



Pêches et Environnement  
Canada

Fisheries and Environment  
Canada

Service de la  
protection de  
l'environnement

Environmental  
Protection  
Service

# Techniques de base de l'industrie des pâtes et papiers et méthodes de réduction de ses déchets

TD  
182  
R46  
6/WP/74/  
3F  
ex.1

le de formation  
74-3F

4

générale de la lutte contre la pollution des eaux

## RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les guides de formation donnent des renseignements utilisés surtout à des fins de formation.

Le Service compte parmi ses publications d'autres catégories de rapports dont: règlements, codes et méthodes d'analyse; politiques et planification; analyse économique et technique; recherche technique; rapports de surveillance; exposés et mémoires soumis à des enquêtes publiques; rapports sur les impacts environnementaux.

Prière d'envoyer toute demande de renseignements au sujet des rapports publiés par le Service à l'adresse suivante: Service de la protection de l'environnement, ministère des Pêches et de l'Environnement, Ottawa (Ontario), Canada, K1A 0H3.

TD 182  
R46.  
6/WP/74/3F  
ex.1

#153789

11.2.1.

# Techniques de base de l'industrie des pâtes et papiers et méthodes de réduction de ses déchets

**A. J. Bruley**

**Université Lakehead**

Guide de formation  
Rapport EPS-6-WP-74-3F

Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux  
Service de la protection de l'environnement  
Mai 1974  
Révisé: avril 1975

Publication distribuée par  
le ministère des Pêches et de l'Environnement  
Ottawa  
K1A 0H3

La version originale anglaise a été éditée  
par M. Douglas Jones, conseiller technique,  
Pêches et Environnement Canada.

Édition française de  
*The Basic Technology of the Pulp and Paper Industry  
and its Waste Reduction Practices*  
préparée par le Module d'édition française  
du ministère des Pêches et de l'Environnement

©  
Ministre des Approvisionnements et Services  
1977

ISBN 0-662-00682-8  
Cat. n° EN 43-6/74-3F

## **Avis de révision**

La version anglaise de ce manuel a été révisée par la Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, Service de la protection de l'environnement, qui en a autorisé la publication. Cette autorisation ne reflète pas nécessairement les vues et les politiques du Service. Ce manuel a été rédigé à partir des connaissances personnelles de l'auteur, de ses notes et d'informations puisées dans les divers ouvrages énumérés dans la bibliographie. Comme tel, il ne servira qu'à la formation à l'intérieur du Service de la protection de l'environnement et il ne peut pas être reproduit, en tout ou en partie, à des fins commerciales. La mention de marques de commerce ou de produits commerciaux ne constitue pas une recommandation.



## Table des matières

AVIS DE RÉVISION .....	III
LISTE DES FIGURES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX .....	IX
1 INTRODUCTION ET CRITÈRES .....	1
2 L'INDUSTRIE CANADIENNE DES PÂTES ET PAPIERS .....	2
2.1 Importance nationale .....	2
2.2 Importance régionale .....	3
2.3 Tableau général de la lutte contre la pollution .....	3
2.4 Perspectives économiques .....	3
2.5 Autres problèmes de l'industrie .....	7
3 HISTORIQUE .....	8
4 PROCÉDÉS DE BASE DES PÂTES ET PAPIERS .....	11
4.1 Récolte du bois .....	11
4.2 Préparation du bois .....	13
4.3 Réduction en pâte .....	19
4.4 Classage et épuration de la pâte .....	56
4.5 Épaississement .....	59
4.6 Blanchiment .....	63
4.7 Préparation de la pâte .....	74
4.8 La machine à papier .....	81
4.9 Opérations de finition et de transformation .....	84
5 MÉTHODES DE RÉDUCTION DES DÉCHETS .....	85
5.1 Effluents généraux d'une usine de kraft .....	85
5.2 Réutilisation interne de l'eau de fabrication .....	85
5.3 Méthodes externes de réduction des déchets .....	88
5.4 Économie de l'élimination des résidus .....	96
ANNEXES	
I BIBLIOGRAPHIE .....	99
II GLOSSAIRE DES TERMES RELATIFS AUX PÂTES ET PAPIERS .....	101
III LA CHIMIE DU BOIS .....	115





