse s'exprime suivant la loi de Stokes:

$$v = \frac{g}{18 \mu} (\rho - \rho_w) d^2$$

dans laquelle:

v = vitesse de remontée en m/s

d = diamètre d'un globule d'huile en m

g = accélération de la pesanteur 9,81 m²/s

ρ = masse volumique de l'eau en Kg/m³

ρ_w = masse volumique des globules en Kg/m³

μ = viscosité du liquide en poiseuilles à la température considérée

Elle est donc proportionnelle au carré du diamètre des globules d'huile et à la différence des densités entre les huiles et l'eau ; on trouve couramment des vitesses de 1 à 6 m/h.

Les décanteurs déshuileurs fonctionnent en général en régime continu et l'eau ayant le plus souvent une circulation horizontale, le trajet de remontée d'un globule seront fonction de la hauteur d'eau à remonter pour atteindre la surface où elle sera collectée et du diamètre du globule pour une densité donnée et une viscosité donnée de l'huile.

Signalons que l'accroissement de la température entraîne une

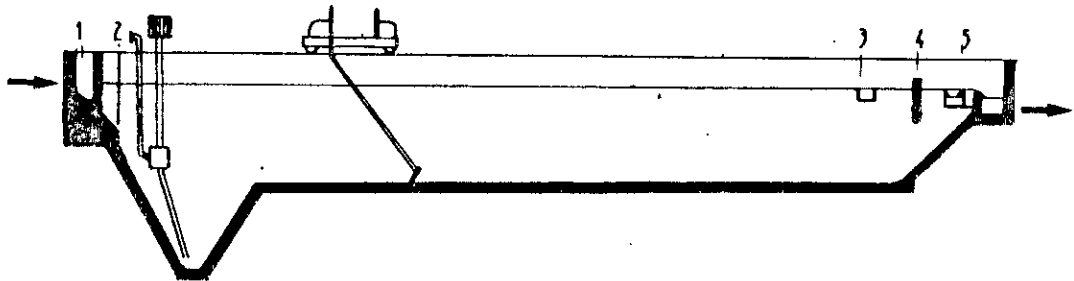
élévation importante des vitesses ascensionnelles des globules d'huile.

De ces paramètres résultent trois variantes possibles de décanteurs longitudinaux à plaque parallèles ou à coalescence (deshuileur longitudinal) API , deshuileurs à lames parallèles , deshuileurs à coalescence).

Ces différents deshuileurs sont illustrés dans la figure VI.1.

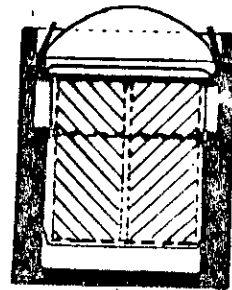
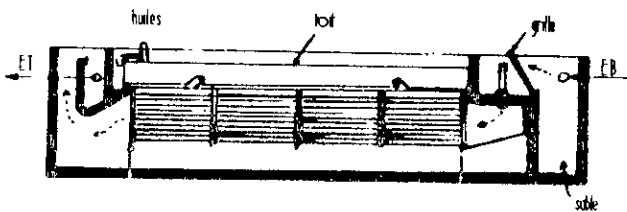
FIGURE VI. 1

" Différents types de déshuileurs "



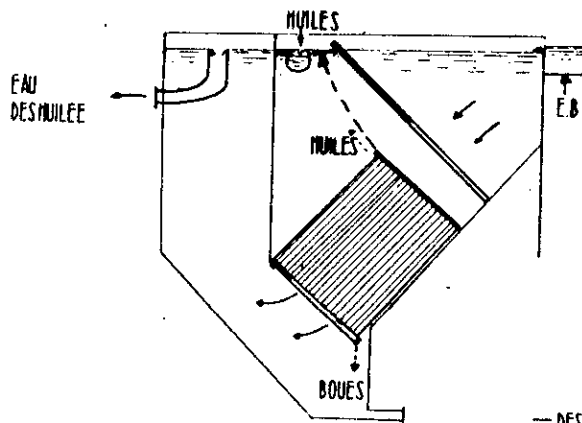
- 1 ADMISSION EAU BRUTE
- 2 REPARTITION
- 3 GOULOTTE REPRISE HUILES
- 4 CLOISON SIPHOIDE
- 5 DEVERSOIR EAU DESHUILEE

— SEPARATEUR A.P.I. —



SHELL PARALLEL PLATE INTERCEPTOR

ET. Eau Traitée
EB. Eau Brute



— DESHUILEUR TYPE T.P.S.
PIELKEH. ROOD. VINTEX —

b- L'adsorption:

L'adsorption peut être définie comme étant le phénomène d'enlèvement des molécules d'une phase gazeuse ou liquide par la surface d'un solide.

Un trait caractéristique de l'adsorption par les surfaces solides est que si l'on sépare le solide de la phase avec laquelle il était en contact, tout se passe comme si le solide emportait avec lui la substance adsorbée, cette adhérence plus ou moins profonde des corps adsorbés, sur les surfaces solides tient à l'importance même des champs de forces moléculaires à la surface des solides.

Ces champs de forces sont beaucoup plus intenses à la surface des solides, qu'à la surface des liquides:

c'est la conséquence de la non mobilité des particules solides qui n'ayant pas la majeure partie de leur liaisons satisfaites exercent de plus grandes forces attractives. [19]

Les procédés par adsorption sont utilisés pour l'élimination des matières organiques réfractaires dans les traitements tertiaires ou pour l'élimination des matières organiques biodégradables, ou non, dans les chaînes de traitement physico-chimiques. [11]

Pour cela différents produits sont disponibles dans le commerce, qui ont un haut pouvoir d'adsorption vis-à-vis des hydrocarbures. Il peut s'agir de produits minéraux, soit de produits organiques. Cependant le charbon actif reste de loin l'adsorbant le plus utilisé dans le domaine industriel, du fait de son importante surface spécifique (600-1500 m²/g), et de sa capacité d'adsorption, même s'il est humide, car les corps adsorbables déplacent l'eau.

C'est un adsorbant à très large spectre , vue que la plupart des molécules organiques se fixent à sa surface , on peut citer les composés aromatiques et hydrocarbures substitués etc...

Dans l'industrie , il est utilisé pour l'élimination des produits toxiques ou pour la récupération de produits chers.

D'autres industries l'utilise pour l'amélioration de l'odeur et du goût , ainsi que la réduction de la couleur.

Il est aussi utilisé comme barrière de protection en cas de pollution accidentelle.

Deux techniques de mise en oeuvre seront particulièrement évoquées: le charbon en poudre ajouté , et le charbon en lit filtrant.

1- Charbon en poudre:

Le composé se présente sous une forme pulvérulente et sa granulométrie oscille entre 0,05 et 0,15 mm. Après mouillage , il est dispersé dans l'effluent à des concentrations voisines de 2-3 g/m³ bien qu'il soit possible d'utiliser de plus fortes doses (≤ 20 g/m³).

Le procédé est compatible avec l'étape de floculation-décantation: les grains se lient alors aux floes.

Un système à lit ou à recirculation permet d'atteindre sans difficulté les valeurs recherchées du temps de contact (10 à 60 min). [12]

En plus le charbon en poudre a une surface directement accessible , la vitesse globale d'adsorption est très rapide , il est aussi beaucoup moins cher que le charbon en grain , mais le fait qu'il

soit impossible de le régénéré , lorsqu'il est récupéré mélangé avec les hydroxydes , empêche son utilisation étendue.

D'autres travaux ont montre que le charbon en poudre protège les bactéries d'une éventuelle présence d'éléments toxiques tels que le Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{2+} , Zn^{2+} , ce qui explique son injection soit directement au bassin à boues activées ou avant une unité de post-filtration des effluents.

Dans ce dernier cas , les eaux de lavage du filtre sont renvoyées dans le bassin d'aération.

Deux inconvénients sont inhérents à cette formule:

- La régénération du charbon est quasi impossible puisqu'il se retrouve mélangé aux boues
- L'adsorption permet d'éliminer certains composés , mais de façon incomplète.

Cette technologie possède cependant de solides avantages dont la souplesse d'emploi et un investissement initial léger.

2- Charbon en lit filtrant:

Le charbon actif employé est d'une granulométrie plus importante (0,5-1 mm). Le filtre utilisé se sature tout d'abord en amont , puis cette zone progresse vers l'aval jusqu'à percer , l'ensemble étant alors saturé.

Deux avantages principaux résultent de cette technique:

- le charbon saturé peut être récupéré pour être régénéré par des procédés similaires à ceux de la fabrication.
- le rendement $\Delta C/Co$ est généralement excellent avant la percée du lit.

L'utilisation de tels filtres peut être préconisée après

floculation-décantation , l'élément adsorbant joue alors également le rôle de filtre mécanique.

Les grains doivent donc être plus gros (taille effective 0,9 - 1mm) , la couche utile étant de 1 à 2 m , et la vitesse de passage limitée à 1 - 6 m/h.

Bien entendu un lavage du filtre est à prévoir, avec une expansion du lit pouvant atteindre 30%.

Le charbon actif peut ainsi s'utiliser au cours d'une deuxième filtration , où les mécanismes d'adsorption prédominent. Les hauteurs de couche sont alors plus grandes (2-4 m) car elles conditionnent les temps d'utilisation entre deux régénérations.

Les vitesses de passage sont ainsi plus importantes (10-30 m/h) bien que la granulométrie puisse être plus faible (taille effective 0,5 - 0,9 mm).

Une autre utilisation est de plus en plus envisagée:

l'association de l'effet d'adsorption et de la croissance bactérienne au sein du lit.

Cette dernière permet en effet l'oxydation en continu des matières organiques arrêtées. [12]

VI.1.2.B PROCEDES PHYSICO-CHIMIQUES DE DESHUILAGE

a- Coagulation-floculation:

Dans toutes les hypothèses de traitement , la coagulation en est la première phase qui consiste à déstabiliser l'état colloïdal en rompant les forces électrostatiques présentes par l'addition d'un coagulant constitué par un sel d'alumine ou de fer dont la dissolution entraîne la formation de charges

électropositives et puis la précipitation d'un gel d'hydroxyde d'aluminium ou de fer.

La floculation qui consiste par une action généralement mécanique de brassage doux, à favoriser la rencontre des globules d'huiles et du floc d'hydroxydes en provoquant l'adsorption des premiers sur les seconds, permet d'agglomérer l'huile et les hydroxydes en flocons relativement volumineux mais de densité assez voisine de 1 en raison de forte teneur en huile. Selon que l'on désirera assurer la séparation de ces flocons par décantation ou par flottation, il faudra soit les alourdir soit les alléger.

Dans le premier cas, on a recours à l'addition de produits floculants ou réticulants, à base de polyélectrolytes et surtout aussi le plus souvent à l'apport de chaux, réactif provoquant la coprécipitation de carbonate de calcium qui est très dense. Dans le second cas, on a seulement recours à l'utilisation de floculants spécifiques de la flottation.

Au point de vue consommation de ces réactifs de coagulation, des études statistiques ont montré:

- qu'une partie d'hydroxyde ferrrique pouvait adsorber 3 à 0,6 parties d'huiles
- que la dose d'hydroxyde pouvait être d'autant plus faible que le milieu était plus concentré en huiles, ceci évidemment jusqu'à une limite au dessus de laquelle il y a risque de désorption. [18]

b- Coagulation-décantation:

La clarification peut être assurée: [18]

- soit dans un flocculateur suivi d'un décanteur raclé classique
- soit dans un décanteur avec flocculateur incorporé ou à lit de boue tel que le pulsator ou circulator.

Dans les deux cas , les vitesses considérées ou charges volumiques des décanteurs seront faibles et inférieures à 2 m/h en raison de la légèreté du floc et du danger de courants de convection.

c- Coagulation-flottation:

La coagulation est nécessairement assurée dans un flocculateur extérieur au flottateur qui assure un temps de contact en général un peu plus élevé que dans les cas précédents car le temps de séjour dans les flottateurs est beaucoup plus court que dans les décanteurs et on ne peut y espérer aucune amélioration du floc. [18]

Le volume du flocculateur représente en général 15 à 30 minutes de séjour suivant la température et la concentration en hydrocarbures.

d- Flottation par l'air: [18]

La flottation par l'air est un procédé de séparation de particules solides ou , dans un cas particulier , de vésicules d'huiles , par diminution de leur densité , leur permettant de flotter dans le liquide où elles sont en suspension.

Cette diminution de densité est provoquée par fixation par capillarité de ces particules à des bulles d'air, l'ensemble bulle - particule présentant une masse volumique résultante inférieure à celle de l'eau.

Ces bulles d'air très fines ont 5 à 20 microns de diamètre.

