

6/88

وزارة التعليم والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

**DEPARTEMENT DU GENIE DE L'ENVIRONNEMENT**

BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

2EX

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

en vue de l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur d'Etat

**S U J E T**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA QUANTIFICATION  
DE LA POLLUTION ET AU TRAITEMENT  
DES EAUX RESIDUAIRES  
DE L'UNITE CELPAP  
DE BABA-ALI**

Proposé par :

Mr ROUIDI - EDIL -

Etudié par :

M. BOUDJELLALI M.R.  
M. KADI A.

Dirigé par :

Mr KERBACHI

PROMOTION JANVIER 1988

## REMERCIEMENTS.

Nous remercions notre promoteur Mr KERBACHI, chef de département du Génie de l'environnement, de l'aide précieuse qu'il nous à prodigné dans la réalisation de ce modeste travail, et ce le long de tout le semestre.

Nous ne saurons oublier de remercier également :

- Mme MATEVA, Mme ABDI, Melle HAMDI et Mr MAHIOUT, enseignants au département du génie de l'environnement, pour leur conseils.
- Mr ROUIDI, de l'EDIL qui, par la proposition de ce sujet, nous à permis d'approfondir nos connaissances.
- Les travailleurs de l'unité CELPAP, particulièrement ceux de l'atelier cellulose et du laboratoire, dont la coopération fût exemplaire.
- Mr SMATI A. , Mr OUABDI et Mr ABIDI de l'ANRH.
- Mr BOUAMOUD enseignant au département de génie chimique.
- Mr BOUHADEF enseignant au département de génie mécanique.

Nous remercions également :

- Notre ami et frère BOUSSADIA TAHAR de son dévouement.
- Melle BOUDJELLALI SABIHA
- Melle BOUAMRA FARIZA
- A tous nos amis (es) du semestre dix en génie sanitaire en particulier : R. KAADA, A. DJEDIR, H. BENSALD, H. BERKOUK, ABDELMALEK, et KRIMO BAB EL OUED.

Nous remercions enfin tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce modeste t vail.

DEDICACES

A mes regrettés parents.

A mes frères et soeurs et mes petits  
neveux Saïd et Farah.

A mon frère et ami, KAMEL.

KADI.

A mes parents

A mes frères

A mes soeurs

A tous mes Amis (es)

MOHAMED REDOUANE.

## S O M M A I R E

CHAPITRE I.	INTRODUCTION.....	p. 1
I.1	Avant propos.	
I.2	Objet de l'étude.	
CHAPITRE II.	LES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES.....	p. 3
II.1	Introduction.	
II.2	Les eaux résiduaires des industries de la cellulose.	
CHAPITRE III.	L'INDUSTRIE DE LA CELLULOSE.....	p. 11
III.1	Constituants des végétaux papetiers.	
III.2	Les différents procédés de fabrications des pâtes à papier	
III.2.1	Procédé au bisulfite.	
III.2.2	Procédé au sulfate.	
III.2.3	Procédé à la soude (chlore - alcalin).	
CHAPITRE IV.	PRESENTATION DE L'UNITE CELLULOSE - PAPIER.....	p. 16
IV.1	Introduction.	
IV.2	Matières première : l'alfa.	
IV.3	Description du procédé de fabrication de pâte à papier.	
IV.3.1	Atelier végétaux	
IV.3.2	Atelier cellulose.	
IV.4	Procédé de fabrication de papier.	
IV.4.1	Les charges et produits de collage.	
IV.4.2	Aperçu sur le procédé de fabrication du papier.	

IV. 5 . Bilan des eaux de l'unité CELPAP.

IV.5.1 Les besoins en eaux.

IV.5.1.1 Les eaux brutes.

IV.5.1.1.2 Les eaux adoucies.

IV.5.2 Les eaux résiduaires de l'unité. )

IV.5.2.1 L'atelier cellulose.

IV.5.2.2 L'atelier papeterie.

CHAPITRE V.

QUANTIFICATION DE LA POLLUTION DE L'UNITE ..... p.33  
CELPAP DE BAB-ALI.

V.1 Methodologie.

V.2 Mode d'échantillonnage.

V.3 Localisation des points de prélèvements.

V.4 Paramètres de pollution.

V.5 Résultats des différentes campagnes de prélèvements.

V.6 Interpretation des resultats.

CHAPITRE VI.

APERCU GENERAL SUR LE TRAITEMENT DES EAUX ..... p.46  
RESIDUAIRES INDUSTRIELLES.

VI.1 Introduction.

VI.2 Mesures internes à prendre par les entreprises  
industrielles.

VI.2.1 Modification du procédé de fabrication.

VI.2.2 Recyclage des eaux résiduaires.

VI.2.3 Récupération des substances valorisables contenues  
dans les eaux résiduaires.

- VI.2.4 Exemples de récupération dans l'industrie de la cellulose et des papeteries.
- VI.3 Techniques d'épuration des E.R des industries de la cellulose.
- VI.3.1 Les matières en suspension.
- VI.3.2 Les traitements biologiques.
- VI.3.3 Les traitements de décoloration et d'élimination de la D.C.O non biodégradable.
- VI.4 Les procédés d'épuration biologique.
- VI.4.1 Le traitement par boue activée.
- VI.4.2 Le traitement par lagunage.
- VI.4.3 Epuration biologique des eaux résiduaires de fabrication de pâte à la soude.
- VI.5 Autre procédé de traitement des eaux résiduaires des industries de cellulose.
- VI.5.1 Ultrafiltration des effluents industriels.
- VI.5.2 Réacteur anaérobie à lits fluidisés pour le traitement des eaux résiduaires industrielles contenant des chlorophénols.
- VI.6 Epuration des eaux résiduaires mixtes urbaines et industrielles.
- VI.6.1 Introduction.
- VI.6.2 Influence des eaux résiduaires sur le traitement des eaux mixtes.
- VI.6.3 Influence des E.R.I sur l'épuration biologique des eaux résiduaires mixtes urbaines.
- VI.6.4 Mesures à prendre par les entreprises industrielles avant de déverser leurs eaux résiduaires dans un réseau d'assainissement urbain.

CHAPITRE VII.	ESSAIS DE TRAITEMENTS AU LABORATOIRE.....	p.79
VII.1	Coagulation floculation.	
VII.1.1	Introduction.	
VII.1.2	Réactifs de coagulation.	
VII.1.3	Quantification de la pollution avant la coagulation-floculation.	
VII.1.4	Mise en oeuvre et description de l'essai de coagulation-floculation.	
VII.1.5	Résultats de l'essai de coagulation-floculation.	
VII.2	Le traitement biologique.	
VII.2.1	Conditions de bon déroulement d'un traitement biologique.	
VII.2.2	Caractéristiques des prélèvements.	
VII.2.3	Description du dispositif expérimental de traitement.	
VII.2.4	Hypothèses de départ des différents essais.	
VII.2.5	Discussion des résultats.	
VII.2.6	Conclusion générale sur l'essai de traitabilité biologique.	
CHAPITRE VIII.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	p.99

## I. INTRODUCTION

### I. 1. Avant propos.

L'homme à toujours œuvré dans le sens de parfaire son niveau de vie, ne sachant quelles conséquences désastreuses peuvent entraîner son égoïsme et ses ambitions sur l'ensemble de son environnement.

Le problème de pollutions multiples entraînées par l'action de l'homme dans le domaine industriel est universel, et met déjà en cause toute la philosophie économique de la société industrielle.

L'augmentation de la demande de produits finis et leur consommation démesurée entraîne des rejets industriels très importants et nous sommes confrontés à des problèmes de pollution divers, dont les conséquences sont aussi nombreuses que variées.

Il n'est plus à démontrer que la dégradation de l'environnement est à la base de certaines maladies, et souvent même la cause principale de pertes humaines considérables. Il est par exemple suffisant de penser que par simple infiltration, les eaux résiduaires peuvent modifier la qualité de l'eau souterraine qui constitue pour l'homme une source sûre de vie. L'altération de ces eaux naturelles par les effluents industriels se manifeste entre autre par une coloration, un épuisement d'oxygène, un dépeuplement biologique et une toxicité grandissante.

Devant toutes ces conséquences alarmantes la question qu'on se pose est : qu'en sera-t-il pour notre écosystème ? il serait donc grand temps d'agir afin de limiter ce fleau du vingtième siècle qu'est la pollution.



## I. 2. Objet de l'étude.

Dans le cadre de la lutte contre la pollution des eaux et suite à la promulgation de la loi 83 - 03 du 5 Février 1983 qui énonce un cadre juridique à la protection de l'environnement, L'Entreprise Nationale d'Ingéniering et de Développement des Industries légères. (EDIL) nous proposa d'étudier la pollution des eaux engendrée par l'unité Cellulose Papier (CELPAP) de Bab-Ali. Ce travail s'incère en outre dans les études se rattachant au plan d'assainissement de l'oued El Harrach et ses affluents.

Dans cette perspective nous nous proposons de quantifier la charge polluante des eaux résiduaires de l'unité CELPAP et de procéder au laboratoire à des essais simples de traitabilité de ces eaux.

## II. 1. INTRODUCTION.

L'eau est à la base de toute activité industrielle. Une activité industrielle est la transformation de la matière première en produits finis. Cette opération est réalisée à travers une chaîne de fabrication où de grandes quantités d'eaux sont utilisées et rejetées. Ce sont ces rejets que l'on appelle eaux résiduaires industrielles.

Dans une industrie, on peut distinguer généralement quatre types d'eaux résiduaires, ce sont les eaux de refroidissement, de fabrications, de ruissellement et les eaux sanitaires. Les eaux de fabrications qui ont plusieurs fonctions de lavage, de transport etc... sont, par rapport aux autres types d'eaux, à l'origine du problème de pollution des industries. (1)

Les caractéristiques des eaux résiduaires industrielles varient suivant l'industrie considérée, elles dépendent en particulier des matières premières utilisées, des procédés de fabrications, des produits finis fabriqués et des quantités d'eaux récupérées et réutilisées dans l'entreprise par recyclages. (2).

Les eaux résiduaires industrielles sont classées en général en trois catégories : (3).

- Les eaux contenant principalement des constituants organiques (Industries alimentaires, industries pétrolières, etc...).
- Les eaux contenant principalement des constituants inorganiques (Mines, industries chimiques, industries de transformation du fer, etc...).

- Les eaux à caractères mixtes (industries de la cellulose, papeterie, industries textiles, industries du cuir, etc...)

Ces eaux, à l'inverse des eaux usées urbaines, présentent des caractéristiques diverses et complexes, parmi celles-ci on peut citer :

- Les débits de ces effluents caractérisés par des surcharges et des à coups.
- Les fortes teneurs en matières sèches.
- Des températures élevées.
- Des valeurs de pH trop élevées ou trop basses dues à la présence d'acides ou de bases.
- La présence de matières nocives et toxiques qui gênent les traitements biologiques.
- L'aspect des eaux, forte coloration, et turbidité.
- Une importante charge organique.
- Un déséquilibre nutritionnel (absence de substances nutritives comme l'azote et le phosphore).

Les leçons de la pratique montrent que, toujours, les eaux résiduaires industrielles sont d'une nature différente des eaux usées domestiques. Comme d'autre part, le degré de pollution des effluents domestiques d'un pays d'un niveau déterminé reste à peu près constant si on le rapporte à un habitant de la population intéressée, on a trouvé qu'il est utile de calculer un indice, appelé nombre équivalent d'habitant, pour caractériser des eaux résiduaires industrielles. Le nombre équivalent d'habitant (NEH) qui caractérisent ces eaux industrielles est généralement rapporté à la demande biologique en oxygène des eaux usées domestiques, c'est à dire à 54 g de DBO par habitant et par jour (ce chiffre est plus élevé dans le cas des grandes agglomérations).

Cet indice doit être considéré comme une unité importante, car il donne une bonne indication sur la mesure dans laquelle une installation de dépollution biologique ou la teneur en oxygène d'un effluent domestique est chargée par les matières polluantes biologiquement destructibles d'une eau résiduaire industrielle (3 ). Nous donnons, quelques indices de pollution de certaines entreprises industrielles, et des industries de cellulose et des papeteries, consignées dans les tableaux n° 1 et n° 2.

## II. 2. Les eaux résiduaires des industries de la cellulose.

Les industries de pâtes à papier et papeteries, consomment de très grandes quantités d'eau. Sous forme de vapeur, la consommation est d'environ 8 tonnes pour la fabrication de une tonne de pâtes chimiques ; pour la préparation des réactifs de cuisson et les lavages, les volumes d'eaux nécessaires varient entre 50 et plus de 200 m par tonne, qu'il faut sensiblement doubler si les pâtes sont blanchies en plusieurs phases. La production d'une tonne de papier exige à peu près le même poids de vapeur qu'une tonne de pâte, et pour l'alimentation des appareils de désagrégation des pâtes, des raffineurs, de la machine à papier, il faut des quantités totales d'eau qui sont du même ordre de grandeur par tonne de papier que par tonne de pâte, mais il y a de grandes différences suivant les sortes fabriquées et suivant l'importance des recyclages dans les cuissons comme en papeteries. ( 4 )

Ces industries sont donc de grosses consommatrices de vapeur. Les eaux brutes viennent généralement de sources, de rivières, de nappes souterraines ; elle sont plus ou moins riches en matières en suspension et en solution.

Tableau N° 1

nombre equivalent d'habitant pour des effluents industriels  
valeur rapportées à une DBO de 54 g par habitant et par jour

Genre d'entreprise	Unité de production reference	Nombre equivalent habitant
.Laiteries sans fromages	1000 l de lait	30 - 80
.Laiteries avec fromages	1000 l de lait	100 - 250
.Abattoirs	1 boeuf	70 - 200
.Sucrieries	1 tonne de betterave	120 - 400
.Brasseries	1000 l de biere	300 - 2000
.Distillerie	1000 l de grains	1500 - 2000
.Tannerie	1 tonne de peaux	1000 - 4000
.Laverie de laine	1 tonne de laine	2000 - 5000
.Blanchisserie (blanchiment)	1 t de marchandise	250 - 350
.Usine de pulpe au sulfite	1 t de cellulose	4000 - 6000
.Usine de pâte de bois	1 t de pâte de bois	50 - 80
.Papeterie	1 t de papier	100 - 300
.Blanchisserie (lavage)	1 t de linge	700 - 2300

Les sels dissous produisent l'entartrage des chaudières, turbines et canalisations ; à la fabrication des papiers, ils produisent des précipitations avec les produits de collage et des taches sur les feuilles ; certains cations, spécialement le fer, nuisent à la blancheur des pâtes et des papiers ; diverses substances minérales et organiques favorisent le développement de boues microbiennes et elles peuvent perturber le collage du papier (4). L'analyse de l'eau utilisée pour la préparation des pâtes et des papiers est donc de première importance, et le traitement des eaux d'alimentation des chaudières représente chez elles un poste important. (5).

Le volume des eaux résiduaires rejeté par ces industries est donc proportionnel à ces énormes quantités d'eau consommé. Ces eaux résiduaires sont classées par différents auteurs comme des eaux présentant des caractéristiques mixtes. Elles contiennent des constituants, en partie organique et en partie inorganique, plus ou moins biodégradables, mais représentent des milieux inhibés par d'autres constituants. (6).

Les effluents de ces industries sont à l'origine d'une double pollution organique et toxique. La pollution organique qui est soit soluble soit insoluble, soit les deux en même temps, est caractérisée par des teneurs en matières décantables allant de 50 à 300 mg/l, par une DBO de 100 à 500 mg/l, une DCO de 300 à 4000 mg/l, biodégradable à 50 %. (5).

Depuis plusieurs années, se pose le problème de la présence d'espèces toxiques dans les effluents de blanchiments de pâte à papier utilisant le chlore dans leur séquence. Malgré de nombreux travaux analytiques sur ce sujet, la connaissance de ces effluents reste encore partielle.

Tableau n° 2

Nombre équivalent d'habitants de différentes papeteries

NO	Nombre équivalent d'habitants par tonne de papier produite			Somme de 1 et 2	Quantité d'effluent par tonne de papier produite m <sup>3</sup>
	1 d'après la fraction organique des matières en suspension	2 d'après la DBO/5 de l'effluent dé- canté			
<u>Papeteries</u>					
4	17,0	103,0	120,0	67	
5	507,0	75,0	582,0	22	
6	49,0	139,0	188,0	27	
7	287,0	145,0	432,0	86	
8	174,0	347,0	521,0	144	
9	596,0	54,0	650,0	86	
10	1.069,0	58,0	1.127,0	149	
11	1.060,0	194,0	1.254,0	123	
12	204,0	164,0	268,0	117	
<u>Cartonneries</u>					
16	127,0	45,0	172,0	138	
17	136,0	51,0	187,0	67	
18	200,0	23,0	223,0	95	
19	64,0	232,0	296,0	135	
<u>Usine de pâte de bois blanche</u>					
21	382,0	231,0	613,0	288	
22	973,0	77,0	1.050,0	360	
23	1.840,0	165,0	2.005,0	291	
24	1.826,0	181,0	2.007,0	263	
<u>Usine de pâte de bois brune</u>					
25	324,0	906,0	1.230,0	158	
26	28,0	23,0	52,0	116	
<u>Usine de carton de paille</u>					
27	48,0	1.617,0	1.665,0	17	
28	40,0	1.822,0	1.862,0	18	

En effet si de nombreuses molécules ont été identifiées, on estime à plusieurs centaines le nombre d'espèces différentes formées lors du blanchiment. Il est actuellement impossible de dresser une liste exhaustive de tous les composés rencontrés dans les effluents : 1 % des molécules auraient été identifiées. (7). Parmi ces espèces toxiques identifiables, on peut citer les chlorophénols et leur dérivés, ainsi que les composés organochlorés supposé cancérogènes. Ces substances proviennent essentiellement de l'action du chlore, et de ses composés, utilisé lors du blanchiment sur la lignine, la cellulose, et sur leurs produits de dégradation. Ces derniers renferment un noyau benzénique et des oxydriles dont un est phénolique, mais ils s'agit de grosses molécules, dont la toxicité est contestable, en tout cas différentes quant à ses effets de celles des phénols plus simples. (4)

Les effluents des industries de pâte et papeteries sont aussi classés (8) parmi ceux qui sont responsables d'une "pollution azotée". En effet ces industries apportent les plus grosses quantités d'azote essentiellement sous forme organique ; l'importance de ces rejets azotés varie d'un pays à l'autre, et dépend de la matière première utilisée (bois, alfa, paille, ect...) ainsi que du volume des rejets. Le tableau N° 3 donne les quantités d'azote rejetées par les usines de pâte à papier et papeterie suédoises (8).

Les caractéristiques des eaux résiduaires des industries de cellulose et des papeteries sont donc, comme d'ailleurs toutes les eaux résiduaires industrielles, extrêmement variées et complexes elles dépendent essentiellement du procédé de fabrication et de la taille de l'entreprise. Cette extrême diversité des rejets nécessite alors des investigations propres à chaque unité industrielle quant au choix des procédés de traitements de ces rejets.



En général les traitements biologiques ou anaérobies peuvent être appliqués à ces eaux résiduaires, toutefois, certaines conditions sont à respecter comme par exemple, l'absence ou l'élimination des toxiques, l'équilibre nutritionnel, etc...

Tableau N° 3

Masses d'azote rejetées en g/tonne dans les  
papeteries suédoises

Procédé	Azote en g/tonne	
	moyenne	gamme
. Methode au sulfate		
- non blanchi	320	260 - 350
- blanchi	400	260 - 530
. Methode au sulfite		
- non blanchi	330	200 - 370
- blanchi	620	170 - 500
. Mécanique + sulfite journeaux	140	80 - 220
. Cartons	150	140 - 160

### III. L'INDUSTRIE DE LA CELLULOSE

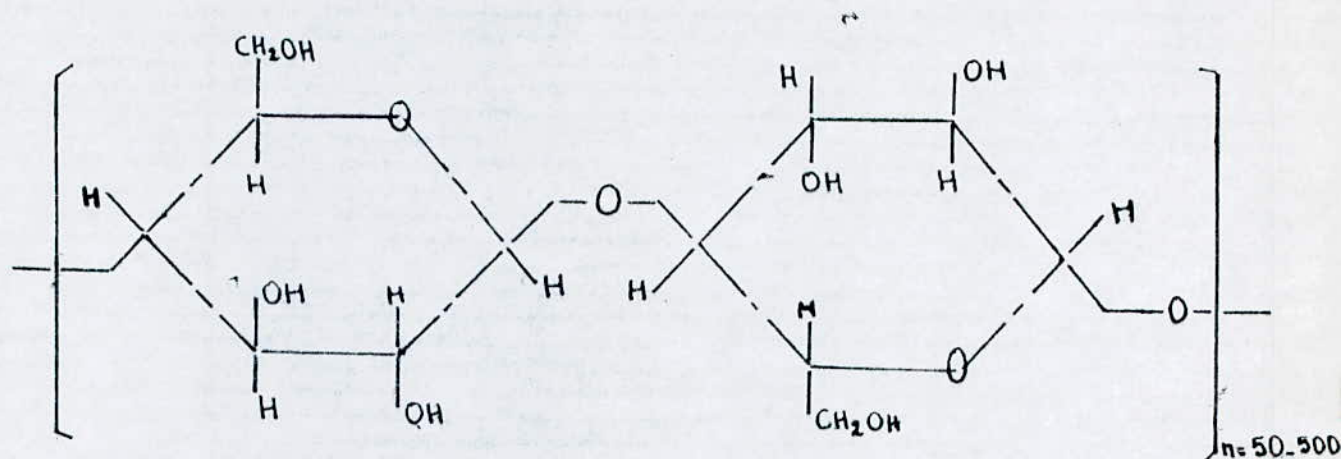
#### III. 1. Constituants des végétaux papetiers.

