

9/86

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SUJET

**Traitement des effluents de
l'entreprise nationale
d'ameublement et de
transformation de bois (UMB 412)
ROUIBA**

Proposé par :

Dr KETTAB A.

directeur de laboratoire de recherche

Etudié par :

DJITLI H.

Dirigé par :

Promoteur Mr KETTAB A.

Co Promoteur Mmd BOUCHETAOUI

PROMOTION : JUIN 1986

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Traitement des effluents de
l'entreprise nationale
d'ameublement et de
transformation de bois (UMB 412)
ROUIBA**

Proposé par :

Dr KETTAB A.

directeur de laboratoire de recherche

Etudié par :

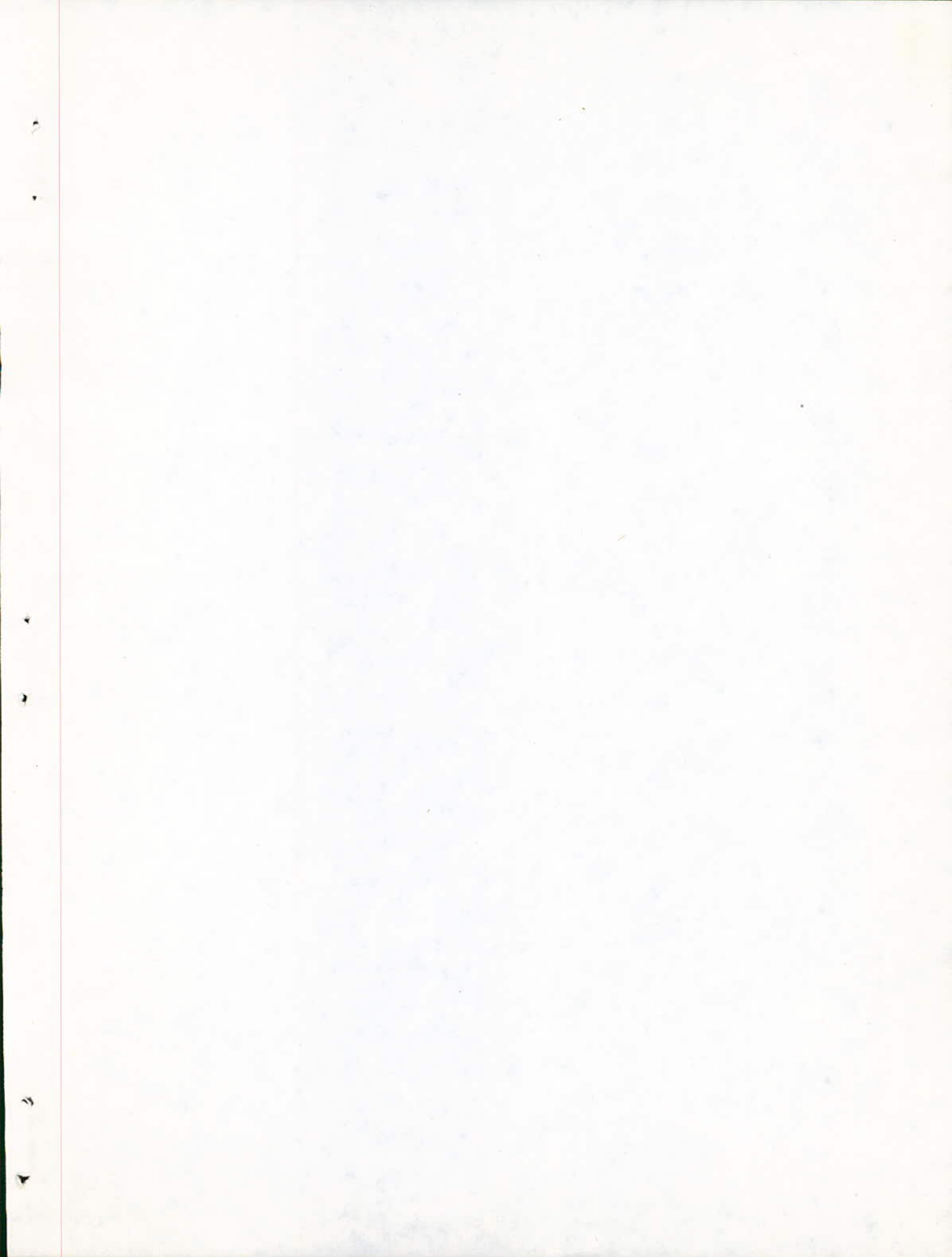
DJITLI H.

Dirigé par :

Promoteur Mr KETTAB A.

Co Promoteur Mmd BOUCHETAOUI

PROMOTION : JUIN 1986



Ministère de l'enseignement supérieur

Ecole Nationale Polytechnique

Département: G de l'environnement

Promoteur: M^{rs} KETTAB. A

Co. promoteur: M^{me} BOUCHETAOUI

Elève. ingénieur: DJITLI. HASSANE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

مدرسة: هندسة البيئة

الموجه: السيد قطاب

مساعد الموجه: السيدة جوشتاوي

التلميذ المهندس: جيتلي حسان

الموضوع: معالجة المياه وحدة التآثير وتحويل الخشب بروجية
المدغى: هدف هذه الدراسة هو تحليل المياه القاذرة لهذه الوحدة، التي تختص
في التحويل المعدني، وهذا لتقدير التلوث الناتج واقتراح وسيلة لمعالجتها
وتقليل من تلوثها

Sujet: Traitement des effluents de l'unité d'ameublement et de
transformation du bois. ROUIBA.

RESUME: Le but de cette étude est, essentiellement, d'analyser les
eaux de cette unité, qui s'occupe de la transformation métallurgique
Pour évaluer la pollution et de proposer un procédé de traitement.

SUBJECT: waste water treatment for furniture and wood's transformation
unit in ROUIBA.

ABSTRACT: This study's aim is, principally, analyse of the waste water
of this unit, whom is specialised in métallurgie transformation,
for the estimation of the amount of pollution, and to suggest
a process of treatment to reduce this pollution.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

- mes parents
- mes grand-parents
- mes oncles et tantes
- Ainsi qu'à mes frères et tous mes amis

En signe d'affection et d'amour .

REMERCIEMENTS

Mes vifs remerciements vont à mon promoteur M^r KETTAB. A directeur du département d'hydraulique, à mon co.promoteur M^{me} BOUCHETAOUI, enseignante, pour toute leur aide et conseils qu'ils m'ont prodigués durant tout le semestre. Je tiens également à remercier, M^r NAAMANE directeur du département de G. de l'environnement, M^r NOUAR et tous les professeurs qui ont contribué à ma formation. Enfin, que tous ceux qui m'ont aidé et encouragé durant cette période, trouvent ici le signe de ma reconnaissance.

SOMMAIRE

I- INTRODUCTION	1
II OBJECTIF DE L'ÉTUDE ET PRÉSENTATION DE L'UNITÉ	3
II-1 objectif de l'étude .	3
II-2 Présentation de l'unité .	3
II-2-1 Origine de l'eau utilisée .	3
II-2-2 Debit d'eau consommée .	4
II-2-3 Procédé de fabrication .	4
II-2-4 Origine des eaux usées .	5
II-2-5 Estimation du débit de rejet global des eaux usées	6
III PARTIE THÉORIQUE	7
III-1 Pollution due aux industries de transformation métallurgique.	7
III-1-1 Effets toxiques de divers ions	7
III-1-2 Seuil de tolérance .	8
III-2 Pollution due aux détergents .	10
III-2-1 Les agents de surface .	10
III-2-1-1 Les agents de surfaces anioniques .	12
III-2-1-2 Les agents de surface non-ioniques .	12
III-2-1-3 Les agents de surface cationiques .	12
III-2-1-4 Les agents de surfaces ampholytes .	12
III-2-2 Les adjuvants .	13

III.3	Pollutions dues aux graisses et acides	14
III.3.1	Pollution par les graisses.	14
III.3.2	Pollution par les acides.	15
III.4	Procédés de traitement possibles.	17
III.4.1	Elimination des impuretés mécaniques.	17
III.4.1.1	Impuretés solides	17
III.4.1.2	Impuretés liquides, huiles, graisses.	18
III.4.1.3	Les émulsions.	19
III.4.1.4	Eaux résiduaires d'ateliers de peinture	20
III.4.1.5	Élimination des phosphates.	21
III.4.2	Epuration chimique des eaux résiduaires.	23
III.4.2.1	Neutralisation et précipitation des métaux lourds	23
III.4.2.2	Exécution de la neutralisation.	25
IV	METHODOLOGIE DE TRAVAIL	26
IV.1	Echantillonnage	26
IV.1.1	Prélevements.	26
IV.1.2	Conservation des échantillons.	27
IV.2	Précision des méthodes d'analyses et de mesures	29
V	PARTIE EXPERIMENTALE	31
V.1	Examens préliminaires.	31
V.1.1	Matières en suspension.	31
V.1.2	Matières décantables.	31
V.2	Examens physico-chimiques.	32

V.2.1	Température	32
V.2.2	Le PH	32
V.2.3	La conductivité .	33
V.3.	Criteres de la pollution organique .	33
V.3.1	DBO	34
V.3.1.1	Définition	34
V.3.1.2	Technique de mesure .	34
V.3.2	La DCO	34
V.3.2.1	Définition	34
V.3.2.2	Principe	35
V.4	Dosages particuliers .	35
V.4.1	Dosage des metaux	35
V.4.1.1	Analyse qualitative .	35
V.4.1.2	Analyse quantitative	36
V.4.2	Dosage des composés phosphorés	36
V.4.3	Dosage des huiles et graisses .	39
VI	RESULTATS-EXPERIMENTAUX E. INTERPRETATIONS	40
VI.1	Resultats d'analyses .	40
VI.2	Interprétation des résultats .	45
VI.3	Traitement proposé .	47
VI.3.1	traitement proposé au niveau du collecteur principal	48
VI.3.2	Traitement proposé au niveau de la cabine de peinture	51
VI.3.3	Chaines de traitement proposées .	53
VII	CONCLUSION	55
	BIBLIOGRAPHIE	
	ANNEXES	

I INTRODUCTION:

On peut définir la pollution comme une altération du milieu naturel susceptible de nuire aux ressources biologiques, à la faune et à la flore et à la santé de l'homme.

La définition des pollutions est très large et elle permet de comprendre aussi bien des polluants d'origine naturelle que des polluants liés à l'activité humaine. La pollution d'origine naturelle est négligeable. Ainsi les plus graves questions de pollution, auxquelles nous sommes confrontés, proviennent de l'intensification et du développement industriels, au cours de ces dernières décennies.

Elles sont liées au rejet dans l'environnement de substances très toxiques et peu biodégradables, sinon indestructibles, ou de composés inertes ou peu réactifs, libérés dans les divers milieux en quantités de plus en plus croissantes.

L'immense majorité des nuisances, propres au développement industriel, provient de ce qu'elle a perturbé le cycle de la matière et a compromis le pouvoir auto-épurateur des milieux récepteurs, par la dispersion et la variété des polluants. L'industrialisation a provoqué principalement des pollutions des eaux résiduaires, pollutions qui, en aucun cas, ne peuvent être éliminées par l'auto-épuration naturelle.

Cependant, le problème de l'évacuation et de la détoxification des eaux résiduaires industrielles est très vite devenu l'objet de préoccupations et d'études.

Afin de préserver notre environnement, il faut dans tous les cas, éviter le rejet d'eaux résiduaires non épurées, même si le déversement de petites quantités d'eaux résiduaires toxiques ne crée pas une menace directe. Même dans de tels cas, les eaux résiduaires doivent, avant rejet, être amenées au plus haut degré de pureté possible. Ceci est nécessaire parce que le déversement ultérieur possible, par d'autres usines, d'eaux résiduaires similaires, peut fort bien entraîner dans le milieu récepteur un dépassement de la concentration encore acceptable en substances toxiques.