L'ensemble bulle-particule est soumis à une force résultante verticale orientée vers le haut qui équilibre la résistance de traînée de la particule et détermine une certaine vitesse ascensionnelle relative de l'ordre de 3 à 6 m/h.

En traitement d'eau, la technique de flottation par l'air et plus couramment employée, utilise la formation de microbulles par pressurisation, c'est à dire par détente d'une solution enrichie en air dissous sous une pression de 3 à 6 bars.

Cette solution est constituée, soit par une partie ou la totalité de l'eau brute à traiter, soit par un recyclage de 10 à 30% de l'eau traitée.

Ceci permet en moyenne la dissolution d'un excès d'air environ 50% par rapport à la saturation à la pression atmosphérique, la consommation d'air comprimé étant de l'ordre de 15 à 45 normal litres d'air par m³ d'eau à traiter.

La flottation doit être précédée d'une coagulation et d'une floculation préalable permettant de créer un floc de particules suffisamment grosses si les particules en suspension sont trop fines ou colloïdes.

En l'absence de cette coagulation, l'efficacité de la séparation se rapproche de celle des déshuileurs physiques et ne peut concerner les émulsions.

La flottation doit être équipée d'un dispositif d'élimination des boues trop denses pour être flottées, constitué par un fond conique ou par raclage de fond à moins qu'une pré-décantation suffisante ne soit assurée précédemment à la flottation et ne

retienne elle-même ces boues denses.

Un système breveté Dégrément équipe la surface du flottateur d'un ensemble de cheminées formées par un caillebotis, ce qui permet grâce au jeu de certaines forces de capillarité d'accroître de 30 à 100% la concentration des écumes récoltées par rapport à celles extraites des flottateurs classiques.

VI.1.3 CONCLUSION:

L'élimination des huiles, de même que l'élimination des substances radioactives est considérée comme un accident de parcours. Il n'y a donc pas de règle générale.

On doit reconnaître que les procédés de traitement connus répondent aux exigences. C'est pourquoi les installations de traitement dans lesquelles on doit compter sur les accidents dus à l'huile, doivent prévoir les installations correspondantes.

L'examen des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA a montré effectivement que la teneur des huiles est faible et variable, la présence des huiles libres sous forme de nappe n'a pas été constatée.

Ceci nous laisse penser que ces huiles se trouvent sous forme d'émulsions stables au sein de l'eau.

Un traitement physico-chimique pour la déstabilisation des émulsions d'huiles dans l'eau est inévitable, avant toute tentative de séparation.

Soucieux de l'importance de la simplicité des moyens matériels à mettre en oeuvre et la plus grande flexibilité d'exploitation possible, on a jugé qu'il est judicieux d'écarter les techniques de flottation et la décantation (le volume de boues obtenu lors

de la clarification est trop faible pour considérer la décantation).

En fait deux procédés sont efficaces: [20]

- élimination des huiles par floculation:

lors de l'élimination des huiles par floculation, on se sert de la force d'adsorption, en ajoutant à l'eau contenant de l'huile les produits floculants correspondants, comme par exemple le sulfate d'aluminium ou du chlorure de fer.

- élimination des huiles par le charbon actif.

La nécessité d'un traitement physico-chimique (addition de coagulant primaire) nous permet d'atteindre deux buts:

- déstabilisation des émulsions d'huiles dans l'eau.

- formation des floccs capables eux-mêmes d'adsorber une quantité plus ou moins importante d'huiles.

La dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ étant fixée sur la base d'un rendement maximal de clarification, il nous reste à savoir, si une telle dose est capable d'assurer une élimination totale des huiles de l'eau résiduaire traitée du complexe.

Dans le cas contraire, toute quantité résiduaire d'huiles non adsorbées par les floccs formés peut être éliminée complètement par l'ajout de charbon actif en poudre sous forme d'une suspension.

Sachant que la teneur des huiles est variable dans le temps, son élimination par adsorption sur les floccs et le charbon actif en poudre est très avantageuse (flexibilité d'exploitation, possibilité de réinjection des eaux de lavage des filtres dans le bassin d'aération déjà existant au sein de la station d'épuration

des eaux polluées en vue d'apporter une protection éventuelle aux bactéries dans le réacteur biologique à boues activées contre les éléments toxiques, bonne compatibilité entre la floculation et l'adsorption au sein du flocculateur).

La teneur des huiles est variable dans les eaux traitées, mais aussi faible (114 mg/l en moyenne) dont la plus grande partie sera éliminée par les floccs, on s'attend donc à ce que les doses du charbon actif en poudre soient très faibles et donne ainsi un avantage économique certain à un tel type de traitement.

La combinaison des deux types de traitement (floculation et adsorption) permet en plus de simplifier la chaîne du traitement tertiaire, étant donné que la floculation et l'adsorption seront réalisées dans le même réacteur agité (le flocculateur) ce qui offre un avantage économique à ce type de traitement qu'on propose.

L'utilisation de filtres à charbon actif a été écartée, car dans le fonctionnement des installations de traitement, il faut admettre que ces filtres seront huilés, et ne peuvent plus être régénérés. La masse filtrante doit être renouvelée.

Cela veut dire que les installations de traitement de l'eau qui doivent compter avec les eaux brutes contenant des huiles doivent prévoir des filtres de réserve. [20]

La filtration sur lit à sable a été retenue comme étape finale de séparation solide-liquide, au lieu de la décantation ou associée à une filtration en ligne vue la très faible quantité de boues formée après traitement qui a été constatée lors de l'étude consacrée à la réduction de la turbidité des eaux.

Pour recycler les eaux résiduaires traitées par la station

d'épuration des eaux polluées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA , le traitement tertiaire envisagé s'avère ainsi simple offrant de plus une flexibilité d'exploitation certaine.

Le schéma synoptique présenté à la figure VI.2 illustre les différentes étapes du traitement tertiaire préconisé.

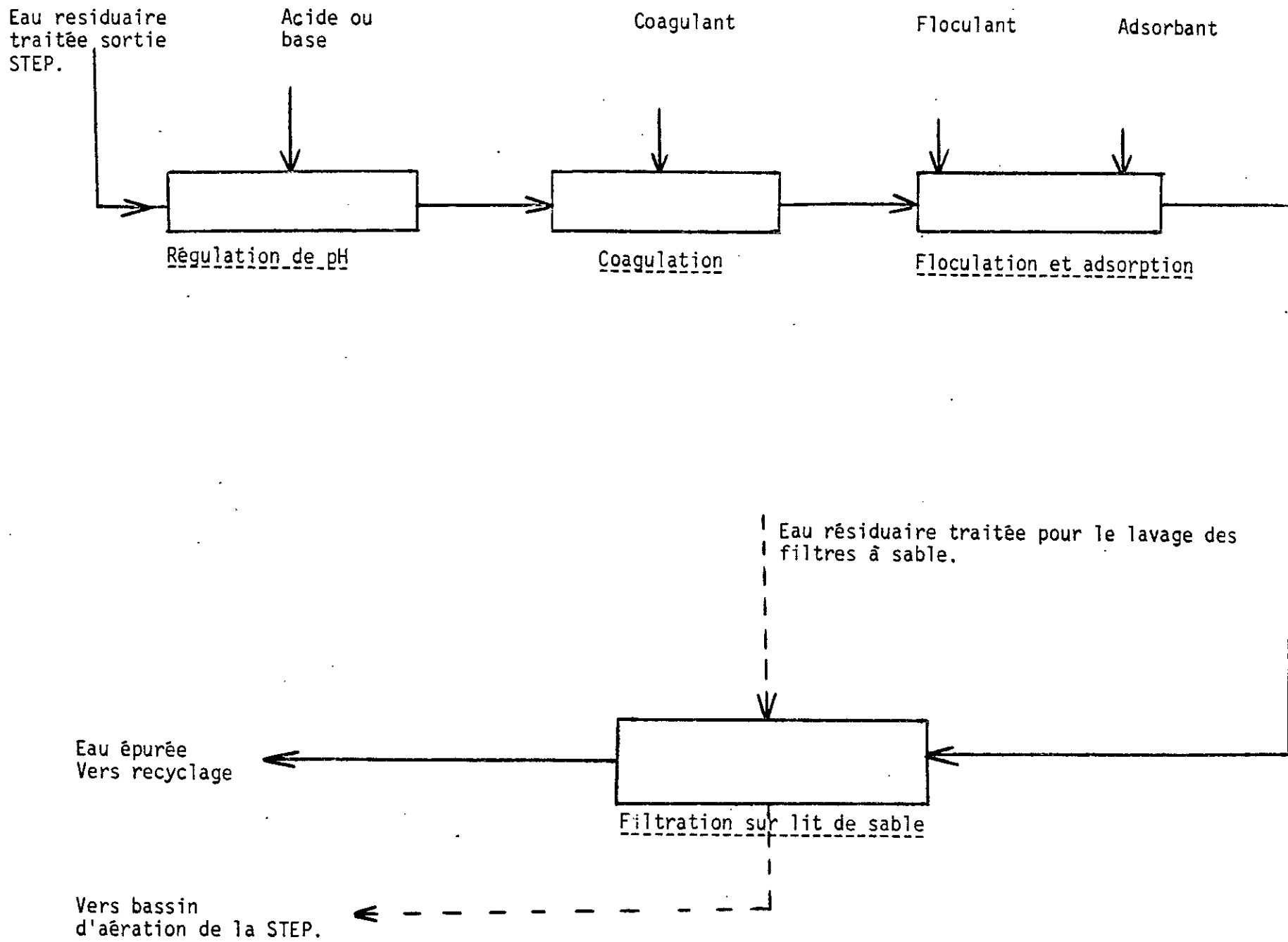


FIGURE VI. 2.

" Schéma Synoptique du traitement tertiaire préconisé".

VI.2 ETUDE EXPERIMENTALE

VI.2.1 INTRODUCTION

Dans cette partie de notre étude expérimentale , on a essayé d'établir les paramètres optimums d'abattement des huiles des eaux résiduaires traitées du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA.

L'étude a été réalisée dans les conditions les plus défavorables en considérant une teneur maximale de 160 mg d'huile par litre d'eau , ce qui correspond à 1,4 fois la quantité moyenne des huiles dans les eaux résiduaires traitées du complexe.

L'abattement des huiles a été réalisé par trois options de traitement:

- Un traitement physico-chimique : où on a essayé d'évaluer le rendement d'abattement des huiles dans les conditions optimales de clarification déjà établies.
- Un traitement physique : où on a essayé d'évaluer le rendement d'abattement des huiles contenues dans l'eau distillée par adsorption sur le charbon actif en poudre seulement.
- Un traitement physico-chimique combiné à un traitement physique: où on a essayé d'évaluer le rendement d'abattement des huiles dans les conditions optimales de clarification déjà établie , cette option nous a permis d'une part de vérifier la compatibilité des deux types de traitement (physico-chimique et physique) , d'autre part de minimiser la consommation de charbon actif , d'améliorer le degré de clarification et d'exploiter au maximum le flocculateur en réalisant l'adsorption et la floculation dans le flocculateur en même temps.

Le degré de clarification et le rendement d'abattement des huiles obtenus à l'aide de la troisième option sont très encourageants, du fait qu'une élimination pratiquement totale des huiles était obtenue et une turbidité résiduelle comparable à celle de notre échantillon de référence (eau bidistillée).

VI.2.2 TECHNIQUES EXPERIMENTALES D'ANALYSES

VI.2.2.A PRODUITS UTILISES:

Ils figurent dans le tableau donné ci-dessous

Produits chimiques utilisés

Produits	Observations
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	produit MERCK à 99% de pureté, utilisé comme coagulant primaire.
PR 2540	floculant synthétique PRAESTOL moyennement anionique; fabriqué par STOCKHAUSEN (RFA) utilisé comme adjuvant de clarification.
HUILE 20W50 HUILE FODDA 155 HUILE 90 HUILE FODDA 100-1 HUILE CHIFA SAE 40 HUILE TISKA 55	huiles machines produites localement.
HUILE SAFIA	huile de table
CHARBON ACTIF EN POUDRE	produit MERCK matières hydrosolubles max 0,5% matières solubles dans l'éthanol max 0,2% matières solubles dans HCL max 1% chlorures (Cl ⁻) max 0,01% sulfates (SO ₄) ²⁻ max 0,01% métaux lourds (en pb) max 0,003% zinc (ZN) max 0,001% Fer (Fe) max 0,03% Adsorption d'iode (0,05molI ₂ /L) min 70ml/g Adsorption de l'azure de méthylène (solution de 0,15%) min 12ml/0,1g Résidu de calcination (600°C) max 1% Perte à la dissiccation (120°C) max 10% pH (5% eau) 4 - 7 d. moyen 0,13 mm

VI.2.2.B: APPAREILLAGE UTILISE :

La mesure du pouvoir d'adsorption des floccs et du charbon actif a été réalisée dans le même banc de jar test afin de garder les mêmes conditions de traitement lors de la floculation, (la floculation et l'adsorption des huiles s'effectuent dans le même becher).