Le papier est essentiellement fabriqué à base de cellulose, celle-ci est extraite à partir des plantes lignifiées appelées végétaux papetiers tels le bois, l'alfa, la paille et le coton, ce dernier est réservé surtout à l'industrie textile.

Les constituants de ces végétaux papetiers sont très nombreux, et leur identification présente des difficultés d'ordre pratique dues au fait que ces constituants ne sont pas nettement séparés les uns des autres mais sont plus ou moins liés dans la substance ligneuse. (9)

Les principaux composants de ces plantes lignifiées sont :

- L'holocellulose : ce terme désigne la fraction saccharidique des végétaux, c'est à dire la cellulose et l'hemicellulose. (4)
- La cellulose : c'est le composant principal de toutes les plantes lignifiées, plus de 90% du coton, 40 à 60 % des autres végétaux papetiers. Elle est le constituant fondamental des parois cellulaires des végétaux supérieurs, elle se trouve associée avec des substances diverses comme la lignine, l'hémicellulose glucosane, pentosanes, et matières pectiques. La cellulose pure possède une structure fibreuse, elle est insoluble dans l'eau et dans les solvants organiques, elle appartient à la classe des hauts polymères linéaires. La molécule de cellulose est une chaîne composée d'unités de glucose, et la formule structurelle suivante ainsi que la formule brute  $(C_6H_{10}O_5)_n$  est aujourd'hui généralement admise (9)



La cellulose est donc formée de longues chaînes de groupe anhydro-glucose. Elle possède à l'état pure une structure fibreuse.

D'une manière générale les réactions chimiques de la cellulose peuvent être considérées comme étant celles du groupe fondamental  $C_6H_{10}O_5$ , dérivé du glucose qui possède trois fonctions alcooliques libres. Il s'agit surtout de réactions de substitution, d'addition, de dégradation, de transformation du squelette cellulosique et d'adsorption (9)

- Les Hemicelluloses : ce sont des hydrates de carbone existant dans les végétaux qui se distinguent de la cellulose par une plus grande vitesse d'hydrolyse sous l'action d'acide, et par la nature des produits obtenus : hexoses autres que le glucose, pentoses, acides uroniques. Selon une autre définition, les hydrates de carbone que l'on peut extraire des végétaux par des solutions alcalines froides et précipiter par l'acide et l'alcool sont des hemicelluloses. A l'opposé de la cellulose, ces corps sont solubles dans un alcali dilué. Cette solubilité représente un indice analytique important. Les acides dilués les transforment par hydrolyse en sucres monomères ; leurs poids moléculaires est inférieur à celui de la cellulose. (4)

- la lignine : elle représente un ensemble de substances riches en carbone, et constitue environ 20 à 25 % des végétaux papetiers.

Sa nature chimique est très complexe. La lignine est amorphe, sa molécule n'est pas de structure linéaire. L'emploi d'acides forts permet de l'isoler des autres composants et permet de la déterminer analytiquement. (4)

- Autres Constituants divers : en plus de ces composés organiques et polymères, les plantes lignifiées contiennent en faible proportion, de l'eau, des substances pectiques, des résines, des tannins, des colorants et quelques substances minérales.

### III. 2. Les différents procédés de fabrication des pâtes à papier.

Le but de tous les procédés d'obtention de pâtes de fibres à partir des plantes ligneuses consiste à décomposer ces plantes en éléments structurels (cellules fibriformes) et à les désincruster. La séparation en fibres peut être menée de différents manières selon les propriétés souhaitées et le domaine l'application prévu. Dans les procédés chimiques de désagrégation, dont le produit final est la cellulose, on fait cuire les végétaux papetiers, dans des tours de cuissons, avec ou sans pression, replies d'un liquide de cuisson qui doit exercer une action aussi sélective que possible sur la lignine. C'est ainsi qu'on dissout la lignine de la lamelle mitogène jusqu'à ce que la cohésion des cellules entre elles soit à peu près détruite (9). Selon le liquide de cuisson utilisé, on parle de :

- cellulose au bisulfite (sel de bisulfite +  $SO_2$ )
- cellulose au sulfate ( $NaOH$ ,  $Na_2S$ )
- cellulose à la soude ( $NaOH$ )

#### III. 2. 1. Procédé au bisulfite.

Ce procédé est utilisé dans le cas de bois pauvres en résines, ainsi que dans la perspective ou l'usine produit de la cellulose pour la fabrication de viscose (2)

La cuisson au bisulfite transforme la lignine, en présence de solution aqueuse de bisulfite de calcium contenant du  $\text{SO}_2$  libre, en acide lignosulfonique qui se dissout à température plus élevée ( $80^\circ - 110^\circ\text{C}$ ). (9). Le rendement de cellulose obtenu à partir de ce procédé ne représente que 50 % du bois sec, il reste pour chaque tonne de cellulose produite environ 50 % de substances organiques en solution dans la lessive résiduaire qui contient 10 % de matières sèches. (9). Les condensats de cuisson obtenus contiennent des quantités importantes d'alcool méthylique, de furfurol et de cymen. (2). La coloration nette des eaux de rivières, la tendance de l'eau à mousser, la diminution du taux d'oxygène dissous et le développement des champignons sont les principaux effets produits par les lessives résiduaires sulfitées sur les milieux récepteurs.

### III. 2.2. Procédé au sulfate.

C'est un procédé antérieur à celui du bisulfite, du chimiste allemand DAHL (1884). L'extraction de la cellulose se fait par cuisson sous pression dans une solution de soude caustique, de sulfure de sodium et de sulfate de sodium. Le temps de cuisson est plus court que celui dans le procédé au bisulfite, il peut même être réduit à 2 heures à des températures élevées. Normalement, le temps de cuisson est de 6 heures dans 2 heures à température maximum ( $170$  à  $175^\circ$ ) avec des pressions de  $7 - 8 \text{ kg / cm}^2$  (9). La lessive résiduaire de cuisson appelée "liqueur noire" (comme dans le procédé à la soude) est en partie utilisée (jusqu'à 50 %) en mélange avec la lessive fraîche pour les cuissons suivantes.

Les eaux résiduaires obtenues au cours de ce procédé sont principalement :

- Les lessives résiduaires caractérisées par leur odeur désagréable due à des composés volatils (methylmercaptan,  $\text{H}_2\text{S}$ , dimethylsulfuré, et autres composés soufrés). On utilise généralement une décantation afin de séparer de ces lessives un liquide huileux qui permettra de récupérer de la térébenthine par distillation.

- Les lessives provenant des cuves de cuiseurs qui ont même composition que les lessives précédentes.
- Les eaux de rinçage des diffuseurs, de couleur brune, de pH alcalin, ayant des teneurs élevées en matière dissoutes.

### III. 2. 3. Procédé à la soude (chlore - alcalin)

Le principe de ce procédé est celui d'une des plus anciennes méthodes de dosage de la cellulose (cross - Bevan) qui consiste à traiter les végétaux par des solutions alcalines et du chlore ; Les chlorolignines formées par des réactions exothermiques de substitutions, oxydation et addition, sont solubles en milieu alcalin. Il existe plusieurs variantes de ce procédé, on peut citer la variante cataldi - Pomilio, utilisé par l'unité celpap et que l'on détaillera par la suite, la variante Pomilio - Celdécor (1950) qui consiste à des perfectionnements du matériel.

Ce procédé à la soude est principalement utilisé pour l'extraction de la cellulose à partir des paille, l'alfa des roseaux, cannes à sucres etc..., les rendements peuvent atteindre 50 %. (4)

IV. PRESENTATION DE L'UNITE CELLULOSE -PAPIER  
de BAB-ALI (C6LPAP)

IV. 1. Introduction

Il s'agit d'une usine intégrée de pâte et de papier, construite en 1949. Sa capacité de production est de 22.000 tonne de papier<sup>(\*)</sup>. L'unité utilise le procédé à la soude -procédé Plmilio - pour la fabrication de la pâte cellulosique, qui convient le mieux à la matière première utilisé qui est l'alfa. (10)

L'unité est composée de quatre ateliers principaux. L'atelier cellulose qui produit la pâte à papier, l'atelier papeterie qui fabrique le papier l'atelier végétaux qui prépare l'alfa pour la cuisson, et l'atelier de finition ou le papier est découpé et emballé.

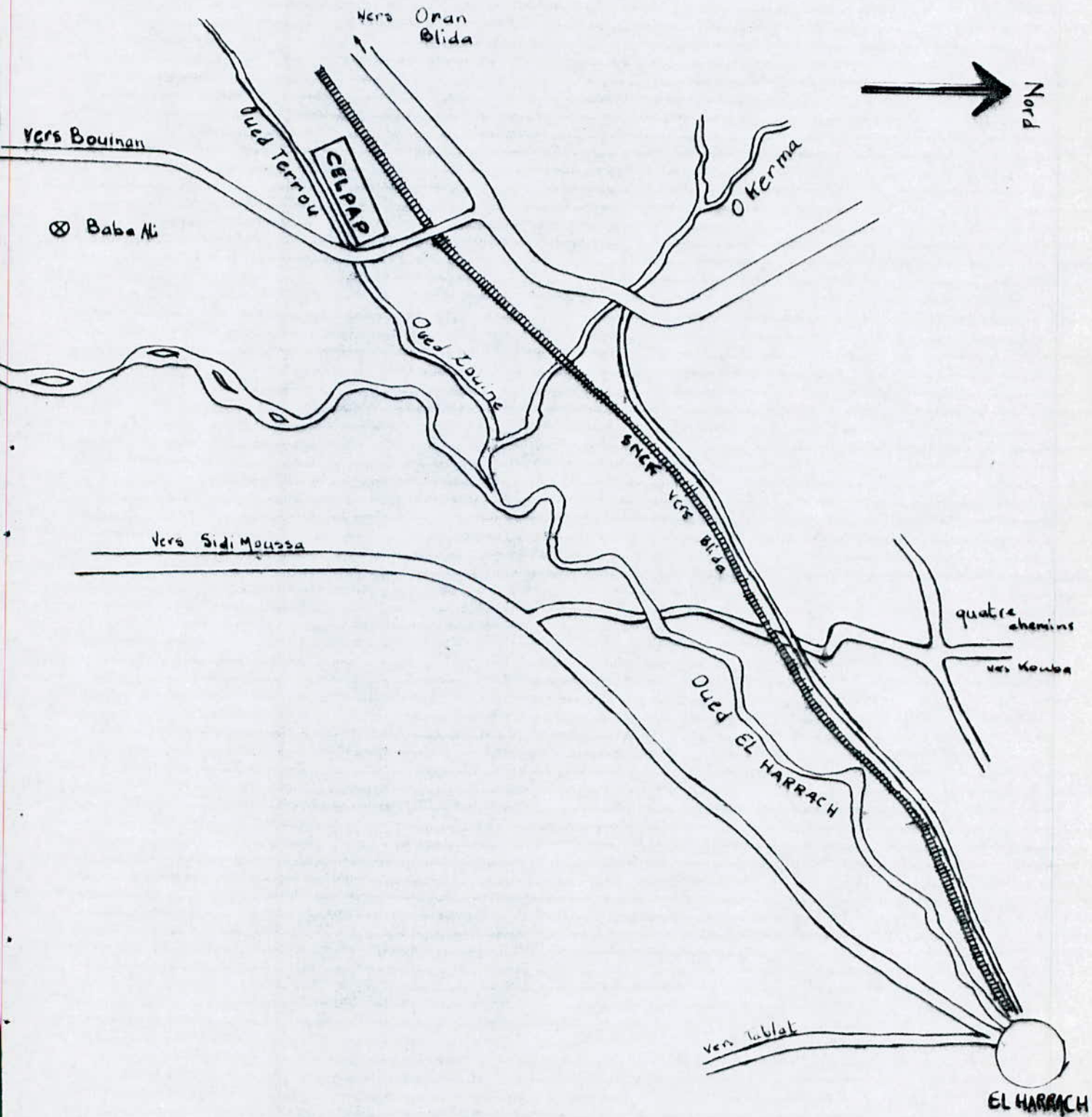
L'unité possède actuellement une production de 25 tonnes par jour de pâtes cellulosique à partir de 62 tonnes par jour d'alfa. La production de papier s'élève, elle à 50 tonne par jour. (

L'unité fonctionne généralement 24 h sur 24. Sept jour sur sept et les jours fériés. On procède de temps à autre à des arrêts journaliers pour nettoyer les machines à papier, par contre l'unité procède à un arrêt annuel d'un mois, généralement le mois de septembre, pour les besoins de maintenance des divers équipements.

Les effluents de l'unité sont rejetés dans l'oued Terrou qui est un des affluents de l'oued El Harrach. La figure n° 1 donne la situation géographique de l'unité. (11)

(\*) : production annuelle .

Figure N° 1 Situation géographique de l'unité CELPAP





#### IV. 2. Matières premières : L'alfa.

Les nappes d'alfa se situent principalement dans des régions à faible pluviométrie ( < à 300mm). L'essentiel de la production nous vient des hauts plateaux. L'alfa est cueilli au vert, il devient plus ou moins brun après séchage au soleil. Cette opération lui fait perdre 20 à 25 % de son poids.

Les fibres d'alfa sont particulièrement utilisées dans la fabrication du papier, ce dernier est très recherché pour ses qualités. L'alfa est généralement classé selon la longueur et sa souplesse, l'alfa court mais propre est destiné à la fabrication de papier de luxe, l'alfa noirâtre, long, est employé pour la fabrication du papier ordinaire (12)

La teneur en cellulose des fibres d'alfa varie entre 42 % à 58 %, cette teneur est variable selon les régions, la nature du sol et de l'altitude (13)

La consommation en matières premières, du 1er trimestre 1987, se répartit comme suit :

- ALFA : 5549 tonnes (62 t/j)
- Pâtes fibres longues : 969 tonnes
- Pâtes fibres courtes : 560 tonnes.

Les pâtes fibres longues et courtes sont des pâtes d'appoint qui sont importées et servent d'ajout à la pâte produite par l'unité.

- Kaolin : 664 tonne
- Amidon : 59 tonne
- Alumine : 147 tonne
- Colle : 37 tonne.

Ces produits sont des charges utilisés par l'atelier papeterie.

Pour la même période la production de l'unité s'élève à :

- papier sur enrouleur : 4497 tonnes (
- pâte cellulosique : 25 tonne par jour

(chiffre donné pour un taux de rendement de 39 % )

Une unité annexe (SONICHLORÉ) produit les composés suivant pour les besoins de l'unité CELPAP.

- Soude	: 3345 m <sup>3</sup> /an
- Hypochlorite	: 3809 m <sup>3</sup> /an
- Acide	: 139 m <sup>3</sup> /an
- Saumure	: 3501 m <sup>3</sup> /an

#### IV. 3. DESCRIPTION DU PROCÉDE DE FABRICATION DE LA PÂTE A PAPIER.

Les différentes opérations technologiques de la fabrication de pâte cellulosique se déroulent (succéssivement) au niveau des ateliers végétaux et cellulose. (14, 15 )

##### IV. 3. 1. Atelier Végétaux.

Cet atelier sert à la préparation de l'alfa qui est coupé en petits brins de quelque centimètre et dépoussiérée. L'opération permettra une meilleur pénétration des agents chimiques d'attaque lors de la cuisson et de la chloration.

Le transport de l'alfa ainsi préparé se fait mécaniquement vers l'atelier cellulose (environ 60 tonnes par jour.)

##### IV. 3. 2. Atelier cellulose

Cet atelier regroupe les principales phases de de la transformation de l'alfa en pâte cellulosique qui sont schématisées dans la figure n°2

ALPHA 100%

Soude, chauffée 90°C

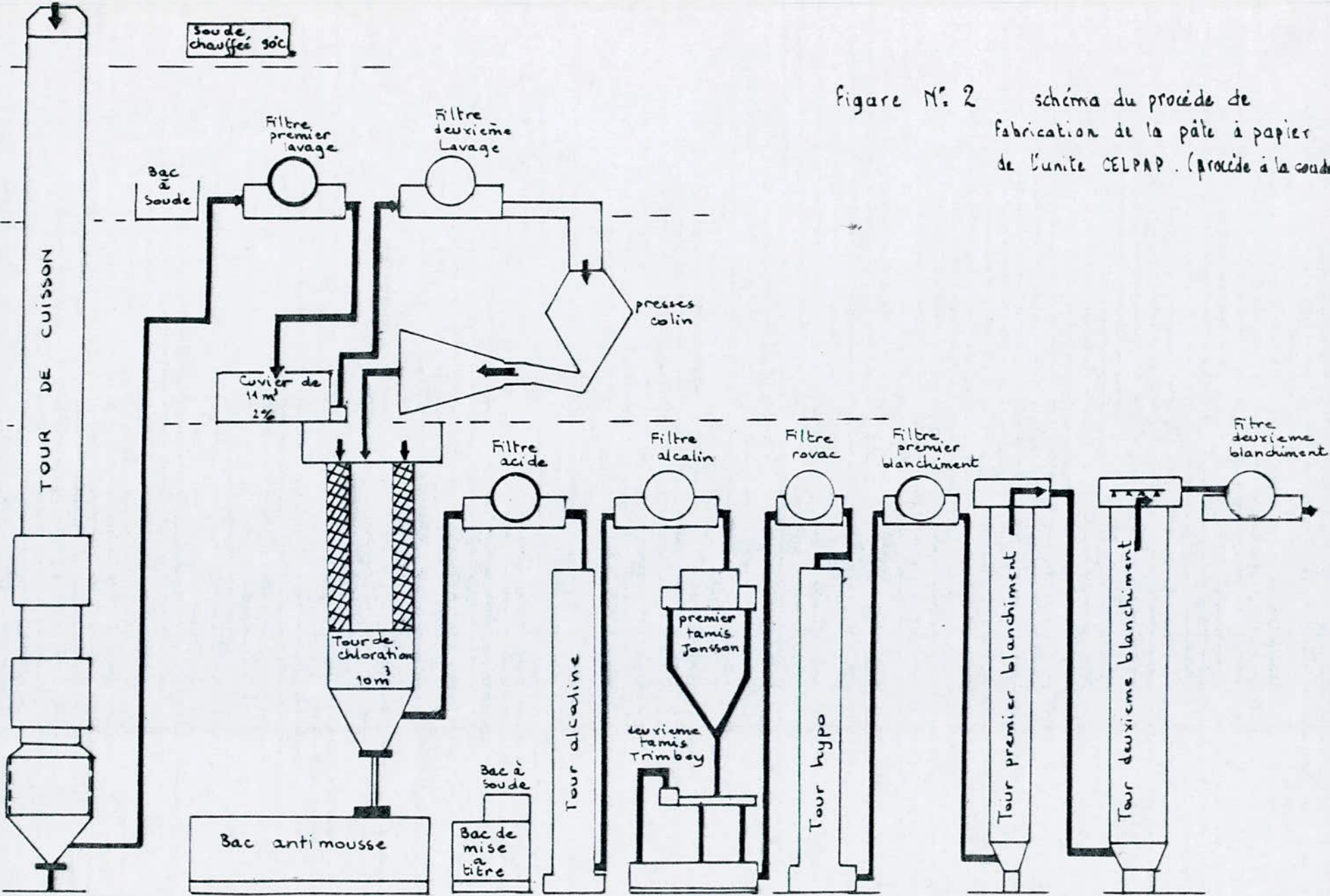


Figure N° 2 schéma du procédé de fabrication de la pâte à papier de l'unité CELPAP. (procédé à la soude)

- Phase de Cuisson.