[12]

II- OBJECTIF DE L'ÉTUDE ET PRÉSENTATION DE L'UNITÉ

II.1-Objectif. de l'étude =

Le but de cette étude est dans un premier temps d'analyser qualitativement ^{et quantitativement} l'eau rejetée par l'unité. Dans un second temps de trouver un procédé de traitement efficace, dans le but d'amener les rejets de l'unité dans le milieu récepteur aux normes internationales. Et par conséquent de résoudre la pollution du milieu récepteur qui est dans notre cas le lac de REGHAÏA

II.2 Présentation de l'unité =

L'entreprise nationale de l'ameublement et de transformation du bois (ENATB) unité 412 est une unité spécialisée dans la transformation métallurgique et dans l'ameublement métallique. Elle produit des casiers, armoires, meubles de bureau et élabore aussi des éléments de base, éléments métalliques, qui serviront à la construction de tous les meubles tels que les fauteuils, tables, bureaux... etc. L'unité consomme une quantité importante d'eau et en rejette presque autant.

II.2.1 Origine de l'eau utilisée :

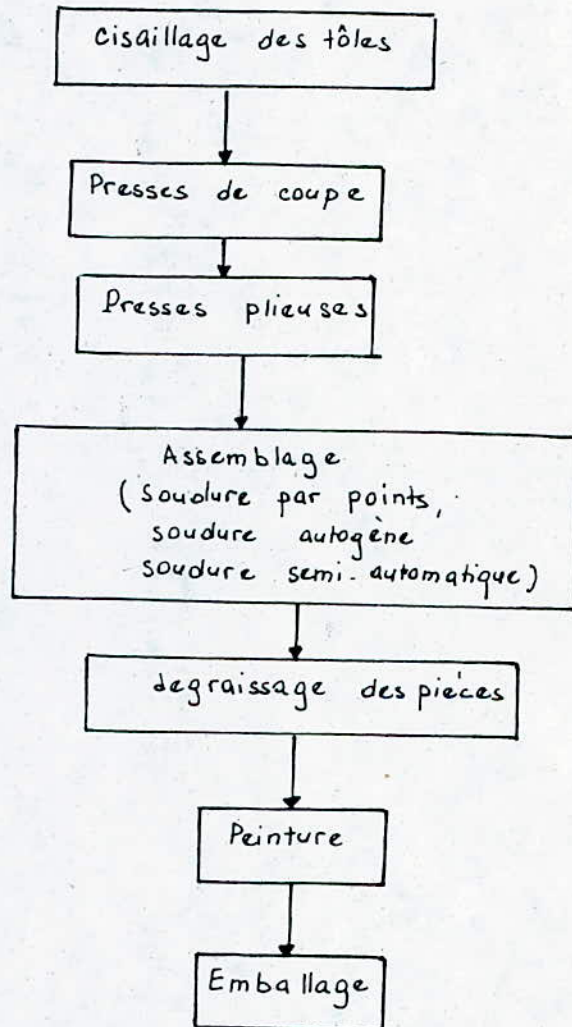
L'eau de l'unité provient du réseau urbain communal et n'utilise ni puits, ni forage.

II-2.2 Debit d'eau consommée :

Le debit d'eau consommée est estimé à $10 \text{ m}^3/\text{h}$

II-2.3 Procédé de fabrication :

On rappelle que l'unité s'occupe de la transformation métallurgique dont le procédé de fabrication est le suivant :



II-2-4 Origine des eaux usées =

L'eau est utilisée à 3 niveaux principaux. C'est à ces niveaux là qu'elle est polluée, mélangée aux produits chimiques et rejetés sans traitement au préalable. Ces niveaux sont :

- le tunnel de dégraissage = Comme son nom l'indique c'est à ce niveau que les pièces métalliques sont lavées, rincées pour enlever les graisses et huiles adhérentes aux parois. Les produits chimiques utilisés sont les détergents.

(appelés aussi dégraissants). Ce sont des produits à base de polyphosphates et d'acide phosphorique. On fait remarquer que l'acide phosphorique est aussi utilisé pour le polissage des surfaces métalliques.

Le débit d'eau consommé dans le tunnel de dégraissage est estimé à $5 \text{ m}^3/\text{h}$

De même que le rejet des eaux à ce niveau est estimé à $5 \text{ m}^3/\text{h}$

- Cabine de peinture =

La cabine de peinture au pistolet est constituée d'un bassin de volume de 10 m^3 et d'un circuit fermé d'eau. L'eau du bassin, contenant des produits de décapage de peinture à base de soude caustique, circule en continu sur des parois métalliques disposés verticalement. Les parois servent à piéger les gouttelettes de peinture issues des pistolets et qui viennent

s'y adherer. Les gouttelettes sont entraînées dans le bassin.
Le rejet de l'eau du bassin est effectué chaque 2 ou 3 semaines après épuisement de la solution

Le rejet est estimé à 10 m^3

- Cantine = L'unité, qui travaille 24 heures sur 24 heures, dispose d'une cantine, dont il ne nous a pas été possible d'estimer le débit de consommation, ni le débit de rejet. Vu qu'elle ne dispose ni de compteur, ni de regard.

II-2-5 Estimation du débit de rejet global des eaux usées :

Le rejet des eaux usées de l'ENATB s'effectue sur le réseau de canalisations de la zone industrielle de ROUIBA, et sont canalisées vers le lac de REGHAIA

Selon les responsables de l'unité le rejet des eaux usées est estimé à $8 \text{ m}^3/\text{h}$

III PARTIE THÉORIQUE

III-1 Pollution due aux industries de transformation métallurgique

III-1-1 Effets toxiques de divers ions :

L'un des problèmes les plus difficiles est celui de la concentration maximale de divers ions pouvant être admise dans les eaux résiduaires. On peut prévoir qu'il est absolument impossible de donner à cette question une réponse nette et valable d'une manière générale. Dans l'intérêt de la protection de l'environnement, il faut s'efforcer de ne déverser dans les cours d'eau que des quantités aussi faibles que possible de substances toxiques, parce que c'est seulement ainsi que l'on pourra espérer une amélioration progressive, ou tout au moins l'absence de toute nouvelle aggravation de l'état de nos cours d'eau. Ceci n'exclut cependant pas qu'il faut déterminer les concentrations ou les quantités de toxiques à ne pas dépasser en aucun cas. Les concentrations de toxiques exerçant une action néfaste pour certains organismes, végétaux, ou animaux dans l'émissaire, peuvent être déterminées, jusqu'à un certain point, par des essais et par l'expérience pratique. Les différents organismes présentent toutes fois une sensibilité extrêmement variable vis à vis des toxiques entrant.

en ligne de compte ici. Le tableau ci-dessous indique, par exemple, les concentrations de toxiques qui détruisent la faune piscicole d'un cours d'eau. [12]

TABLEAU 1: Concentrations de toxiques détruisant la faune piscicole d'un cours d'eau. [12]

Toxique	Concentration en mg/l
Mercur	0,29
Cuivre	3,3
Zinc	8,4
Fer II	14
Cadmium	17
Nickel	128
Cobalt	125
Magnésium	1500

III-1-2 Seuil de tolérance:

Le déversement d'eaux usées dans les émissaires sont réglementés par des seuils de toxicité ou normes qui ne doivent pas être dépassés.

TABLEAU 2 : Concentrations limites du rejet des eaux.

Source : Cadat

Facteur	Valeurs limites maximales	Observations.
PH	6,5 à 8,5	
T	30°C	
MES	30 mg/l	
DBO ₅	30 mg/l max 60	
DCO	90 mg/l	
Huiles et graisses	20 mg/l	
Détergents	1 mg/l	A préciser suivant le composé
Phosphates	2 mg/l	
Fer	1 mg/l	
Zinc	5 mg/l	

III-2 Pollution due aux détergents :

Avant d'aborder les effets de la pollution par les détergents, il est indispensable d'étudier sommairement ces produits et d'examiner les causes de leur présence dans les cours d'eau.

- Définition d'un détergent : Sous le nom de détergent on considère toute formulation spécialement étudiée pour concourir aux processus selon lesquels des souillures ou des salissures sont enlevées et mises en solution ou en dispersion.

Ces formulations renferment des composants actifs, les agents de surface et des composants complémentaires : adjuvants, renforçateurs, séquestrants, charges et additifs. [10]

III-2-1 Les agents de surface :

Les agents de surface sont des composés chimiques organiques dont la molécule comporte au moins un groupement polaire hydrophile capable d'assurer le plus souvent leur solubilisation dans l'eau, et un radical à long enchaînement lipophile. Cette structure particulière permet de modifier certaines propriétés physiques au niveau des contacts solide-liquide en abaissant, en particulier, les tensions superficielles : elle est le facteur principal de l'action du nettoyage dont le principe est indiqué ci-dessous.

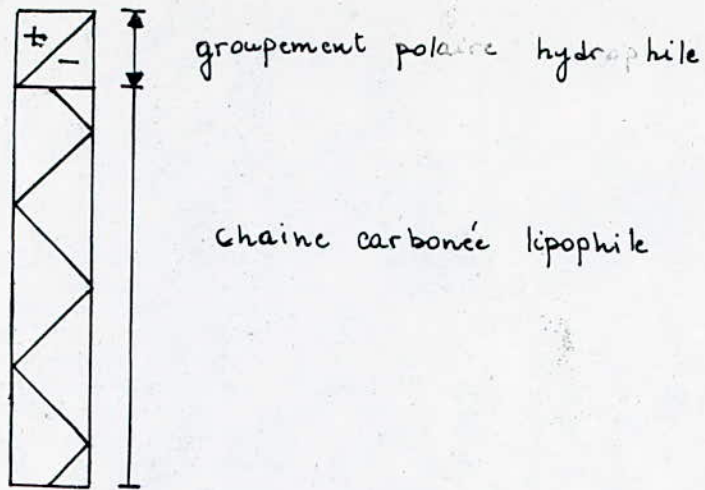
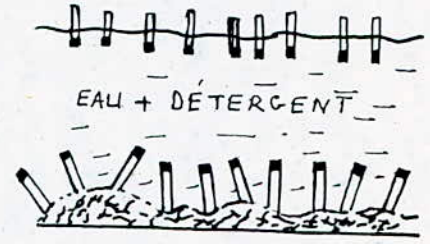


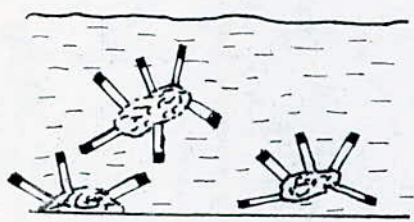
fig 1 Représentation schématique d'une molécule de détergent. [7]



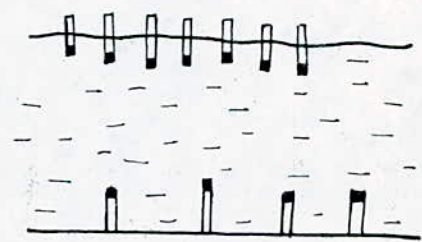
(1) l'eau n'a pas d'affinité pour les graisses.



(2) le détergent s'oriente à la surface de l'eau et des graisses.



(3) Les graisses peuvent être détachées, émulsionnées et entraînées.