L'extraction des huiles par le tetrachlorure de carbone a été réalisée dans les boules à décanter.

La mesure de la densité optique (paramètre de contrôle de la teneur des huiles dans l'eau) a été réalisée par un spectrophotomètre à double faisceau type varian 634 S.

VI.2.2.C: ANALYSE DU MELANGE D'HUILES PAR ABSORPTION DANS LE DOMAINE

INFRAROUGE :

Devant la complexité d'une telle identification, on a procédé en premier lieu à rescencer les différents types d'huiles machines utilisées dans le complexe en plus de l'huile de table safia qu'on suppose retrouver parmi les effluents du circuit des eaux dites faiblement polluées.

Cet inventaire nous a permis d'arrêter la liste suivante:

- huile safia
- huile fodda 100-1
- huile 20 W 50
- huile chiffa SAE 40
- huile fodda 155
- huile 90

Les huiles détectées dans les eaux résiduaires traitées par la station d'épuration des eaux polluées sont supposées provenir de deux sources :

- * vidange des huiles machines ou des eaux de lavage des machines.
- * les effluents de la cuisine du complexe.

Nous avons utilisé un spectrophotomètre à double faisceau (INFRAROT SPECTRALPHOTOMETER IMR 16 CARL ZEISS, WEST GERMANY).

les différents spectres obtenus sont donnés dans les figures VI.4 à VI.10.

la comparaison des différents spectres nous a permis de dégager les points suivants:

- Les spectres IR des huiles pures sont identiques, ce qui est dû probablement au fait que ces différentes huiles sont préparées à partir des mêmes huiles de base et diffèrent seulement par leurs taux de mélange pour produire une huile finie.

On ne détecte dans ces spectres IR que des bandes d'absorption intenses dans les régions d'allongement et de déformation des liaisons C--H .

Le spectre IR de l'huile de table safia est différent de ceux des huiles machines et montre en plus une bande d'absorption intense dans la région $1650 - 1750 \text{ cm}^{-1}$ due probablement à la présence de la fonction carbonyle.

- Le spectre IR des huiles extraites des eaux résiduaires traitées par CCl_4 apparaît différent de celui des huiles machines où nous constatons des légers déplacements des bandes d'absorption dans les régions d'allongement et de déformation des liaisons C--H .

La fréquence de vibration due à l'allongement des liaisons C--H est observée au delà de 3000 cm^{-1} et laisse supposer la présence de composés aromatiques.

La bande d'absorption due à la fonction carbonyle observée dans le spectre IR de l'huile safia est absente ici.

A la lumière de ces résultats , il apparait que la source de pollution des eaux par les huiles ne peut être établie à ce stade , néanmoins nous pouvons écarter la présence d'huile safia dans les eaux résiduaires traitées.

VI.2.2.D: EVALUATION QUANTITATIVE DES HUILES PAR VOIE TURBIDIMETRIQUE:

Elle comporte des mesures optiques soit directes sur l'eau huileuse d'une mise en oeuvre difficile soit indirectes sur une émulsion des huiles dans un solvant.

Cette dernière méthode nécessite cependant une bonne séparation de l'eau du mélange solvant _ huile. [18] , [21]

La méthode turbidimétrique a été utilisée au lieu de la méthode gravimétrique vue la courte durée d'analyse et sa reproductibilité. La technique de mesure consiste à extraire de l'eau les huiles qu'elle contient par un solvant adéquat (CCl_4).

Après séparation des phases, on mesure la densité optique d'un échantillon de la phase organique, afin de quantifier la quantité des huiles contenues dans l'eau.

Durant nos travaux expérimentaux, on a été amené à reconstituer certains échantillons d'eau contenant un mélange équimassique d'huiles machines pures, ce qui laisse supposer des rejets à fréquence égale pour les différentes huiles utilisées au sein du complexe.

L'échantillon reconstitué a été utilisé comme modèle pour l'étude d'élimination des huiles des eaux résiduaires traitées, ceci s'est avéré possible pour les raisons suivantes:

- 25 mg de charbon actif en poudre par litre d'eau permet de réaliser l'élimination de 35% d'huiles contenues dans les eaux résiduaires traitées.

L'élimination totale des huiles est assurée par les floccs obtenus lors de la clarification des eaux. [tableau VI.2 et VI.5]

25 mg de charbon actif en poudre par litre d'eau permet de réaliser l'élimination de 35% d'huiles contenues dans l'eau bidistillée. [tableau VI.4]

Nous constatons donc que le mélange équimassique d'huiles pures présente un taux d'adsorption égale à celui des huiles réellement contenues dans les eaux résiduaires traitées.

- La longueur d'onde d'absorption maximale du mélange équimassique d'huiles pures ($\lambda_{max} = 284 \text{ nm}$) est identique à celle des huiles extraites de l'eau résiduaire traitée. [tableau VI.2 et VI.3]

Afin de quantifier la teneur des huiles dans les eaux étudiées, nous avons procédé à l'établissement d'une courbe d'étalonnage.

- COURBE D'ETALONNAGE :

On a préparé une série d'échantillons à teneur variable d'huiles dans 100 ml de CCl_4 pur à partir d'un mélange équimassique d'huiles pures préalablement préparé.

La mesure de la densité optique de chaque échantillon permet de relier la quantité des huiles à la densité optique mesurée.

Les résultats expérimentaux sont notés dans le tableau VI.1.

La courbe établie est représentée par la figure VI.3.

COURBE D'ETALONNAGE

DENSITE OPTIQUE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DES HUILES

Melange equimassique des huiles pures solubilisées dans ccl4

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| - huile 20 W 50 | - huile fodda 155 |
| - huile fodda 100-1 | - huile chiffa SAE 40 |
| - huile tiska 55 | - huile 90 |

TABLEAU (VI.1)

Concentration des huiles (mg / 100 ml de ccl4)	DO	λ_{max} (nm)
2.4	0.008	284
3.6	0.010	284
4.6	0.013	284
5.6	0.015	284
8.3	0.023	284
10.0	0.029	284
14.6	0.042	284
16.1	0.051	284
17.5	0.054	284
20.6	0.062	284
33.3	0.092	284
41.5	0.116	284

FIGURE (VI . 3)

COURBE D'ETALONNAGE

DENSITE OPTIQUE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DES HUILES

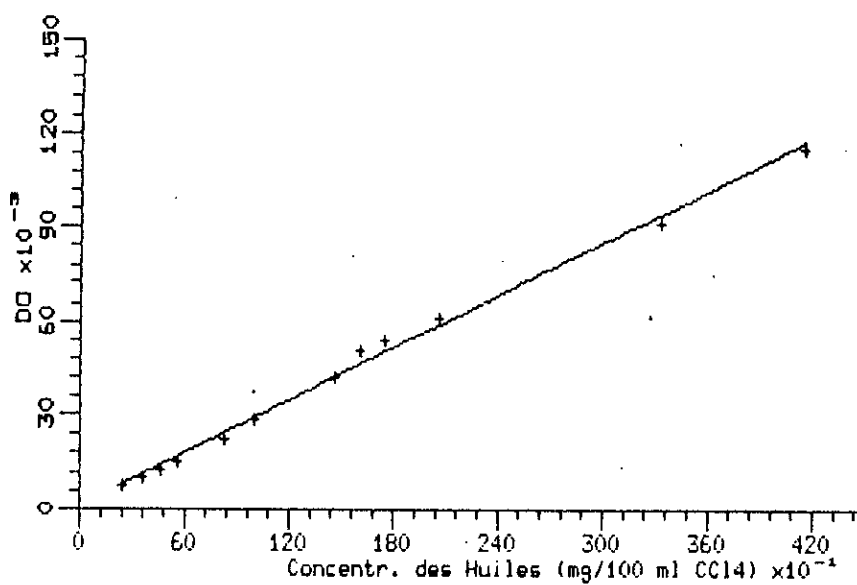
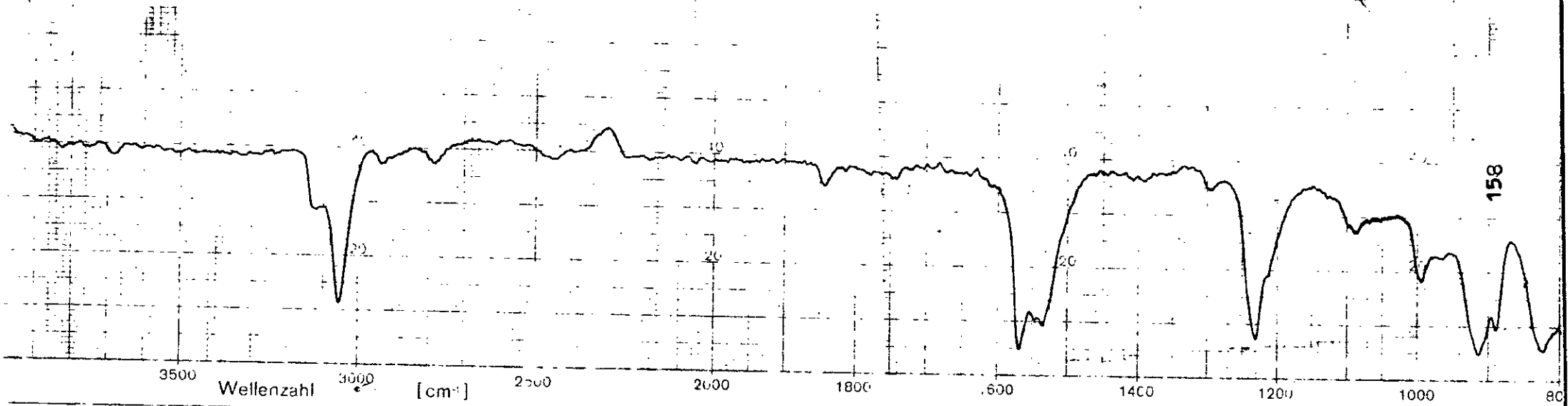
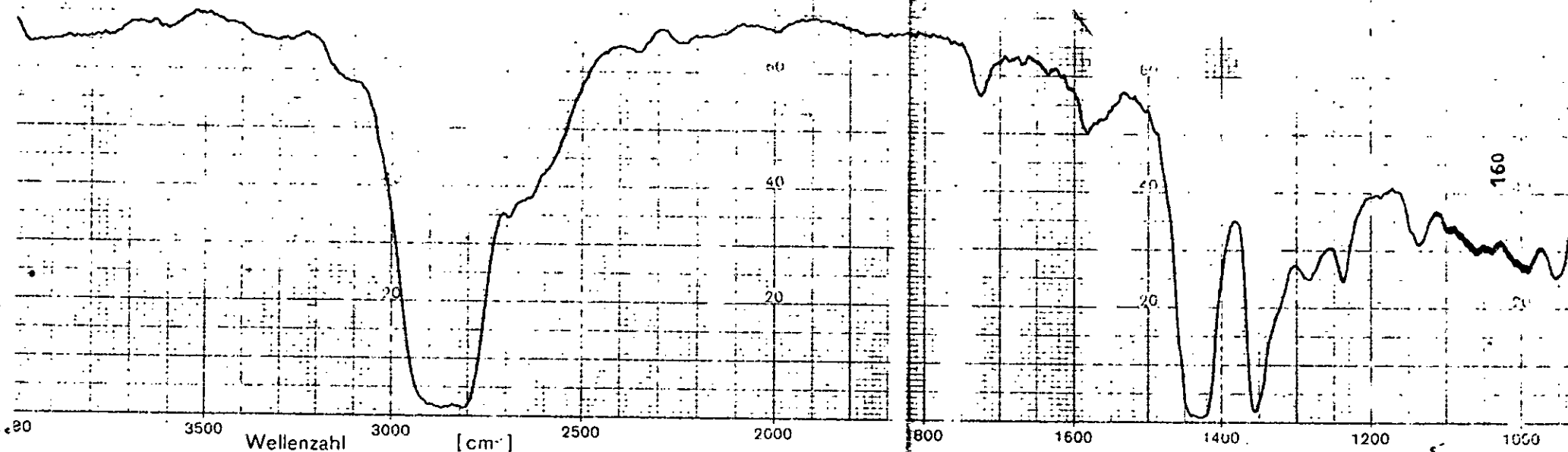


FIGURE (VI . 4)