L'alfa arrivant de l'atelier végétaux est déversé dans un cyclone ou il est imprégné par une solution de soude à 40 - 45 g/l préchauffée à une température de 90°C. La cuisson s'effectue dans une tour cylindro-conique de 28m de hauteur à pression atmosphérique et à régime continu pendant une durée de trois heures. L'alfa imprégné de soude descend sous l'action de son propre poids au bas de la tour.

On extrait la demi-pâte cellulosique au bas de la tour après l'avoir préalablement dilué de lessive résiduaire (liqueur noire). Elle est ensuite envoyée sur deux filtres de lavage à tambour rotatif opérant à contre courant. Ce lavage permet l'élimination des sodolignines formées lors de la cuisson et évacuation avec les filtrats de lavage. La demi-pâte cellulosique ainsi obtenue contient encore de la lignine d'où sa couleur brune foncée, sa concentration est de 17 %.

- Phase éssorage.

La demi-pâte passe par une presse afin d'élever sa concentration à 27 %. Elle est ensuite introduite dans un cône ouvreur dont le rôle est de défibrer la pâte. Cette opération facilitera la pénétration du chlore dans la pâte (le défibrage permet d'augmenter la surface de contact).

- Phase de chloration.

La réaction de chloration s'effectue à contre courant dans deux tours à revêtement en céramique. Cette opération consiste en une attaque de la lignine restante dans la demi-pâte par le chlore gazeux, le produit de la réaction est la formation des chlorolignines. La pâte obtenue est diluée, puis envoyée vers le filtre de lavage dit "filtre acide" permettant l'élimination d'une partie des chlorolignines et de l'acide chloré.

- Phase de Sodation.

Les chlorolignines sont des composées très peu solubles dans l'eau, mais ils le sont dans des solutions alcalines, un traitement alcalin est donc nécessaire pour leur extraction.

La dissolution des chlorolignines s'effectue dans une tour "alcaline" après avoir additionné une solution de soude (45g /l). Les produits de cette réaction sont les chlorosodolignines, composés solubles dans l'eau, leur élimination se fait sur un filtre de lavage dit filtre alcalin. Les filtrats de lavages des filtre acide et alcalin rejoignent les liqueurs noires au niveau du bac antimousse situé au rez de chaussée (Niveau 0), le tout est envoyé vers l'oued Terrou.

- Phase d'épuration.

A sa sortie du filtre alcalin la pâte est à une concentration de 17 %. Elle possède encore une coloration brune, et renferme des impuretés dues au sable, les faisceaux de fibres, et les incuits. La phase d'épuration mécanique consiste à éliminer ces impuretés de la pâte, elle s'effectue en deux stades :

1er stade : Une épuration grossière ayant lieu dans un tamis vibrant, permet l'élimination des grosses buchètes et des incuits.

2ème stade: Une épuration fine ayant lieu dans des centrifugeurs appellés trimbeys, permet l'élimination des fines particules indésirables comme le sable et les fins faisceaux de fibres.

- Phase blanchiment.

Après cette épuration, on obtient une pâte à papier dont le seul inconvénient qui subsiste encore est sa couleur brune qui atteste encore la présence des composés de transformation de la lignine, son taux peut s'élever jusqu'à 6 % pour les pâtes chimiques. On continue pour cela la délignification par un blanchiment sélectif au cours duquel les derniers restes de lignine, ainsi que les autres éléments colorants sont soit dissous soit éclaircis. (9)

L'agent de blanchiment utilisé est l'hypochlorite de sodium (eau de javel), son action exige des conditions bien déterminées car il peut dégrader la cellulose d'où l'altération des indices qualitatifs de la pâte à papier.

Le blanchiment se fait en deux stades successifs :

1er stade : La pâte est introduite avec l'agent de blanchiment dans une tour appelée tour hypochlorite". Après un temps de réaction (45min), elle est amenée vers un filtre de lavage.

2eme stade : L'opération de blanchiment continue dans deux tours successives. La réaction est plus lente que des le 1er stade, avec un temps de séjour de 6 heures qui assure un contact plus long avec l'hypochlorite de sodium.

Les 3 lavages de la pâte se font avec l'eau blanche venant de l'atelier papeterie (environ 30m<sup>3</sup>/h pour chaque lavage). On obtient après cette phase de blanchiment une pâte plus ou moins blanche, qui est débarassée de tous les produits de transformation de la lignine. La pâte blanchie et rincée est acheminée par une conduite vers les deux cuiviers de stockage se trouvant dans l'atelier papeterie. (pâte contenant 5g de cellulose par 100g d'eau).

#### IV. 4. Procédé de fabrication du papier.

##### IV. 4. 1. Les charges et produits de collage.

La pâte à papier qu'on obtient ne suffit pas à elle seule à la fabrication du papier. D'autres produits jouent un rôle important dans cette fabrication : ce sont les charges minérales les produits de couchages et de collage, qui permettent d'améliorer la qualité du papier en lui donnant certaines propriétés de surface, de porosité et de transparence. (9)

L'atelier papeterie utilise comme charges blanches du kaolin et comme produit de collage le sulfate d'Alumine qui est un composé hydrophobe à la pâte, il permet le dépôt en surface de la feuille de substances qui obstruent les pores. Les papiers qui ont été collés aptes à l'écriture et à l'impression.

On ajoute aussi de la pâte kraft comme pâte d'appoint ainsi que la pâte préparée à partir des casses secs.

##### IV. 4. 2. Aperçu sur le procédé de fabrication du papier.

La pâte à papier venant de l'atelier cellulosé est stokée dans deux cuiviers, ou elle est mise en dispersion et le plus souvent soumise à un broyage ou raffinage. On ajoute à la pâte, les charges, les produits de collage, l'amidon, ainsi que la pâte d'appoint, le tout est homogénéisé dans des mélangeurs avant d'être amené dans des cuiviers permettant d'alimenter la machine à papier en continu. Le distributeur de pâte l'envoie sur la toile où une règle la répartit et fixe l'épaisseur de la feuille ( $g/m^2$  )

Grâce à cette toile sans fin qui est animé d'un mouvement transversal, les fibres s'enchevêtrent et la feuille de papier se forme et commence à perdre de l'eau. L'égouttage de l'eau est favorisé par les cylindres tournant sous la toile, l'élimination de l'eau se poursuit alors aux caisses aspirantes. La feuille contenant alors 60 à 70 % d'eau est conduite vers la secherie qui est constituée de cylindres chauffés par la vapeur d'eau. La siccité du papier en fin de secherie est d'environ 95 %. Le papier est alors enroulé et envoyé vers l'atelier de finition. (4)

#### IV. 5. BILAN DES EAUX DE L'UNITE CELPAP.

##### IV. 5. 1. Les besoins en eaux.

Les industries de fabrication de pâte cellulosique et de papier sont parmi les plus grandes industries consommatrice d'eau. L'unité celpap avait en 1973 - 75, une consommation journalière en eaux brutes s'élevant à 16.000m<sup>3</sup> / j soit le 1/10 de la consommation d'Alger à cette époque (10). On constate donc que l'eau est une matière première importante dans la fabrication du papier, il faut environ 100 à 300m<sup>3</sup> d'eau pour fabriquer une tonne de papier.

##### IV. 5. 1. 1. Les eaux brutes.

L'unité CELPAP possède actuellement six puits dant deux sont fonctionnels, les quatres autres sont à sec selon les informations recueillis auprès des travailleurs. Les puits refoulent l'eau d'une profondeur de 50 à 100m, leur puissance moyenne est de 220 - 400 m<sup>3</sup> / heure. L'eau brute possède une dureté de 40° français (22° Allemand). (14).



La consommation moyenne journalière de l'unité en eaux brutes s'élève à 8800m<sup>3</sup> / j soit 176m<sup>3</sup> /tonne de papier. Normalement l'unité devrait consommer 15.000m<sup>3</sup>/j d'eau, vu que sa production s'élève à 50 tonne de papier jour. La quantité d'eau manquante est compensé par la réutilisation des eaux de blanchiments de l'atelier cellulose, et des eaux blanches de l'atelier papeterie.

#### IV. 5. 1. 2. Les eaux adoucies.

Une certaine quantité d'eaux brutes (30 - 35 %) sont adoucies par des batteries d'échangeurs d'ions. Ces eaux adoucies servent à alimenter les chaudières pour la fabrication de vapeur d'eau.

Le Tableau N° 1 donne la consommation en eaux brutes et adoucies pendant le 1er trimestre de l'année 1987.

Tableau N° 4

Consommation en eau brutes et adoucies.

Mois	JANVIER	FEVRIER	MARS
eaux brutes (m <sup>3</sup> )	211.000	192.600	186.200
eaux adoucis (m <sup>3</sup> )	69.800	68.300	70.100
Total (m <sup>3</sup> )	280.800	260.900	256.300
Moyenne (m <sup>3</sup> /j)	9058	8996	8260

#### IV. 5. 2. Les eaux résiduelles de l'unité.

L'unité CELPAP, comme toutes les industries de cellulose et de papier, est une unité très polluante au vu de ces rejets importants et fortement chargés.

L'origine de ces eaux résiduelles résultent des deux principaux ateliers de pâte et de papier.

##### IV. 5. 2. 1. L'atelier cellulose.

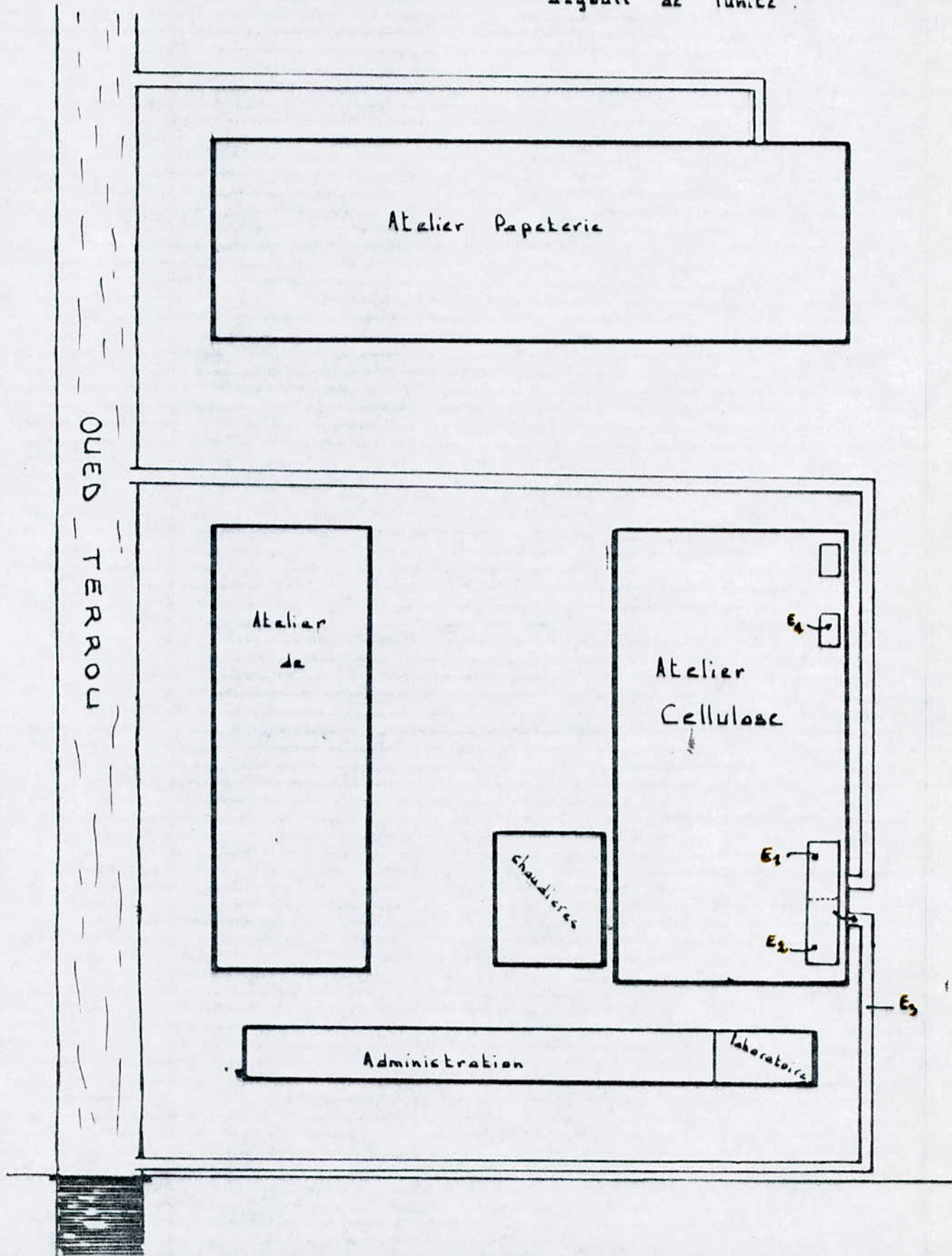
Les eaux résiduelles de cet atelier (qui sont rejetées) proviennent des différentes phases de fabrication de la pâte, c'est à dire des opérations successives des lavages effectués après la cuisson, chloration, sodation et blanchiment.

Les eaux résiduelles de cet atelier sont principalement :

- Les lessives résiduelles de cuisson de couleur noire d'ou leur nom de "jus noir". Elles se caractérisent par une très grande concentration en matières organiques (lignine, cellulose, fibre et autre résidus) en plus d'une quantité résiduelle de soude (3- 5 %).
- Les eaux résiduelles provenant des filtres de lavages acide et alcalin qui renferment des substances telles que les chlorolignines, les chlorosodolignines, l'acide chlorhydrique (HCl) et de la soude. Ces deux types d'eaux résiduelles rejoignent un bac antimousse, situé au rez de chaussé, ou elles sont mélangées et rejetées directement par la suite dans l'oued Terrou. Comme le montre la figure n°3

Figure N° 3

schema des differentes canalisations  
d'egouts de l'unité.



La charge polluante de ces eaux est due essentiellement à la lignine solubilisé au cours de la cuisson alcaline et qui se présente de la sous forme de chromophores (ces derniers sont des produits de transformation de la lignine ayant une coloration). Ces substances sont déversées en grande partie dans l'oued, d'ailleurs aucun traitement ne les éliminent complètement (16). Leurs inconvénients sont nombreux, couleur et odeur désagréable, apport nutritif pour les algues et les champignons, altération de la transmission de la lumière, donc diminution de l'activité photosynthétique.

- Les eaux résiduelles résultant du blanchiment contiennent une forte concentration d'hypochlorite de sodium donc de chlore actif, ainsi que des fibres de cellulose. Une faible partie de ces eaux est réutilisée dans la tour hypochlorite pour diluer la pâte, l'autre partie est emmagasinée dans des bacs en vu d'une réutilisation dans les lavages de la pâte.

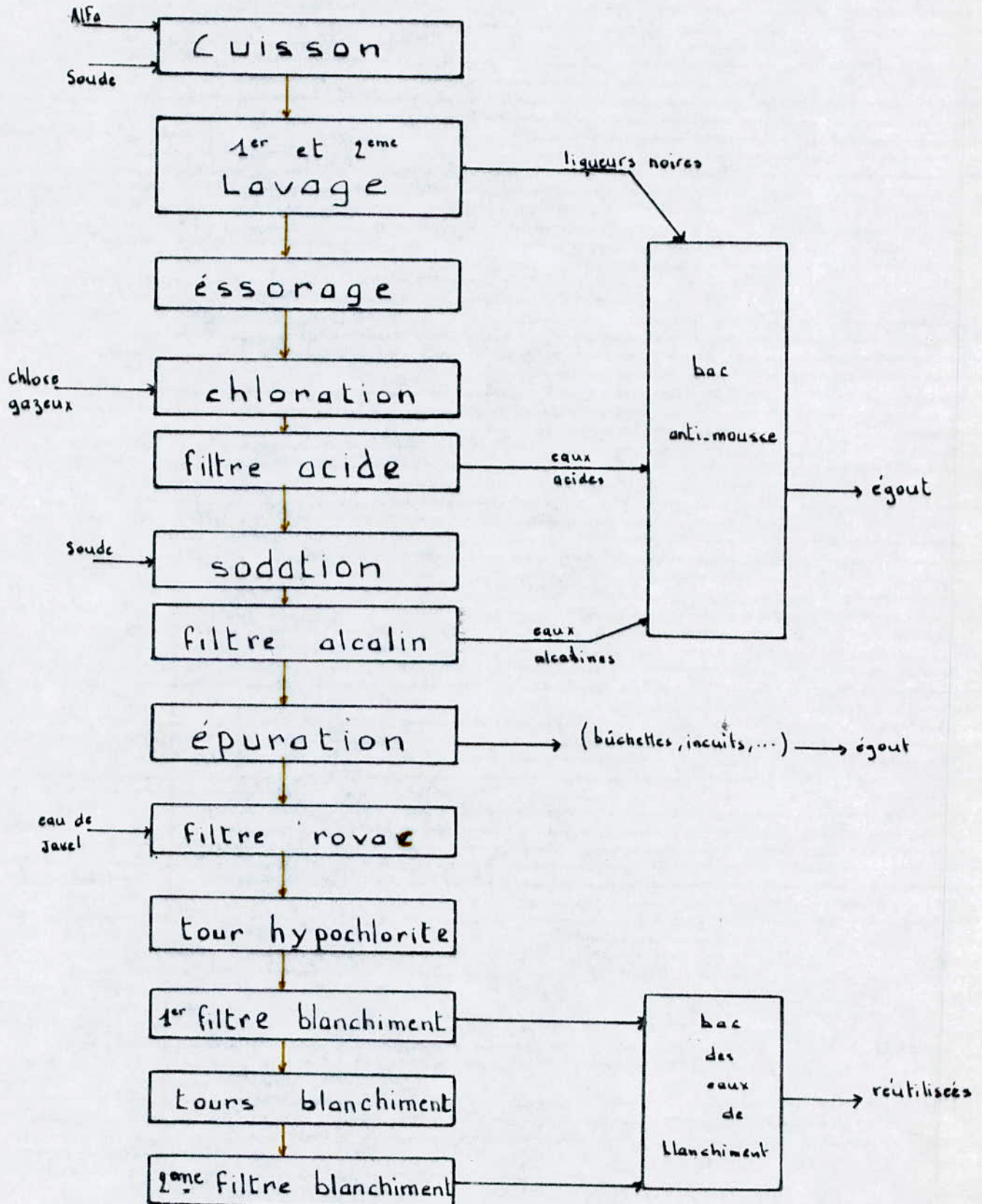
Les différents types d'eaux résiduelles de l'atelier cellulose sont représentés dans la figure n° 4

#### IV. 5. 2. 2. L'atelier papeterie.

Les eaux résiduelles de cet atelier proviennent principalement des deux machines à papier (MAP) lors de la formation de la feuille de papier. Ce sont donc des eaux d'égouttages qui sont récupérées au niveau de la fosse sous toile et des caisses aspirantes. Ces eaux dites "blanches" sont acheminées vers deux bacs de réceptions appelés bacs "Broughton". (voir figure n°5)

Figure n° 4

schema representant les differentes  
eaux residuelles de l'atelier cellulosier

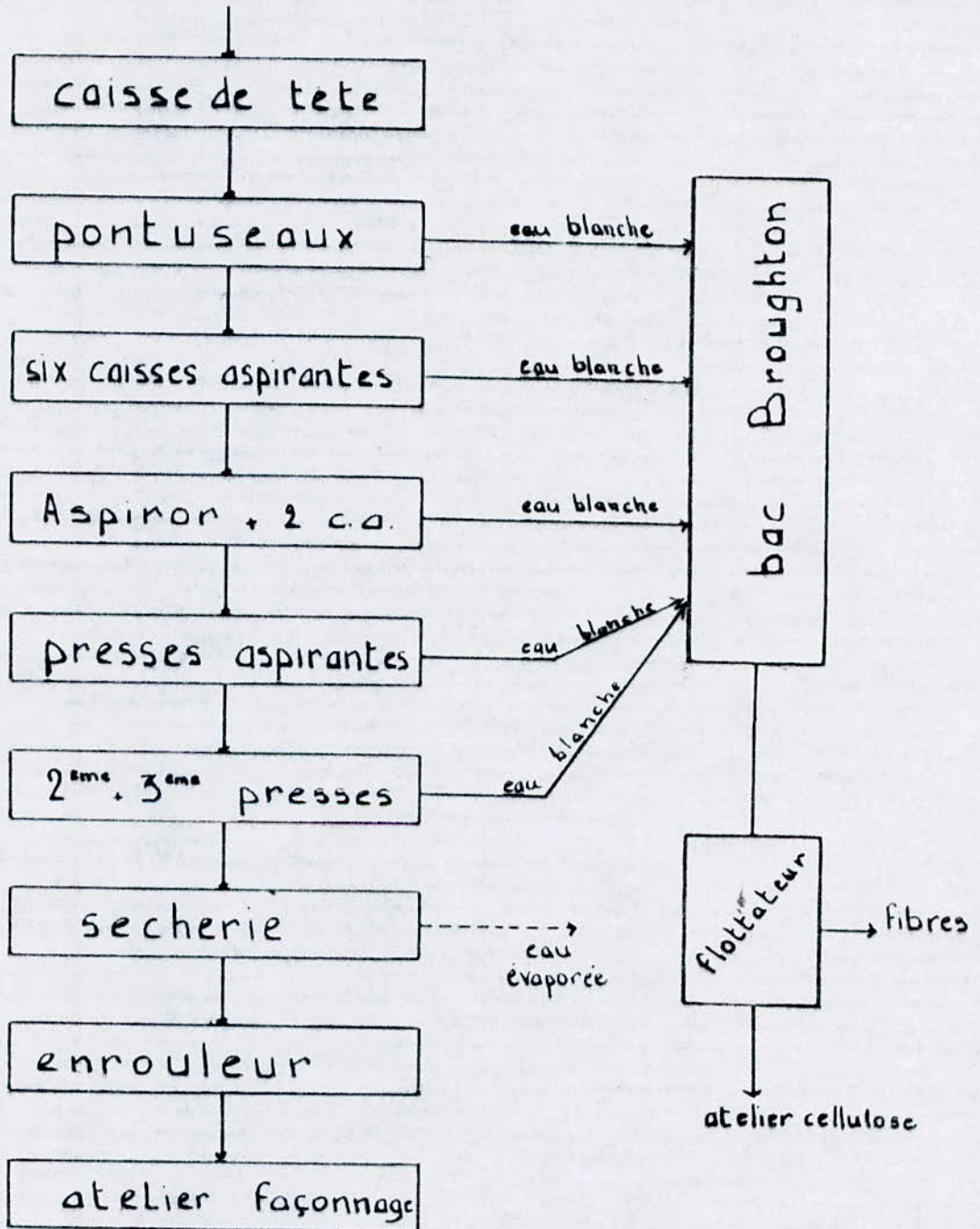


Elles sont ensuite envoyées vers les deux appareils de récupération des fibres (flottateurs de type Sveen Pederson) la majorité de ces eaux clarifiées sont envoyées vers l'atelier cellulose afin d'y être réutilisées pour les lavages de la pâte, l'autre partie est envoyé vers la fosse sous toile pour le maintien de son niveau. Les eaux blanches sont caractérisées par une forte concentration en fibres, et des fractions non retenues dans la feuille de tous les produits d'addition (kaolin, colle, sulfate d'alumine, amidon).