(4) Elles sont éliminées par rinçage.

fig 2 : Mode d'action des détergents [7]

III-2.1.1 Les agents de surfaces anioniques :

Ils représentent la majorité des produits entrant dans la composition des produits ou formulations utilisés pour le lavage et sont principalement responsables de nuisances. Il s'agit de sels alcalins d'acides organiques qui possèdent un ou plusieurs groupements fonctionnels se dissociant en solution aqueuse pour fournir des ions chargés négativement. [10]

III-2.1.2 Les agents de surface non-ioniques =

Ils sont rarement utilisés. Ils sont constitués par des molécules qui renferment des groupements fonctionnels hydroxyles hydrophiles et des groupements lipophiles, cependant ils ne s'ionisent pas en solution. [10]

III-2.1.3 Les agents de surface cationiques :

Ils possèdent un ou plusieurs groupements fonctionnels qui, en solution aqueuse, donnent des ions chargés positivement (sels d'ammonium quaternaire). [10]

III-2.1.4 Les agents de surfaces ampholytes :

Ils possèdent un ou plusieurs groupements fonctionnels et peuvent s'ioniser selon

- les conditions du milieu en conférant au composé le caractère d'agent de surface anionique ou cationique.

III-2-2 Les adjuvants.

En plus des principes réellement actifs les détergents renferment des composants complémentaires dont le rôle et les nuisances ne sont pas très négligeables.

On distingue généralement :

- Les adjuvants proprement dits : Ils interviennent par leurs propriétés particulières et complètent l'action spécifique du lavage (polyphosphates, silicates, carbonates, ...)
- Les séquestrants : qui empêchent la précipitation des sels calcaires et magnésiens et accroissent le pouvoir moussant en eau dure
- Les renforceurs qui améliorent l'action des principes actifs
- Les additifs qui introduisent des propriétés étrangères à l'action principale du lavage : agent de blanchiment, optique colorants, parfums, bactéricides, ... etc
- Les charges qui sont des produits minéraux ou organiques et servent à améliorer la présentation des produits.
- Les enzymes = qui sont considérés comme des

pré-adjuants et participent à l'hydrolyse de certaines salissures. La pollution due aux détergents est très variée. Leur effet sur les réseaux d'égouts se traduit par un moussage abondant. Leur rejet dans les rivières s'accompagne d'une réduction du taux d'oxygénation de l'eau, de la formation de mousses encombrantes et inesthétiques, particulièrement à l'aval des barrages, dans les canaux et écluses.

Vis à vis des poissons, les détergents anioniques deviennent toxiques à partir de 6,5 mg/l en moyenne dans les eaux douces, et 4,3 mg/l dans les eaux dures. [6]

III-3 Pollution due aux graisses et aux acides :

III.3.1 Pollution par les graisses :

La pollution produite par les graisses, huiles, lubrifiants utilisés lors du travail mécanique des métaux, est souvent très dangereuse.

Etant plus légers que l'eau, ces graisses forment un film qui flotte à la surface de l'eau, et qui, non seulement, détériore l'aspect extérieur esthétique, mais surtout empêche l'accès de l'oxygène dans l'eau, du fait qu'ils forment une couche peu perméable.

De ce fait, ils exercent une action dangereuse vis à vis de tous les êtres vivants aquatiques.

Cependant des intoxications directes peuvent se produire chez tous les organismes vivants supérieurs et inférieurs présents dans l'eau.

En conséquence, des pollutions de ce type peuvent également provoquer l'arrêt total des stations biologiques d'épuration des eaux résiduaires. Les échangeurs d'ions, eux aussi, sont détériorés de manière sensible par des substances de ce genre, et leur efficacité s'en trouve fortement compromise, voire totalement supprimée.

Bon nombre de ces substances, polluantes en outre, sont combustibles ou dégagent des vapeurs nocives, de sorte que leur déversement dans les réseaux d'égouts ne saurait être toléré. [12], [4]

III-3-2 Pollution par les acides :

Le brillantage et le polissage prend de plus en plus d'importance pour le traitement de nombreux métaux tels que le fer, le zinc, le cuivre ... etc

Tous les bains utilisés sont des solutions fortement acides.

Les acides employés principalement sont : acide phosphorique, acide sulfurique, acide chlorhydrique, acide chromique.

Bien entendu, les métaux enlevés des surfaces polies s'enrichissent progressivement dans la solution de brillantage ou de

Pollissage. Les solutions, citées ci-dessus, sont toxiques, aussi bien du fait de leur teneur en acides que leur teneur en métaux lourds.

Une légère teneur des eaux en acides compromet déjà tous les processus biologiques qui s'y accomplissent.

A pH 6, l'épuration biologique des eaux marque une très forte régression et à pH 5,5 elle disparaît totalement.

En outre, au bout d'une assez longue période de contact, une teneur de l'eau en acide provoque des détériorations dans les ouvrages maçonnés et les constructions en métaux ferreux.

L'acide phosphorique, non toxique en soi, et qui constitue même un engrais de valeur pour les végétaux, peut donner lieu, à cause de cette propriété précisément, à des perturbations indésirables. Tout comme les phosphates, il favorise le développement d'algues, mais aussi celui d'autres plantes aquatiques, d'une manière très indésirable. Cette prolifération excessive de végétaux peut bloquer partiellement certains cours d'eau. Des amas flottants d'algues et de plantes arrachées peuvent obstruer des tuyauteries et les détériorer. Une fertilisation excessive conduit aussi, notamment dans les eaux stagnantes, à une perturbation progressive

de l'équilibre naturel (auto-épuration). La perturbation de l'équilibre biologique que l'on peut constater dans de nombreux lacs, doit apparemment, dans bien des cas, être attribué principalement à une sur-fertilisation par des phosphates. [12]

III-4 Procédés de traitement possibles

III-4-1 Elimination des impuretés mécaniques

III-4-1-1 Impuretés solides =

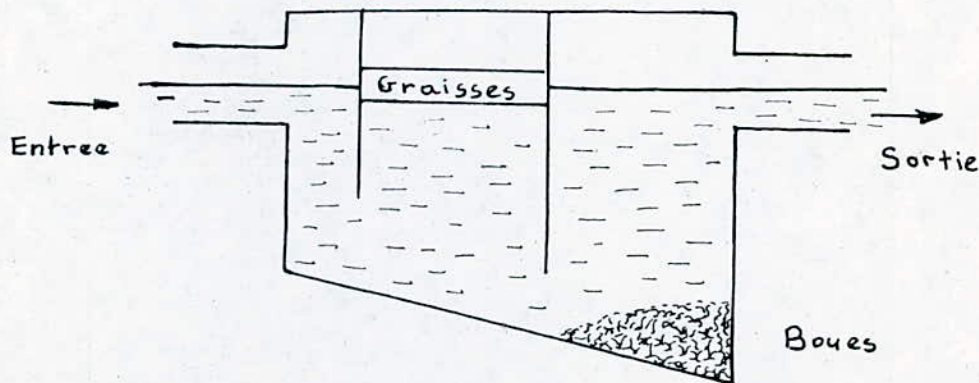
Le premier traitement d'épuration des eaux résiduaires a généralement pour but d'éliminer les grosses impuretés mécaniques. En outre, la séparation des huiles, des graisses, des solvants non-miscibles à l'eau, a lieu le plus souvent en même temps. Les impuretés solides qui proviennent initialement dans les eaux résiduaires sont d'origine diverse, elles peuvent provenir des fragments de métaux issus du polissage, de poussières et déchets ... etc

Il s'agit le plus souvent de particules relativement lourdes, qui décantent rapidement, et dont l'élimination hors des eaux résiduaires a lieu dans un déssableur ou bassin de décantation. Ce déssableur est une sorte de bassin interposé sur le trajet des eaux, et éventuellement muni de chicanes, où, par suite du ralentissement et la déviation du courant les particules lourdes se déposent au fond. [12], [5]

III-4-1-2 Impuretés liquides, huiles, graisses :

Parmi les impuretés liquides nocives rencontrées dans les eaux résiduaires d'industries de transformations de métaux, il faut citer principalement les graisses et les huiles qui se rassemblent le plus souvent à la surface de l'eau.

L'élimination des graisses et huiles se fait au moyen de dégraisseurs interposés sur la sortie. Ce sont des appareils simples fonctionnant suivant le principe du siphon. leur dimension dépend du volume d'eau et de sa vitesse de translation. Pour un débit d'eau de $0,5 \text{ l/s}$ à 9 l/s on compte une retention de 3 minutes. Pour 10 à 19 l/s , 4 mn ; Pour 20 l/s et plus 5 mn. Pour chaque litre par seconde d'eaux résiduaires produites, on doit pouvoir disposer, dans le compartiment de séparation, d'une surface de $0,25 \text{ m}^2$



Les huiles et graisses surnageantes sont enlevées à la surface, les solides et liquides lourds se déposent au fond, et sont extraits

en continu ou en intermittance. Le séparateur d'huiles et le déssableur sont le plus souvent combinés. [12]

III.4.1.3 Les émulsions :

Les industries de transformation de métaux emploient souvent des émulsions sous forme d'huiles de perçage et de coupe, de liquides réfrigérants. Comme les huiles ne doivent pas pouvoir accéder dans l'émissaire, et comme d'autre part, elles pourraient aussi compromettre le déroulement normal de la détoxication et de l'épuration des eaux résiduaires.

Il est indispensable de faciliter la séparation de la fraction grasse en brisant l'émulsion.

La rupture des émulsions peut se faire, souvent, par simple acidification. L'utilisation de sels est en général moins coûteuse; dans ce cas, les sels multivalents sont, dans la plupart des cas, plus actifs que les sels monovalents, et les sels acides, plus que les sels neutres.

Un procédé, particulièrement efficace, consiste en une addition de sels ferriques ou d'aluminium, suivie d'une précipitation des hydroxydes métalliques par addition de base, en particulier de chaux. Les huiles sont adsorbées par les flocons d'hydroxydes et montent à la surface, d'où le floe huileux peut être enlevé. [12]. [4]

III 414 Eaux résiduelles d'ateliers de peinture :

Les eaux résiduelles d'ateliers de peinture se caractérisent par des pollutions variées. Entrent en ligne de compte des solides, résidus d'abrasion de métaux, des acides et bases plus ou moins concentrés, comme par exemple des produits très basiques utilisés comme décapants de peinture. Les eaux résiduelles, émanant de cabine de peinture, peuvent le plus souvent, éventuellement après ajustement de PH, être additionnées de sulfate de fer, Par alcalinisation à la chaux, le fer est précipité à l'état d'hydroxyde; tandis que les matières grasses et organiques sont adsorbées sur les flocons d'hydroxydes. [5], [9], [12]

Le sulfate d'aluminium a, lui aussi, donné souvent de bons résultats comme agent de séparation. Par litre d'eau on ajoute par exemple 170 mg de sulfate d'aluminium, on agite pendant 10 mn, puis on laisse décanter. Au bout d'environ 15 mn, la boue monte à la surface et peut fort bien être filtrée. Les boues ne collent pas au filtre, et on peut facilement nettoyer le filtre par un jet d'eau. Dans bien des cas, les eaux de circuit de cabines de peinture au pistolet sont épurées à l'aide de métasilicate de sodium. [12]

III.4.15 Elimination des phosphates :

Le mode d'élimination des phosphates s'effectue par plusieurs méthodes parmi lesquelles on citera : les résines échangeuses d'ions, adsorption, électrodialyse, et la précipitation chimique.

On optera, dans notre cas, à la précipitation chimique qui est la méthode la plus simple et la plus économique.

Les réactifs les plus, souvent, employés pour cette précipitation sont :

- Les sels d'aluminium
- Les sels de fer
- La chaux

- Les sels d'aluminium : Le mécanisme généralement proposé est celui de la formation du précipité de phosphates d'aluminium obtenu du sel avec les orthophosphates présents :



L'effet du pH a une grande importance sur la précipitation.

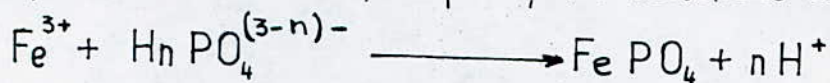
STUMM propose un pH de 6,3, alors que RECHT et GASSEM indiquent un pH de 6. Un rendement supérieur à 90% est obtenu.