## Liste des figures

2-1	Demande mondiale de papier journal, par région .....	4
2-2	Total de la production de pâte au Canada de 1920 à 1967, exprimé en millions de tonnes séchées à l'air, par année .....	5
2-3	Réduction de la pollution par l'industrie canadienne des pâtes et papiers .....	6
4-1	Schéma des procédés de base -e fabrication des pâtes et papiers .....	12
4-2	Préparation du bois .....	14
4-3	Tambour écorceur humide de type courant .....	15
4-4	Système classique de récupération de l'écorce humide .....	16
4-5	Système à lit fluidisé de Copeland appliqué à la combustion des déchets solides .....	18
4-6	Défibreux hydraulique à magasin .....	20
4-7	Raffineur à deux disques .....	21
4-8	Système classique de fabrication de pâte mécanique .....	23
4-9	Système classique de réduction en pâte mi-chimique .....	24
4-10	Systèmes de mise en pâte en milieu aqueux pour les principaux procédés commerciaux .....	26
4-11	Procédé de mise en pâte au bisulfite .....	28
4-12	Schéma du procédé de base de la récupération au magnésium .....	31
4-13	Diagramme qui met en évidence la nature cyclique du procédé de récupération kraft .....	35
4-14	Lessiveur en continu Kamyr utilisé pour la mise en pâte .....	36
4-15	Système classique de lavage de pâte brune .....	37
4-16	Tracé des pertes en produits chimiques par rapport à l'indice de dilution pour un système de lavage à deux tambours et à trois stades, à l'indice de permanganate 22 de la T.A.P.P.I. ....	40
4-17	Schéma de l'écoulement de la lessive noire au sulfate et de la méthode de récupération du savon de résine liquide .....	43
4-18	Structure des diverses matières toxiques .....	44
4-19	Pertes d'effluents liquides dans un système de récupération du procédé kraft ...	46
4-20	Sources des condensats contaminés des usines de kraft .....	47
4-21	Installation classique de récupération de térébenthine .....	48
4-22	Schéma d'un système de régénération à air et de lutte contre les odeurs .....	49
4-23	Schéma d'un système de régénération par la vapeur et de lutte contre les odeurs .....	50
4-24	Émissions dans l'atmosphère d'une fabrique de pâtes et papiers kraft .....	51
4-25	Diagramme du procédé de fabrication de pâte kraft montrant les principales émissions à différents points .....	53
4-26	Système Ace de C.E. ....	54
4-27	Système B. & W. sans contact direct .....	55
4-28	Émissions contrôlées dans l'atmosphère d'une fabrique de pâtes et papiers kraft .....	57
4-29	Système classique de classage et d'épuration de la pâte chimique .....	60
4-30	Épurateur centrifuge classique .....	61
4-31	Filtre à tambour sous vide classique .....	62