Ces eaux sont partiellement clarifiées après leur passage dans les deux flottateurs. Mais le rendement de récupération de fibres de ces appareils est faible vu que l'insufflation d'air n'est pas effectuée, ce qui confirme la quantité de fibres contenues dans ces eaux sortante des flottateurs, environ  $100 \text{ cm}^3/\text{l}$ .

figure n° 5

schema des differentes composantes de  
la MAP. et le circuits des eaux blanches



## V. 1. Méthodologie.

Toute étude d'eaux résiduelles industrielles, qui à pour but une quantification de la charge polluante rejetée dans un milieu récepteur, exige une certaine méthodologie. Dans une première étape ; une visite de l'unité industrielle s'impose, afin de répertorier les différents points de rejets des eaux usées, ainsi que les différentes conduites d'égouts qui recueillent ces eaux. Il est surtout intéressant d'évaluer les différents débits qui sont évacués, ainsi que de se procurer le plan exact du réseau d'égouts de l'unité, si possible. Dans une deuxième étape, il ya lieu de choisir les différents points de prélèvements des différents types d'eaux à analyser, et ceci en fonction, bien sûr, des conditions d'accées à ces points. Il faut prendre en considération, le mode d'échantillonnage, qui est important, puisqu'il permet d'assurer la représentativité des échantillons, ainsi que le fait que certaines analyses doivent être effectuées sur place alors que d'autres peuvent l'être ultérieurement, en prenant soin d'assurer la conservation des échantillons.

## V. 2. Mode d'échantillonnage.

Selon la fréquence, on distingue plusieurs modes d'échantillonnages : (17)

- L'échantillonnage ponctuel qui consiste à prélever un seul échantillon, à un endroit et à un instant donné, il ne renseigne donc absolument pas sur la variabilité de l'eau. Il suffit cependant pour l'analyse sommaire d'une eau relativement stable ou pour le contrôle des bassins.



- L'échantillonnage continu qui est généralement associé à une mesure en continu comme celle du pH, de la turbidité ou de la teneur en oxygène dissous.
- L'échantillonnage périodique : Il est effectuée à différents intervalles de temps (1 heure, 4 heure, 1 jour etc...). Selon par exemple les points de débits ou les cycles d'activité). On doit souvent se servir d'un échantillonnement automatique et effectuer par la suite, un grand nombre de mesure.
- L'échantillonnage intégré : Permet, lui de réduire le nombre d'échantillons à analyser. En effet, on mélange les échantillons périodiques, ou prélevés à différents endroits, pour former un seul échantillon moyen.  
C'est ce dernier mode d'échantillonnage qu'on a choisi pour nos campagnes de prélèvements vu que les conditions au laboratoire ne permétaient pas l'analyse d'un grand nombre d'échantillon.

### V. 3. Localisation des points de prélèvements.

Nous avons choisi, après avoir constaté que certains points de rejets étaient inaccessibles, d'analyser les quatres types d'eaux résiduairees suivantes de l'atelier cellulose :

- E1 : Les eaux du 1er et 2ème lavage après la cuisson (liqueurs noires), qui sont deversées dans le bac antimousse.
- E2 : Les eaux de lavages provenant des filtres acide et alcalin, qui sont elles aussi, déversées dans le bac antimousse, mais séparement.
- E3 : Les eaux de type E1 et E2 qui sont rejetées dans le canal.
- E4 : Les eaux de lavage provenant du 1er filtre de blanchiment, qui sont récupérées dans un bac qui leur est réservé.

Les prélèvements, ont été donc, effectués, au niveau, du bac anti-mousse pour les eaux E1 et E2, du canal pour les eaux E3 et bac réservé aux eaux de 1er blanchiment. (E4)

Il faut souligner la présence importante de mousse dans le bac "anti-mousse", qui comme son nom l'indique, est conçu pour supprimer celle-ci à l'aide de "gas oil". Cette opération, malheureusement, ne se fait plus actuellement.

Les prélèvements ont été effectués, manuellement bien sûr, chaque deux heures, et ceci de 8h30 à 16h. On effectuait à la fin le mélange des 4 à 5 échantillons, pour en prendre un seul, d'un litre, représentant la moyenne.

#### V. 4. Paramètres de pollutions.

Ce sont les paramètres nécessaires à l'évaluation des charges des effluents et de leur effets sur les milieux récepteurs. Ils permettent aussi d'avoir une première idée quant aux procédés de traitements à mettre en oeuvre pour assurer une épuration.

Les paramètres ou critères qualitatifs étudiés sont : la température, la couleur, le pH, la DCO, la DBO, les matières en suspension, l'azote et le phosphore.

- La température : le contrôle de la température est indispensable, particulièrement pour les ERI. Il est suffisant de noter par exemple que pour le fonctionnement de certains ouvrages (dégraisseurs), la température doit être inférieure à 30°.
- La couleur : la couleur provoque l'altération des milieux récepteurs. Le dosage des substances colorants font appel à des techniques d'analyse spectrophotométrique.

- Le pH : l'étude de ce paramètre permet notamment de voir si les eaux de l'effluent se situent dans une zone de pH compatible avec une épuration biologique efficace (5,5 - 8,5) ou si au contraire il faudra envisager un traitement de neutralisation. (1)

Parmi les paramètres d'évaluations de la pollution carbonée on a :

- La demande biochimique en oxygène:DBO

Cette demande représente la masse d'oxygène consommée par les microorganismes aérobies présents ou inoculée, pour dégrader les matières biodégradables. (1)

L'étude de ce paramètre permet donc d'évaluer la charge organique biodégradable d'un effluent.

L'interprétation des résultats n'est pas toujours aisée du fait d'une certaine dispersion due à des paramètres variables, notamment à la flore microbienne présente dans l'effluent. Une DBO faible par exemple, peut avoir différentes significations.

- L'effluent ne renferme pas de matières organiques biodégradables.
- L'effluent renferme des matières organiques biodégradables mais également des substances inhibitrices vis à vis des microorganismes aérobies responsables de la dégradation.
- L'effluent étudié possède une carence en substance minérale (M P) indispensable à l'activité bactérienne.

- La demande chimique en oxygène:DCO.

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les substances réductrices de l'effluent. Cette détermination fait donc intervenir l'oxydation chimique des substances organiques présentes dans un effluent.

La DCO s'exprime par la quantité d'oxygène utilisée pour oxyder les matières organiques (éventuellement minérales) présente dans un litre d'effluent.

Il faut signaler que certaines substances aromatiques peuvent échapper à cette oxydation. Les mesures de DCO présentent généralement une bonne reproductibilité et permettent d'évaluer, avec une approximation suffisante, la teneur en matières organiques d'un effluent. Ils ne fournissent par contre aucune indication quant à la nature des matières organiques présentes et à leur possibilité de biodégradation. (1)

- Les matières solides totales.

L'évaluation de ces matières repose sur trois déterminations : (17).

- \* le résidu sec total ou matières solides totales obtenu par évaporation et dessiccation à 105°C
- \* le résidu sec filtrable ou matières en solution obtenu, après filtration de l'échantillon, par évaporation du filtrat (et asséchement à 105°C)
- \* la différence entre ces deux résidus, correspond à la matière solide en suspension (résidu sec non filtrable) (MES).
- \* Si en revanche le résidu sec total est porté à une température de 600°C (625°C), une partie est volatilisé. La perte de masse correspond aux matières volatiles en suspension (MVS) c'est à dire les matières organiques en suspension.

- Les matières décantables et non décantables.

Les matières décantables (M.D.) représentent les matières en suspension séparables par décantation. Ce sont des matières non dissoutes dans l'eau qui se décantent sous des conditions fixées conventionnellement. Leur quantité est indiquée sur le volume de la boue décanté (ml/l) après deux heures de décantation dans un cône d'Imhoff. Cette détermination est particulièrement importante pour juger l'efficacité des bassins de décantation. (18)

Les matières non décantables représentent elle, les matières en suspension non séparables par décantation. Les matières qui ne se décantent pas sont des matières non dissoutes, filtrables, qui ne forment pas de sédiments sous les même conditions que précédemment. Leur fraction est déterminé par filtration du surnageant. (18)

-Évaluation des composés azotés :

L'azote existe dans les eaux usées, sous toutes ses formes minérales,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  et organique. L'azote organique et ammoniacal exercent une demande biologique en oxygène importante lors de leur déversement dans les milieux récepteurs. L'oxydation d'un gramme d'azote ammoniacal en azote nitrique exige 4,57 g d'oxygène. Quoi qu'il en soit, l'azote reste un élément nutritif indispensable dans une épuration biologique (développement et métabolisme des microorganismes), et il est donc important de déterminer les quantités d'azote contenues dans l'effluent industriel à traiter. Nous avons vu au chapitre VI. 2 que les industries de pâte à papier et papeteries sont les industries qui rejettent les plus grandes quantités d'azote organique dans les milieux récepteurs. Néanmoins, étant donné les limites cinétiques des réactions biologiques, la concentration en azote ammoniacal de l'effluent ne peut être inférieure à 1 mg/l et, l'azote soluble est alors essentiellement sous forme ioniques. (8)

Afin de déterminer les quantités d'azote dans un effluent, on dose généralement : ( 1 )

- \* L'azote Kjeldahl qui comprend l'azote organique et l'azote ammoniacal ( $N-NH_4^+$ )
- \* L'azote ammoniacal  $N-NH_4^+$
- \* Les nitrates
- \* Les nitrites
- \* L'azote global (N.G) qui est égal à la somme de l'azote Kjeldahl des nitrites et nitrates.

- Evaluation des composés phosphores.

Le phosphore est présent dans les eaux résiduaires sous forme de sels minéraux (ortho et polyphosphate) ou sous forme organique d'origine industrielle ou biologique, qui représente en fait le phosphore total. Le phosphore est, avec l'azote, un élément nutritif indispensable à l'épuration biologique. Deux formes sont couramment évaluées. ( 1 )

- \* Le phosphate  $P-PO_4^{3-}$  dit phosphore des orthophosphates.
- \* Le phosphore total.

L'évaluation de ces deux principaux composés nutritifs, permet de vérifier l'équilibre nutritionnel des eaux résiduaires industrielles, (qui doivent être traitées biologiquement) par calcul de certains rapports, comme  $DBO_5 / N$ ,  $DBO_5 / P$ ,  $DBO_5 / N/P$ , ou  $DCO/N$ ,  $DCO/P$ , que l'on trouve dans les différentes bibliographies.

#### V. 5. Résultats des différentes campagnes de prélèvements.

- Première campagne du 20 - 10 - 87.

Elle nous a permis de prendre partiellement connaissance de la charge polluante et des caractéristiques des quatre types d'eaux considérés. Certains paramètres n'ont pas été évalués par manque de certains réactifs.

Les résultats de cette campagne sont donnés dans le tableau n° 5

- Deuxième campagne du 08 - 11 - 87 : Les résultats obtenus lors de cette campagne sont résumés dans le tableau n° 6

- Troisième campagne du 15 - 11 - 87 : Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau n° 7

#### V. 6. Interprétation des résultats.

A l'issue de ces 3 campagnes, nous constatons certaines fluctuations des paramètres de la pollution des eaux résiduelles de l'unité. En effet l'atelier cellulose accuse des irrégularités très remarquables dans le procédé de fabrication, d'après des informations recueillies auprès des travailleurs. Nous avons nous-même assisté à deux fuites de chlore, qui ont nécessité des arrêts de travail au sein de l'atelier.

Les conclusions qu'on peut tirer des analyses effectuées sur les différents paramètres sont :

- Matières en suspensions :

Elles sont en teneurs très importantes, constituées en grande partie de fibres de pâte et d'autres incuits indésirables, les plus fortes teneurs sont celles observées dans les eaux de type E1 c'est à dire les liqueurs noires.

Résultats de la 1<sup>ère</sup> campagne de prélèvements

Tableau N° 5

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>
pH	12,0	11,5	11,8	10,6
Temperature (°C)	33	29	30	28
MES (mg/l)	8500	2100	5800	400
MVS (mg/l)	4740	1250	3400	-
MM (mg/l)	3760	850	2400	-
MD (cm <sup>3</sup> /l)	8,1	5,4	6,3	10,0
Conductivite (µs/cm)	-	-	5,1	-
M <sup>at</sup> en Solution (mg/l)	26100	6900	11500	9020



## Tableau N° 6

Resultats de la 2<sup>ème</sup> campagne de prelevements  
du 08.11.87

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>
pH	11,5	11,	11,2	10,
Temperature (°C)	41,5	28	33,5	27
MES (mg/l)	10500	4200	7200	800
MVS (mg/l)	6000	2900	4350	-
MD (cmg/l)	0,2	4,3	6,8	-
M <sup>at</sup> en Solution (mg/l)	20800	14600	11800	-
MM (mg/l)	3300	1300	2950	-
Soude reduelle (mg/l)	2900	-	2400	-
Conductivite (ms/cm)		-	5,2	-
DCO (mg O <sub>2</sub> /l)	12800	3700	4660	1660

## Tableau N° 7

Résultats de la 3<sup>ème</sup> campagne de prélèvements  
du 15-11-87.

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>
pH	12,5	11,5	12	10,5
Temperature (°C)	45	29	32	29
MES (mg/l)	31880	8700	8840	1240
MVS (mg/l)	23220	5780	7180	310
MM (mg/l)	8660	2920	1660	930
M <sup>st</sup> en Sol. (mg/l)	25800	18400	16600	5900
MD (cm <sup>3</sup> /l)	70	3,1	4,5	-
NaOH résiduelle (mg/l)	2900	-	3100	-
Conductivité (ms/cm)	6,1	3,2	4,8	-
DCO (mgO <sub>2</sub> /l)	14600	5400	6400	-

Les fluctuations observées sur les teneurs en MES sont du au fait que les quantités d'eaux brutes qu'utilise l'atelier cellulose pour les lavages de la pâte varient considérablement. Plus les quantités d'eaux brutes diminuent, plus les teneurs en MES augmentent.

- Les matières en solution :

Elles représentent le paramètre le plus remarquable, car ce sont ces substances, dérivant des produits de transformation de la lignine, qui sont responsables de la coloration noire ou brune des eaux résiduaires E1, E2 et E3. Nous rappelons qu'une forte coloration gêne énormément le processus de photosynthèse, donc de l'autoépuration des cours d'eaux.

- Les matières décantables.

Elles sont en quantités importantes, surtout dans les eaux de type E1, ainsi que dans les eaux de type E3 (ce sont surtout des fibres et des incuits). Ces teneurs élevées en matières décantables, peuvent être réduites par une simple décantation, ce qui permettra de réduire d'une manière appréciable la charge polluante des eaux résiduaires.

- La température.

Elle atteint, parfois 45°C dans les liqueurs noirs (E1) et atteint environ 30°C - 36°C dans les eaux de mélange E3 qui sont rejetées dans l'oued Terron. Ces températures élevées sont dues au fait que la cuisson se fait à une température de 90°C - 100°C. Ceci implique forcément une diminution du taux d'oxygène dissous dans l'effluent, donc des eaux de l'oued.

- Le pH.

La totalité des rejets ont un pH généralement alcalin, ceci s'explique par la forte teneur en soude résiduelle dans les eaux E1 et E2 (teneur qui atteint parfois 3 g/l dans les liqueurs noires E1).

Lors des trois campagnes précédentes, nous avons étudié quatre types d'eaux résiduaire de l'atelier cellulose, dans le but de comparer ces eaux entre elles, ainsi que d'avoir une première idée sur le type de pollution rejetée par ces différents eaux. Si nous avons étudié les eaux (E3) du mélange, c'est parce que ce sont elles qui se déversent dans l'oued, et aussi pour évaluer si la dilution (mélange) pouvait diminuer la charge polluante des liqueurs noires, chose qui fût vérifiée. C'est pourquoi nous ferons de ces eaux E3 le sujet d'étude des prochaines campagnes, dans le but d'un essai de coagulation floculation et d'un essai de traitabilité biologique.

## VI. 1. INTRODUCTION.

L'extrême diversité des rejets industriels nécessite des études propres à chaque secteur industriel. On peut même rencontrer des eaux provenant d'entreprises du même secteur mais qui présentent des différences de composition importante. Les caractéristiques des ERI dépendent essentiellement des procédés de fabrication utilisés et des quantités d'eaux récupérées et réutilisées au sein de l'entreprise par des recyclages.

La multiplicité et la complexité des ERI nécessitent, avant d'envisager la mise en oeuvre d'une épuration, des études plus ou moins poussées, dont le but est de pouvoir répondre à certaines questions telles. (1)

- L'effluent industriel peut-il être directement rejeté dans le milieu receveur ?
- Quels seront ses effets en absence de traitement vis à vis de l'environnement ?
- Quel procédé d'épuration faut-il envisager ?  
une épuration biologique est-elle envisageable ?  
quel type d'installation sera le mieux adaptée ?

Il est clair que les ERI ne peuvent être directement déversées dans un milieu récepteur vu les effets désastreux qu'elles engendrent sur notre environnement. Ce fait étant accompli, il incombe aux industries de trouver les moyens adéquats pour éliminer ou diminuer la pollution de leurs rejets.

Les moyens que devront choisir ces industries sont nombreuses et complémentaires. Le problème majeur restera, l'aspect économique qui est, et qui restera, le "talon d'achille" dans l'histoire de l'épuration des eaux résiduaires industrielle. Partant de ce fait, il est économiquement avantageux pour les entreprises lors de l'étude des traitements de leurs rejets, de penser en premier lieu à prendre des mesures internes comme par exemple la récupération de certaines substances valorisables contenues dans leurs effluents. (3)

#### VI. 2. Mesures internes à prendre par les entreprises industrielles

En général les mesures internes que peuvent envisager les entreprises industrielles sont :

- La modification du procédé de fabrication
- Le recyclage des eaux résiduaires
- La récupération des substance valorisables.