- Les sels de Fer : L'utilisation des sels de fer pour l'élimination des phosphates conduit à des rendements identiques

à ceux obtenus avec les sels d'aluminium.

Un pH de 3,4 à 4,5 est nécessaire à une bonne élimination des phosphates par les sels ferriques.

En présence des sels ferriques, les réactions sont les suivantes:



avec les orthophosphates.

Avec les polyphosphates la réaction sera comme suit:



Avec les sels ferreux la réaction d'élimination est la suivante:



Notons qu'une élimination maximale des phosphates est obtenue avec l'emploi des sels ferreux à un pH 8.

- Chaux: De nombreuses études ont été réalisées sur l'élimination des phosphates par la chaux, mettant bien en évidence l'efficacité de ce traitement.

L'action de la chaux sur les orthophosphates est comme suit:



Le pH de l'eau brute influe sur l'efficacité de la réaction.

D'après SCHIMT et M^C KINNEY un pH de 9,5 est nécessaire pour une telle précipitation.

Remarque = L'inconvénient du sulfate d'aluminium et du sulfate de fer est qu'ils laissent des sulfates dans l'eau flocculé. [6]

III.4.2 Epuration chimique des eaux résiduaires :

III.4.2.1 Neutralisation et précipitation des métaux lourds :

Par suite de la très forte toxicité exercée par les eaux acides sur tous les organismes vivants, il est généralement prescrit de neutraliser les eaux à un PH d'environ 7,5 à 8,5 avant de les rejeter dans l'émissaire.

La neutralisation d'eaux résiduaires contenant des métaux provoque toujours, aussi la précipitation des métaux sous forme d'hydroxydes, si les métaux ne sont pas présents à l'état d'ions complexes.

La neutralisation d'eaux résiduaires doit répondre à deux buts : d'une part elle doit amener les eaux résiduaires à un PH ne présentant pas de danger pour les processus biologiques. D'autre part, la neutralisation doit convertir les métaux lourds toxiques dissous en hydroxydes très peu solubles ou en sels basiques, ce qui permet de les éliminer des eaux résiduaires. La précipitation des hydroxydes débute à une certaine limite inférieure du PH, et est pratiquement totale à une limite supérieure déterminée. La zone de précipitation pour les divers métaux est très variable, et surtout, s'écarte très notablement de la neutralité $\text{PH} = 7$. Le tableau ci-dessous nous renseigne sur les zones de PH pour l'exécution de la précipitation des

divers métaux et les réactifs utilisés pour ce but. [12]

TABLEAU 3: Zones de PH de précipitation des différents métaux (d'après L. HARTINGER) [12]

Ion métallique	Valeur de PH			Réactif de précipitation
	Début de précipitation	précipitation quantitative	redissolution	
Fe^{3+}	2,8	3,5	-	N, K, S
Sn^{2+}	3,9	colloïdal	10,6	N
Al^{3+}	4,3	4,8	8,5	N, K, S
Cr^{3+}	5,5	6,3 - 6,5	9,2	N S
	5,5	6,3 6,5	-	K
Cu^{2+}	5,8	7,5	-	N, K
	5,8	8,5	-	S
Zn^{2+}	7,6	8,3	>11	N
	7,6	8,3	-	K
	7,4	7,9	>11	S
Fe^{2+}	non mesuré	environ 9	-	N
Ni^{2+}	7,8	9,3	-	N, K, S
Cd^{2+}	9,1	9,5 9,8	-	N, K
	7,0	7,2	-	S

Notation N: Soude caustique
K: chaux
S: Carbonate de soude.

III.4.2.2. Exécution de la neutralisation

La neutralisation des eaux résiduaires acides se fait au moyen d'alcalis que l'on peut mettre en oeuvre sous les formes les plus diverses. Dans le cas de la neutralisation d'acides ne contenant pas de métaux, ou ne renfermant que de faibles quantités de métaux inoffensifs, les eaux résiduaires peuvent être rejetées immédiatement après contrôle du PH

Si la neutralisation provoque la formation de précipité en quantités notables, il faut veiller à laisser un temps suffisant pour la réaction et la flocculation.

Les flocons d'hydroxydes, notamment, ne se forment pas brusquement lorsqu'est atteint leur PH de précipitation, mais on est présence tout d'abord de solutions colloïdales, qui ne sont ni décantables, ni filtrables.

C'est au bout d'un certain temps, seulement, que se forment des flocons plus importants, qui peuvent alors décanter. La formation de flocons peut être favorisée par une agitation modérée, mais en aucun cas turbulente.

On notera qu'en présence de précipités alcalins (carbonates, phosphates, chromates --- etc) l'agglomération s'effectue plus rapidement. [3], [12]

IV METHODOLOGIE DE TRAVAIL

IV.1 Echantillonnage :

L'échantillonnage et le mode de prélèvement sont des opérations délicates aux quelles le plus grand soin devrait être apporté. Ils conditionnent directement les résultats d'analyse. De ce fait, pour qu'une analyse donne des résultats valables il faut que :

- L'échantillon analysé soit bien représentatif des eaux résiduaires rejetées

- Cet échantillon ne soit pas altéré entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse

Il faut accorder, donc, au prélèvement et à la conservation des échantillons la même attention qu'à l'analyse elle-même. [7]

IV.1.1 Prélèvements :

Les prélèvements peuvent être manuels ou mécaniques. Dans notre cas, ils ont été effectués manuellement, vu les moyens dont nous disposons, et ont été faits dans des bouteilles en PVC de 0,75 l à 1 l de capacité. Ces bouteilles d'échantillonnage sont rincées plusieurs fois avec l'eau à prélever.

Les prélèvements ont été effectués à 3 niveaux principaux :

- l'un au niveau du collecteur principal
- l'autre au niveau de la cabine de peinture
- le dernier au niveau du tunnel de dégraissage.

IV.12 Conservation des échantillons :

Certaines analyses doivent être effectuées sur le champ (c'est le cas de la température) - ou aussitôt que possible (PH). Les échantillons sont prélevés dans des contenants en plastique qui présentent une bonne résistance aux agents chimiques, quoiqu'elles sont difficiles à nettoyer, et, parfois, supportent mal les hautes températures nécessaires à leur stérilisation. Leur avantage majeur est d'être moins fragiles que les récipients en verre.

Entre le prélèvement et l'analyse, il faut avoir présente à l'esprit, les nombreuses transformations physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent avoir lieu et risquent de fausser les résultats :

- Précipitation de substances peu solubles (résultant de changement de température ou de PH)
- Oxydation chimique des réducteurs (Fe^{2+} , cyanures, sulfures ... etc) ou réduction des oxydants (chlore, ozone, Cr^{VI} , ...)
- Réactions d'hydrolyse comme la formation d'hydroxydes métalliques ou la transformation des polyphosphates en orthophosphates, ... etc [7]

Pour stabiliser un échantillon, ou du moins, ralentir les réactions éventuelles, il est recommandé de prendre, pour

analyse, de précautions particulières (voir Tableau ci-dessous)
 D'une manière générale, et dans presque tous les cas, il est bon de réfrigérer l'échantillon à 4°C, à l'aide d'une glacière.

TABLEAU 4: Soins des échantillons selon la nature de l'analyse [7]

Analyse	Volume requis ml	Contenant	précautions	Delai max
DBO ₅	1000	P, V	réfrigérer à 4°C	6h
DCO	100	P, V	+ H ₂ SO ₄ (PH < 2)	7 Jours
huiles et graisses	1000	V	réfrigérer à 4°C + H ₂ SO ₄ ou HCl (PH < 2)	24h
Matières solides	≥ 100	P, V	réfrigérer à 4°C	7 Jours
Métaux	200	P, V	+ HNO ₃ (PH < 2) filtrer sur place Pour les métaux en solution ou en suspension.	6 mois
Phosphates	100	Va	réfrigérer à 4°C	24h
PH	100	P	réfrigérer à 4°C	6h
T°	-	-	-	sur place.

P: Plastique

V: Verre

Va: Verre rincé à l'acide

IV 2 Précision des méthodes d'analyses et des mesures :

La validité d'une méthode de mesure dépend à la fois :

- de sa fidélité (ou reproductibilité) c'est à dire du fait que, répété plusieurs fois et dans des conditions bien déterminées, elle conduit plus ou moins aux mêmes valeurs
- de son exactitude ou justesse c'est à dire de l'écart entre la valeur trouvée et la valeur réelle.

Certaines méthodes précises peuvent, de plus, être limitées par le manque de sensibilité d'un appareil, par des variations dues à l'instabilité de l'échantillon ou par des phénomènes incontrôlables. Ainsi, une méthode peut être, en elle même, très précise mais le résultat peut être faussé par des erreurs expérimentales de pesée, d'étalonnage, de dilution, ou parce que l'échantillon est peu représentatif.

En analyse de l'eau, on a souvent à faire des représentations et des déterminations graphiques. Un des exemples les plus fréquents est le tracé des courbes d'absorbance, en fonction de la concentration et la déduction d'une concentration inconnue de la mesure d'absorbance correspondante. On sait que si la loi de BEER est respectée, l'étalonnage est linéaire.

Il est parfois difficile, cependant, de tracer la meilleure droite à partir des points expérimentaux. [7]

Plus généralement, pour le tracé d'une droite ;

$$Y = ax + b$$

a : est la pente .

b : l'ordonnée à l'origine

on a recours à la méthode dite des moindres carrés

Cette méthode permet de calculer les valeurs de (a) et de (b) selon :

$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

(n) : représente le nombre de points expérimentaux d'abscisse (x) et d'ordonnée (y) respectivement.

Le coefficient de corrélation (ρ) est donné par :

$$\rho = \sqrt{a_x a_y}$$

où :

$$a_x = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$$

$$a_y = \frac{\sum xy}{\sum y^2}$$

V PARTIE EXPERIMENTALE

V.1 Examens préliminaires :

V.1.1 Matières en suspensions : MES

Bien que la différenciation entre les matières en suspension et matières colloïdales, soit très imprécise, il est d'usage, en traitement des eaux d'appeler "Matières en Suspension" des impuretés solides caractérisées par le fait que :

- Elles sont visibles à l'œil nu, en tout cas avec une loupe ou un microscope à faible grossissement
- Elles sont séparables par filtration

En général, les matières en suspension sont obtenues par filtration puis séchage à l'étuve à 105°C.

Elles sont exprimées en mg/l et se décomposent en matières volatiles en suspension (MVS) et en matières minérales (MM)

La quantité des MES nous indique la quantité de boues susceptible d'être évacuée [11]

V.1.2 Matières décantables

On définit les matières décantables d'une eau comme étant les matières séparables par simple décantation et sont généralement exprimées en ml/l

Cette mesure est effectuée sur un litre d'échantillon homogénéisé de l'eau à étudier, que l'on place dans un cylindre gradué,

ou mieux encore, dans un cône d'IMMHOF.

La lecture, du volume des matières décantées, est effectuée deux heures après. Cette mesure nous renseigne sur la charge d'une telle eau. [7], [11]

V.2 Examens physico-chimiques :

V.2.1 Température :

La température est l'une des caractéristiques physiques les plus importantes, vu son influence sur les traitements biologiques ou chimiques.

Dans les cours d'eau, une haute température (au dessus de 15°C) risque d'accélérer la croissance de microorganismes, d'algues entraînant des odeurs désagréables. De plus, la solubilité des gaz diminue (la teneur en oxygène diminue dans les cours d'eau)

La température est l'un des paramètres que l'on mesure sur place, au moment du prélèvement, à l'aide d'un thermomètre. [11]

V.2.2 Le PH :

Le PH est, par définition, une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une eau.

$$\text{PH} = -\log[\text{H}^+]$$

Le PH joue un rôle primordial à la fois :

- dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité)
- dans les processus biologiques (dont certains exigent

des limites très étroites de PH)

- dans l'efficacité de certains traitements (précipitation, Coagulation, adoucissement, ... etc). [7]

La détermination du PH est l'une des mesures que l'on effectue le plus fréquemment, elle est effectuée au moyen d'un appareil appelé PH-mètre, ou par papier PH

V.2.3 Conductivité :

La conductivité d'une eau est sa conductance, elle traduit l'aptitude de cette eau à conduire le courant électrique.