4-32	Diagramme de fonctionnement d'un atelier de blanchiment à cinq étapes: CEDED .....	<b>67</b>
4-33	Système complet de lavage à contre-courant .....	<b>70</b>
4-34	Procédé de récupération du sulfate de sodium brut .....	<b>72</b>
4-35	Schéma simplifié d'une usine de kraft sans effluents .....	<b>73</b>
4-36	Système en continu de préparation de la pâte .....	<b>75</b>
4-37	Pile raffineuse (représentation simplifiée) .....	<b>77</b>
4-38	Raffineur conique Jordan (représentation simplifiée) .....	<b>78</b>
4-39	Raffineur conique (représentation simplifiée) .....	<b>79</b>
4-40	Raffineur à disques (représentation simplifiée) .....	<b>80</b>
4-41	Schéma d'un fourdrinier .....	<b>82</b>
5-1	Réseau de contrôle automatique du pH .....	<b>90</b>
5-2	Vue d'ensemble d'une usine d'épuration primaire des effluents .....	<b>92</b>
5-3	Diagramme du procédé des boues activées .....	<b>94</b>
A-1	Bloc de bois en coupe .....	<b>116</b>
A-2	Trachéïdes de bois de printemps et de bois d'automne .....	<b>117</b>
A-3	Éléments typiques de fibres et de vaisseaux de feuillus .....	<b>118</b>
A-4	Schéma de la structure d'une fibre de bois .....	<b>119</b>
A-5	Composés chimiques du bois .....	<b>122</b>
A-6	Structure microscopique et ultra-microscopique de la cellulose .....	<b>123</b>
A-7	Structure des xylanes .....	<b>125</b>
A-8	Structure des glucomannanes .....	<b>125</b>
A-9	Monomère de phényl-propane .....	<b>126</b>
A-10	Essai de définition des caractères structuraux d'un segment d'une molécule de lignine (pin soumis au procédé kraft) .....	<b>126</b>
A-11	Réaction de la lignine à la sulfonation .....	<b>127</b>
A-12	Hydrolyse acide ou alcaline .....	<b>128</b>
A-13	Sulfitage et hydrolyse alcaline de la lignine .....	<b>128</b>

## Liste des tableaux

2-1	Production et exportations canadiennes en 1972 .....	<b>2</b>
2-2	Clients du Canada en 1972 .....	<b>3</b>
4-1	Comparaison entre la pâte mécanique de défibreur et la pâte mécanique de raffineur provenant de copeaux et de sciure .....	<b>21</b>
4-2	Sous-produits d'une cuisson au bisulfite typique .....	<b>32</b>
4-3	Émissions caractéristiques des usines de pâte kraft .....	<b>52</b>
4-4	Émissions moyennes dans l'atmosphère d'une usine de pâte kraft <i>munie de systèmes de lutte contre les émissions</i> .....	<b>56</b>
4-5	Estimations des frais de premier établissement de systèmes de lutte contre les émissions dans l'atmosphère .....	<b>58</b>
4-6	Méthodes de blanchiment des pâtes mécaniques .....	<b>65</b>
5-1	Effluents d'une usine classique de kraft (500 tonnes par jour) construite entre 1960 et 1965 (anciennes techniques) .....	<b>86</b>
5-2	Charges polluantes et quantités d'eaux usées dans une usine de kraft blanchi (nouvelles techniques) .....	<b>87</b>
5-3	D.B.O. de certains effluents de la fabrication des pâtes et papiers .....	<b>93</b>
A-1	Éléments chimiques du bois .....	<b>121</b>
A-2	Principaux polymères des hydrates de carbone dans l'hémicellulose des bois durs et des bois tendres .....	<b>124</b>



## Chapitre 1

### **INTRODUCTION ET CRITÈRES**

Ce manuel de formation est destiné aux agents du Service de la protection de l'environnement chargés du contrôle des effluents des fabriques de pâtes et papiers. Il a pour but d'améliorer leur compréhension de la technologie fondamentale de l'industrie papetière et d'identifier les sources de polluants qu'elle déverse.

Il vise aussi à renseigner les agents sur les nouvelles orientations de l'industrie ainsi que sur les contraintes économiques que subissent les fabriques qui s'efforcent de satisfaire aux normes en matière d'environnement.

Nous espérons de plus qu'une meilleure connaissance des techniques de transformation favorisera les communications et la compréhension entre les industriels et les agents du Service de la protection de l'environnement.

## Chapitre 2

**L'INDUSTRIE CANADIENNE DES PÂTES ET PAPIERS****2.1 IMPORTANCE NATIONALE**

Traditionnellement, cette industrie et les industries connexes ont été la pierre angulaire de la vie économique du Canada. La production annuelle des quelque 140 usines du Canada représente plus de 3 milliards de dollars. Cette somme créerait, dans l'économie, un pouvoir d'achat d'environ 8 milliards de revenu national, alors que le revenu national total au Canada est d'environ 80 milliards de dollars.