##### VI. 2. 1. Modification du procédé de fabrication.

Les projets de ce genre nécessitent des connaissances techniques approfondies. Les modifications ne devront pas affecter la production ainsi que les prix de revients des produits fabriqués. Il existe plusieurs exemples ou l'on a pu diminuer les difficultés des traitements des rejets par modification du procédé de fabrication, citons à ce titre : (3)

- L'attaque par le chlore dans l'industrie de la cellulose
- Le lavage à contre courants dans les diffuseurs de l'industrie de la cellulose.
- l'introduction du refroidissement indirect dans les raffineries de pétroles

- L'introduction de tours de diffusions dans les sucreries permettant ainsi de supprimer à la fois les eaux de lavage de diffusion et les eaux de presses qui représentaient environ 50 % des matières polluantes de l'effluent.

- Dans les ateliers de décapage, le remplacement des procédés chimiques par un traitement mécanique, thermique ou électrique du matériau à décaper a permis de limiter étroitement la consommation d'acide et par suite le rejet décapant résiduaire.

#### VI. 2. 2. Recyclages des eaux résiduaires.

En principe le recyclage des eaux résiduaires est applicable chaque fois qu'on utilise l'eau à des fins de refroidissement, de manutention ou de lavage et qu'on peut la remettre en état par un traitement approprié relativement peu coûteux pour l'utilisation qu'on a en vu. (3). Le recyclage se pratique dans les papeteries et les fabriques d'amidon, les fabriques de panneaux en fibres agglomérées, les installations de préparation de minerais, les usines à gaz et les installations qui ont besoin d'eau de refroidissement.

#### VI. 2. 3. Récupération des substances valorisables contenues dans les eaux résiduaires.

La récupération de certaines substances, indépendamment du fait qu'elle décharge d'autant les effluents donc des stations d'épurations, offre des avantages économiques. Le procédé prend une importance particulière quand l'effluent lui même ne peut être recyclé pour des raisons d'exploitations. (3).

Naturellement cette récupération est d'autant plus payante que la teneur en matières intéressantes est plus élevée. Elle comporte donc des conditions suivantes :

- L'évacuation séparée des eaux résiduaires de différentes sortes.
- L'élévation de la concentration par des mesures appropriées (par exemple l'utilisation réitérée des eaux). (3)

Selon Meinck la possibilité d'une récupération devrait être mise à profit même lorsque la rentabilité de la valorisation des déchets n'est pas démontrée. En effet, il faut mettre en ligne de compte les frais d'épuration des eaux résiduaires qui seraient encourus si l'on négligeait la valorisation des déchets. C'est ainsi que l'élimination des phénols des effluents industriels par traitement extractif ou par distillation à la vapeur est toujours plus économique que leur destruction biologique (3). D'après Sierp, Bach avait évolué comme suit la rentabilité des installations de récupération des phénols : (3)

teneurs en phénols (g/l)	Rentabilité de récupération des phénols des effluents
:- plus de 4g	:- positive
:- de 5 à 4g	:- généralement positive mais sûrement pas négative
:- de 2 à 3g	:- faiblement positive ou très incertaine
:- de 1 à 2g	:- généralement négative
:- < 1g	:- la récupération n'est pas à envisager.



Il existe d'ailleurs plus d'un procédé de fabrication dont la rentabilité ne tient qu'à la récupération de substances valorisables. De plus la récupération de ces substances permet d'abaisser le nombre d'équivalent d'habitant de ces eaux et d'éviter une surcharge biologique des stations d'épuration. (3).

Il existe d'autres exemples de récupération que l'on a consignés au tableau n° 8, qui ont été étudiés et pratiqués sur le terrain.

#### VI. 2. 4. Exemples de récupération dans l'industrie de la cellulose et des papeteries.

Il existe plusieurs possibilités de récupération, qui dépendent des procédés de fabrication, utilisés. Nous citons ci après ces exemples :

- La récupération de la soude contenue dans les lessives de cuisson que ce soit pour le procédé à la soude que le procédé au sulfate. (2)
- Cas des lessives sulfitées (procédé au bisulfite) dont le traitement permet la récupération d'alcool méthylique, de furfurool et du cymen, sous forme pure qui peuvent être donc vendus. (2)
- Ces mêmes lessives résiduelles peuvent être valorisées par évaporation et incinération. L'évaporation permet d'augmenter la concentration en matières sèches (50 à 55 %) des lessives d'ou élévation du pouvoir calorifique (1800 kg cal/kg). (9)
- La calcination par voie humide est un procédé de valorisation des lessives résiduelles des procédé au sulfate, par l'utilisation de la chaleur de combustion. (2)
- L'épaississement des lessives (procédé au sulfate) permet leur valorisation par production de vapeur et par régénération des réactifs chimiques d'extraction (ex : la chaux vive  $\text{CaO}$ ). (2)

Tableau N° 8

Exemples de récupération de substances dans certaines unités industrielles

Provenance des effluents	Substances récupérables
. Ateliers de décapage . . . . .	nickel , cuivre
. Fabrication de soie artificielle . . .	cuivre
. Bains galvaniques - tanneries . . .	chrome
. Fabriques de produits alimentaires	graisse
. Papeteries et usines textiles	matieres fibreuses
. Ateliers de décapage	sels de fer
. " " "	acide sulfurique
. Cokeries	phenols
. Fabrication de la cellulose	lessive de sulfite
. " "	alcool
. " "	sucres
. " "	furfural
. " "	levure
. Production de petit lait . . . . .	albumine , lactose
. Industrie textile	soude caustique , potasse

- L'utilisation des lessives sulfitées par fermentation des sucres en alcool est pratiquée dans de nombreuses fabriques allemandes de pâte au sulfite (cas des bois riche en hexoses). (3).
  - A la place de la fermentation alcoolique, on peut aussi, en choisissant des cultures bactériennes appropriées, réaliser la fermentation lactique par *Lactobacillus pentosus*. Le rendement doit être de 125 kg d'acide lactique à 90 % de pureté et 30 kg d'acide acétique par tonne de pâte produite. (2).
  - Le procédé permettant d'utiliser la lessive épaissie, obtenue à partir des lessives sulfitées ou des lessives à la soude, comme liant, fixateur de poussières pour la construction de route. (2).
  - Le procédé permettant la fabrication d'un produit d'addition commercial pour le ciment Portland (augmente sa plasticité) à partir des lessives résiduelles sulfitées. (2).
  - Le procédé de valorisation des lessives sulfitées, permettant la fabrication du furfurool qu'on utilise dans la construction des routes. (2).
  - Des études sont en cours pour essayer d'utiliser les lessives résiduelles en agriculture en commun avec des eaux usées urbaines. (3).
  - Le surepauvrissement des lessives noires est un nouveau procédé qui a obtenu de très bon résultat dans sa première installation industrielle. (19).
- Les essais effectués depuis mars 1986 sur l'installation d'épauvrissement et de combustion de lessive noire de Pori (Finlande) ont mis en évidence un rendement énergétique nettement amélioré et une diminution des émissions d'anhydride sulfureux.

Dans une nouvelle installation, ou il a été mis en place, la technologie de l'évaporateur et celle de la chaudière de récupération, un projet a été réalisé dans le but de mettre au point un matériel, permettant de concentrer la lessive noire jusqu'à une teneur en matières sèches supérieur à la normale.

Ce résultat fut traduit par des concentrations allant jusqu'à 80 %, contre 65 - 68 % dans l'épaississeur en service. L'incinération des liqueurs de cuissons réduit la pollution ; ci-après, quelques valeurs de certains paramètres de pollutions après incinération, sont présentées dans le tableau n°9(5)

En ce qui concerne les papeteries, on attache de l'importance à la récupération des matières fibreuses qui échappent au cycle de fabrication. C'est pourquoi on installe dans les circuits internes de l'usine des ramasse-pâtes qui ont pour rôle de recueillir, en vue de réemploi, la pâte à l'état frais non putréfiée.

Les ramasse-pâtes par flottation tels les appareils Sven-Pederson, Krofta, Wolf ou Savalla, sont ceux qui répondent le mieux à la nécessité de recueillir rapidement les matières fibreuses.

Les ramasse-pâtes par flottation effectuent une épuration des eaux jusqu'à une teneur résiduelle en fibres de 10 mg/l avec des temps de traversée de 10 à 15 minutes. On peut accélérer la flottation pour la rendre plus complète, en ajoutant aux eaux, des agents de flottations (colle de résine, surfactants, ...) à un pH déterminé.

La récupération des fibres peut se faire aussi par décantation (sédimentation) si les fibres ne contiennent pas d'air. (2).

Nous pouvons prendre comme exemple l'atelier papeterie de Bab-Ali qui possède deux machines à papier qui produisent 50 t/j de papier. La suspension de pâte est très diluée, elle possède une densité de 0,2 % à l'entrée de la machine à papier.

Tableau N° 9

Valeurs typiques de pollution ramenées à la tonne de produits fini pour des usines qui incinèrent leur liqueurs de cuisson (5)

	DBOs (kg/t)	MES (kg/t)	Couleur Pt-Co (kg/t)	Consommation en eaux (m <sup>3</sup> /t)
Kraft				
- ecru	25 - 35	20 - 30	10 - 50	30 - 120
- blanchi	45 - 65	25 - 35	170 - 240	120 - 350
Bisulfite				
- ecru	50 - 160	20 - 55	10	100 - 300
- blanchi	60 - 250	25 - 60	75	200 - 650
<b>NSCC</b> <sup>(*)</sup> blanchi	60	20 - 40	40	250

(\*) : **NSCC** : Neutral Sulfite Semi-Chemical : est un procédé mésochimique de fabrication de pâte à papier

Il faut environ 500 litre d'eau pour 1 kg de fibre. Cette quantité d'eau, dont la plus grande partie est enlevé par voie mécanique grâce à la toile sans fin, doit autant que possible rester en circuit tant qu'elles contiennent encore des fibres fins ainsi que des charges (9). L'atelier possède pour cela deux flottateurs Sven-Pederson pour la récupération de ces fibres, malheureusement le rendement de ces appareils est loin d'être satisfaisant, vu que l'insufflation d'air n'est pas effectué dans le flottateur. Il ya bien récupération d'une certaine quantité de fibre, mais les eaux qui sont envoyés vers l'atelier cellulose contiennent encore une quantité assez importante en fibre ( $100 \text{ cm}^3/1$ ).

### VI. 3. Techniques d'épuration des eaux résiduaires des industries de la cellulose.

#### VI. 3. 1. Les matières en suspension.

Dans les eaux résiduaires de fabrique de cellulose, les matières en suspension sont en général éliminées par decantation sans ajout de réactif, et ne nécessitent pas de filtration comme prétraitement.

Les matières en suspension dans l'eau peuvent être séparées des eaux usées si les trois conditions suivantes sont remplies : (18)

- Les particules doivent être si grosse, qu'elles ne peuvent plus être poussées par les molécules d'eau toujours en mouvement. (mouvement de Brown). Plus les particules de matière sont petites, plus vite seront-elles poussées lors de la collision avec les molécules d'eau.
- Les matières en suspension doivent avoir un poids spécifique différent de celui des eaux usées.
- Les matières en suspension ne peuvent se décanter ou monter que lorsque les forces descentionnelle ou ascensionnelle sont plus grandes que la turbulence ou la force d'entraînement s'opposant aux premières forces.

La quantité des matières en suspension qui peut être éliminée des eaux usées et qu'on peut appeler effet épurateur d'un bassin de décantation, est déterminée en premier lieu par le temps de passage  $t = V/Q$ , lorsque les bassins de décantation sont traversés de façon idéale, c'est à dire sans turbulence dans les chambres de décantation. Mais l'écoulement sans turbulence peut être dérangé par des courants de convection qui résultent d'une part des variations de débit, de température et de composition des eaux résiduaires à traiter et d'autre part de l'effet du vent et de la disposition des bâtiments. La nature, la composition et la taille des matières en suspension peuvent influencer également l'effet épurateur d'un bassin de décantation. (18)

#### VI. 3. 2. Les traitements biologiques.

Nous différencions les procédés suivants : (18)

- Les procédés biologiques extensifs ou naturels représentés par l'épandage des eaux résiduaires dans les champs d'agriculture et par l'épuration par lagunage.
- Les procédés intensifs ou artificiels représentés par les lits bactériens et le procédé des boues activées. Ces procédés sont dans une certaine mesure l'amplification artificielle d'un processus naturel d'épuration. Ceux-ci assurent en général une élimination de 90 % de la demande biologique en oxygène, par lagunage aéré (entre 4 et 10 jours) ou par boues activées (air ou oxygène pur)

#### VI. 3. 3. Les traitements de décoloration et d'élimination de la DCO non biodégradable.

Ceux-ci font appel en général à :

- L'adsorption sur charbon actif qui est souvent utilisé pour l'élimination des matières organiques refractaires (DCO, Couleur), dans les traitements tertiaires, on pour l'élimination des matières organiques biodégradables ou non. Ce type de traitement est aussi utilisé pour l'élimination des composés toxiques contenus dans les effluents des industries de cellulose comme par exemple les chlorophénols.

- La coagulation - floculation qui est aussi un traitement physico-chimique utilisé pour l'élimination des matières en suspension colloïdale et la couleur des eaux.

La coagulation est un processus comportant en premier lieu la déstabilisation d'une suspension colloïdale et en second lieu l'agrégation des particules en petits amas ou flocons sous l'action du mouvement Brownien, c'est un traitement physico-chimique.

La floculation est un processus de grossissement et d'uniformisation des flocons sous l'influence d'une légère agitation : c'est un traitement physique faisant appel à un brassage modéré.

- L'ultrafiltration des effluents les plus colorés (voir VI. 5. 1.).



#### VI. 4. Les procédés d'épuration biologique.

Les procédés biologiques les plus souvent utilisés dans l'épuration des eaux résiduaires industrielles en général, et des eaux de papeterie et des fabriques de cellulose en particulier, sont les procédés par boues activées (procédé intensif) et l'épuration par lagunage (procédé extensif naturel).

D'autres procédés biologiques existent et sont utilisés actuellement dans l'épuration des eaux usées industrielles, nous pouvons citer par exemple les lits bactériens, les réacteurs biologiques aérobie ou anaérobie, et lits fluidisés.

##### VI. 4. 1. Le traitement par boues activées.

Le procédé consiste en une intensification artificielle des phénomènes d'auto-épuration par concentration des microorganismes dans le bassin d'activation.

Les flocons de la boue activées se composent d'une matière visqueuse dans laquelle vivent des bactéries et des protozoaires. L'épuration des eaux usées fonctionne du fait que leurs matières organiques (dissoutes) sont absorbées par les organismes et transformées en masse vivante (protoplasme) et en énergie vitale. Par ce phénomène, les matières organiques des eaux usées passent de la forme dissoute, respectivement colloïdale à la forme solide, de sorte qu'ils peuvent être ensuite éliminés des eaux usées par décantation.

La vie biologique consomme de l'énergie. L'énergie nécessaire est produite par oxydation des matières organiques en  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ . Pour cela l'existence d'oxygène libre et dissout est nécessaire (dans le mélange eaux usées-boue). Mais comme l'oxygène ne peut pas être emmagasinée dans la cellule, il doit être fourni toujours en fonction de la consommation. (18)

Un bassin à boues activées est un réacteur biologique alimenté en continu, dans lequel, la biomasse est brassée et aérée en même temps que l'eau usée. La biomasse est ensuite séparée dans un décanteur secondaire. Ci-dessous, la figure n° 6 représentant un procédé conventionnel de traitement par boues activées. (20)

Procédé de boues activées conventionnel. (20)

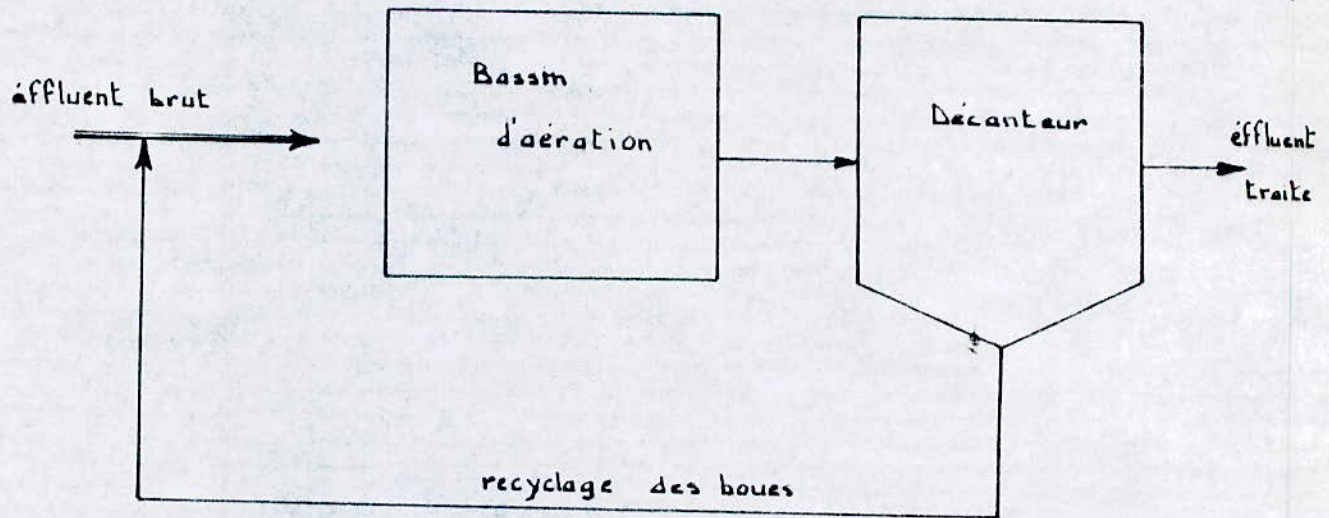


figure n° 6

Le choix de l'équipement d'aération est lié à la géométrie du bassin d'aération et aux caractéristiques de l'eau usée. Il faut prévoir une capacité maximale de recyclage de 100 %, en tenant compte dans la détermination des MVS de la station biologique.

En cas de carences en azote et en phosphore, on peut ajouter ces deux (02) éléments nutritifs sous forme respectivement d'ammoniac et d'acide phosphorique, mais prendre la précaution de bien les mélanger avec l'eau usée avant d'entrer dans le bassin d'aération. (20).

Dans le cas d'une petite station, on peut ajouter périodiquement du phosphate d'ammonium. Dans le traitement par boues activées, les meilleures performances sont obtenues en maintenant l'âge des boues proportionnel à la charge massique du bassin d'aération. (20).

#### VI. 4.2. Le traitement par lagunage. (21)

A une époque où l'on parle tant de crise de l'énergie, il est intéressant de constater que l'on est en train de redécouvrir les richesses insoupçonnées de la nature et l'aide qu'elle peut nous fournir pour résoudre certains problèmes, en particulier ceux relatifs à l'épuration des eaux résiduaires.

Le lagunage naturel est à cet égard un des exemples les plus caractéristiques de l'utilisation d'une énergie renouvelable et gratuite, bien qu'en certaines circonstances on puisse y introduire, comme nous le verrons après, des dispositifs d'aération forcée faisant appel à d'autres sources d'énergie.

Actuellement les bassins de stabilisation sont utilisés dans plus de 50 pays se différenciant tant par leur latitude que par leur degré de développement technologique.

Ce mode de traitement est à utiliser principalement dans des régions où l'intensité lumineuse est grande, la température élevée et les surfaces sont grandes. C'est le cas de l'Algérie qui possède actuellement beaucoup d'industries situées sur les hauts plateaux, dont le problème de traitement des eaux résiduaires de ces industries peut être résolu par l'épuration par lagunage puisque toutes les conditions peuvent être satisfaites.

Il ne faut pas en conclure qu'il soit possible de dimensionner actuellement sans ambiguïté et avec certitude un ensemble de bassins de stabilisation ; en particulier, l'impossibilité de contrôler certains phénomènes préjudiciables aux objectifs d'épuration recherchés révèle le caractère aléatoire de cette technique en dépit des progrès importants réalisés.

Ces études se sont développées dans plusieurs pays et la nomenclature a été pendant un certain temps assez variée : étangs d'oxygénation, bassins d'épandage, bassins de décantation, bassins d'oxydo-réduction. Le terme de bassin de stabilisation est maintenant généralement accepté pour désigner les bassins recevant des eaux usées et le terme de lagunage est également accepté pour désigner la technique d'utilisation de tels bassins.

Il est cependant utile de donner un certain nombre de définitions pour différents types de bassins de stabilisation.

#### Bassins anaérobies.

Dans ce type de bassin les conditions de charge polluante sont telles que les réactions s'opèrent dans un milieu où l'oxygène dissous est absent et il s'en suit des dégagements de méthane, d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré. L'emploi de tels bassins est limité par suite de certains inconvénients : arrêt des réactions en basse température et certains risques d'odeurs désagréables si ces bassins sont construits à proximité des habitations.