En effet, en solution, ce sont les ions qui transportent le courant électrique, il existe donc, une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité.

La mesure de la conductivité nous permet d'estimer, globalement, la minéralisation de cette eau. [7], [11]

Cette mesure est effectuée à l'aide d'un conductimètre.

V.3. Critères de la pollution organique :

Les matières organiques nécessitent de l'oxygène pour leur métabolisation par les microorganismes. Cette demande en oxygène peut être représentée biologiquement ou chimiquement, suivant les deux paramètres tels que la DBO (Demande biochimique en oxygène), la DCO (Demande chimique en oxygène)

V.3.1 La Demande Biochimique en Oxygène :

V.3.1.1 Définition : La DBO représente la quantité d'oxygène consommée par l'eau usée pendant une certaine durée. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation les matières organiques biodégradables. [6]

V.3.1.2 Technique de mesure :

Cette mesure est effectuée à l'aide d'un DBO-mètre. L'échantillon, dilué, est enfermé dans des flacons avec un certain volume d'air qui assure la réoxygénation. La consommation d'oxygène est suivie, grâce à des manomètres, par la chute de pression. L'appareil est équipé d'un agitateur magnétique et d'un dispositif pour éliminer le gaz carbonique formé (par fixation sur un alcali). Le manomètre est gradué directement en mg/l d'oxygène. L'avantage de cette méthode est de permettre des mesures en continu, et donc le tracé de la courbe de consommation d'oxygène en fonction du temps. [7]

V.3.2 La Demande Chimique en Oxygène :

V.3.2.1 Définition : la DCO traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques (biodégradables ou non) contenues dans l'échantillon. [6]

V.3.2.2 Principe : L'oxydation est effectuée dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (bichromate de potassium) en milieu acide fort (H_2SO_4) et au reflux pendant deux heures.

Dans ces conditions, la plupart des matières organiques sont oxydées (en CO_2 et H_2O) à 90%.

La DCO est un paramètre important. C'est un test rapide, très utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels (surtout ceux à caractère toxique qui se prêtent mal aux mesures de la DBO)

La DCO est exprimée en mg/l d'oxygène.

V.4 Dosages particuliers :

V.4.1 Dosage des métaux :

V.4.1.1 Analyse qualitative : [1]

N'ayant pas la composition chimique des tôles métalliques, il s'est avéré nécessaire d'effectuer une analyse qualitative sur les eaux usées rejetées par l'unité.

Ceci nous permettra d'identifier les ions métalliques existant et nous évitera de faire des dosages inutiles.

Cette analyse s'est effectuée sur les principaux ions métalliques, les plus usuellement utilisés dans les alliages tels que : le fer, le zinc, le cuivre, l'aluminium, le chrome, --- etc.

Cette analyse qualitative a mis en évidence, l'existence du zinc dans les eaux usées de l'unité

V.4.1.2 Analyse quantitative :

L'analyse qualitative a révélé la présence du zinc, qu'il fallait doser quantitativement.

Pour cela on a utilisé la méthode colorimétrique, sachant que le ferrocyanure réagit avec le zinc pour donner un précipité colloïdal susceptible d'un dosage colorimétrique. [11]

V.4.2 Dosage des composés phosphorés :

Dans les eaux résiduaires, le phosphore peut se rencontrer sous forme de sels minéraux (orthophosphates, polyphosphates) mais aussi sous forme de composés organiques

Les polyphosphates sont transformés en orthophosphates après hydrolyse en milieu acide.

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho-phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue, susceptible d'un dosage colorimétrique.

fig 3

COURBE D'ETALONNAGE DES
ORTHOPHOPHATES

$$\text{ABS} = 0,14 C - 0,02$$

$$\lambda = 608$$

$$\beta = 0,99$$

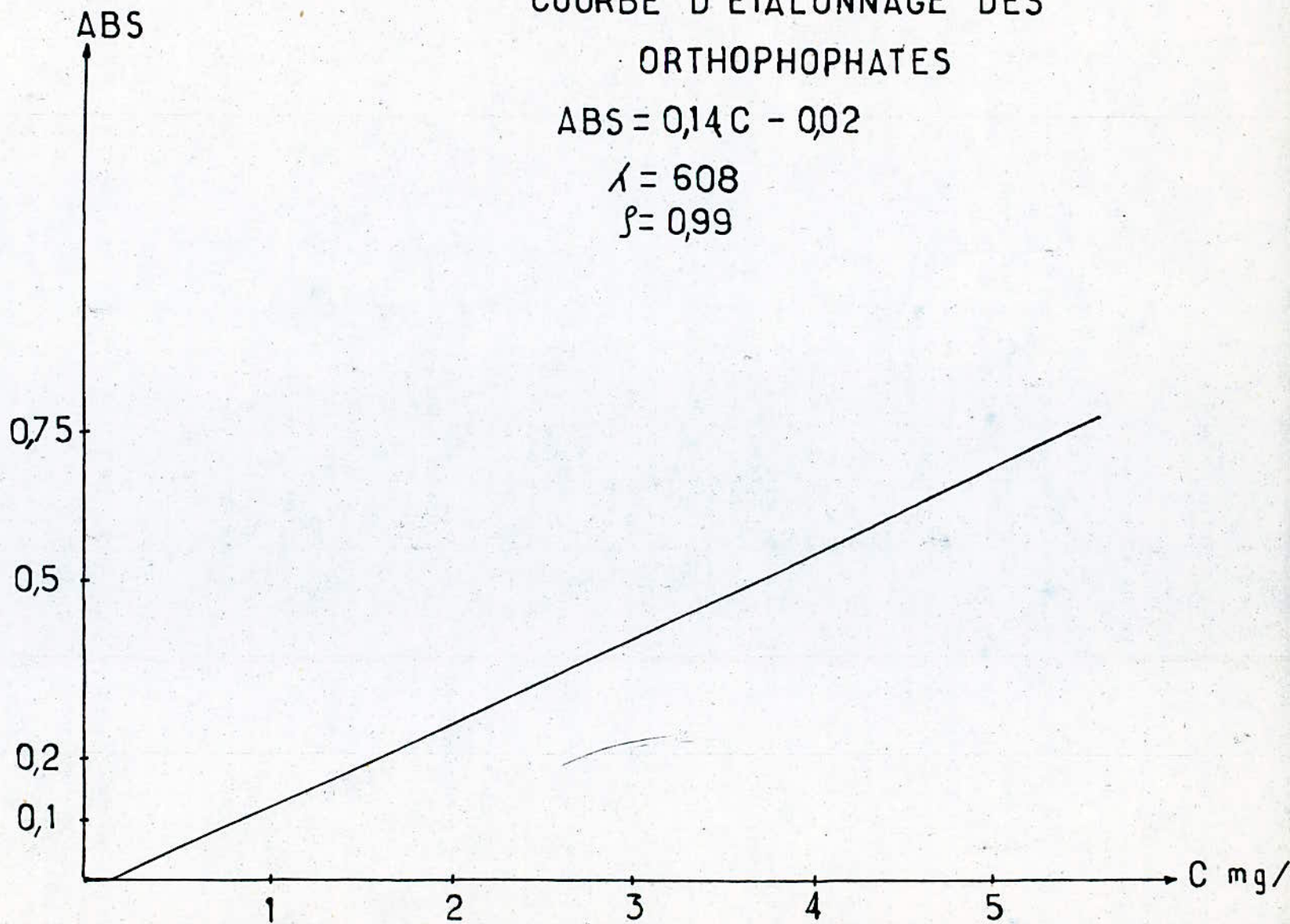


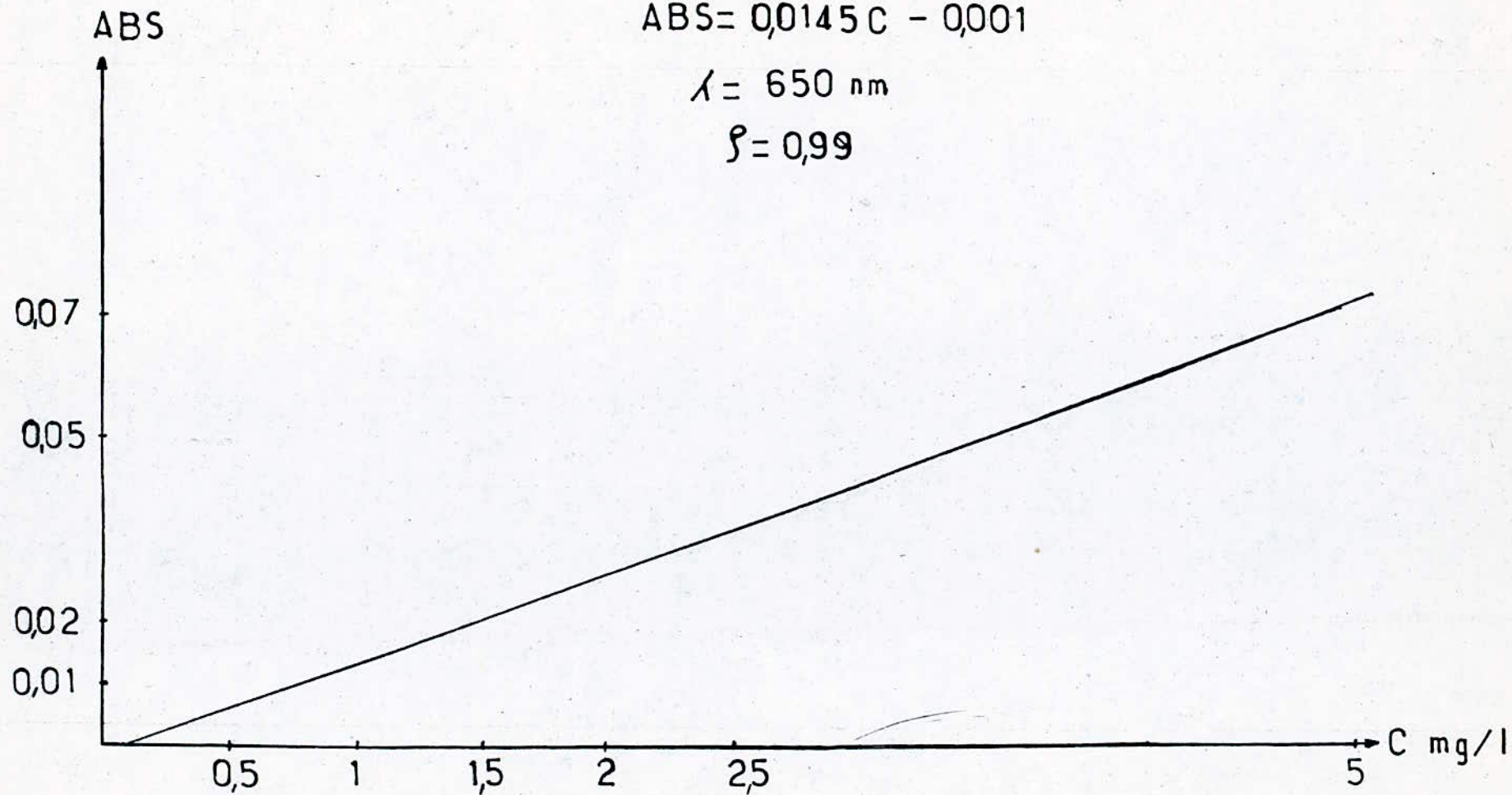
fig 4

COURBE D'ETALONNAGE DU
ZINC

$$\text{ABS} = 0,0145 C - 0,001$$

$$\lambda = 650 \text{ nm}$$

$$\rho = 0,99$$



V.4.3 Dosage des huiles et graisses :

Les huiles et graisses que l'on peut rencontrer dans l'eau sont très souvent sous forme d'émulsions ou saponifiées. Il est bien connu que la présence des huiles et graisses constitue une gêne considérable pour le fonctionnement normal des stations d'épuration et crée des inconvénients et dommages considérables sur le milieu récepteur.