L'industrie papetière est celle qui emploie le plus grand nombre de gens au Canada: elle fait travailler 75 000 personnes dans ses usines et ses bureaux et 90 000 autres de façon régulière ou saisonnière dans l'exploitation forestière.

Pays exportateur, le Canada vend à l'étranger environ 50 p. 100 de la valeur de ses biens et services. Les produits du papier constituent environ 20 p. 100 des exportations totales. Le tableau 2-1 résume la production et les exportations canadiennes en 1972. Il indique clairement que plus de 75 p. 100 des quelque 20 millions de tonnes sont exportées.

**TABLEAU 2-1***Production et exportations canadiennes en 1972.*

<b>Produits</b>	<b>Production de 1972 (en milliers de tonnes)</b>	<b>Exportations de 1972 (en milliers de tonnes)</b>
Papier journal	8 740	7 960
Pâte de bois	7 190	6 090
Carton	1 928	330
Papier d'édition et papier à lettres	658	117
Papier de pâte mécanique pour impression	484	413
Papier kraft	515	164
Papiers spéciaux	313	20
<b>TOTAL</b>	<b>19 828</b>	<b>15 094</b>

Le tableau 2-2 donne une liste des clients qui ont acheté nos produits du papier en 1972. Il est évidemment troublant de voir à quel point cette industrie dépend de la demande étrangère, mais il ressort aussi de ce tableau que les États-Unis sont son meilleur client et qu'ils achètent plus de 75 p. 100 de ses exportations.

**TABLEAU 2-2**  
*Clients du Canada en 1972.*

Clients	1972 (en milliers de tonnes)	Pourcentage d'augmentation par rapport à 1971
États-Unis	10 349	10,5
Royaume-Uni	1 325	5,6
Europe de l'Ouest	1 357	23,1
Japon	491	17,2
Amérique latine	755	10,5
Autres	817	5,8

Si nous examinons les prévisions de la demande mondiale de papier journal qui apparaissent à la figure 2-1, il est évident que l'industrie a de belles perspectives d'avenir.

En ce qui concerne la production de pâte mécanique, de pâte au bisulfite et de pâte kraft, la figure 2-2 indique les changements qui se sont produits depuis cinquante ans. L'augmentation de la production de pâte kraft est phénoménale, comparée aux modestes augmentations de la production de pâte au bisulfite.

## 2.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

Nombre de localités dans tout le Canada en sont venues à dépendre presque entièrement de l'industrie des produits forestiers pour assurer leur stabilité économique. Par exemple, dans le nord-ouest de l'Ontario, environ 80 p. 100 de l'économie repose sur les produits forestiers.

## 2.3 TABLEAU GÉNÉRAL DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION

Depuis douze ans, l'industrie des pâtes et papiers a, malgré sa croissance, réduit de 59 p. 100 son évacuation de matières en suspension. Au cours de la même période, la D.B.O. (demande biochimique en oxygène) a connu une réduction plus modeste de 19 p. 100. (Voir la figure 2-3.)

## 2.4 PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES

Dans cette industrie, la marge bénéficiaire a toujours été modérée, et parfois même peu encourageante. On peut attribuer une telle instabilité aux facteurs suivants:

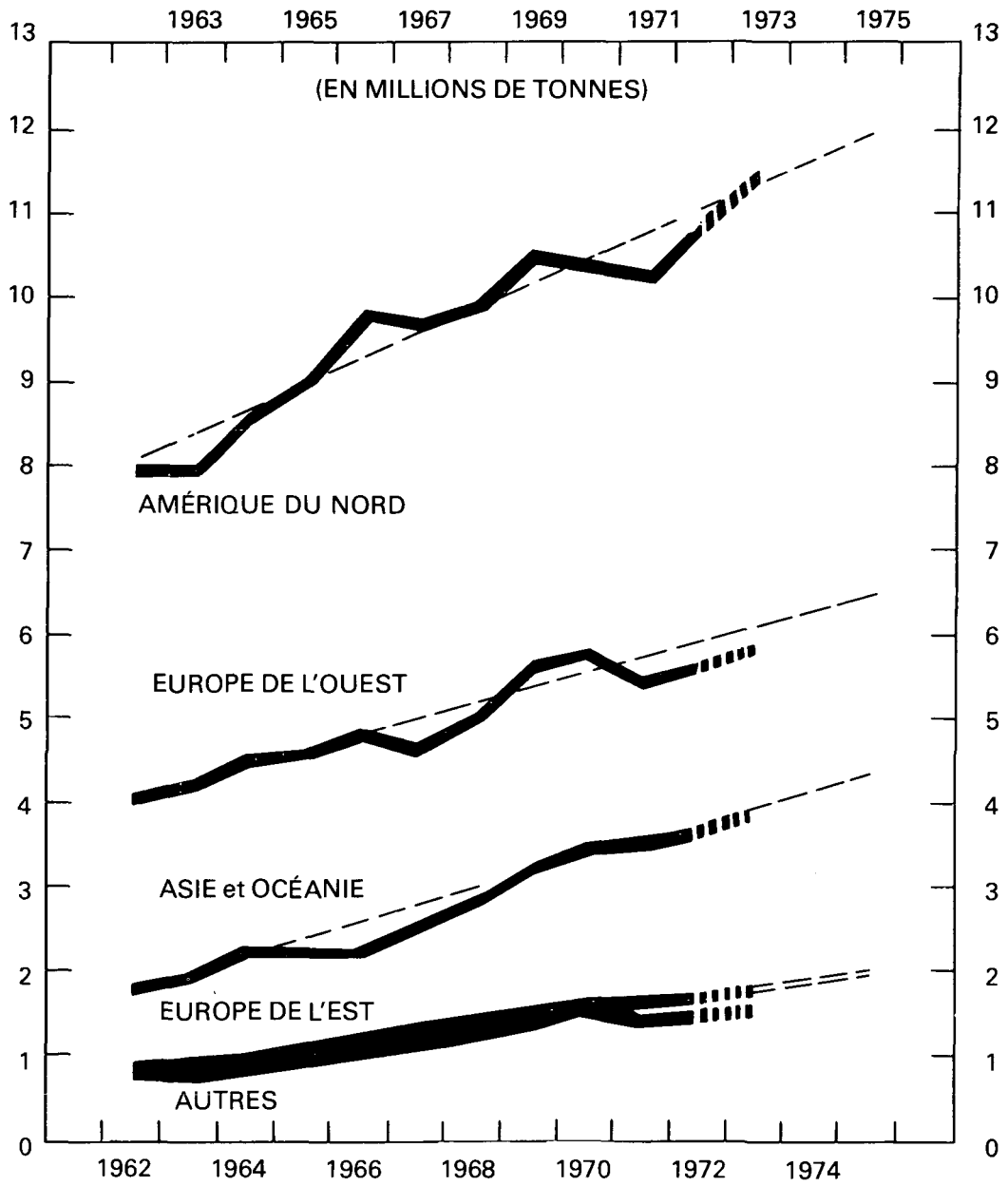


Figure 2-1. Demande mondiale de papier journal, par région.