Probe: Mélange des huiles extrait par CCl_4 de l'eau résiduaire traitée.	Phase: Lösung/Einbettung in: Konzentration Menge: Schichtdicke: Vergleichsprobe:	Bemerkungen:	Registrierprogramm: 1	Spektrum Nr.: Datum: Name:
--	--	--------------	---------------------------------	----------------------------------

FIGURE (VI . 6)



Probe: Huile FODDA 155 dans ccl

Phase: liquide
Lösung/Einbettung in: _____
Konzentration/Menge: _____
Schichtdicke: _____
Vergleichsprobe: _____

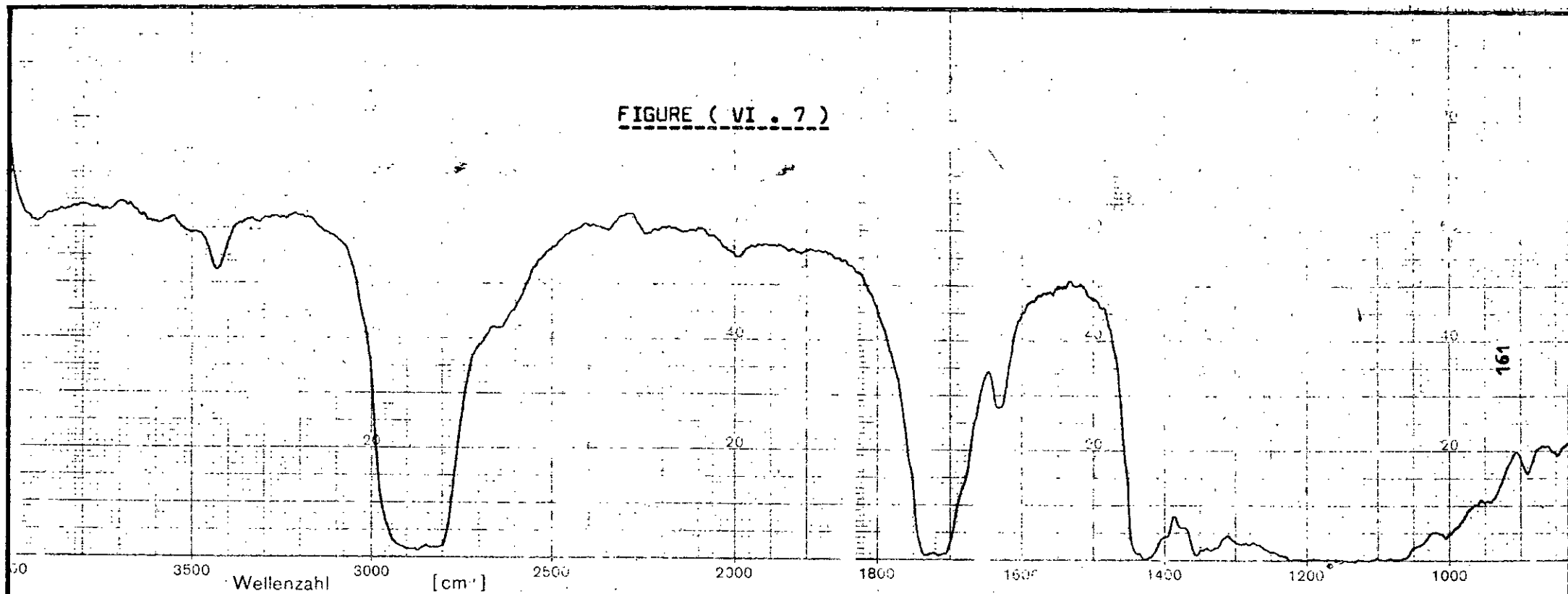
Bemerkungen: _____

Registrierprogramm

3

Spektr
Datum:
Name:

FIGURE (VI . 7)




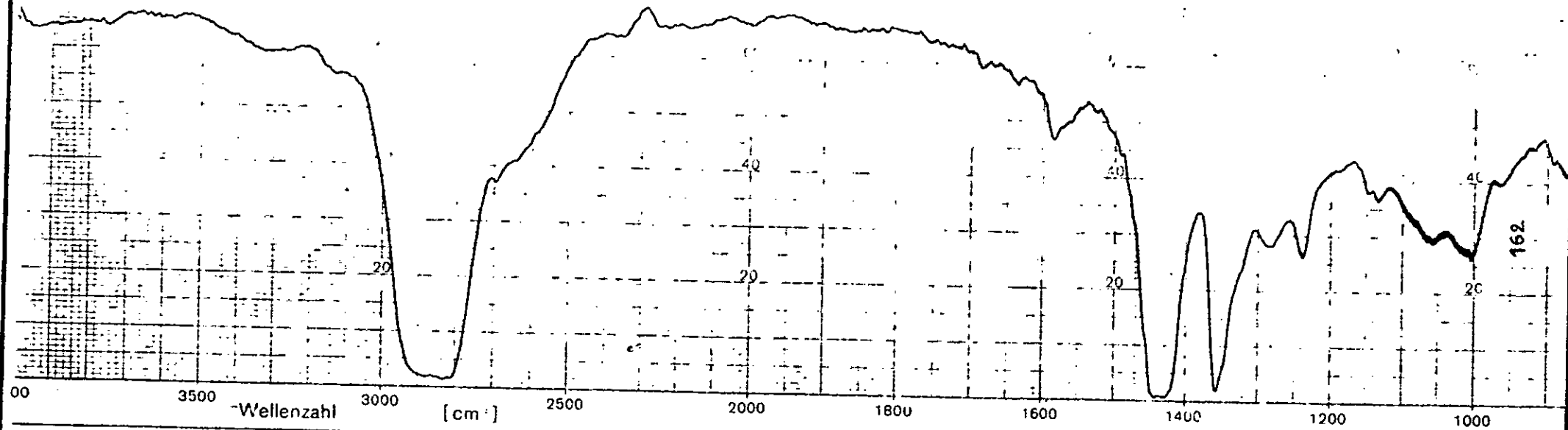
Probe: <u>Huile de table SAFIA dans ccl₄</u>	Phase: _____ Lösung/Einbettung in: _____ Konzentration/Menge: _____ Schichtdicke: _____ Vergleichsprobe: _____	Bemerkungen: _____ _____ _____	Registrierprogramm 	Spektrum Nr.: _____ Datum: _____ Name: _____
---	--	--------------------------------------	---	--

FIGURE (VI . 9)



Prober: <u>SAE 40</u> Huile CHIFA SAE 40 dans ccl ₄	Phase: <u>SAE 40</u> Lösung/Einbettung in: _____ Konzentration/Menge: _____ Schichtdicke: _____ Vergleichsprobe: _____	Bemerkungen: _____ _____ _____	Registrierprogramm 6	Spektrum Nr: _____ Datum: _____ Name: _____
---	--	--------------------------------------	-------------------------	---

VI.3 RESULTATS EXPERIMENTAUX

VI.3.1 ELIMINATION DES HUILES DE L'EAU RESIDUAIRE TRAITEE PAR VOIE PHYSICO-CIMIQUE

Lors de ces tests on essaye de déterminer le rendement d'abattement des huiles contenues dans les ^{eaux}residuairees traitées en se servant de la force d'adsorption des floccs obtenus durant la floculation.

Afin de rendre les échantillons représentatifs , la concentration des huiles dans l'eau a été ramenée à 160 mg/l c'est à dire 1,4 fois la concentration moyenne des huiles dans les échantillons réels [8].

L'élimination des huiles est réalisée lors de l'étape de floculation dans la chaine de traitement préconisée , ainsi les mêmes paramètres de floculation-coagulation ont été utilisés et qui sont donnés ci-dessous:

- dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O = 200 \text{ mg/l}$
- dose du flocculant PR 2540 = 0,2 mg/l
- temps de coagulation = 3 minutes
- temps de floculation = 20 minutes
- vitesse d'agitation durant la coagulation = 280 t/min
- vitesse d'agitation durant la floculation = 30 t/min
- temps de décantation = 4 heures
- volume de l'échantillon traité = 500 ml.
- pH de l'eau traitée après correction = 8,0
- prélèvement de l'échantillon (100 ml) à la surface de l'eau traitée dans le becher après traitement.

On a porté la concentration initiale des huiles à 160 mg/l par

des ajouts à partir du mélange d'huile équimassique déjà préparé. la clarification de l'eau étant réalisée par coagulation-floculation, on a essayé ensuite de déterminer la quantité d'huile résiduelle non adsorbée par les floccs obtenus lors de la floculation, à travers la mesure de la densité optique résiduelle après avoir réaliser une double extraction de 100 ml d'eau clarifiée par 100 ml de CCL₄.

Les résultats expérimentaux sont notés dans le tableau VI.2, d'où ressort un rendement moyen d'abattement des huiles par les floccs de l'ordre de 63,8%.

ABATTEMENT DES HUILES PAR LES FLOCS

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 8.3
- * Concentration Initiale des Huiles = 160 mg/l

Tableau (VI - 2)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
DOR	0.016	0.016	0.017	0.016	0.016	0.017	0.016	0.016
λ_{max}	284	284	284	284	284	284	284	284
CHR mg/l	57.1	57.1	60.7	57.1	57.1	60.7	57.1	57.1
E (%)	64.3	64.3	62.1	64.3	64.3	62.1	64.3	64.3

* LEGENDE :

- DOR : Densité Optique Résiduelle
- E (%) : Pourcentage d'Abattement des Huiles
- N° : Numéro de l'Echantillon
- CHR : Concentration Résiduelle des Huiles
- λ_{max} : Longueur d'Onde d'Absorption Maximale

POURCENTAGE D'ABATTEMENT MOYEN = 63.8 %

VI.3.2 ELIMINATION DES HUILES DE L'EAU RESIDUAIRE TRAITEE PAR VOIE PHYSIQUE (ADSORPTION)

* Abatement des huiles par le charbon actif:

On a essayé de déterminer le pourcentage d'abattement des huiles par adsorption physique sur le charbon actif en poudre dans le flocculateur et dans les mêmes conditions d'exploitation durant la clarification déjà citée.

L'étude a été réalisée sur des échantillons reconstitués, composés d'eau bidistillée à concentration maximale d'huile (160 mg/l), afin de pouvoir déterminer la dose adéquate de charbon actif pour atteindre un abattement total des huiles de l'eau résiduaire.

Cette dose est donc déterminée en l'absence de toute adsorption possible des huiles par les floccs.

Les résultats expérimentaux sont notés dans le tableau VI.3.

La courbe établie est représentée par la figure VI.11

*Etude de compatibilité sur l'abattement des huiles dans le flocculateur:

On a essayé d'étudier la compatibilité entre l'adsorption et la floculation envers l'abattement des huiles dans le flocculateur.

Cette étude a été réalisée sur des échantillons d'eau réelle pour pouvoir vérifier la possibilité de réaliser les deux opérations de traitement (floculation et adsorption) dans le même appareil (le flocculateur), avant de procéder à la filtration des eaux traitées.

Pour s'assurer de cette compatibilité, on juge que deux paramètres doivent être pris en considération:

- le temps d'adsorption:

Le murcissement optimum des floccs dans le flocculateur nécessite une durée optimale (20 minutes) et une intensité d'agitation aussi optimale (30 t/min).

Il est donc important d'assurer un abattement maximal des huiles par le charbon actif dans une durée inferieure ou égale à la limite à 20 minutes avec une dose de 25 mg/l de charbon actif pour un abattement total des huiles.

Dans le cas contraire, un surdosage en charbon actif ou un prolongement de la durée de flocculation s'impose (mode d'exploitation indésirable).

Les résultats expérimentaux représentant l'évolution du rendement d'abattement des huiles en fonction du temps d'adsorption en absence de floccs sont notés dans le tableau VI.4.

La courbe établie est représentée par la figure VI.12.

* Effet de présence des floccs sur le pourcentage d'abattement des huiles par le charbon actif

Il a été montré que les flocs obtenus dans le flocculateur lors de la reduction de la turbidité des eaux résiduaires traitées, possède un pouvoir d'adsorption moyen des huiles de l'ordre de 64% (évalué sur la base d'une pollution maximale de 160 mg/l).

L'injection de 25 mg/l de charbon actif à l'eau résiduaire traitée contenant 160 mg d'huile par litre, assure un rendement d'abattement d'environ 36% (tableau VI.4) et donc permet en principe en présence des floccs de completer l'abattement des huiles à des concentrations nulles ou non detectables.

Ceci reste valable à condition qu'il y est une bonne compatibilité ou une contribution individuelle de la part de

l'adsorbant et les floes.

Afin de vérifier l'effet de présence du charbon actif avec les floes sur le rendement de clarification et l'effet de présence des floes avec le charbon actif sur le pourcentage d'abattement des huiles, on a réalisé l'expérience dans le banc du jar test dont les résultats sont notés dans le tableau VI.5.