### Bassins aérobies.

Dans ce type de bassin, seuls les organismes aérobies sont actifs. Ces organismes sont de très gros consommateurs d'oxygène et de ce fait il est difficile de maintenir en permanence les conditions d'aérobiose dans la totalité du bassin. Il est donc rare d'avoir des bassins entièrement aérobies, sauf dans le cas où des installations d'aération forcée ont été prévues : turbines d'aération ou système d'injection d'air.

### Bassins facultatifs

C'est le terme consacré pour désigner des bassins dans lesquels prennent place à la fois des réactions anaérobies et aérobies. C'est le type de bassin de stabilisation le plus fréquent où l'on s'efforce généralement d'avoir des conditions d'aérobiose dans la plus grande partie du bassin, si possible dans la quasi totalité de la partie liquide et de limiter l'anaérobiose aux sédiments du bassin.

### Bassins de maturation.

Dans ces bassins on traite généralement des effluents issus d'une station d'épuration de type conventionnel. Ces bassins sont destinés à affiner le traitement. Outre une réduction appréciable de la pollution organique résiduelle, ces bassins sont normalement destinés à assurer une décontamination microbienne de l'effluent. Toujours sur le plan de la terminologie nous conviendrons d'appeler :

- Lagunage complet, une installation destinée à recevoir des effluents bruts,

- Lagunage secondaire, une installation destinée à recevoir des effluents préalablement décantés,
- Lagunage tertiaire, une installation destinée à recevoir des effluents traités biologiquement dans une station de type conventionnel.

En fait, le terme de lagunage tertiaire est ambigu et peut prêter à confusion car en fait, l'épuration tertiaire s'effectue également en lagunage complet ou secondaire, ceci étant particulièrement vrai en ce qui concerne des germes pathogènes.

Les performances attendues du lagunage sont la réduction des charges organiques, l'élimination de la pollution microbienne, l'assimilation des nitrates, et la réduction de divers facteurs polluants.

- Réduction des charges organiques.

Dans les étangs de stabilisation, qu'ils soient mis en oeuvre, soit en traitement total ou secondaire, soit en traitement tertiaire, la destruction des matières organiques s'opère grâce à une association biologique extrêmement large.

Schématiquement, les phénomènes biochimiques qui interviennent dans le processus sont les suivants :

\* Dans la partie inférieure du bassin, les bactéries anaérobies et anaérobies facultatives stabilisent la matière organique en deux phases successives.

- Initialement, une catégorie de micro-organismes au moyen d'enzymes extra cellulaires hydrolise la matière solide dont une partie va se solubiliser dans la masse d'eau pour être stabilisée par voie aérobie ;

• Ensuite, un autre groupe de bactéries va transformer la matière organique restante selon les processus de fermentation anaérobie.

\* Dans la zone aérobie, les bactéries dégradent les matières organiques selon des processus identiques à ceux qui s'établissent dans les stations d'épuration du type boues activées.

Le métabolisme des bactéries aérobies implique un apport important en oxygène qui selon les conditions de charge admise (exprimée notamment en kg de DBO) ne peut toujours être totalement satisfait par les seuls échanges air-eau. L'apport supplémentaire d'oxygène provient de la photosynthèse algale. Les algues vertes monocellulaires. La synthèse d'un kg d'algues fournit 1,6 kg d'oxygène et nécessite en moyenne 1 kg de DBO<sub>5</sub>.

- Élimination de la pollution microbienne.

Le procédé du lagunage considéré, soit en traitement total ou secondaire, soit en traitement tertiaire engendre une élimination presque complète des germes tests de contamination fécale et des micro-organismes pathogènes.

C'est ainsi qu'en plus de l'élimination des germes tests, il a été constaté que les mycobactéries et les Salmonelles étaient totalement éliminées après passage dans un étang de stabilisation. Il en est de même pour les Staphylocoques dorés.

En définitive, il existerait donc de très fortes probabilités pour qu'une décontamination microbienne s'opérant à des taux supérieurs à 99,9 %, exprimés quant aux coliformes fécaux d'une part, engendre parallèlement l'élimination des bactéries pathogènes et d'autre part soit susceptible d'occasionner une chute d'infectivité virale.

Diverses théories ont été avancées pour expliquer l'action bactericide du lagunage : libération de substances toxiques par les algues ou compétition extrême entre les micro-organismes complétée par les effets de l'oxygène dissous à saturation.

L'accord semble se faire actuellement, et d'ailleurs les expériences l'ont montré, sur l'action favorisante du rayonnement solaire accéléré, pour ce qui concerne l'inactivation des virus, par le métabolisme bactérien.

- Assimilation des nutrilites

Pour ce qui concerne les nutrilites, il serait impropre d'évoquer des processus de réduction. Certes il existe en lagunage une certaine réduction de l'azote et du phosphore mais le phénomène essentiel est représenté par les processus d'assimilation. En lagunage total ou secondaire, les processus d'assimilation relatifs à l'azote et surtout au phosphore sont notablement plus importants que ceux qu'autoriseraient les rapports d'équilibre en éléments assimilables. A ce sujet, il est courant d'observer en lagunage total ou secondaire des taux d'assimilation de 70 à 80 % relativement à l'azote et au phosphore. Ces taux très importants d'assimilation par les algues s'expliquent, semble-t-il par une consommation en éléments nutritifs très supérieure aux besoins. C'est un phénomène généralement observé dans le cas de l'assimilation du phosphore.

- Réduction de divers facteurs polluants.

Outre la réduction, l'élimination ou l'assimilation des facteurs polluants traditionnellement considérés, le lagunage exerce une efficacité certaine quant à la réduction de certaines substances particulièrement nocives vis-à-vis des milieux naturels. Sans en dresser une liste exhaustive, des éléments tels que phénols, hydrocarbures et détergents voient leur teneur considérablement abaissée après traitement par étang de stabilisation.



VI. 4. 3. Epuration biologique des ER de fabriques de pâte à la soude.

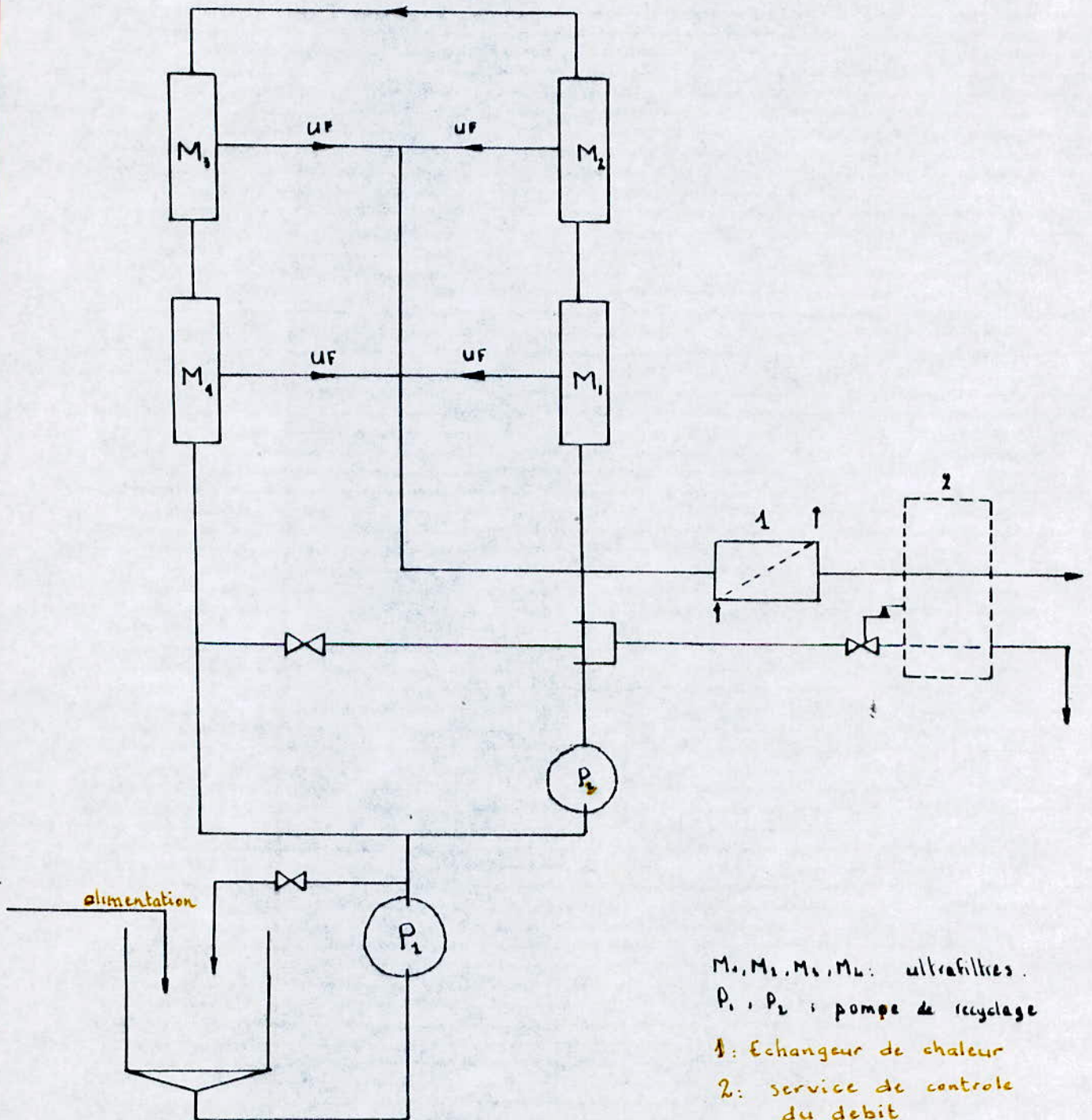
L'épuration des eaux résiduaires de fabriques de pâte à la soude peut se faire en deux (02) temps ; Avec floculation chimique dans le premier étage et épuration biologique dans le second. La floculation par le sulfate d'aluminium élimine 48 % des matières organiques (principalement, les substances colorantes de la lignine). Dans le traitement qui suit, par les boues activées, la DBO<sub>5</sub> est diminuée de 94,5 % . Ceci était une expérience réalisée en 1964. (2).

VI. 5. Autre procédé de traitement des eaux résiduaires des industries de cellulose.

VI. 5. 1. Ultrafiltration des effluents industriels.

Ce procédé est utilisé pour des eaux résiduaires industrielles des industries utilisant le procédé au bisulfite ; l'ultrafiltration à l'aide de membranes minérales, à température élevée a été mis en oeuvre de 1982 à 1983 à tartas (landes). ( voir figure n° 8 ) Le but recherché était la production de concentrats de lignosulfonates contenant environ 30 % de matières sèches, avec élimination simultanée de petites molécules organiques, sucres en particulier, de produits minéraux, à partir d'une liqueur noire résiduaire provenant de la fabrication de pâte chimique. (22)

Figure N° 7

Schema de l'installation  
d'ultrafiltration

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>: ultrafiltres.

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>: pompe de recyclage

1: Echangeur de chaleur

2: service de controle  
du debit

P<sub>1</sub>: Pompe d'alimentation

VI. 5. 2. Un réacteur anaérobie à lits fluidisés pour le traitement  
des eaux résiduaires industrielles contenant des chlorophénols. (23)

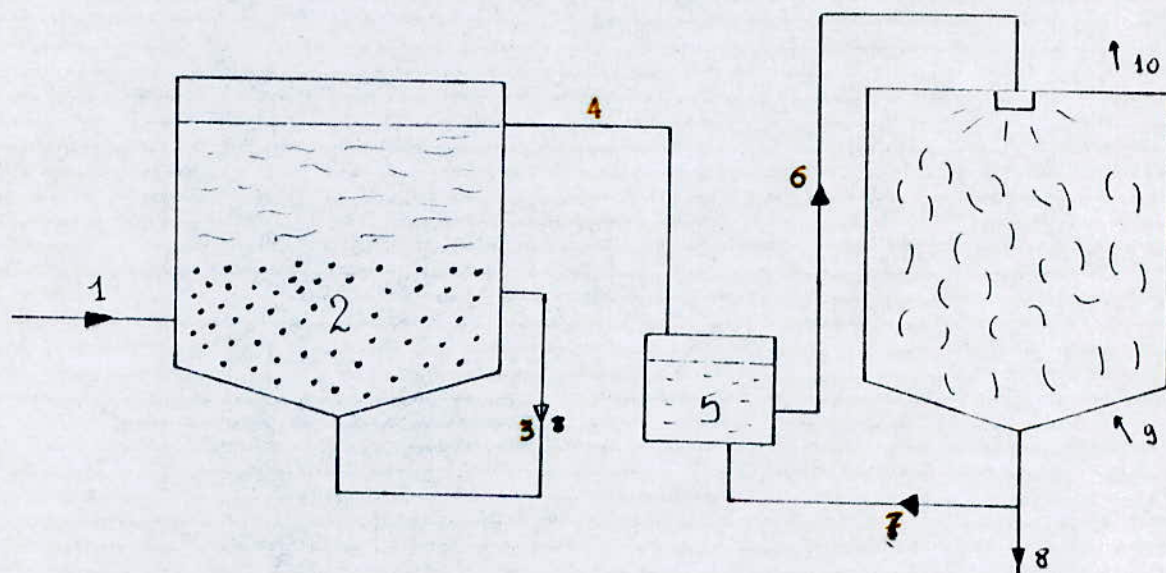
Les effluents de blanchiments sont souvent considérés comme très difficile dans l'industrie de pâte et de papier. Ces effluents sont toxiques pour les poissons et autres formes d'animaux aquatiques. Ils contiennent par tonne de pâte blanchie, 15 à 30 kg de  $DBO_7$ , 50 kg de chlore inorganique, 6 kg de chlore organique, mais ne contiennent pas ou très peu d'azote et de phosphore, ce qui rend les traitements non économiques par les méthodes biologiques classiques. Comme le débits moyen des rejets atteint environ  $25\ 000\ m^3/j$ , le traitement de ces lessives, exige de grande surface, quand on utilise les systèmes à boues activées ou les lagunes aérées dont le temps de séjour est de plusieurs jours.

Les réacteurs biologiques à lits fluidisés sont capable d'achever un traitement avec des temps de séjour bas car c'est la haute concentration de biomasse qui permet de les achevés. C'était pour cette raison qu'un système a été développé et qui consistait en un réacteur anaérobie à lits fluidisés et d'un filtre biologique aérobie. Les composés du chlore organique sont minéralisé en chlorure inorganique dans le réacteur anaérobie tandis que la  $DBO_7$  et la toxicité sont éliminées dans le filtre aérobie. Ce dispositif a été appelé "Fenox system."

Un réacteur anaérobie à lits fluidisés est connecté avec un filtre aérobie (comme le montre la figure N°9) opérant à  $20^\circ C$  avec des charges hydrauliques indiquées au tableau n° 11.

Les essais de traitements ont été réalisés avec un effluent venant d'une usine qui blanchit la pâte de bois (Bouleau) avec un indice kappa de 24. Cette usine utilise par tonne de pâte blanchie 30 à 40 m<sup>3</sup> d'eau brute et 70 à 80 kg de chlore. Les propriétés de l'effluent de blanchiment sont rapportées dans le tableau n° 10

Figure N° 8



### Système FENOX

- 1 - effluent brut
- 2 - Lits fluidisés (reacteur anaérobie)
- 3 - pompe de recyclage
- 4-6 - flux allant du reacteur vers le biofiltre
- 7 - pompe de recyclage
- 8 - effluent traité
- 9-10 - entrée-sortie d'air

Les essais de toxicité ont été accomplis avec des puces d'eau (*Daphnia magna*) et la dilution a été considéré comme non toxique si 100 % des puces survivaient après 24 heures.

Les pourcentages d'élimination des chlorophénols, du COT, et de la DBO<sub>7</sub>, et de la toxicité contenus dans l'effluent de blanchiment, par le système Fenox, sont regroupés dans le tableau n° 11.

Tableau N° 10

Caractéristiques de l'effluent de blanchiment de la pâte de bois

. Couleur .	mg Pt / l	3000 - 6000
. DBO <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> / l	200 - 600
. COT	mg C / l	500 - 1000
. Chlorophenols identifiés µg / l		
- 4,5 - dichloroguaiacol		400 - 1000
- trichloroguaiacol (2 isomeres)		50 - 100
- 2,4,6 - trichlorophenol		50 - 150
- 3,4 - dichloro - 2,6 - dimethoxyphenol		20 - 60
- 3,4,5 - trichloro - 2,6 - dimethoxyphenol		10 - 50
- 2,3,4,6 - tétrachlorophenol		5 - 10
- pentachlorophenol		0,2 - 2,5

Tableau N° 11

Elimination des chlorophenols, COT, DBO<sub>2</sub>, et toxicité  
contenus dans l'effluent de blanchiment par le FENOX

Réacteur	Charges hydrauliques par volume du réacteur m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ,d	Pourcentage d'élimination			Non-Toxique dilution %	
		Cl-phenols	DBO <sub>2</sub>	COT	affluent	effluent
Lit fluidisé anaérobie	3	99	0	34	80	100
	9	81	0	27	80	100
Lit fluidisé anaérobie suivi d'un filtre aérobie	3	83	73	21	80	100
	6	78	53	13	60	100

## VI. 6. Epuration des eaux résiduaires mixtes urbaines et industrielles. (3)

## VI. 6. 1. Introduction.

Un autre moyen, encore controversé, d'épurer les eaux résiduaires industrielles, consiste à les traiter en mélange avec les eaux usées d'origine domestiques. Il ya lieu de remarquer d'ailleurs que, dans de nombreuses villes, les égouts urbains reçoivent en fait une quantité parfois importante d'effluents industriels provenant des petites et moyennes entreprises. On considère en général que l'introduction des eaux résiduaires industrielles dans un réseau d'égouts urbains est la solution la meilleur au problème de l'évacuation de ces eaux. Toutefois ces eaux doivent être débarassées des matières susceptibles d'endommager les canalisations des égouts et les stations d'épuration, comme des substances toxiques telles que les sels de cuivre, l'arsenic, le cyanure, etc... qui peuvent compromettre l'épuration biologique.

A part ces limitations, une station d'épuration urbaine doit pouvoir traiter toutes les eaux résiduaires industrielles qu'elle reçoit. L'épuration correcte des E.U.U<sup>(\*)</sup> et E.R.I.<sup>(\*\*)</sup> mélangées ensemble peut se faire de façon plus économique que lorsque chaque entreprise doit effectuer elle même l'épuration de ses eaux. Elles ne devraient se charger que d'effectuer telles mesures propres à adapter les debits et les caractéristiques de leurs eaux résiduaires, qui sont absolument nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des stations d'épuration d'accueil.

+ E.U.U : eau usée urbaine

+ E.R.I : eau résiduaire industrielle

VI. 6. 2. Influence des eaux résiduaires sur le traitement des eaux mixtes.

Les caractéristiques des eaux mixtes urbaines sont fortement influencées par les eaux industrielles, parmi ces influences on peut citer :

- Influence sur le débit et les caractéristiques des eaux résiduaires mixte.
- Influence des E.R.I sur l'épuration mécanique des eaux résiduaires mixtes urbaines.

Le fonctionnement et le rendement des bassins de décantation des stations d'épuration urbaines peuvent être compromis aussi bien par le débit que par la nature des eaux résiduaires industrielle. Parmi ces facteurs importants qui entrent en jeu on peut citer :

- \* Débits de l'effluent : surcharges, à coups
- \* Caractéristiques de l'effluent :
  - \* Quantité des matières en suspension
  - \* Vitesse de sédimentation des M.E.S.
  - \* Aptitude de l'effluent à se décomposer
  - \* Acidité et alcalinité (pH)
  - \* Température
  - \* Teneur en substances coagulants.



VI. 6. 3. Influence des E.R.I sur l'épuration biologique des eaux résiduaires mixtes urbaines. (E.R.M)

Le développement et le rendement des micro-organismes qui interviennent dans les procédés biologique aérobie dépendent de certains conditions du milieu, qui sont normalement réalisées de façon satisfaisante dans une eau usée exclusivement domestique. Les eaux résiduaires industrielles peuvent influencer la décomposition biologique des matières polluantes de l'eau brute d'une station d'épuration urbaine pour les raisons suivantes :

- Le besoin des micro-organismes en matières nutritives n'est pas couvert
- Il se produit une élévation de température de l'effluent.
- Le pH de l'effluent est trop bas ou trop élevé
- Des matières toxiques sont présentes dans l'effluent
- L'introduction d'oxygène est empêchée par le fait, par exemple qu'il y a un excès de détergent.
- Il se produit des surcharges et des à coups de charge.