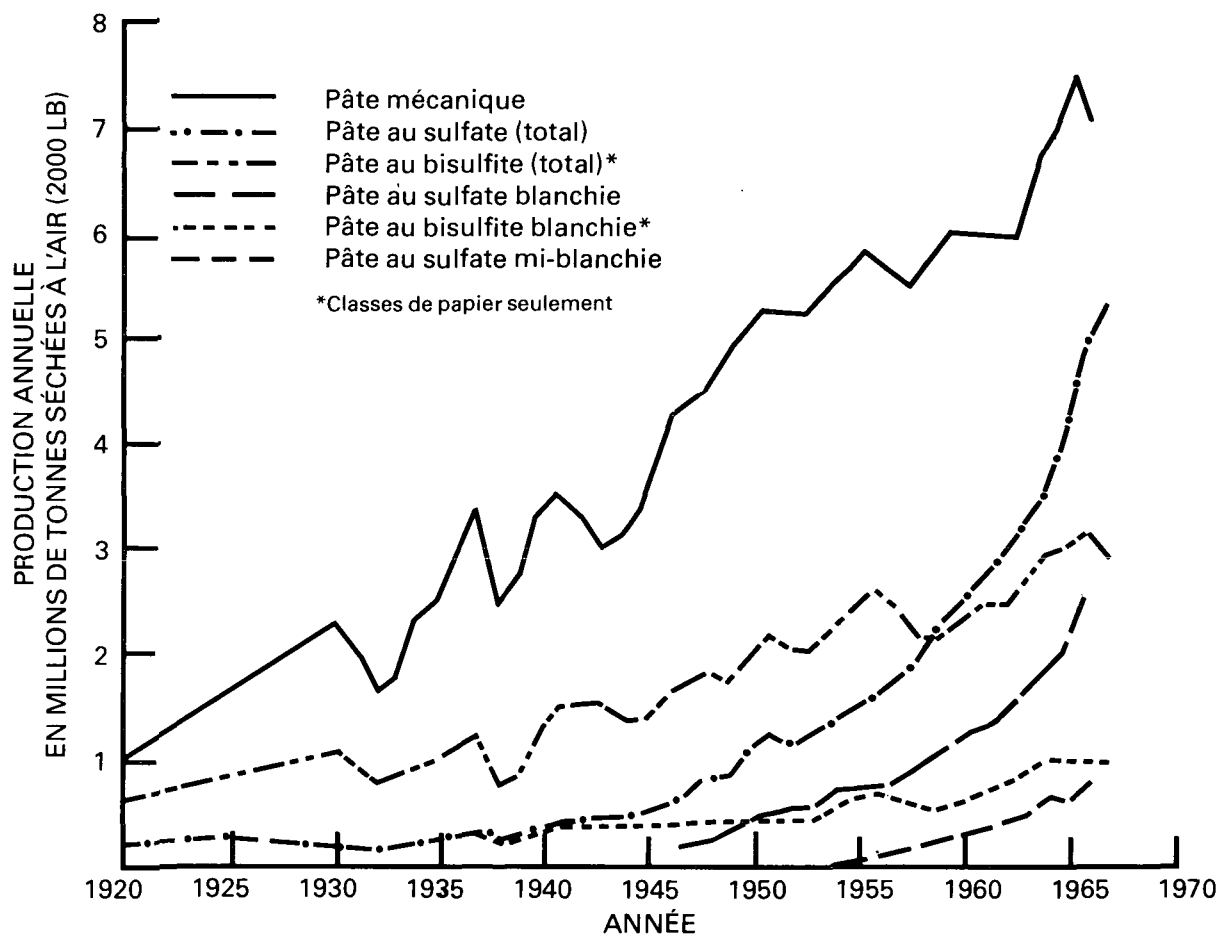
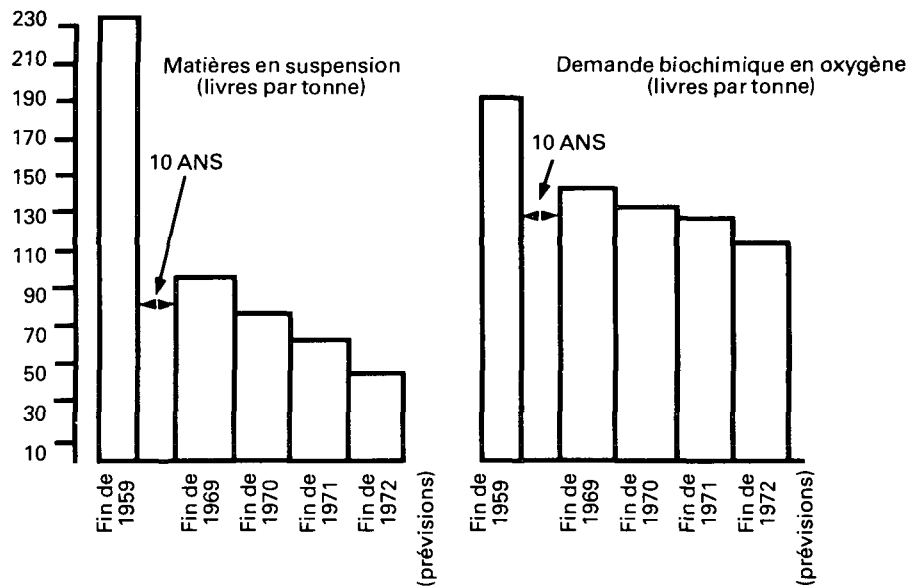