La courbe établie est représentée par la figure VI.13.

ABATTEMENT DES HUILES PAR LE CARBON ACTIF

* Caractéristiques de l'Eau :

* Eau Bidistillée

* Concentration Initiale des Huiles = 160 mg/l

Tableau (VI - 3)

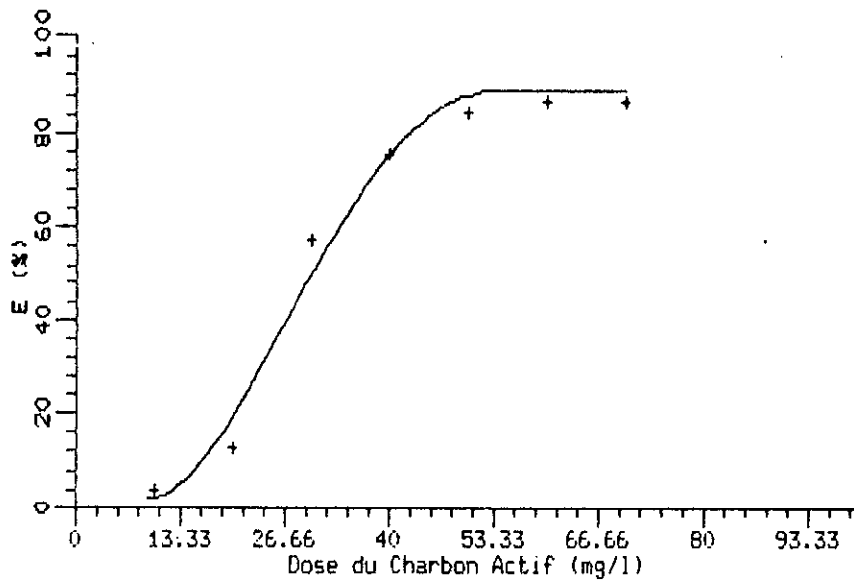
DCA (mg/l)	10	20	30	40	50	60	70
CHR (mg/l)	153.6	139.3	67.8	39.3	25.0	21.4	21.4
DOR	0.043	0.039	0.019	0.011	0.007	0.006	0.006
λ_{max} (nm)	284	284	284	284	284	284	284
CHA (mg/l)	6.4	20.7	92.2	120.7	135.0	138.6	138.6
E (%)	4.0	12.9	57.6	75.4	84.4	86.6	86.6

* LEGENDE :

DCA : Dose du Charbon Actif
 DOR : Densité Optique Résiduelle
 CHA : Concentration des Huiles Adsorbées
 E (%) : Pourcentage d'Abattement des Huiles
 CHR : Concentration Résiduelle des Huiles
 λ_{max} : Longueur d'Onde d'Absorption Maximale

FIGURE (VI . 11)

ABATTEMENT DES HUILES PAR LE CHARBON ACTIF



EFFET DU TEMPS D'ADSORPTION SUR LE POURCENTAGE D'ABATTEMENT DES HUILES

* Caractéristiques de l'Eau :

* Eau Bidistillée

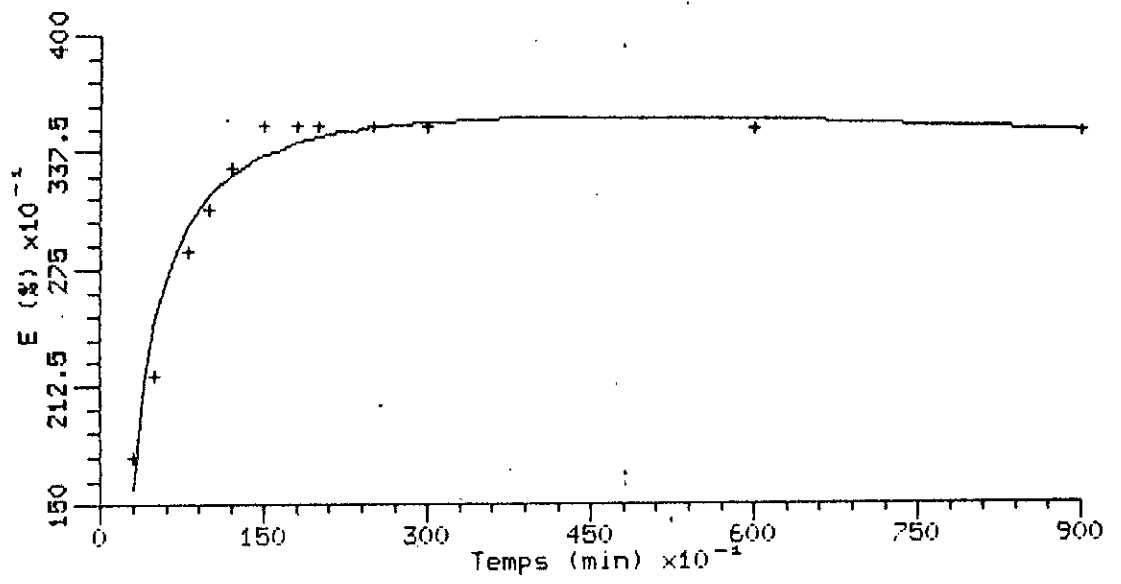
* Concentration Initiale des Huiles = 160 mg/l

Tableau (VI - 4)

Temps (min)	DOR	λ_{max} (nm)	CHR (mg/l)	CHA (mg/l)	E (%)
3	0.037	284	132.1	27.9	17.5
5	0.035	284	125.0	35.0	21.9
8	0.032	284	114.3	45.7	28.6
10	0.031	284	110.7	49.3	30.8
12	0.030	284	107.1	52.9	33.1
15	0.029	284	103.6	56.4	35.3
18	0.029	284	103.6	56.4	35.3
20	0.029	284	103.6	56.4	35.3
25	0.029	284	103.6	56.4	35.3
30	0.029	284	103.6	56.4	35.3
60	0.029	284	103.6	56.4	35.3
90	0.029	284	103.6	56.4	35.3

FIGURE (VI . 12)

EFFET DU TEMPS D'ADSORPTION SUR LE POURCENTAGE D'ABATTEMENT DES HUILES



ETUDE DE COMPATIBILITE ENTRE L'ADSORPTION ET LA FLOCCULATION

* Caractéristiques de l'Eau :

- * PH Initial = 7.6
- * Densité Optique Initiale = 0.106
- * Longueur d'Onde d'Absorption Maximale = 275 nm
- * Concentration Initiale des Huiles = 160 mg/l

Tableau (VI - 5)

N°	DOR 1	DOR 2	$\lambda_{\max 1}$ (nm)	$\lambda_{\max 2}$ (nm)	CHR (mg/l)	E 1 (%)	E 2 (%)
1	0.003	0.000	275	284	0.0	100.0	97.2
2	0.002	0.000	275	284	0.0	100.0	98.1
3	0.002	0.001	275	284	3.6	97.8	98.1
4	0.003	0.000	275	284	0.0	100.0	97.2
5	0.002	0.001	275	284	3.6	97.8	98.1
6	0.003	0.000	275	284	0.0	100.0	97.2
7	0.003	0.001	275	284	3.6	97.8	97.2
8	0.003	0.001	275	284	3.6	97.8	97.2

* LEGENDE :

- * N° : Numéro de l'Echantillon
- * DOR 1 : Densité Optique Résiduelle de l'Eau
- * DOR 2 : Densité Optique Résiduelle de CCl4 Contenant les Huiles
- * $\lambda_{\max 1}$: Longueur d'Onde d'Absorption Maximale de l'Eau
- * $\lambda_{\max 2}$: Longueur d'Onde d'Absorption Maximale de CCl4 - Huiles
- * E 1 (%) : Pourcentage d'Abattement des Huiles
- * E 2 (%) : Pourcentage de Réduction de la Turbidité

 * Pourcentage Moyen d'Abattement des Huiles = 98.9% *
 * Pourcentage Moyen de Réduction de la Turbidité = 97.5% *

VI.3.3: DISCUSSION DES RESULTATS ET CONCLUSION:

A la lumiere de ces resultats nous pouvons conclure que:

- La coagulation - floculation sont non seulement nécessaires pour augmenter le degré de clarification des eaux résiduaires , mais permettent aussi un très bon deshuilage grâce au pouvoir d'adsorption des floccs obtenus lors de la floculation évaluée a 64% sur la base d'une pollution maximale (160 mg d'huiles par litre d'eau).
- La pollution des eaux résiduaires traitées par les huiles est variable dans le temps , dans le cas le plus défavorable , cette teneur peut atteindre 160 mg / l .

Devant une telle teneur, la capacité d'adsorption des floccs ne suffit plus à l'abattre totalement , pour compléter l'abattement des huiles à 100% .

L'injection de 25 mg de charbon actif en poudre par litre d'eau residuaire traitée dans le flocculateur permet d'atteindre ce but .

- Le temps d'adsorption nécessaire au charbon actif pour un abattement maximal des huiles est compatible avec le temps optimum de floculation .

temps d'adsorption = 12 a 15 minutes.

temps de floculation = 20 minutes .

- L'exploitation des pouvoirs d'adsorption des floccs et celui du charbon actif en poudre confirment cette compatibilité , si on sait que la contribution individuelle a été confirmée par les résultats obtenus :

masse initiale des huiles =160 mg/l.

masse des huiles éliminées par les floccs =102 mg/l.

masse des huiles éliminées par le charbon actif en poudre =56.4 mg/l.

masse des huiles résiduelles (théorique) =1.6 mg/l.

masse des huiles résiduelles (expérimentale) =1.8 mg/l.

Donc la réalisation de la flocculation et l'adsorption dans le même flocculateur a permis d'atteindre un rendement d'abattement des huiles de l'ordre de 99% .

- L'injection du charbon actif en poudre dans le flocculateur en présence des floccs facilite la flocculation des substances coagulées et apporte une amélioration de 8% environ dans le rendement de clarification .

Cette amélioration peut être expliquée de la même façon que celle apportée par un recyclage partiel des boues formées dans un decanteur à titre d'exemple dans le flocculateur ou celle apportée par une injection étagée du flocculant dans le flocculateur.

En dehors de l'importance du pouvoir d'adsorption du charbon actif en poudre pour l'élimination des huiles , d'autres objectifs secondaires ont été aussi atteints , telle que la décoloration des eaux résiduaires traitées , critère très important quand il s'agit d'industrie textile . .

Nous avons aussi tenté d'utiliser la bentonite Algerienne autant qu'ajuvant de floculation au lieu du charbon actif en poudre pour des considérations économiques. Cette option a été écartée de notre étude , vu l'amplification très rapide de la résistance du filtre à sable (effet de captage superficiel) durant la filtration tel que troisième stade d'épuration .

Enfin nous constatons aussi que toutes les absorbances mesurées dans cette étude sont faibles (résultats aléatoires).

Nous sommes en fait contraints de travailler dans ces conditions du fait que les eaux résiduaires que nous avons étudiées contiennent des quantités très faibles d'huiles .

VII LA FILTRATION DE L'EAU RESIDUAIRE TRAITÉE TEL QUE TROISIÈME STADE D'ÉPURATION

VII.1 ELEMENTS DE THÉORIE:

VII.1.1 INTRODUCTION:

A travers l'élimination des particules en suspension , on améliore non seulement les particularités optiques de l'effluent telles , entre autres , que la turbidité et l'apparence , mais on améliore aussi la demande en oxygène ou , plus particulièrement , on décroît la diminution d'oxygène avec les stations d'épuration pour lesquelles la DBO5 doit être inférieure aux valeurs comprises entre 10 et 15 mg/l , on ne peut s'en sortir sans une étape mécanique continue. [22]

VII.1.2 PRINCIPE DE LA FILTRATION:

La filtration est utilisée pour l'élimination des matières en suspension , en tant que prétraitement dans le cas d'eaux faiblement chargées ou en tant que traitement de finition en aval d'un procédé physico-chimique ou biologique.

On parlera dans ces deux derniers cas d'épuration tertiaire.

Les matières en suspension sont éliminées à la surface du filtre par tamisage et adsorption.

L'adsorption est liée au potentiel Zeta de la particule et du milieu filtrant. Les matières en suspension rencontrées dans les eaux usées sont essentiellement variables tant en ce qui concerne leurs dimensions que leur charge ; certaines d'entre elles échapperont donc au traitement de filtration.

L'efficacité du procédé de filtration est donc essentiellement fonction:

- a- de la concentration et de la nature des matières en suspension
- b- de la nature du matériau filtrant et de tout autre adjuvant de filtration
- c- de la conduite du filtre.