Les graisses sont extraites de l'échantillon, acidifié à PH5, par du trichloroéthylène et dosées gravimétriquement après évaporation du solvant. [11]

VI RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS

VI.1 Résultats d'analyses :

L'analyse de l'eau usée de l'unité et le dosage des différentes substances, à différents niveaux, a donné les résultats suivants :

TABLEAU 5: résultats d'analyses.

Prélèvement du 01-04-86

Paramètres	cabine de degraissage	collecteur principal
T	25	22
PH	3,5	4
Conductivité $\mu S/cm$	1128	1217
Matières decantables ml/l	0,2	0,8
MES mg/l	861	920
Phosphates mg/l	13	11
graisses mg/l	9000	10000
Zinc mg/l	30	27,5

TABLEAU 6 : Résultats d'analyses .

Prélèvement du 04.04.86

Paramètres	Tunnel de dégraissage	collecteur principal
T	23	22
PH	3	3,6
conductivité $\mu\text{S/cm}$	1228	1240
Matières décantables ml/l	—	—
MES mg/l	790	840
Phosphates mg/l	17	15,5
graisses mg/l	11000	11600
Zinc mg/l	38	35

TABLEAU 7 : Résultats d'analyses

Prélèvement du 13-04-86

Paramètres	Tunnel de dégraissage	collecteur principal
T	24	22
PH	4	4,5
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	947	1010
Matières décantables ml/l	0,1	0,9
MES mg/l	901	940
Phosphates mg/l	12	11,5
graisses mg/l	12000	12800
Zinc mg/l	35	32

TABLEAU 8 : Résultats d'analyses

Prélèvement du 22-04-86

Paramètres	Tunnel de dégraissage	collecteur principal	cabine de peinture
T	25	23	19
PH	3,5	4,2	10
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	1220	1310	1370
Matières décantables ml/l	-	-	3,5
MES mg/l	875	915	1020
Phosphates mg/l	16	14	-
graisses mg/l	9000	9000	-
Zinc mg/l	36	32	-

TABLEAU 8 : Résultats d'analyses

Prélèvement du 22-04-86

Paramètres	Tunnel de dégraissage	collecteur principal	cabine de peinture
T	25	23	19
PH	3,5	4,2	10
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	1220	1310	1370
Matières décantables ml/l	-	-	3,5
MES mg/l	875	915	1020
Phosphates mg/l	16	14	-
graisses mg/l	9000	9000	-
Zinc mg/l	36	32	-

TABLEAU 9 : Résultats d'analyses

Prélèvement du 07-05-86

Paramètres	Tunnel de dégraissage	collecteur principal
T	24	21
PH	3,5	4,2
Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$	1213	1270
Matières décantables ml/l	0,2	0,7
MES mg/l	840	978
Phosphates mg/l	15	13
graisses mg/l	10000	11000
Zinc mg/l	35	34

VI Interprétation des résultats :

On remarquera que certains résultats présentent des écarts relativement grands, ceci est peut être dû à des rejets intempésifs et instables, ainsi que le prélèvement manuel, le conditionnement des échantillons et une analyse unique de chaque paramètre, entraînerait certainement à des erreurs d'appréciation et d'estimation de la pollution.

Notre interprétation sera effectuée paramètre par paramètre

- Température :

La température des eaux usées rejetées est comprise entre 21°C et 23°C , qui est conforme aux normes de rejets.

La même remarque sera faite pour la cabine de peinture.

- PH :

Le PH, au niveau du collecteur principal, est acide et par conséquent il présente un danger notable, non seulement, pour la faune et la flore, mais aussi, sur les installations d'évacuation des eaux.

Par contre le PH de la cabine de peinture est basique et ne présente pas moins d'inconvénients.

- Conductivité :

La mesure de la conductivité nous permet d'évaluer rapidement

et approximativement la minéralisation globale de nos rejets

Pour une conductivité $< 100 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation très faibles

$100 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité} < 200 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation faible

$200 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité} < 333 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne accentuée

$333 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité} < 666 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne

$666 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ minéralisation excessive

conductivité $> 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation

(Normes selon la réglementation française) [11]

Dans notre cas on a une conductivité supérieure à $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$, que ce soit dans le collecteur principal ou dans la cabine de peinture

- Matières décantables :

Dans le collecteur principal, les matières décantables sont en quantités minimales. Par contre dans la cabine de peinture, elles sont plus importantes d'où la nécessité de les éliminer vu qu'elles présentent un aspect inesthétique et leur accumulation au fond des cours d'eau entraînent la formation de boues dégageant de mauvaises odeurs

- Matières en suspension :

Les matières en suspension, que ce soit, au niveau du collecteur principal, ou au niveau de la cabine de peinture, sont présentes en quantités notables. De telles teneurs peuvent empêcher la pénétration de la lumière et limiter le développement de la vie

aquatique des cours d'eau récepteurs.

- Graisses et huiles :

La charge, importante des huiles et graisses rejetées, est très nefaste. Elle présente un impact, non négligeable sur la faune et la flore. Elle perturbe considérablement les processus biologiques d'épuration.

- Zinc :

Le zinc, présent dans les rejets de l'unité en quantités assez importantes, provient du travail mécanique des pièces et leur polissage. Son rejet et la quantité déversée sont supérieurs à ceux prescrits par les normes. Toutefois il présente un danger pour la vie aquatique du milieu récepteur. Il inhibe d'une façon indésirable tous les processus biologiques, même l'auto-épuration.

En conclusion, on dira que l'unité est fortement polluante de par la variété de polluants et des quantités qui y sont rejetées, d'où la nécessité d'un traitement.

VI 3 Traitement proposé :

L'unité rejette une usée, relativement polluante. Elle présente un PH acide, contient des substances indésirables telles que les graisses, les composés phosphorés et des éléments toxiques : zinc. On constate que toutes les teneurs, dépassent de loin les normes de rejets. D'où il est nécessaire que cette eau soit détournée

et épurée.

Pour cela, on a envisagé deux traitements, l'un au niveau du collecteur principal qui présente un débit continu, l'autre au niveau de la cabine de peinture qui n'est vidée que par intermittence, chaque deux ou trois semaines.

VI 31 Traitement proposé au niveau du collecteur principal :

Le but de ce traitement est d'éliminer le maximum de polluants rejetés : les graisses, phosphates et zinc.

Ce traitement consiste, dans un premier temps, à effectuer une élimination conjointe et simultanée des graisses et des composés phosphorés, dans un second temps, à neutraliser l'eau et précipiter le zinc.

Des essais au laboratoire ont été effectués sur le prélèvement du 07-05-86 qui présente les caractéristiques suivantes :

$$T = 22^{\circ}\text{C}$$

$$\text{PH} = 4,2$$

$$\text{Conductivité} = 1270 \mu\text{S/cm.}$$

$$\text{MES} = 978 \text{ mg/l}$$

$$\text{Phosphates} = 13 \text{ mg/l}$$

$$\text{graisses} = 11 \text{ mg/l}$$

$$\text{Zinc} = 34 \text{ mg/l}$$

$$\text{DBO}_5 = 90 \text{ mg/l d'oxygène}$$

DCO = 319,2 mg/l d'oxygène

Les caractéristiques, que présente une telle eau, nous incite à l'utilisation d'un sel ferrique qui présente un bon comportement envers les graisses et les composés phosphorés

On a choisi le chlorure ferrique.

TABLEAU 10 : Détermination de la dose de $F_eCl_3 \cdot 6H_2O$

Dose de $F_eCl_3 \cdot 6H_2O$ mg/l	100	150	200	250
graisses après traitement mg/l	1,5	0,75	0,90	1
Phosphates après traitement mg/l	15	1	1,3	1,6
PH	3,9	3,8	3,6	3,4

On remarque que, pour une dose de 150 mg/l de $F_eCl_3 \cdot 6H_2O$, on a une élimination maximale des graisses et phosphates

- Pour l'élimination du zinc, l'addition de base, après élimination des graisses et phosphates, s'est avéré nécessaire pour la neutralisation et précipitation de ces ions métalliques.

Dans ce but, on a envisagé deux procédés d'élimination, l'un avec la soude, l'autre avec la chaux.

- Avec la soude 30%

Après utilisation du chlorure ferrique ($F_eCl_3 \cdot 6H_2O$), d'une dose

de 150 mg/l, l'addition de la soude, comme base, est nécessaire pour neutraliser cette eau et précipiter, en même temps, le zinc.

Les caractéristiques de cette eau sont :

- Le PH initial est de : 3,8
- La quantité de zinc est de 34 mg/l
- Le volume de la soude nécessaire pour la précipitation du zinc est de : $V = 1,9$ ml par litre d'eau usée
- le PH. final est de 8,3
- La quantité de zinc restante est : $C = 2,1$ mg/l
 - Avec la chaux 1%

Sur une eau présentant les mêmes caractéristiques que celle utilisée avec la soude. Le traitement effectué avec la chaux a donné les résultats suivants :

- Le volume de chaux nécessaire : $V = 9$ ml par litre d'eau.
- Le PH final est de l'ordre de 8,1
- La quantité de zinc restante est : $C = 1,4$ mg/l

En conclusion on dira que le meilleur traitement a été effectué avec utilisation du chlorure ferrique et neutralisation, précipitation avec la chaux.

Des analyses complémentaires ont été effectuées, pour mieux estimer l'efficacité de ce traitement :

$$\text{DCO} = 60 \text{ mg/l d'oxygène}$$

$$\text{MES} = 20 \text{ mg/l}$$

$$\text{DBO}_5 = 40 \text{ mg/l d'oxygène}$$

$$\text{Conductivité} = 728 \mu\text{S/cm}$$

VI.3.2 Traitement proposé au niveau de la cabine de peinture :

Des essais ont été effectués sur le prélèvement du 22-04-86 avant que ne s'effectue le rejet des eaux de la cabine de peinture. On rappelle que ces eaux sont rejetées par intermittence chaque deux ou trois semaines, selon les cas.

les analyses effectuées, au niveau du laboratoire, avant traitement, ont donné les résultats suivants :

$$\text{PH} = 10$$

$$T = 19^\circ\text{C}$$

$$\text{MES} = 1020 \text{ mg/l}$$

$$\text{DBO}_5 = 100 \text{ mg/l d'oxygène}$$

$$\text{conductivité} = 1370 \mu\text{S/cm} ; \text{Matières décantables} = 3,5 \text{ ml/l}$$

Le problème qui se pose au niveau de la cabine de peinture est le problème de matières décantables, matières en suspension, résidus de peinture qu'il faudrait éliminer.

Pour cela, on a procédé à deux essais, l'un avec le sulfate ferrugineux, l'autre avec le sulfate d'aluminium.

- Avec le sulfate ferrique $F_{e_2}(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$

Dose de $F_{e_2}(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ mg/l	75	100	150	175
PH	7,7	7,1	6,7	6,3
MES mg/l	70	42	30	42

La meilleure efficacité a été obtenue avec une dose de 150 mg/l

- Avec le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

Dose de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ mg/l	75	100	150	175
PH	7,8	7,3	7,2	6,8
MES mg/l	80	68	40	25

La meilleure efficacité est obtenue en injectant une dose de 175 mg/l de sulfate d'alumine qui assure une bonne élimination des matières en suspension.