Figure 2-2. Total de la production de pâte au Canada de 1920 à 1967, exprimé en millions de tonnes (1 tonne = 2000 livres) sèches à l'air, par année.



*Figure 2-3. Réduction de la pollution par l'industrie canadienne des pâtes et papiers.*

#### **2.4.1 Fluctuation dans le cours du change du dollar canadien**

Ce facteur influe particulièrement sur les compagnies qui exportent la majeure partie de leur production. Par exemple, de 1966 à 1970, une compagnie faisant 60 p. 100 de son commerce à l'étranger et ayant une marge bénéficiaire habituelle de 10 p. 100 sur les ventes avant impôt, accuserait, avec la parité des dollars canadiens et américains, une diminution de bénéfices de 45 p. 100. Certaines fabriques exportent jusqu'à 80 p. 100 de leur production aux États-Unis, et leurs perspectives de rentabilité sont encore pires. En ramenant le dollar canadien près de la parité vers la fin de 1970-1971, on a nui à beaucoup de compagnies canadiennes, ce qui joua un rôle prédominant dans les mises à pied et le chômage du début de cette décade.

#### **2.4.2 Capacité accrue des usines**

Le milieu des années 60 vit une croissance rapide de nouvelles fabriques tant aux États-Unis qu'au Canada, croissance qui atteint son point culminant de 1966 à 1968. Cette capacité supplémentaire eut pour résultat une forte concurrence entre les diverses compagnies sur le plan de la commercialisation. Cette nouvelle concurrence frappa durement nombre de vieilles usines canadiennes qui ne s'étaient pas modernisées avec les

années. Le besoin de modernisation, venant s'ajouter aux coûts de plus en plus élevés, et la nécessité de mesures antipollution firent de plusieurs de ces vieilles usines tout au plus des exploitants marginaux.

### **2.4.3 Modernisation et coûts d'immobilisation élevés**

À la fin des années 60 et au début des années 70, plusieurs vieilles usines furent prises entre le besoin de modernisation et celui d'installations de traitement des effluents, à un moment même où les bénéfices étaient bas et où toute l'économie canadienne connaissait une récession. Les industriels décidèrent alors de se serrer la ceinture et de surmonter la crise. Deux vieilles usines qui avaient fermé à cette époque ont dernièrement repris leur production, grâce principalement à l'aide financière des gouvernements fédéral et provinciaux. Pour l'industrie des pâtes et papiers, 1973 a été une *année de reprise*. La demande est forte et les usines de papier journal et de pâte travaillent presque à pleine capacité. Les capitaux de développement manquent cependant, et les immobilisations se limitent principalement à l'entretien, à la modernisation et à la dépollution.

Les quelques compagnies qui ont de l'argent l'investissent dans d'autres secteurs. Par exemple, la Great Lakes Paper Company ouvrira, cet automne, une usine de goujons de 3 millions de dollars, et elle a annoncé dernièrement la construction d'une usine de bois aggloméré de 9 millions de dollars. MacMillan-Bloedel a aussi annoncé la construction d'une nouvelle usine de panneaux de copeaux plats de 7 millions de dollars dans le nord-ouest de l'Ontario.