VII.1.3 RESULTATS EXPERIMENTAUX DE FILTRATION ENTREPRIS SUR UNE EAU USEE PRETRAITEE

Les filtres à deux couches ou multicouches sont préférés aux filtres à sable pour le traitement des effluents secondaires ; la nature gélatineuse des matières en suspension conduit en effet à un colmatage rapide du filtre à sable.

Pour obtenir une efficacité maximale du filtre, les matériaux doivent être classés du plus grossier au plus fin, le tout reposant sur un matériau fin à densité élevée.

Les filtres sont généralement prévus pour des cycles de 6 à 12 heures. Des cycles de 20 heures et plus conduisent à une agglomération de la boue au sein du lit. Les filtres en lit épais peuvent être alimentés par gravité ou sous pression. [11]

Comme le montre le tableau VII.1, les filtres à lit double sont plus avantageux que les filtres à lit unique. [22]

Pour plus d'information concernant les conditions classiques d'exploitation des filtres pour le traitement d'effluents urbains secondaires, un certain nombre de résultats d'exploitation sont rassemblés dans le tableau VII.2 [11]

En examinant les résultats du tableau VII.1, on reconnaît l'effet de captage superficiel du filtre à lit unique et à lit

EFFICACITE DES FILTRES A SABLE A LIT

DOUBLE ET A LIT UNIQUE

Tableau (VII - 1)

	Filtre à Lit Unique		Filtre à Double Lit *	
Diamètre Effectif des Grains (mm)	1.55	0.77	1.55 / 0.77	
Vitesse de Filtration (m/h)	10.0	10.0	10.0	
Hauteur du Lit Filtrant (m)	1.00	1.00	0.50 / 0.50	
Concentration Moyenne des substances en Suspension SS / SS **				
A Z				
après : 20 Heures	0.39	0.28	0.30	
40 Heures	0.37	-	0.31	
80 Heures	0.38	-	-	
Résistance du Filtre après un Temps de Filtration t de :				
f				
20 Heures	0.20 (bar)	1.45 (bar)	0.45 (bar)	
40 Heures	0.55 (bar)	-	1.55 (bar)	
80 Heures	1.50 (bar)	-	-	

* : Deux Filtres à Lit Unique en Série

** : SS = 15 à 30 mg/l ; SS = Concentration affluent
 Z Z

SS = Concentration des Charges
 A

Tableau VII. 2
Performances d'installation de filtration

Filtre	Eau à traiter	Granulométrie mm	Profondeur du lit m	Charge hydraulique $m^3/m^2/h$	Rendement (%)		Effluent	
					Mat. en susp..	DBO	Mat. en susp. mg/l	DBO mg/l
Lit profond								
Gravitaire	L.B. Eff.	1,0 - 2,0	-	15	70	55	5-7	-
Gravitaire	L.B. Eff.	0,9 - 1,7	0,5 - 1,5	7,5	67	58	-	2,5
Sous pression (courant ascendant)	L.B. Eff.	0,9 - 1,7	1,5	7,5	85	74	5,0	2,5
Sous pression	B.A. Eff.	0,9 - 1,7	1,5	7,5	77	-	-	-
Sous pression	B.A. Eff.	1,0 - 2,0	1,5	5,4	50	62	7,0	6,4
Sous pression	B.A. Eff.	1,0 - 2,0	1,5	10	67	73	4,9	6,4
Sous pression	B.A. Eff.	1,0 - 2,0	1,5	12	56	65	5,7	7,1
Lit mixte	A.P. Eff.	0,25-2,0	0,75	12	74	88	4,6	2,5
Lit mixte	B.A. Eff.			5	73	74	3,8	6,0
Lit mixte	B.A. Eff.			10	73	85	4,3	3,9
Lit mixte	B.A. Eff.	0,25-2,0	0,75	6				
Filtration en couche mince								
Lit mobile	L.B. Eff. (1)	0,6 - 0,8	1,4	5	47	71	-	-
Lit mobile	L.B. Eff. (2)	0,6 - 0,8	1,4	5	67	80	-	-
Gravitaire	B.A. Eff.	-	-	5,4	55	64	7,2	7,3
Gravitaire	B.A. Eff.	-	-	10	69	70	4,8	7,4
Gravitaire	B.A. Eff.	-	-	20	48	64	6,1	6,7
Gravitaire	B.A. Eff.	0,9 - 1,7	0,6	4 - 10	72 - 91	52 - 70	-	-
Gravitaire	B.A. Eff.	0,95	0,3	5	46	57	-	-
Gravitaire	B.A. Eff.	0,58	-	5 - 15	70	80	-	-
Gravitaire	C.S. Eff.	0,45	0,3	13	62	78	5	4

L.B. : Lit bactérien ; A.P. : Aération prolongée ; B.A. : Boues activées ; C.S. : Contact stabilisation

(1) 100 mg/l Alumine - 0,2 - 0,75 mg/l d'un polymère anionique

(2) 200 mg/l Alumine - 0,2 - 0,75 mg/l d'un polymère anionique

En plus de l'effet de la granulométrie d'un filtre à lit unique ou à double lit, d'autres travaux [11] ont montré l'effet positif de l'addition d'un polymère (polyélectrolyte) sur les performances d'une installation de filtration, telle que l'augmentation du cycle de filtration donc une faible augmentation de perte de charge durant la filtration.

Une autre technique [11] permet de parfaire la qualité de l'effluent, en particulier en cas de surcharge, on peut ajouter à l'eau brute du charbon actif en poudre, et ce, jusqu'à 100mg/l.

Le charbon actif sera utilisé au mieux, si les eaux de lavage du filtre sont renvoyées vers le bassin d'aération.

VII.2 RESULTATS EXPERIMENTAUX

Lors de cette partie expérimentale de notre étude, on a essayé d'étudier les performances de l'étape de filtration comme dernier stade d'épuration.

Notre attention a été portée essentiellement sur le choix de la granulométrie du sable et le type de filtre à utiliser pour étudier la faisabilité et les performances de la filtration de l'eau résiduaire traitée ayant déjà subi les traitements antérieurs (coagulation-floculation-adsorption des huiles).

Pour cela, trois types de filtres ont été testés:

- filtre à lit unique (granulométrie 1 à 1,6 mm)
- filtre à lit unique (granulométrie 0,4 à 1 mm)
- filtre à double lit (granulométrie 1 à 1,6 mm. et 0,4 à 1 mm)

Le contrôle de l'efficacité de l'étape de filtration était basée sur le suivi de la perte de charge et la densité optique

résiduelle ou turbidité de l'eau épurée en fonction du temps.

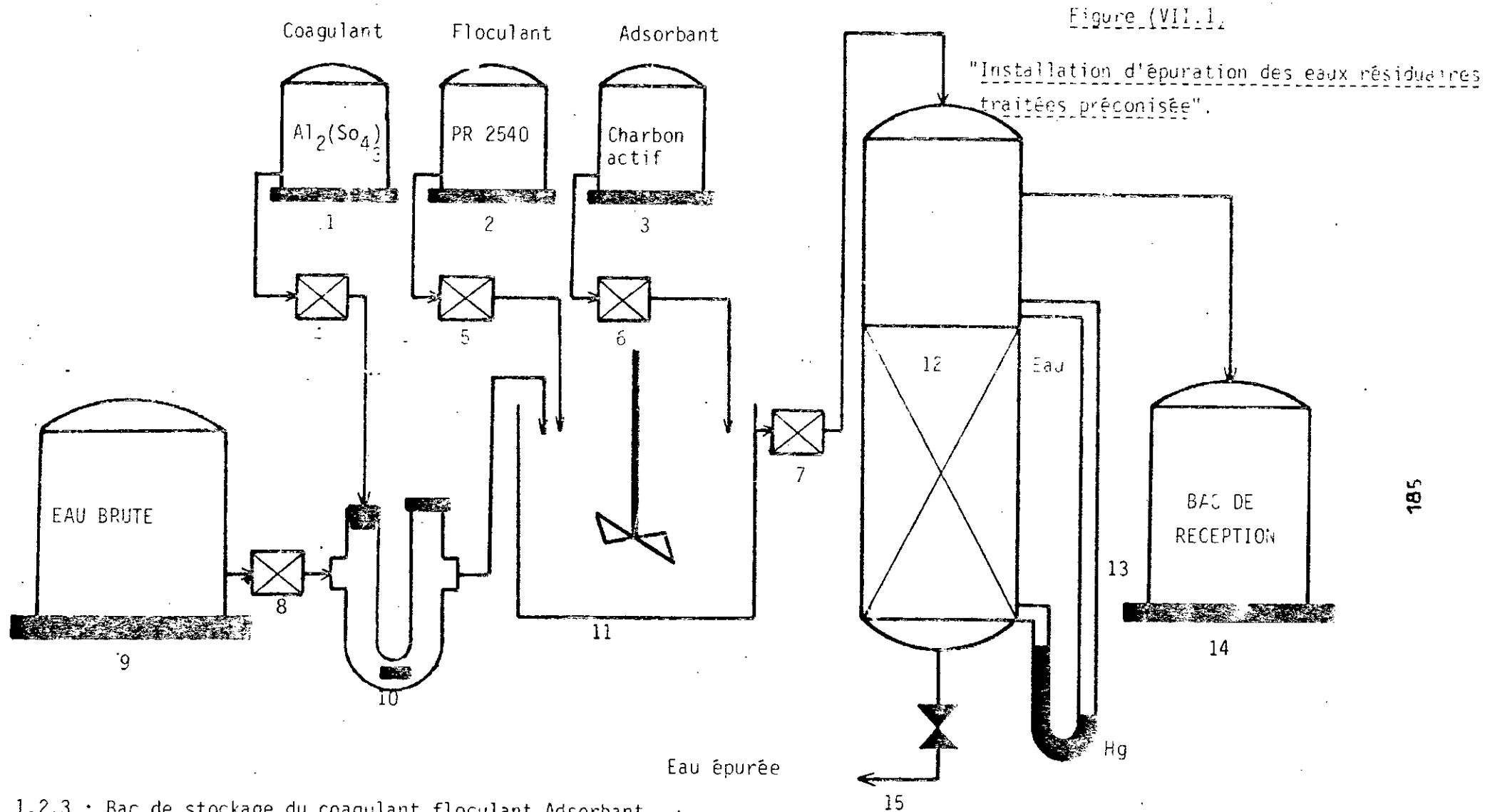
La détermination du degré d'épuration de l'eau résiduaire a été évalué au moment de la crevaison du filtre , ce qui nous a permis d'évaluer le pourcentage de réduction de la turbidité et des huiles pour les différents types de filtres utilisés.

L'installation complète d'épuration des eaux résiduaires traitées (traitement tertiaire préconisé) que nous avons mis au point à l'échelle laboratoire est donnée à la figure VII.1.

Les résultats expérimentaux obtenus sont notés dans les tableaux VII.3 à VII.5.

Les courbes établies correspondantes sont représentées par les figures VII.2 à VII.7.

Un tableau récapitulatif donné en VII.6 , nous permet une comparaison fiable des performances des différents types de filtres utilisés.



1,2,3 : Bac de stockage du coagulant, flocculant, Adsorbant
 4,5,6,7,8 : Pompes doseuses
 9 : Bac de stockage d'eau résiduaire traitée (PH=8)
 10 : Coagulateur

Eau épurée

11 : Flocculateur a vitesse d'agitation réglable
 12 : Filtre a sable a double lit (H sable = 30cm, d filtre = 4,5 cm,
 d1=1 a 1,6 mm , d2 = 0,4 a 1 mm)
 13 : Manometre différentiel
 14 : Bac de reception de l'eau deversée durant la crevaision du filt.
 15 : Eau residuaire epurée vers recyclage.