La DBO_5 mesurée pour cette dose est de 40 mg/l d'oxygène

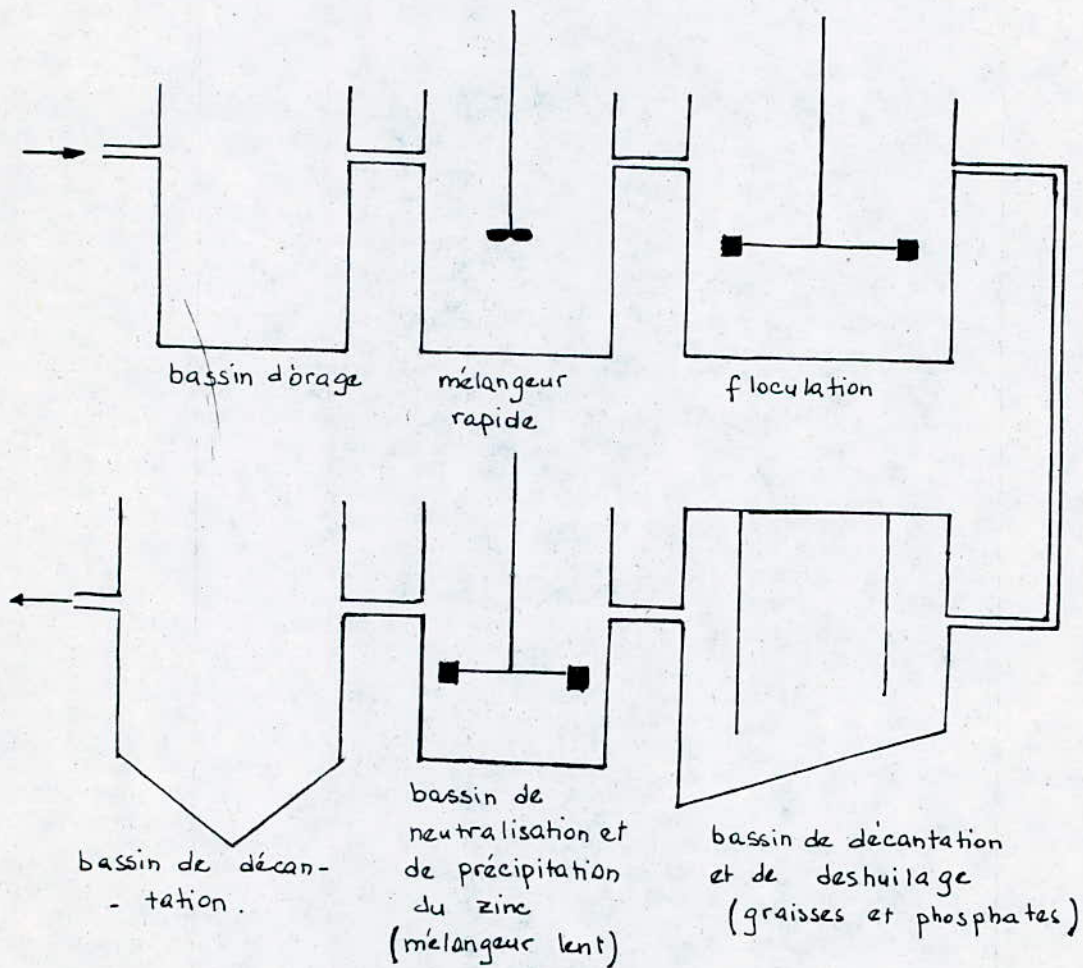
Notre choix s'est fixé sur l'utilisation du sulfate d'alumine, avec une dose de 175 mg/l, qui assure une bonne élimination des matières en suspension et de la DBO_5

VI.3.3 chaînes de traitement proposées:

Pour une éventuelle conception d'une chaîne de traitement des rejets de l'unité d'ameublement et de transformation de bois on proposerait les deux chaînes suivantes :

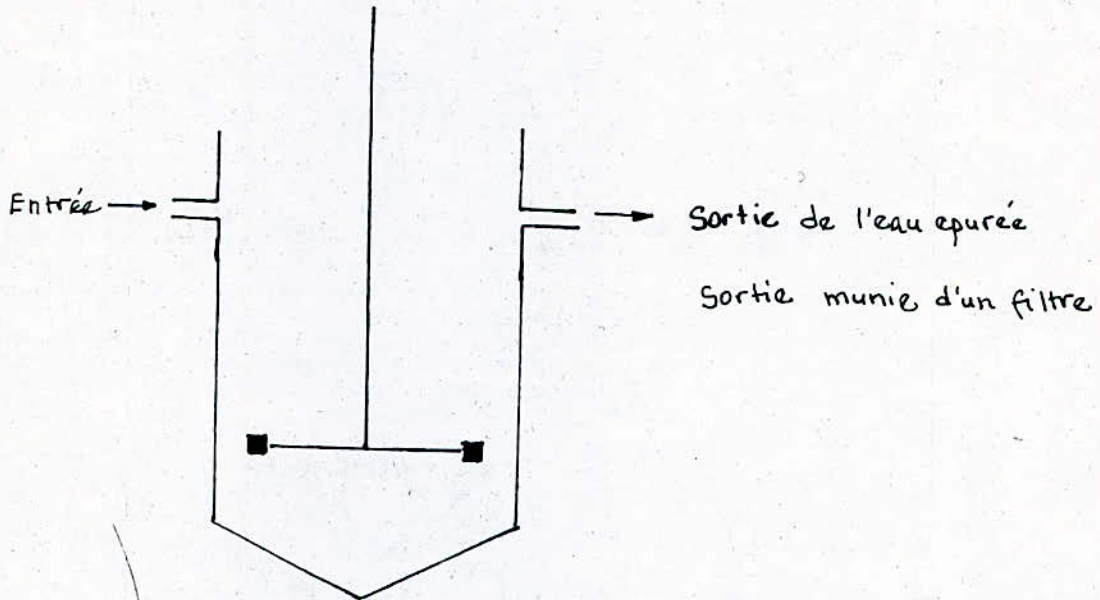
L'une pour le collecteur principal qui présente un débit continu . L'autre pour la cabine de peinture dont les eaux sont rejetées par intermittence.

- Pour le collecteur principal:



- Pour la cabine de peinture :

Pour la cabine de peinture, on a jugé utile et plus économique de ne concevoir qu'un seul bassin qui assurerait le mélange, la floculation et la décantation.



VII CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'estimer et de quantifier la pollution produite par les eaux usées de l'unité d'ameublement et de transformation de bois qui, rappelons le, est spécialisée dans la transformation métallurgique.

Pour cela, on a effectué une analyse qualitative, pour identifier les ions métalliques, et une analyse quantitative, pour estimer les ordres de grandeurs des différentes substances rejetées.

Ces analyses ont montré que ces eaux sont fortement acides et contiennent des quantités importantes de graisses, de zinc, et de composés phosphorés. Ces substances, comme très polluantes dépassent de loin les normes de rejet dans les émissaires.

De ce fait, il s'est avéré très important d'appliquer le code des eaux, notamment les articles 101 et 102 relatifs à la lutte contre la pollution. [8], [12]

Dans ce but, on a effectué des essais au laboratoire, afin de proposer un traitement pour éliminer, ou du moins diminuer, la pollution produite par ces eaux. Ces essais ont montré, que l'utilisation du chlorure ferrique et la chaux, au niveau du collecteur principal, présente une élimination efficace vis à vis des graisses, des composés phosphorés, et de zinc.

Cette élimination est de l'ordre de 92,3% pour les phosphates,

98,8 % pour le zinc, et 99,9 % pour les graisses.

Au niveau de la cabine de peinture, l'utilisation du sulfate d'aluminium s'est avérée la plus performante et qui assure une bonne élimination des MES.

Au terme de ce modeste travail, nous espérons que cette étude soit poursuivie et approfondie, notamment dans :

- l'utilisation d'autres flocculants (polyelectrolytes par exemple) dans le traitement des eaux de la cabine de peinture, ainsi que celles du tunnel de dégraissage.
- La récupération et valorisation des graisses
- La conception d'un système de recyclage des eaux au niveau de l'unité
- Le dimensionnement de la station d'épuration.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) V. ALEXEEV : "Analyse qualitative"
Ed "MIR" 1980
- (2) V. ALEXEEV : "Analyse quantitative"
Ed "MIR" 1980
- (3) J.P. BEAUDRY : "Traitement des eaux"
Ed "Griffon d'argile" 1984
- (4) DEGREMONT : "Memento technique de l'eau"
Ed "Degremont" 1978
- (5) W. ECKENFELDER : "Gestion des eaux usees
urbaines et industrielles"
Ed "Technique et documentation" 1981
- (6) A. GAÏD : "Epuraton biologique des eaux usees urbaines"
Tomes I et II ED "OPU ALGER" 1984
- (7) M.T. HENRY : "Chimie des eaux"
Ed "Griffon d'Argile" 1984
- (8) D^r.A. KETTAB : "Législation et gestion des eaux"
Cours à L'ENPA
- (9) F. MEINCK - H. STOOFF - H. KOHLSCHUTTER :
" Les eaux résiduaires industrielles " 1977
ED MASSON

- (10) J. PESSON : "Pollution des eaux continentales"
ED "GAUTIER - VILLARS" 1978
- (11) J. RODIER : "Analyse de l'eau"
ED "DUNOD" 1978
- (12) R. WEINER : "Epuración des eaux résiduaires dans la
transformation et la galvanisation des métaux"
ED "Eyrolles" 1974
- (13) "Code des eaux"

Loi n° 83-17 du 16.07.1983.

ANNEXES

I Dosage des composés phosphorés :

Les composés phosphorés sont dosés après hydrolyse et transformation en orthophosphates.

1. hydrolyse des polyphosphates :

• Réactifs :

- Acide sulfurique 5N

- Solution d'hydroxyde de sodium à 200 mg/l

• Mode opératoire :

Prélever 100 ml d'eau limpide, ajouter 2 ml d'acide sulfurique et procéder à l'hydrolyse pendant 90 mn et sous réfrigérant à reflux.

Ajouter une goutte de phenolphthaline et neutraliser avec la soude

Ramener le volume à 100 ml avec l'eau distillée.

2 Dosage des orthophosphates :

Méthode au réactif sulfomolybdique

• Réactifs :

- Réactif sulfomolybdique

Solution A : molybdate d'ammonium 10 g

dissoudre le molybdate dans 70 ml d'eau distillée puis compléter à

100 ml

Solution B :

Acide sulfurique chimiquement pur 150 ml

eau distillée 150 ml

- Acide ascorbique

- Solution mère étalon de PO_4^{3-} à 1 g/l

. phosphate monopotassique préalablement desséché à

100°C 1,431g

. eau distillée 1000ml

- solution étalon fille à 10 mg/l

Diluer la solution mère au 1/100

3 Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Dans les fioles coniques de 150 ml, introduire successivement :

N° De fioles	T	I	II	III	IV
Solution fille étalon à 10 mg/l de PO_4^{3-} (ml)	0	4	8	12	16
Eau distillée (ml)	40	36	32	28	24
Reactif sulfomolybdique (ml)	4	4	4	4	4
Acide ascorbique (g)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Correspondance en mg/l de PO_4^{3-}	0	1	2	3	4

Porter à ébullition pendant 1 mn, agiter après refroidissement, transvaser les solutions dans des fioles jaugées de 50 ml, compléter

le volume à 50 ml avec l'eau distillée. Effectuer les lectures à la longueur d'onde 608 nm . Construire la courbe d'étalonnage.

4. Mode opératoire =

Dans deux fioles coniques de 150 ml, introduire successivement :

N° de fioles	eau à analyser (ml)	eau distillée (ml)	Réactif sulfomolybdique (ml)	Acide ascorbique (g)
T	0	40	4	0,1
I	40	0	4	0,1

Porter les fioles à l'ébullition pendant une minute, agiter après refroidissement, transvaser les solutions dans les fioles jaugées de 50 ml, compléter le volume à 50 ml avec de l'eau distillée.