Certaines eaux résiduaires industrielles à pollution organique, comme les effluents, d'abattoirs, de fabriques de conserve de viande, etc... contiennent suffisamment de substances nutritives, qu'il est inutile d'y ajouter des eaux urbaines domestiques pour leur traitement biologique.

Par contre d'autres effluents industriels comme, ceux qui résultent de la fabrication de produits agricoles riches en hydrates de carbonés, des industries de la cellulose, des papeteries, etc...présentent une insuffisance en composés du phosphore.

Ces eaux ne peuvent alors être traitées biologiquement sans difficulté, dans des stations d'épuration urbaines conduit à un bilan équilibré en substances nutritives. Naturellement la quantité d'eaux usées urbaines nécessaires dépend de la nature des eaux résiduaires industrielles considérées.

- élévation de la température des E.R.M par les E.R.I.

Les entreprises industrielles envoient souvent dans le réseau d'assainissement urbain d'importantes quantités d'eaux de refroidissement, qui peuvent dans certains circonstances élever considérablement la température des eaux résiduaires.

Certains auteurs ont trouvé par des essais que des intervalles de température compris entre 8 - 35°C la température n'a pas d'influence sensible sur le procédé aux boues activées à condition que sa variation soit très lente. Pour des températures dépassant 35°C, le rendement de destruction diminue fortement. Ceci est attribué à l'abaissement de la teneur en O<sub>2</sub>.

- Influence de la modification du pH des E.R.M par les E.R.I.

Les recherches effectuées par différents auteurs, montrent qu'on peut épurer un effluent par le procédé des boues activées lorsque le pH est compris entre 4,5 et 10,5. Il est cependant nécessaire de maintenir constamment une valeur extrême du pH afin de permettre l'adaptation des micro-organismes.

- Action des substances toxiques des E.R.I sur l'épuration biologique des E.R.M

L'action des substances toxiques sur la destruction biologique dépend avant tout de la concentration de ces substances. Elle diffère suivant les organisme qui prennent part au processus d'épuration. Des quantités minimales de sels métalliques peuvent déjà entraver l'épuration biologique de l'eau brute. De petites teneurs suffisent pour que les sels métalliques risquent de se concentrer dans la culture biologique.

L'épuration biologique par le procédé des boues activées, est notamment perturbée lorsque la concentration en cuivre, en nickel ou en étain atteint 1 mg/l. L'effluent se trouble et la nitrification est inhibée. Par contre les lits bactériens supportent des teneurs supérieures. Un fait remarquable est que le contraire se produit pour le chrome hexavalent. Le fonctionnement des lits bactériens est déjà compromis par une teneur de 1 mg/l en chrome et celui des installations à boues activées des 2 mg/l.

VI. 6. 4. Mesures à prendre par les entreprises industrielles avant de déverser leurs eaux résiduaires dans un réseau d'assainissement urbain.

- Traitement primaire des E.R.I dans les installations des entreprises. En général, ce traitement primaire concerne les caractéristiques suivantes des eaux résiduaires industrielles.

- \* Régularisation du débit des effluents, qui n'est pas toujours constant.
- \* Adaptation des concentrations de leurs matières polluantes

a celles des eaux usées urbaines, par exemple du point de vue de leur teneur en matières décantables, en suspension ou organiques, mesurées en DBO<sub>5</sub> ou DCO.

- \* Séparation des substances nocives telles que graisses et huile, acides et bases, détergents et substances toxiques.
- \* Refroidissement des effluents qui ont été échauffés par l'apport d'eaux de refroidissement, usées et d'autres eaux chaudes dans les eaux résiduaires industrielles.

Un traitement primaire ne peut d'ordinaire éliminer qu'une partie des effets préjudiciables des effluents sur le traitement des eaux mixtes dans la station d'épuration. Il faut y ajouter d'autres mesures, à prendre dans la station elle même.

Pour ce qui est de leur action sur les stations urbaines, les eaux résiduaires industrielles peuvent être classées en quatre catégories.

- (I) - Effluents qui ne se différencient que peu d'eaux usées domestiques et peuvent être admis dans une station urbaine sans traitement primaire.
- (II) - Effluents à pollution organique, qui peuvent être admis dans le réseau d'assainissement après régularisation de leur débit, au cas où des à coups de celui-ci conduiraient par moments à une élévation de leur proportion qui modifierait trop les eaux domestiques.

- (III) - Effluents qui doivent recevoir un traitement primaire avant d'être déversée.
- (IV) - Liquides résiduaire qui ne doivent, par aucun cas, être déversées dans le réseau urbain.

## Chapitre VII.

## ESSAIS DE TRAITEMENTS AU LABORATOIRE

Nous avons procédé à des essais de traitements au laboratoire, concernant les eaux de type E3, vu que ce sont ces eaux qui sont déversées dans l'oued.

## VII. 1. Coagulation - floculation

## VII. 1.1. Introduction.

La coagulation - floculation est souvent employée dans le traitement des eaux résiduelles industrielles, en particulier celles des papeteries et fabriques de pâte à papier. (20).

La coagulation - floculation est un traitement physico-chimique de l'eau qui précède la phase de séparation liquide-solide, et qui a pour effet de créer des agrégats facilement séparables, le choix d'un traitement par coagulation-floculation est dicté par la présence de fortes teneurs en matières en suspension et matières décantables ainsi qu'une DCO élevée dans les effluents de l'unité CELPAP.

## VII. 1.2. Réactifs de coagulation.

Les réactifs les plus utilisés de nos jours sont le sulfate d'aluminium, la chaux et les sels ferriques. Dans notre cas, nous avons utilisé uniquement le sulfate d'aluminium pour des raisons de disponibilité dans l'industrie papetière et fabrique, de pâtes à papier. De plus, les sels ferriques ne sont pas très indiqués pour les eaux de papeteries vu qu'elles contiennent des tannins et que ceux-ci forment avec le fer des tannates de fer qui gênent la floculation.

La coagulation par le sulfate d'aluminium provoque la réaction suivante :



en fait, l'ion Aluminium subit une succession de réactions d'hydrolyse pour former des hydroxydes complexes multivalents.

### VII. 1.3. Quantification de la pollution avant coagulation-floculation.

Le tableau n° 12 donne les valeurs de différents paramètres de pollution, parmi lesquelles ; les M.E.S, la D.C.O et la D.B.O.5, avant l'essai de coagulation-floculation.

### VII.1.4. Mise en oeuvre et description de l'essai de coagulation-floculation

Le principal but à atteindre est la neutralisation des charges électriques des colloïdes, c'est pourquoi, il est nécessaire de diffuser rapidement le réactif utilisé, et ce, par une forte agitation.

Le sulfate d'aluminium utilisé, a été préparé en solution de 20,5 %.

Le but recherché dans l'essai de coagulation-floculation est d'obtenir la dose optimale du coagulant. Celle-ci correspond aux meilleurs rendements d'élimination des paramètres de pollution considérés (MES, DCO, DBO5).

- Dans quatre (04) bechers numérotés de B1 à B4, nous avons introduit 500 ml d'échantillon d'eau à traiter, puis injecté des doses croissantes de coagulant allant de 1 à 4 ml/l dans l'ordre croissant de la numérotation des béchers, après réajustement du pH à 7 à l'aide d'acide chlorhydrique.

Tableau N° 12

Valeurs des différents paramètres de pollution  
avant l'essai de coagulation-floculation

pH		11,4
Température	(°C)	27
DCO	(mg O <sub>2</sub> /l)	6560
DBO <sub>5</sub>	(mg O <sub>2</sub> /l)	2900
MES	(mg/l)	4540
MVS	(mg/l)	4060
MD	(cm <sup>3</sup> /l)	6,5
MM	(mg/l)	480
M Sèches	(mg/l)	13300
Conductivité	(mS/cm)	
Soude résiduelle	(mg/l)	2400
P <sub>tot</sub> (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	(mg/l)	



- On procède à une agitation rapide d'environ 1 minute, puis à une agitation lente de 30 minutes.
- Après une décantation de 30 minutes environ, nous avons déterminé les paramètres de pollution suivantes : la DCO, la DBO<sub>5</sub> et les MES.

#### VII. 1.5. Résultats de l'essai de coagulation-floculation.

Le tableau n°13 nous donne les valeurs de la DCO, des MES, et de la DBO<sub>5</sub> après l'essai de coagulation-floculation et ce, pour les différentes doses de coagulant.

Par contre le graphe n°9 donne les variations du pH en fonction de la dose du coagulant-floculant utilisé constatée au cours de l'essai (voir figure n°9).

En reprenant les valeurs de la DCO, des MES, et de la DBO<sub>5</sub> avant traitement, nous avons déterminé le rendement sur chaque paramètre considéré, que nous avons reporté dans le tableau n°14. Nous avons représentés graphiquement la variation de l'efficacité d'élimination sur les MES, la DCO, en fonction des teneurs en sulfate d'Aluminium. (voir figure n°10).

En vue des résultats obtenus, nous constatons que les meilleurs rendements sont obtenus pour une dose de sulfate d'Aluminium équivalente à 3 ml/l, ce qui correspond à 195 mg/l de sulfate d'aluminium.

En vue d'un traitement biologique, une coagulation-floculation semble très indiquée comme prétraitement.

Tableau N° 13

Resultats obtenus apres l'essai de coagulation-floculation

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
Dose de coagulant (mg/l)	265	530	795	1060
pH final	6,4	5,9	4,5	5,6
MES (mg/l)	1840	1700	920	1360
DCO (mgO <sub>2</sub> /l)	4200	3325	2400	2840
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	-	-	1280	-

Tableau N° 14

Pourcentages d'élimination des MES, DCO, et de la DBO<sub>5</sub> après coagulation-floculation

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
Dose de coagulant (mg/l)	265	530	795	1060
MES (%)	59	63	80	70
DCO (%)	36	49	63	57
DBO <sub>5</sub> (%)	-	-	54	-

Figure N° 9

variations du pH en fonction  
des quantités de coagulant

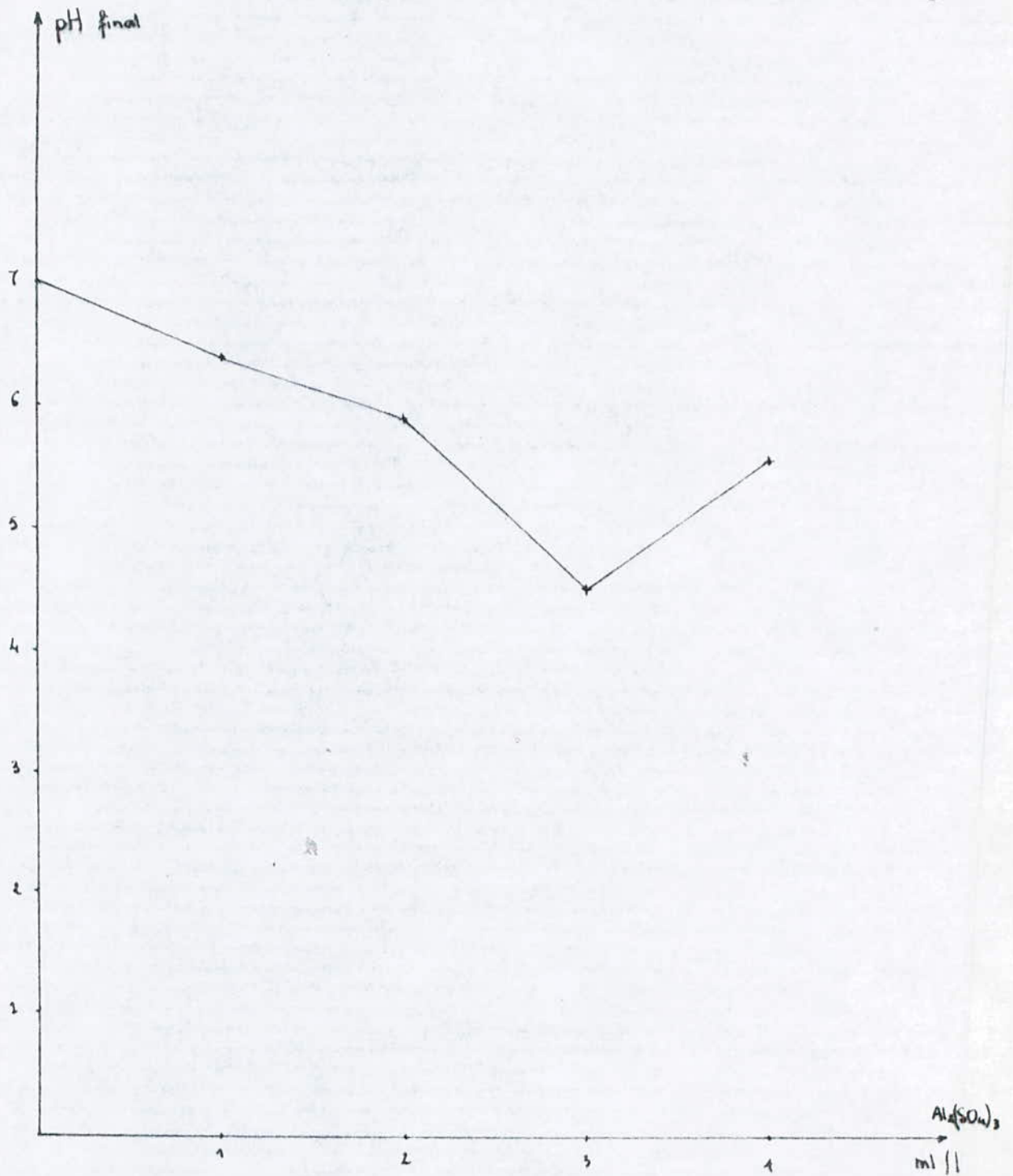
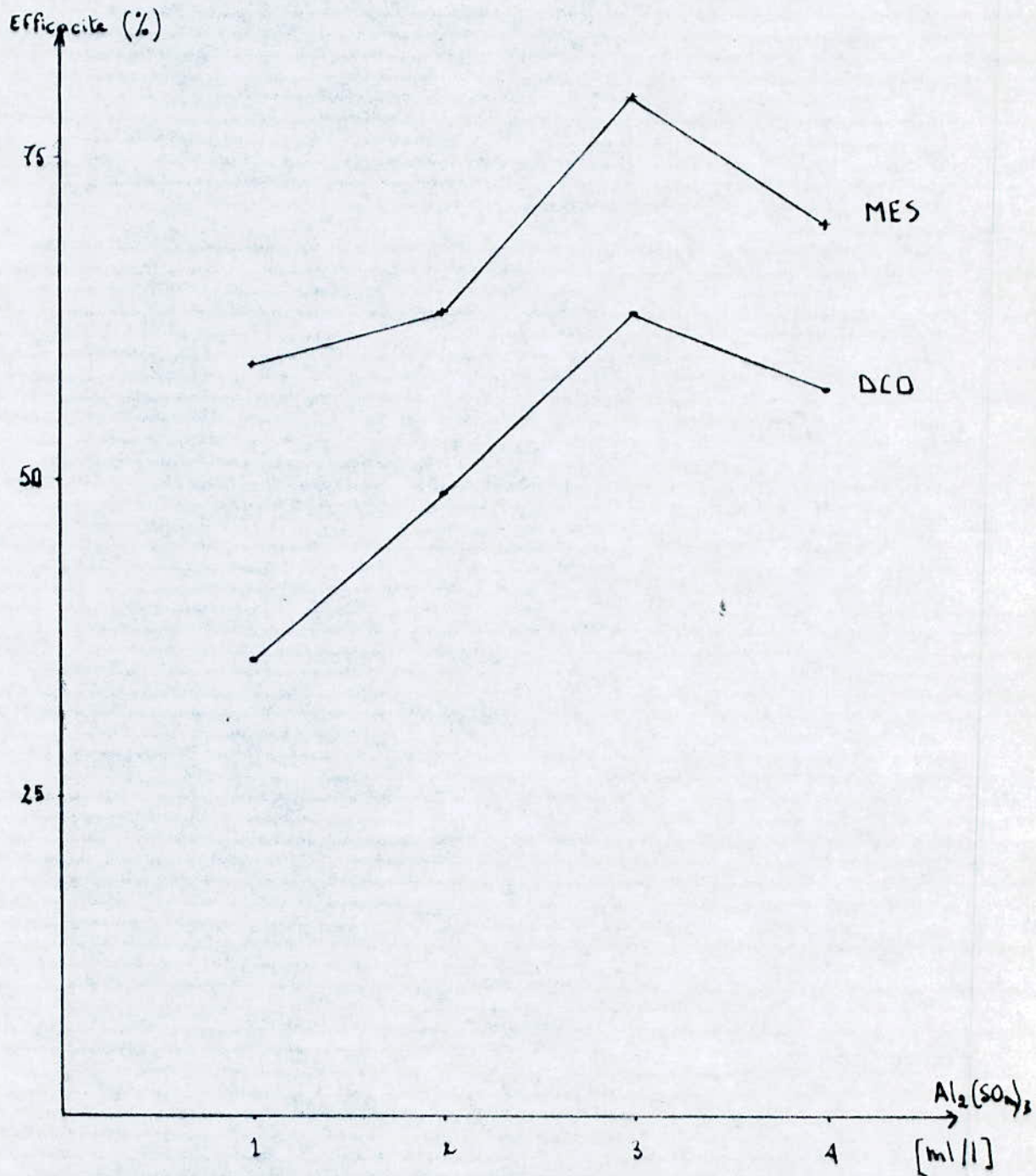


Figure N° 10

Efficacité du traitement par coagulation. f en fonction des quantités de coagulant



La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) étant éliminée à 54 %, le traitement biologique n'en serait que plus performant.

## VII. 2. Le traitement biologique.

Le principe de l'épuration biologique repose sur la capacité d'un grand nombre de micro-organismes de métaboliser la matière organique (M.O) biodégradable. Ces micro-organismes sont grossièrement classés en germes aérobie, facultatifs et anaérobies.

Le traitement biologique est très avantageux du fait qu'il permet souvent d'obtenir un effluent pouvant répondre aux conditions d'épurations les plus rigoureuses, avec des moyens économiques parfaitement acceptables.

### VII. 2. 1. Conditions de bon déroulement d'un traitement biologique.

La charge d'un effluent devrait consommer de l'oxygène lors de sa dégradation dans un milieu naturel. C'est ce rôle que doit assumer une station d'épuration en tant qu'écosystème forcé, et il est important donc d'avoir une indication sur ce qu'exigeraient les matières carbonées en oxydant dans le milieu naturel et ce que nous serons conduits à apporter comme oxygène en station. (1) Ces indications sont données par l'évaluation, de la DBO<sub>5</sub>, DCO, et d'équilibre nutritionnel, et du calcul de certains rapports qui permettent d'avoir une première idée quant aux possibilités de traitement biologique de l'effluent industriel.

Ces rapports sont nombreux, et on distingue généralement : DBO<sub>5</sub>/DCO, DCO/DBO<sub>5</sub>, DCO/N, DCO/P, et DBO<sub>5</sub>/N/P.

Les normes requises en général pour un traitement biologique sont :

$6,5 < \text{pH} < 8,5$	$\text{DBO}_5/\text{DCO} > 0,3$
$\text{DCO}/\text{N} < 20$	$\text{DBO}_5/\text{N} < 19$
$\text{DCO}/\text{P} < 100$	$\text{DBO}_5/\text{P} < 81$
$\text{DBO}_5/\text{N}/\text{P} = 150/5/1$	

Le calcul d'un 2ème rapport  $\text{DCO}/\text{DBO}_5$  permet d'avoir d'autres indications importantes.

$\text{DCO}/\text{DBO}_5 < 1,6$  : l'effluent est traitable biologiquement.

$1,6 < \text{DCO}/\text{DBO}_5 < 5$  : le mélange est bioépurable à condition d'utiliser des souches sélectionnées.

$\text{DCO}/\text{DBO}_5 > 5$  : l'effluent est non traitable biologiquement. On pourra oxyder les matières organiques mais pas biologiquement.

D'autres auteurs considèrent que les rapports ci-dessous sont des minimums pour les matières nutritives nécessaires à la décomposition biologique.

$\text{DBO}_5/\text{N} : 32/1$

$\text{DBO}_5/\text{P} : 150/1$

Le quatrième paramètre qui joue un rôle important dans l'épuration biologique, est l'évaluation des substances toxiques. L'étude de la toxicité de l'effluent vis à vis des bactéries hétérotrophes responsables de l'épuration est très importante.

En effet celle-ci permet de savoir si l'effluent renferme des substances inhibitrices, d'évaluer leur quantité, et de définir la dilution ou les prétraitements à réaliser avant l'épuration biologique.