FILTRE A LIT UNIQUE

GRANULOMETRIE 1-1.6 mm

* Caractéristiques de l'Eau :

* PH Corrigé = 8.0

* Densité Optique Initiale = 0.106

* Concentration Initiale des Huiles = 160 mg/l

Tableau (VII - 3)

Temps (min)	Perte de Charge (mm Hg)	DOR 1	:DOR 2
20	18	0.055	-
40	18	0.018	-
60	19	0.018	-
80	18	0.018	-
100	19	0.018	-
120	19	0.018	-
140	18	0.018	-
160	19	0.018	-
180	18	0.019	-
200	20	0.018	-
220	20	0.018	-
240	20	0.018	-
260	21	0.024	0.000
280	26	0.023	-
300	30	0.040	-
320	34	0.049	-
340	38	0.055	-
360	41	0.064	-
380	45	0.072	-
400	48	0.083	-
420	51	0.094	-

* LEGENDE :

DOR 1 : Densité Optique Résiduelle de l'Eau Clarifiée
DOR 2 : Densité Optique Résiduelle de CCl4 - Huiles

FIGURE (VII . 2)

FILTRE A LIT UNIQUE : GRANULOMETRIE (1 - 1,6 mm)

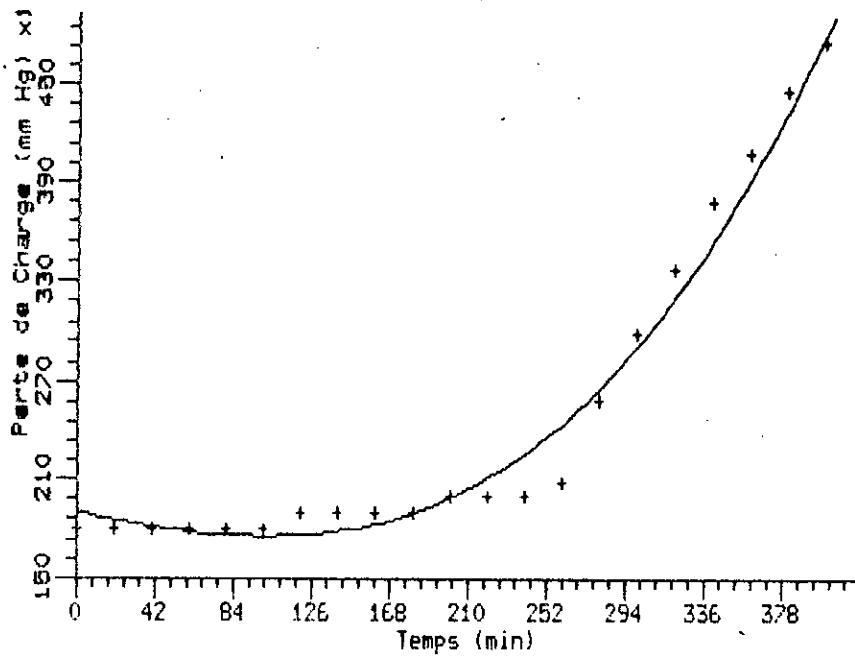
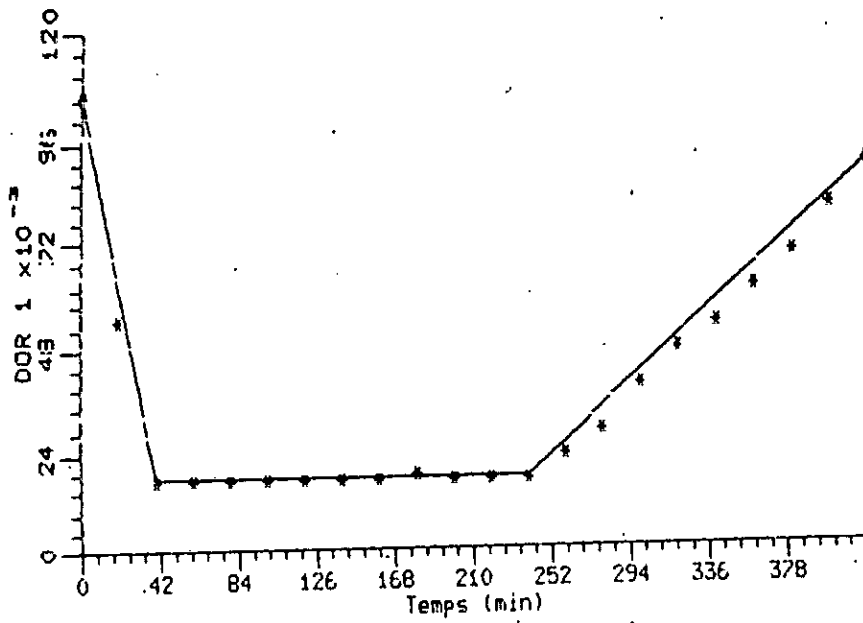


FIGURE (VII . 3)

FILTRE A LIT UNIQUE : GRANULOMETRIE (1 - 1,6 mm)



FILTRE A LIT UNIQUE

GRANULOMETRIE 1-0.4 mm

* Caractéristiques de l'Eau :

* PH Corrigé = 8.0

* Densité Optique Initiale = 0.106

* Concentration Initiale des Huiles = 160 mg/l

Tableau (VII - 4)

Temps (min)	Perte de Charge (mm Hg)	DOR 1	DOR 2
20	20	0.003	-
40	21	0.003	-
60	60	0.003	-
80	22	0.003	-
100	23	0.003	-
120	26	0.003	-
140	28	0.005	0.000
160	31	0.006	-
180	34	0.010	-
200	37	0.012	-
220	41	0.013	-
240	44	0.014	-
260	46	0.025	-
280	49	0.030	-
300	51	0.035	-
320	54	0.040	-
340	56	0.044	-
360	61	0.052	-
380	64	0.056	-
400	67	0.064	-
420	70	0.072	-

FIGURE (VII . 4)

FILTRE A LIT UNIQUE : GRANULOMETRIE (0,4 - 1 mm)

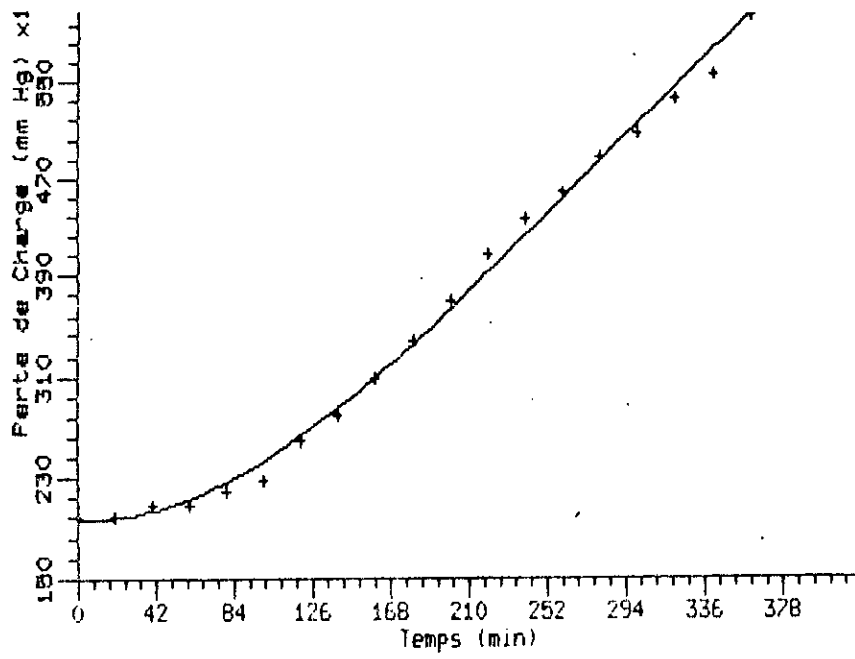
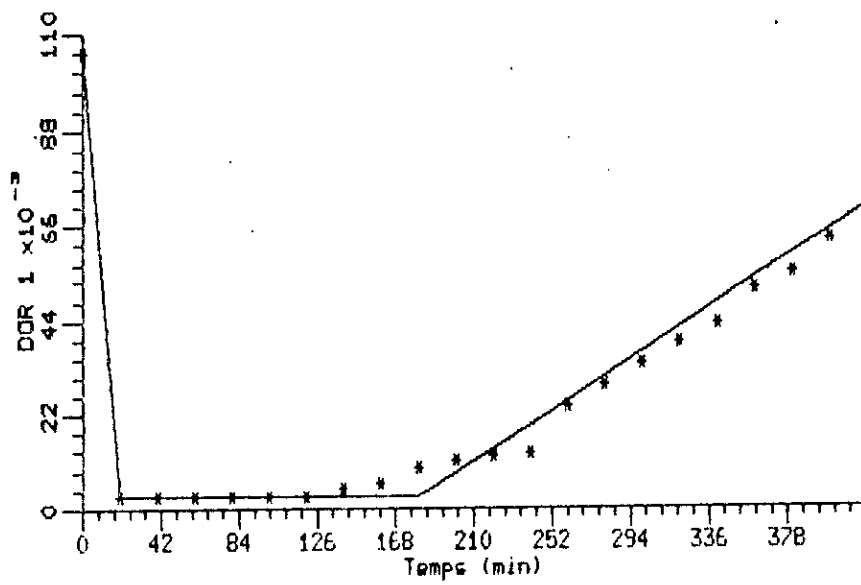


FIGURE (VII . 5)

FILTRE ALIT UNIQUE : GRANULOMETRIE (0,4 - 1 mm)



FILTRE A DOUBLE LIT

 GRANULOMETRIE 1-1.6 mm / 1-0.4 mm

* Caractéristiques de l'Eau :

-
- * PH Corrigé = 8.0
 - * Densité Optique Initiale = 0.106
 - * Concentration Initiale des Huiles = 160 mg/l

Tableau (VII - 5)

Temps (min)	Perte de Charge (mm Hg)	DOR 1	DOR 2
20	19	0.008	-
40	19	0.008	-
60	19	0.008	-
80	18	0.008	-
100	19	0.008	-
120	18	0.008	-
140	19	0.008	-
160	19	0.008	-
180	19	0.008	-
200	24	0.008	-
220	28	0.012	0.000
240	31	0.017	-
260	35	0.023	-
280	38	0.030	-
300	42	0.036	-
320	44	0.042	-
340	47	0.049	-
360	51	0.056	-
380	54	0.063	-
400	57	0.071	-
420	60	0.080	-

FIGURE (VII . 6)

FILTRE A DOUBLE LIT : GRANULOMETRIE (1 - 1,6 mm / 0,4 - 1 mm)

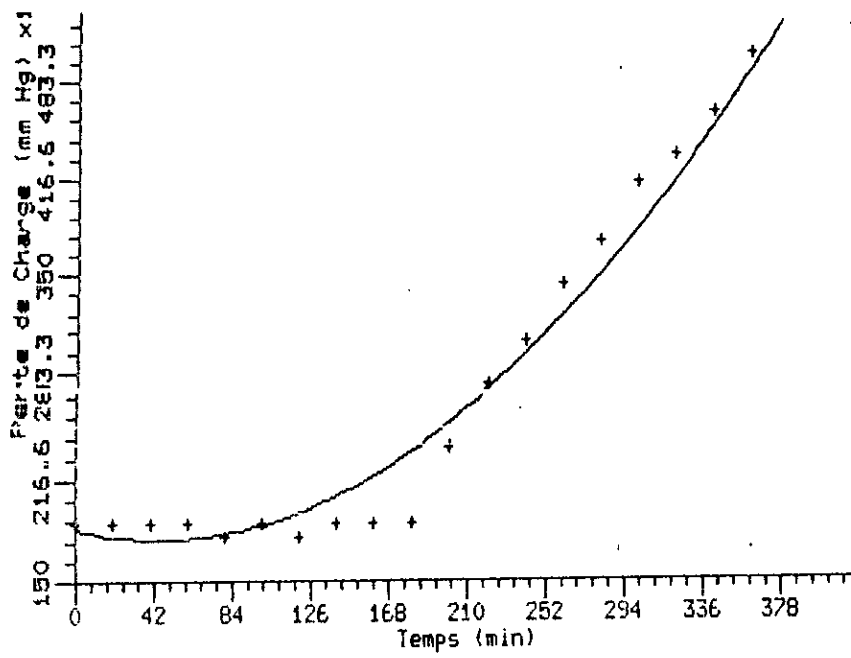


FIGURE (VII . 7)

FILTRE A DOUBLE LIT : GRANULOMETRIE (1 - 1,6 mm / 0,4 - 1 mm)

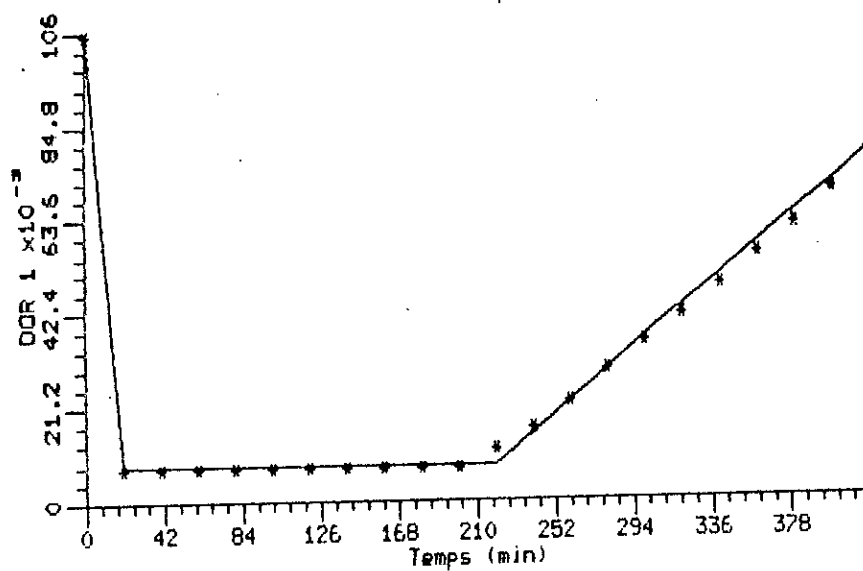


TABLEAU RECAPITULATIF

Tableau (VII - 6)

	Filtre à Lit Unique		Filtre à Double Lit
	1.0 - 1.6	1.0 - 0.4	1.0 - 1.6 / 1.0 - 0.4
Diamètre Effectif des Grains (mm)	1.0 - 1.6	1.0 - 0.4	1.0 - 1.6 / 1.0 - 0.4
Vitesse de Filtra- tion (m/h)	0.68	0.68	0.68
Hauteur du Lit Filtrant (cm)	30	30	15 / 15
Temps de Crevaison du Filtre (min)	260	120	200
Turbidité Résiduelle en Unité Formazine après :			
4 Heures	6.4	5.0	6.1
5 Heures	14.3	12.5	12.9
6 Heures	22.9	18.6	20.0
7 Heures	33.6	25.7	28.6
Résistance du Filtre en mm Hg après :			
4 Heures	20	44	31
5 Heures	30	51	42
6 Heures	41	61	51
7 Heures	51	70	60
Rendement de Réduc- tion de la Turbidité avant la Crevaison du Filtre	83 %	97.2 %	92.5 %
Rendement d'abatte- ment des Huiles avant la Crevaison du Filtre	100 %	100 %	100 %

- * des techniques de traitement trop simples , nécessitant un investissement initial léger.
- * une simplicité poussée dans la conception et le choix des différents stades de traitement tertiaire préconisé
- * possibilité de réalisation industrielle localement sans recours à l'importation des équipements.