Effectuer les lectures à la longueur d'onde 608 nm , et tenir compte de la valeur lue pour le témoin, se reporter à la courbe d'étalonnage.

II Dosage des graisses et huiles =

1. Réactifs :

- Trichloroéthylène chimiquement pur
- Acide chlorhydrique chimiquement pur

2. Matériel spécial : Extracteur à rouleaux avec ampoules à spéciales à décantier.

3. Mode opératoire :

Dans une ampoule à décantier de 1,3 à 1,5 l, prélever 1 l d'eau

le volume à 50 ml avec l'eau distillée. Effectuer les lectures à la longueur d'onde 608 nm . Construire la courbe d'étalonnage.

4. Mode opératoire =

Dans deux fioles coniques de 150 ml, introduire successivement :

N° de fioles	eau à analyser (ml)	eau distillée (ml)	Réactif sulfomolybdique (ml)	Acide ascorbique (g)
T	0	40	4	0,1
I	40	0	4	0,1

Porter les fioles à l'ébullition pendant une minute, agiter après refroidissement, transvaser les solutions dans les fioles jaugées de 50 ml, compléter le volume à 50 ml avec de l'eau distillée.

Effectuer les lectures à la longueur d'onde 608 nm , et tenir compte de la valeur lue pour le témoin, se reporter à la courbe d'étalonnage.

II Dosage des graisses et huiles =

1. Réactifs :

- Trichloroéthylène chimiquement pur
- Acide chlorhydrique chimiquement pur

2. Matériel spécial : Extracteur à rouleaux avec ampoules à spéciales à décantier.

3. Mode opératoire :

Dans une ampoule à décantier de 1,3 à 1,5 l, prélever 1 l d'eau

et acidifier par l'acide chlorhydrique jusqu'à PH5 pour hydrolyser les savons et casser les éventuelles émulsions. Ajouter 100 ml de Trichloroéthylène dont 25 ml serviront au rinçage du flacon ayant contenu l'échantillon. Poser l'ampoule sur l'extracteur à rouleaux et faire tourner pendant 20 mn. Puis laisser les couches se séparer, soutirer la fraction aqueuse et faire couler la phase de trichloroéthylène dans un erlenmeyer de 500 ml. Recommencer l'extraction sur la phase aqueuse avec 100 ml de solvant en opérant comme ci-dessus. Effectuer une troisième extraction avec 50 ml seulement de solvant. Procéder à l'évaporation du solvant par distillation.

Le chauffage ne devra pas dépasser 70°C et sera arrêté lorsqu'il ne restera plus dans l'erlenmeyer que des huiles et graisses.

Transvaser le restant dans un petit erlenmeyer taré (de tare M_0)

Refroidir l'erlenmeyer pendant 30 mn dans un dessiccateur et peser (M_1)

4 Expression des résultats :

$(M_1 - M_0)$ donne directement la teneur en matières grasses exprimée en mg/l

III Dosage du zinc :

Par la méthode colorimétrique

1. Réactifs :

- Acide chlorhydrique $d = 1,19$
- Solution de chlorure d'ammonium 10%
- solution de sulfite de sodium 10%
- solution de ferrocyanure de potassium 0,5%
- solution mère étalon de zinc

• sulfate de zinc 2,467 g

• eau distillée 1000 ml

- solution fille étalon de zinc à 10 mg/l

diluer au 1/100 la solution mère étalon

2. Établissement de la courbe d'étalonnage :

Dans une série de tubes bouchés à l'émeri et numérotés, introduire les réactifs suivants en agitant après chaque addition.

N° de tubes	T	I	II	III	IV	V	VI
Solution étalon de zinc 10 mg/l (ml)	0	1,25	2,5	3,75	5	6,25	12,5
Eau distillée (ml)	25	23,75	22,5	21,25	20	18,75	12,5
Acide chlorhydrique (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Solution de sulfite de sodium (gouttes)	1	1	1	1	1	1	1
Solution de chlorure d'ammonium (10%) (ml)	20	20	20	20	20	20	20
Correspondance en mg/l de Zn	0	0,5	1	1,5	2	2,5	5

Laisser reposer quelques minutes, puis ajouter dans chacun des tubes 1 ml de ferrocyanure de potassium à 0,5%. Agiter. Laisser 5 mn à l'obscurité puis effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde 650 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

3 Mode opératoire :

Introduire dans une éprouvette bouchée à l'émeri de 50 ml, 25 ml d'eau à analyser. Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique, 20 ml de solution

de chlorure d'ammonium à 10% et une goutte de solution de sulfite de sodium à 10% en agitant après chaque addition. Au bout de quelques minutes, ajouter 1 ml de solution de ferrocyanure de potassium à 0,5%. Agiter. Laisser au repos à l'obscurité pendant 5 mn. Effectuer la lecture à $\lambda = 650$ nm. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

4. Résultats :

Pour une prise d'essai de 25 ml, la courbe donne directement la teneur en Zn exprimée en mg/l

IV Demande biochimique en oxygène :

Par la méthode manométrique

La demande biochimique en oxygène est déterminée dans un appareil qu'on appelle respiromètre. Les flacons sont mis en incubation pendant 5 jours à une température de 20°C. Les échanges gazeux sont contrôlés par fixation du CO₂ formé

La DBO₅ est exprimée en mg/l

V Demande chimique en oxygène :

1. Réactifs :

- Acide sulfurique concentré $d = 1,84$
- Solution de sulfate d'argent
- Sulfate mercurique
- Solution de sulfate de fer et d'ammonium 0,25 N

Le titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium doit être vérifié tous les jours.

- solution de dichromate de potassium 0,25 N
- solution de ferroïne

2 Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium :

Dans un erlenmeyer de 500 ml, mettre 25 ml de dichromate de potassium 0,25 N et compléter à 250 ml par de l'eau distillée. Ajouter 75 ml d'acide sulfurique concentré. Laisser refroidir. Ajouter quelques gouttes de solution de ferroïne et déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage en rouge violacé.

$$T = \frac{V_{K_2Cr_2O_7}(\text{ml}) \cdot 0,25}{V_{Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}}$$

3 Mode opératoire :

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un ballon de 500 ml. Ajouter 1g de sulfate de mercure cristallisé et 5 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent (chauffer si nécessaire jusqu'à parfaite dissolution). Ajouter 25 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N, puis 70 ml de solution de sulfate d'argent. Porter à ébullition pendant 2 heures à reflux. Laisser refroidir. Diluer à 350 ml avec de l'eau distillée. Ajouter quelques gouttes de solution de ferroïne et déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage au rouge violacé.

4 Expression des résultats :

$$DCO = \frac{8000 (V_0 - V_1)}{V} \quad \text{mg/l d'oxygène}$$

V_0 : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml)

V_1 : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml)

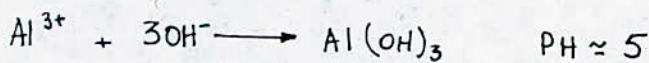
T : Titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium

V : Volume de prise d'essai

VI Analyse qualitative =

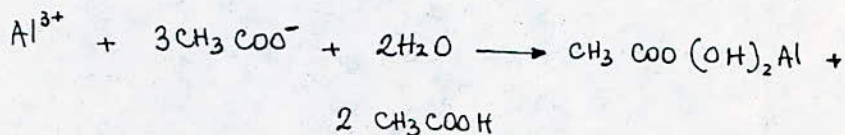
1. Aluminium : l'ion Al^{3+} est incolore en solution aqueuse.

• Les alcalis caustiques : KOH et NaOH quand on les ajoute goutte à goutte à des solutions d'aluminium donnent un précipité blanc de $Al(OH)_3$



• Sels d'acides faibles : Na_2CO_3 , Na_2SO_3 , KNO_2 , précipitent l'ion Al^{3+} sous forme de $Al(OH)_3$

• Acétate de sodium : CH_3COONa donne avec les solutions de sels d'aluminium un précipité blanc floconneux de sel basique



• Alizarine : Alizarine forme avec l'aluminium un complexe rouge vif peu soluble.

- On dépose sur une bande de papier filtre une goutte d'échantillon
- On tient le papier une ou deux minutes au dessus du col d'un flacon contenant une solution concentrée d'ammoniaque.
- L'ion Al^{3+} est précipité sous forme $Al(OH)_3$
- On traite ensuite la tâche humide par l'alizarine
- On porte le papier dans les vapeurs de NH_4OH
- Par action de NH_3 , l'alizarine donne une coloration rouge violacée.
- On sèche le papier avec précaution au dessus d'un bec bunsen, en présence d' Al^{3+} on obtient une coloration rouge rosée.

2 Fer :

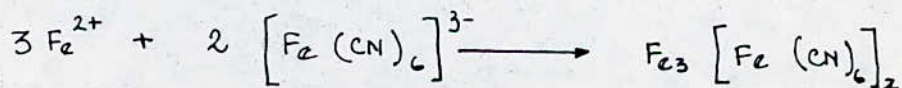
Le fer forme deux séries de sels : ceux de l'oxyde ferrique et ceux de l'oxyde ferreux.

- Fer (II) :

• bases fortes : $NaOH$, KOH oxydent le Fe^{2+} sous forme d'un précipité blanc verdâtre de $Fe(OH)_2$

• Ammoniaque : L'ammoniaque en présence de Fe^{2+} donne aussi un précipité de $Fe(OH)_2$

• Le ferricyanure de potassium : Il donne avec l'ion Fe^{2+} un précipité bleu de Turnbull



- Fer(III) :

Les solutions de fer III ont une couleur jaune ou brun rouge

• NaOH, KOH et NH₄OH = donnent avec Fe³⁺ un précipité

brun rouge : $Fe^{3+} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3$

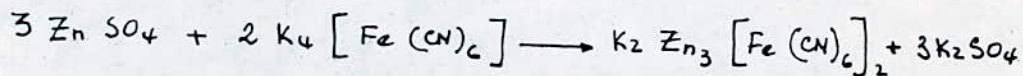
• Acétate de sodium : CH₃COONa forme à froid avec Fe³⁺ de l'acétate ferrique : (CH₃COO)₃Fe. La solution se colore en brun rouge

• Le ferrocyanure de potassium : K₄[Fe(CN)₆] forme avec Fe³⁺ un précipité bleu foncé (bleu de Prusse)

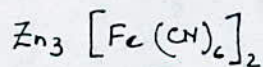
3. Zinc =

• NaOH, KOH, NH₄OH : Ils forment avec le zinc un précipité blanc de Zn(OH)₂

• Ferrocyanure de potassium : K₄[Fe(CN)₆] forme avec Zn²⁺ un précipité blanc d'un sel double



• Le ferricyanure de Potassium : K₃[Fe(CN)₆] donne avec l'ion Zn²⁺ un précipité marron jaune de ferricyanure de zinc



4 Cuivre :

Les solutions des sels de cuivre sont colorées en bleu clair ou vert

5 Nickel :

L'ion Ni^{2+} en solution aqueuse est vert.

6 Chrome :

Le chrome forme deux séries de sels stables : les sels dérivés de l'oxyde de chrome et les sels de l'acide chromique (et dichromique)

Les solutions des sels de chrome trivalent sont vertes ou violettes, celles de chromates, jaunes ; celles de dichromates oranges

. formation de l'acide perchromique H_2CrO_6 :

A 1 ou 2 ml de solution acide de dichromate obtenue par oxydation des ions Cr^{3+} par le permanganate, il faut ajouter 1 ml d'éther diéthylique et faire agir quelques gouttes de H_2O_2 , immédiatement après, on doit agiter légèrement le contenu du tube à essai.

La couche d'éther plus légère surnage et prend une belle couleur bleue due à la formation de l'acide perchromique.