A l'issue de ces informations concernant les caractéristiques physiques et chimiques de l'effluent à étudier, les essais de traitabilités par voie biologique sont réalisés à l'aide de maquettes de types boues activées (aérobie). Ces essais permettent d'aboutir suivant le cas à trois (3) types de conclusions :

- \* L'effluent ne renferme pas de substances toxiques, il est facilement biodégradable (traitable biologiquement), éventuellement après quelques prétraitements minimes. L'épuration biologique sera facilement réalisable.
  
- \* L'effluent ne renferme pas de substances facilement biodégradables ou sa composition interdit d'envisager toute épuration biologique (pH trop éloigné des zones biologiques, présence de toxiques nécessitant une dilution trop importante, carence en éléments minéraux...)  
Dans ce cas, on doit envisager l'application de procédés physico-chimique permettant d'obtenir une épuration complète ou partielle susceptible d'être complétée par un procédé biologique.
  
- \* Les résultats obtenus montrent qu'une biodégradation est possible mais plus difficile que dans le cas d'un effluent urbain. Dans ce cas on peut envisager un traitement biologique, mais la conception d'une station d'épuration nécessitera des essais complémentaires au stade pilote qui seront réalisés à l'usine de façon à se placer dans des conditions réelles de fonctionnement.

### VII. 2.2. Caractéristiques des prélèvements.

Lors de cette campagne, deux lieux de prélèvements ont été considérés.

- L'eau du mélange de fabrication de la pâte à papier de l'atelier cellulose (eaux de type E3).
- Le collecteur d'égouts des eaux urbaines de Réghaïa.

Ces prélèvements ont été effectués dans le but de réaliser un essai de traitement mixte par le procédé des boues activées.

On notera : EUI ; l'eau usée industrielle.

EUII ; l'eau usée urbaine.

Les caractéristiques de ces eaux sont données au tableau n° 15

Remarque : les valeurs en nutriments, de l'EUII considérées sont celles qui ont été déterminées lors de la campagne précédente, en supposant qu'il n'y ait pas de grande variations concernant ces paramètres.

### VII. 2.3. Description du dispositif expérimental de traitement.

Quatre (04) essais de traitement seront réalisés.

Pour le premier essai : un (01) litre d'EUI (après décantation de deux heures) sera introduit dans une colonne de 5 à 10 cm de diamètre et de un (01) mètre de long.

Pour les trois (03) autres essais ; cinq (05) litres d'eaux mixtes (EUI - EUII) seront introduits dans des bouteilles de capacités de 10 l, à des dilutions bien déterminées et soumis, tout comme l'EUI de la colonne, à une aération de six (06) heures, par insufflation d'air à l'aide d'un compresseur.



## Tableau N° 15.

Caractéristiques de la pollution de L'EUI et L'EUU  
avant l'essai de traitement

		EUI	EUU
DBO <sub>5</sub>	(mg O <sub>2</sub> /l)	2900	240
DCO	(mg O <sub>2</sub> /l)	9600	360
DCO*	(mg O <sub>2</sub> /l)	6900	-
N Kjeldahl	(mg/l)	44	59
N organique	(mg/l)	30	-
P total	(mg/l)	5	-
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	(mg/l)	18	-
P-PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	(mg/l)	0,23	40

(\*) : DCO après 2 h de decantation

Notons que, l'E.U.U. a été préalablement aéré -(conservation de la biomasse) nous procéderons à l'analyse de chaque essai, avant et après aération. Enfin, vu l'insuffisance du débit d'air pour alimenter le tout à la fois, les essais ont été effectués deux à deux en deux temps. L'aération a été réalisée après une décantation de deux heures.

#### VII. 2.4. Hypothèses de départ des différents essais.

Le traitement biologique repose sur les teneurs en nutriments (N,P) qui favorisent le développement des micro-organismes responsables de l'épuration. Le processus d'épuration est illustré par la dégradation de la matière organique (M.O) traduite par l'élimination de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO.

Pour une certaine teneur en M.O, il faut avoir des teneurs en azote et en phosphore (N et P) correspondant à un équilibre nutritionnel qui favorise grandement l'épuration biologique.

L'équilibre nutritionnel est illustré par certains rapports comme : DBO<sub>5</sub>/N/P, DBO<sub>5</sub>/N, etc...

Dans nos essais, nous présenterons ces rapports déterminés préalablement par le calcul (après mesures expérimentales), et qui seront pris comme hypothèses de départ avant chaque essai. Les caractéristiques en nutriments seront données dans les hypothèses de départ.

Pour le reste des caractéristiques (avant et après traitement) elles figureront dans les tableaux n° 15, 16 et 17

Essai n°1 : Colonne contenant l'EEI seule. (un litre )

Ces caractéristiques de l'EEI sont représentées aux  
tableaux n° 15

$$\text{DBO}_5/\text{N} = 60/1$$

$$\text{DBO}_5/\text{P} = 580/1$$

$$\text{DBO}_5/\text{N/P} = 580/8,8/1$$

$$\text{DCO/N} = 143/1$$

$$\text{DCO/P} = 1380/1$$

$$\text{DCO/DBO}_5 = 2,4$$

$$\text{pH} = 7,5$$

Essai n° 2 : Réalisé avec 2,5 l d'eau usée industriel (50%) et 2,5 litre  
d'eau usé urbaine.

$$\text{Azote Kjeldahl} = 51 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Phosphore } \text{PO}_4^{3-} = 20 \text{ mg/l.}$$

$$\text{DBO}_5/\text{N} = 45/1$$

$$\text{DBO}_5/\text{P} = 115/1$$

$$\text{DBO}_5/\text{N/P} = 115/2,5/1$$

$$\text{DCO/N} = 112/1$$

$$\text{DCO/P} = 286/1$$

$$\text{DCO/DBO}_5 = 2,5$$

$$\text{pH} = 8,0.$$

Dans nos prochains essais, nous réaliserons de plus grandes dilutions afin de nous rendre compte de l'influence de celles-ci sur l'effet d'épuration biologique.

Essai n° 3 : Le mélange contient 30 % EUI et 70% EEU.

Caractéristiques du mélange en nutriments :

Azote Kjeldahl = 55 mg/l

Phosphore  $PO_4^{3-}$  = 23 mg/l.

DBO5/N = 40/1

DBO5/P = 95/1

DBO5/N/P = 95/2,4/1

DCO/N = 72/1

DCO/P = 172/1

DCO/DBO5 = 1,8

pH = 8,0.

Essai n° 4 : Dans cet essai, nous allons procéder à une dilution plus grande, de façon à avoir un mélange qui soit composé de, 20 % en E.U.I et 80 % en E.U.U.

Caractéristiques du mélange en nutriments :

Azote Kjeldahl = 57 mg/l

Phosphore  $PO_4^{3-}$  = 26 mg/l.

$$\text{DBO}_5/\text{N} = 33/1$$

$$\text{DBO}_5/\text{P} = 72/1$$

$$\text{DBO}_5/\text{N/P} = 72/2,2/1$$

$$\text{DCO/N} = 57/1$$

$$\text{DCO/P} = 123/1$$

$$\text{DCO/DBO}_5 = 1,7$$

$$\text{pH} = 8,0$$

Les résultats des essais après six heures d'aération sont réunis dans les tableaux n° 16, 17

La figure N° 11 représente l'efficacité du traitement biologique en fonction de la dilution.

#### VII. 2.6. Discussion des résultats.

Pour l'essai 1, le rapport  $\frac{\text{MVS}}{\text{NS}}$  est resté à peu près constant, ce qui signifie que la biomasse ne s'est pratiquement pas formée, nous pouvons affirmer que la biodégradabilité ne s'est pas opérée. La faible diminution de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO est sans doute due, à une erreur de manipulation et manque de reproductivité. Ce résultat était prévisible, vu les conditions nutritionnelles très éloignées de l'optimum, énoncées dans les hypothèses, et qui illustrent la carence très remarquable en phosphore dans notre E.U.I. Nous soupçonnons l'inexistence des micro-organismes responsables de l'épuration dans notre E.U.I, vu que celle-ci passe par une chloration lors du procédé de fabrication. Pour les essais 2, 3, et 4, l'adaptation des micro-organismes ne s'est pas encore effectuée, ou pour un très faible pourcentage en micro-organismes responsables de l'épuration, et dont l'apport a été assuré par l'E.U.U.

Tableau N° 16

Résultats des essais de traitabilité biologique 1 et 2

	ESSAI 1			ESSAI 2		
	avant aération	après aération	Rendement %	avant aération	après aération	Rendement %
. DCO (mg/l)	6900	6590	4,5	5720	5260	8,0
. DBO <sub>5</sub> (mg/l)	2900	2700	7,0	2300	2000	13,0
. MS (mg/l)	40 000	40 700	-	25900	26 100	-
. MVS (mg/l)	24000	24490		17000	18530	

95

Tableau N° 17

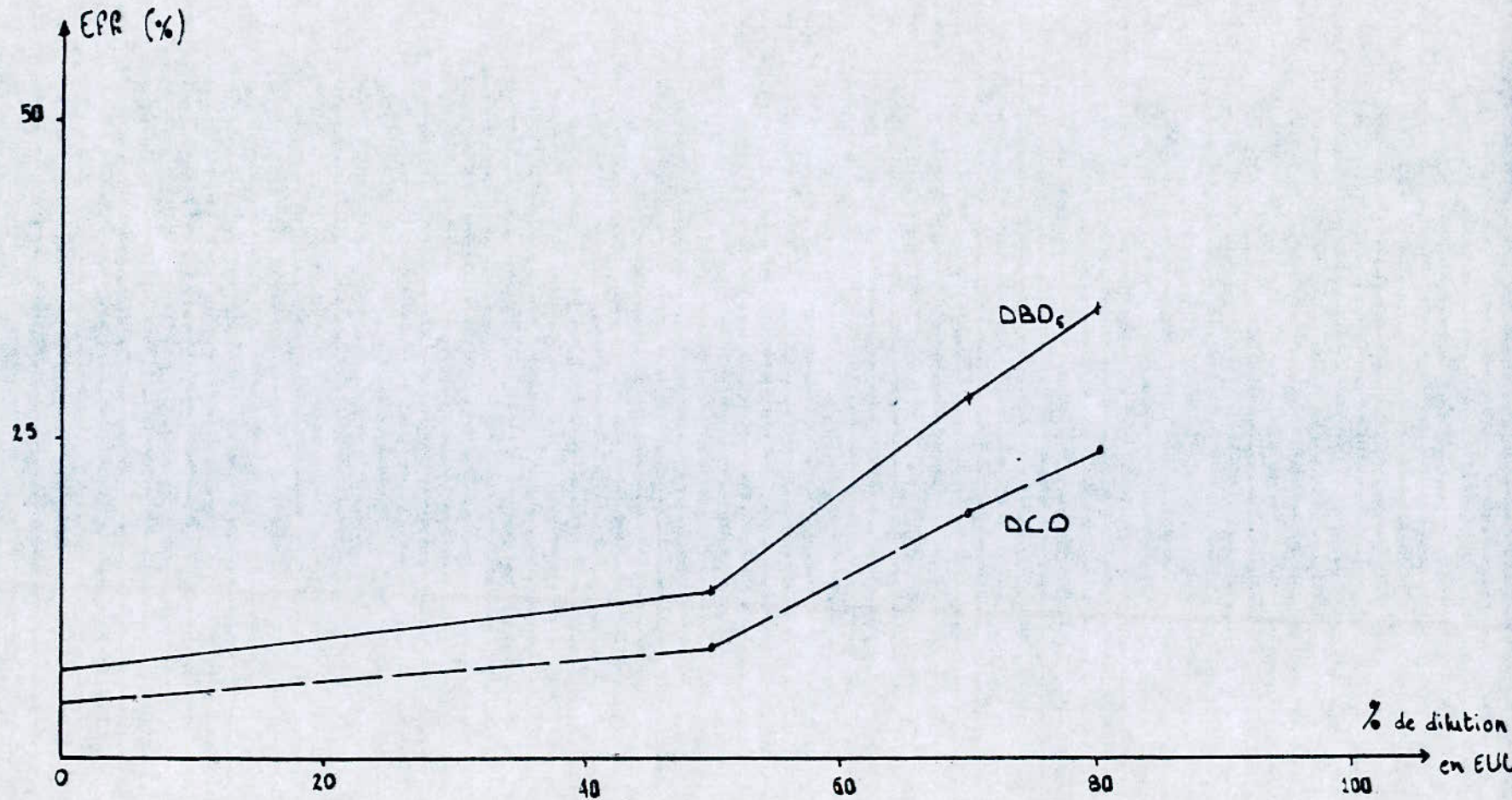
Résultats des essais de traitabilité biologique . essais 3 et 4

	ESSAI 3			ESSAI 4		
	avant aeration	après aeration	Rendement %	avant aeration	après aeration	Rendement %
DCO (mg/l)	3960	3200	19	3220	2200	24
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	2200	1590	28	11880	1100	35
MS (mg/l)	21300	21800	-	12100	12800	-
MVS (mg/l)	15550	17660	-	9680	11520	-

96

Figure n° 11

Graphe donnant les variations de l'efficacité du traitement biologique en fonction de la dilution



16



D'où une diminution de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO toujours éloignée de l'optimum recherché. Nous pensons que la biodégradation de telles eaux mixtes nécessitent certainement une période d'adaptation plus ou moins longue. En ce qui concerne la dilution, il était d'emblée clair que ces liqueurs noires nécessitent une correction des carences en nutriments, particulièrement en phosphore, par un apport extérieur sous forme d'E.U.U plus la dilution en E.U.U augmente, plus les conditions nutritionnelles s'améliorent, et avec elles, le rendement du traitement biologique.

#### VII. 2.7. Conclusions générales sur l'essai de traitabilité biologique.

En tablant sur les résultats obtenus lors des essais effectués au laboratoire, nous pouvons formuler ce qui suit :

- La dilution est déjà un facteur qui diminue la pollution, vu que la DBO<sub>5</sub> et la DCO **diminuaient** d'autant plus que la dilution en E.U.U augmentait.
- La dilution nécessaire à une bonne épuration est supérieure à 80 % en E.U.U, puisque les conditions nutritionnelles s'améliorent avec l'augmentation de la teneur en E.U.U dans le mélange.
- Des essais au laboratoire peuvent être effectués, en vue de déterminer la dilution optimale, favorable à un meilleur rendement du traitement biologique avec, bien sûr, en temps d'aération plus long, surtout en début d'adaptation.

Ces résultats obtenus à l'issue de l'étude des différents types d'eaux de l'atelier cellulose, ont montré que celles-ci présentaient des caractéristiques de pollution dépassant largement la norme admissible.

C'était d'ailleurs prévisible, étant donné que l'atelier ne prend absolument aucune mesure interne afin de diminuer la charge polluante de ses rejets.

Les eaux de blanchiment (eaux de type E4) qui sont réutilisées dans le procédé de fabrication (lavage), sans un traitement préalable entraînent des pertes en fibres de bonne qualité pouvant servir à la production de la pâte à papier d'une part, et une influence négative sur la qualité de la pâte à papier d'autre part. Aussi, nous recommandons que soit réalisée une décantation pour les eaux de type E1, E2, E3, dans le but de réduire les M.E.S. dont la forte teneur diminue les performances du traitement biologique, et une flottation pour les eaux de type E4, en vue de récupérer les fibres cellulosiques.

L'intérêt économique qui s'en dégage devrait inciter les responsables concernés à procéder, au moins à cette opération.

Nous recommandons aussi une neutralisation dans le but de réajuster le pH à la zone admissible.

Enfin, et en tablant sur les résultats donnés par nos essais de traitement au niveau du laboratoire, nous préconisons un traitement des liqueurs noires par coagulation-floculation.

Ce traitement physico-chimique réduirait énormément la charge polluante de l'unité et contribuerait à l'obtention d'un effluent pouvant répondre aux conditions d'épuration les plus rigoureuses.

Le 2ème traitement qui succèdera au premier serait de nature biologique et pourrait avoir lieu dans le cadre du projet de construction de la nouvelle station d'épuration d'Alger.

Dans ce projet, il est prévu que la station accueillera et traitera l'ensemble de la zone d'EL-HARRACH, y compris les rejets de CELPAP. Dans ce but, il est nécessaire que des mesures internes, et à la source, soient prises au sein de toutes les unités industrielles afin d'éviter une éventuelle surcharge au niveau de la future station d'épuration.

Enfin, nous voudrions souligner l'éventuelle présence dans les liqueurs noires de composés organiques chlorés (chlorophénols et autres), que nous n'avons pas pu analyser dans ce travail, mais qui de par leurs caractères toxiques méritent une attention particulière.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) - G. MARTIN Note de cours sur le traitement de l'eau.  
Ecole nationale supérieure de chimie de  
Rennes.
- (2) - MEINCK Les eaux résiduelles industrielles (1970).
- (3) - O.C.D.E. Epuration des eaux résiduelles mixtes  
urbaines et industrielles en RFA. (1966)
- (4) - Marcel CHENE Chimie appliquée à l'analyse des matériaux  
et produits cellulosique. (1963).
- (5) - DEGREMONT Mémento technique de l'eau. 8ème édition 1978.
- (6) - Henry ROQUES Fondement théoriques du traitement biologique  
des eaux. Tome 1.
- (7) - Revue : Technique Papetière (A.T.P.) Avril 1987.
- (8) - G. MARTIN Le problème de l'azote dans l'eau.
- (9) - K. WINNAKER et L. KUHLER Chimie organique. Tome 6, 2ème partie. (1967).
- (10) - Document A.N.R.H
- (11) - AFIR *Djamila* Contribution à l'étude des eaux résiduelles  
de l'unité SONIC de Bab Ali

- (12) - M. MICHEL Etude sur l'alfa d'ALGERIE (INA)
- (13) - V. OLIMID - S.A. MEZIANI Projet alfa, rapport n° 6 Janvier (1986) (INA).
- (14) - Document EDIL Etude sur le projet de station de traitement des eaux usées de l'unité celpap de bab-ali (juin 86).
- (15) - A. KHETTAB P.F.E étude des eaux résiduelles de l'unité celpap de bab-ali. (1977) (I.N.A)
- (16) - Revue Biofuture n° 20 (Janvier 1984)
- (17) - M. TARDAT-HENRY Chimie des eaux (édition le Griffon, 1984)  
J.P. BEAUDRY
- (18) - Cours d'assainissement urbain. (2ème édition, 1980).
- (19) - Revue La papeterie. Juillet / Aout 87.
- (20) - W.W. ECKELFELDER Gestion des eaux usées, urbaines et industrielles. (1982).
- (21) - R. LABONPE L'assainissement des petites agglomérations au moyen de l'épandage des eaux usées (notes de cours)
- (22) - Revue La papeterie. Sep 86.
- (23) - P.F COOPER Biological Fluidised bed of water and  
B. ATKINSON wastewater.

## ANNEXES

- Mesure de la Demande Chimique en Oxygène : DCO

La DCO a été mesurée par la méthode d'oxydation par le dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ), à chaud.

- Mesure de la Demande Biologique en Oxygène : DBO<sub>5</sub>

La DBO<sub>5</sub> a été mesurée à partir de la formule de CARTROUX :

$$DBO_5 = DCO_0 - DCO_5 \quad (6)$$

ou DCO<sub>0</sub> représente la DCO de l'échantillon au jour zéro, tandis que la DCO<sub>5</sub> représente la DCO après 5 jours (à T° = 20°C)

- Azote de KJELDAHL

Méthode de Minéralisation à chaud, avec de l'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ). Travaux pratiques N° 5 et 6 de M<sup>re</sup> A. DOWGIALLO.

- Phosphore Total et Orthophosphates

La mesure des orthophosphates se fait par spectrophotométrie, d'après la méthode donnée par les travaux pratiques de M<sup>re</sup> A. DOWGIALLO.

(Méthode au molybdate d'Ammonium)

- Matières Décantables :

On laisse decanter dans un cône IMHOFF, un litre d'échantillon d'eau pendant deux heures.

- Dosage de la soude résiduelle :

La méthode de ce dosage nous a été proposée par le laboratoire de l'unité CELPAD.

a- Préparation de la solution de jus noir :

On pèse 70 g de  $\text{BaCl}_2$ , on ajoute 300 ml d'alcool éthylique, et on complète à 1 litre avec de l'eau distillée.

b- Prendre 10 ml de l'échantillon dans une fiole de 100 ml et compléter avec la solution de jus noir jusqu'à 100 ml. Homogénéiser et laisser décanter pendant cinq minutes.

c- Prendre 20 ml du surnageant dans un bécher de 350-450 ml, ajouter quelques gouttes de phénol phtaléine et titrer avec  $\text{HCl}$  0,1 N

$$\text{NaOH résiduelle (g/l)} = \text{chute de burette} \times 2$$
$$\text{chute de burette} = \text{Volume de HCl 0,1 N}$$