Une importance primordiale a été accordée à l'optimisation des consommations de produits chimiques qui en général représentent 70% du coût global de traitement des eaux résiduaires industrielles.

Les eaux résiduaires traitées du complexe présentent deux contraintes majeures pour le recyclage:

- * une turbidité élevée , évaluée à 37,7 unités formazine en moyenne
- * une teneur d'huile machines variable et importante évaluée à 114 mg/l en moyenne.

Le traitement tertiaire que nous avons préconisé , a été testé à l'échelle laboratoire à travers la conception d'une station de traitement tertiaire d'un débit de 0,108 l/h fonctionnant dans des conditions d'exploitation optimales de coagulation , floculation , adsorption et filtration que nous avons déterminées et dont les performances ont été très satisfaisantes:

- * turbidité de l'eau épurée = 2,9 unités formazine
- * élimination totale des huiles

Les caractéristiques de l'eau épurée par le traitement tertiaire que nous avons préconisé , rend cette eau recyclable au sein du complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA.

A la lumière des résultats obtenus au cours de ce travail , nous pensons que la présente étude sera considérée comme une base de travail pour la conception d'une station de traitement d'eau tertiaire pour fermer le circuit de traitement par la station d'épuration des eaux polluées existante et permettre ainsi le recyclage de 400 m³/h d'aux déversées actuellement dans l'Oued Sebaou.

MESURE DE LA TURBIDITE PAR VOIE TURBIDIMETRIQUE :

Réactifs :

- Eau bidistillée
- Suspension mère:
 - * solution a 1% de sulfate d'hydrazine dans l'eau bidistillée filtrée5 ml
 - * solution à 10% d'hexamethylene tétramine dans l'eau bidistillée filtrée5 ml

Laisser reposer 24 heures à 25°C. Compléter a 100 ml avec l'eau bidistillée . Mélanger. Ne se conserve pas plus d'un mois.

- Suspension fille :
 - * suspension mère10 ml
 - * eau bidistilléeqsp 100 ml

Cette suspension correspond à 40 unités formazine et doit être refaite toutes les semaines.

Etablissement de la courbe d'étalonnage:

Numéroter une serie de tubes bouches à l'emeris de 50 ml. Introduire dans chacun d'eux les quantités de reactifs indiquées ci- dessous:

Numero des tubes	I	II	III	IV
Suspension fille (ml)	0	10	20	30
Eau bidistillée (ml)	30	30	10	0
Correspondance en unites	0	10	26,6	40

Parfaire l'homogénéisation. Introduire les quantités nécessaires dans la cuve de mesure. Effectuer les lectures photométriques. Construire la courbe d'étalonnage.

Résultats et courbe d'étalonnage:

Numéro des tubes	I	II	III	IV
Densité optique (DO)	0,000	0,030	0,072	0,111
λ_{\max} (nm)	361	361	361	361

(voir courbe d'étalonnage).

Mode opératoire:

Prélever 30 ml d'eau à examiner, après avoir rendu le prélèvement homogène. Effectuer la lecture 4 minutes après l'introduction de la cuve dans l'appareil. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats:

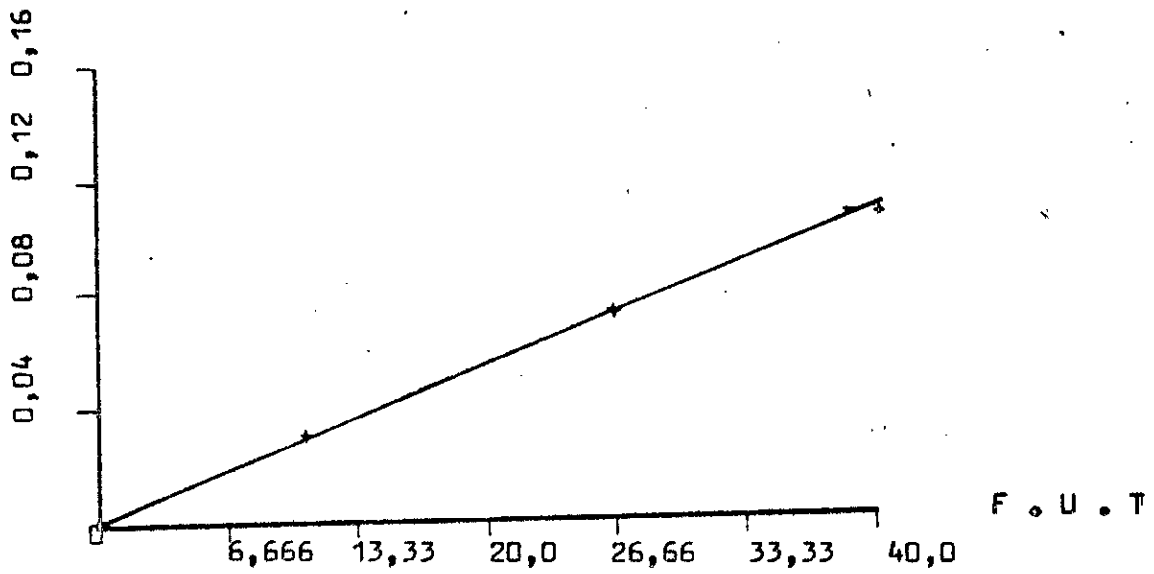
La turbidité s'exprime en unités "formazine".

Remarque:

Si la turbidité dans l'eau examinée est supérieure à 40 unités, effectuer une dilution et en tenir compte dans l'expression des résultats. Cependant il faut se souvenir que l'erreur de mesure s'accroît avec la dilution.

COURBE D'ETALONNAGE

DENSITE OPTIQUE EN FONCTION DE LA TURBIDITE



F . U . T : TURBIDITE EN UNITE FORMAZINE

ANNEXE N 2

NORMES DE REJETS

TABLEAU "A"

Concentration limite du rejet des eaux : Source CADAT

Facteur	Valeur limite maximale
PH	6.5 a 8.5
Temperature	30 C
M . E . S	30 mg / l
D.B.O:5	30 mg / l
D.C.O	90 mg / l
Huiles + graisse	20 mg / l
Fer	1 mg / l
Zinc	5 mg / l

TABLEAU "B"

Directives suisses concernant la qualité des eaux résiduaires à rejeter.[B]

Substance polluante	Valeur limite pour le rejet	
	en emissaire	en réseau d'égouts
PH	6,5 a 8,5	6,5 a 9
Pb	0 mg / l	1 mg / l
Cd	1 mg / l	1 mg / l
Cr (VI)	0,1 mg / l	0,1 mg / l
Cr (III)	2 mg / l	2 mg / l
Fer	1 mg / l	Valeur plus elevee
Cu	1 mg / l	1 mg / l
Zn	2 mg / l	2 mg / l
Hydrocarbures	10 mg / l	20 mg / l

BIBLIOGRAPHIE

1. Document de cotitex , la teinture du coton , Francaise des matieres colorantes S.A , 1969 .
2. M.FUSTEC , Technologie des matieres et industries textiles , edition Eyrolles , 1979 .
3. H.LOUNICI et A.MAZIGHI , quantification de la pollution engendree par le complexe COTITEX de DRAA BEN KHADDA ,ENP, Projet de fin d'etudes,
Alger , Juin 1988 .
4. M.OKAT et Z.KHELIFA , Etude de la decoloration des eaux usees traitees de l'unite textile de DRAA BEN KHADDA ,ENP, Projet de fin d'etudes ,
Alger , Juin 1988 .
5. P.PESSON ,La pollution des eaux continentales -incendies sur les biocinoses aquatiques ,Institut National Agronomique , Collection dirigee par P.PESSON , Formation permanente en ecologie et en biologie , GAUTIER- VILLARS .
6. A.CHERGUI , quantification de la charge polluante des eaux usees
d'ANABIB , ENP , Projet de fin d'etudes , Alger , 1987 .
7. J.RODIER , L'analyse de l'eau : Eaux residuaires , Eaux naturelles ,
Eaux de mer , 6 eme edition , DUNOD Technique , 1978 .

8. Degrement, Memento technique de l'eau, 8eme edition ,1978.
9. C.GOMELLA et H.GUERREE ,Le traitement des eaux publiques industrielles et privees ,2 eme edition EYROLLES ,Paris ,1978.
10. A.GAID,La floculation dans le traitement des eaux potables,seminaire sur les flocculants synthetiques organiques dans le traitement des eaux a l'Institut Algerien du Petrole, Boumerdes , Avril 1986 .
11. W.W.ECKENFELDER , Gestion des eaux usees urbaines et industrielles ,
Technique et documentation , Lavoisier , 1981 .
12. R.THOMAZEAU , Station d'epuration : Eaux potables ,eaux usees ,
Technique et documentation , Lavoisier 1981 .
13. T.M.RIDDICK , Control of colloid stability through Zeta potential ,
Wynnewood , penn , livingston publishing , 1968 .
14. R.PICH , Caracteristiques des flocculants et conditions d'utilisation , seminaire sur les flocculants synthetiques organiques dans le traitement des eaux a l'Institut Algerien du Petrole , Boumerdes , Avril 1986 .
15. J.REUTER , Structure et mode de reaction ,preparation des solutions et importance des flocculants en filtration , seminaire sur les flocculants synthetiques organiques dans le domaine des eaux a l'Institut Algerien du petrole , Boumerdes , Avril 1986 .

16. W.L.K.SCHWOYER , Polyelectrolytes for water and waste water treatment ,

CRC PRESS , Florida , 1981 .

17. V.K.LA MER , Coagulation versus the flocculation of colloidal dispersions by high polymers (Polyelectrolytes), in principles and applications of water chemistry , proc.4th Rudolfs Res.Conf., Faust ,

S.D. and Hunter, J.V., Eds., John Wiley and Sons, New York, 1967 .

18. F.BERNE , Les traitements des eaux dans l'industrie petroliere , Publication de l'Institut Francais du petrole Edition Technip ,

Paris , Mars 1972 .

19. S.E.CHITOUR , Chimie des surfaces , Introduction a la catalyse , O.P.U . 2 eme edition 1981 .

20. W.FRESENIUS et W.SCHNEIDER , Technologie de l'eau potable , Office Allemand de la Cooperation technique (GTZ), ESCHBORN, Mai 1981 .

21. F. BERNE , Les eaux residuaires et leur traitement , application aux eaux de procedes de l'industrie petroliere , Publication de l'Institut Francais du Petrole , Octobre 1976 .

22. B. BOHNEKE , Traitement des eaux residuaires industrielles , Office Allemand de la cooperation Technique (GTZ) , Tunis , Novembre 1980 .

23. Fiches techniques des flocculants PRAESTOL , Chemische Fabrik
Stockhausen

GmbH , W - Germany .

24. Degradation microbienne des materiaux , Publication de
l'association des ingenieurs en anticorrosion , Edition Technip,
Juin 1974 .