## **2.5 AUTRES PROBLÈMES DE L'INDUSTRIE**

Le coût de plus en plus élevé du bois, de la main-d'oeuvre, du transport et des combustibles a créé d'autres difficultés à l'industrie. Malgré le raffermissement des marchés, on ne prévoit presque pas d'expansion dans l'immédiat. Cela signifie que les marges bénéficiaires augmenteront probablement à mesure que s'accroîtra la demande. On prévoit pour 1973 une augmentation des revenus de 10 p. 100 à 15 p. 100. Cette période de consolidation permettra aux fabriques de moderniser et d'améliorer les méthodes de production, mais elle devrait aussi être une bonne occasion de procéder judicieusement à l'installation d'appareils de traitement des effluents et de dépollution.

### Chapitre 3

## HISTORIQUE

On peut appeler papier toute feuille de fibres enchevêtrées ou feutrées, assemblées sur une toile métallique dans une suspension aqueuse. Les anciens Égyptiens d'Alexandrie fabriquaient une feuille à partir de la moelle du roseau du papyrus, et le mot «papier» vient du nom de cette plante. Ils retiraient les couches fibreuses, les mettaient côte à côte à angle droit, les broyaient, les humectaient et les pressaient. En séchant, la sève sucrée collait les couches ensemble. Le défibrage complet n'était pas utilisé. Dans l'antiquité, les feuilles de papyrus furent le matériel d'écriture le plus utilisé. Les documents datent de 3600 ans avant notre ère.

Sous la forme que nous lui connaissons aujourd'hui, le papier fit son apparition en Chine vers l'an 100 de notre ère. Tsai-lun, considéré comme le père de la papeterie, se servit d'abord du liber du mûrier. Il trouva qu'une suspension fibreuse macérée, une fois filtrée à travers un fin tamis et séchée, donnait une feuille permettant d'écrire et de dessiner. On utilisa d'abord les fibres libériennes du chanvre et du lin, mais par la suite, à mesure que la qualité et le savoir-faire augmentaient, on les remplaça par des chiffons de coton et de toile. L'addition de mucilages et d'amidons végétaux ainsi que de colle animale et de gommes végétales donna de la force et du lissé au papier et en améliora la qualité. On utilise encore aujourd'hui les chiffons de coton et de toile dans le papier «bond» de qualité, le papier pour billets de banque et le papier pour documents, et partout où l'on a besoin d'un papier résistant. L'art de la papeterie parvint en Europe vers le XII<sup>e</sup> siècle. Dès 1390, il existait un certain nombre de fabriques de papier en Espagne, en Italie, en France et en Allemagne.

La chronologie suivante donnera au lecteur un bref aperçu des principaux événements qui ont marqué l'évolution de la technologie du papier.

- 1495** La publication de la Bible de Gutenberg marque le début de l'imprimerie et de l'augmentation de la demande en papier qui en a résulté.
- 1680** Invention de la pile raffineuse hollandaise, un procédé mécanique pour macérer et défibrer de grandes quantités de matières premières fibreuses.
- 1784** Découverte du chlore par le chimiste suédois Scheele. On reconnaît rapidement ses propriétés de blanchiment de la pâte à papier. Toutefois, à cause d'un usage incorrect, les premières expériences ne donnent que du papier de qualité inférieure, ce qui jette un doute sur sa valeur réelle.

- 1798** Invention d'une machine à papier en continu par Louis-Nicolas Robert en France. Il fait toutefois faillite avant de pouvoir achever son invention.
- 1800** Découverte du collage en cuve avec de la résine et de l'alun. Auparavant, on se servait de colle animale et de gommes végétales pour coller, procédé coûteux et pénible. La résine et l'alun sont encore en usage aujourd'hui. Ils rendent le papier résistant à l'humidité, lui permettent de retenir l'encre et facilitent l'impression.
- 1807** Octroi d'un brevet d'invention à Henry et Sealy Fourdrinier pour une «machine à papier améliorée». La soudaine possibilité d'accroître la production de papier déclenche une recherche intensive de grandes quantités de nouvelles matières premières puisque les chiffons de coton et de toile sont rares.
- 1809** Invention de la machine à forme ronde par le papetier anglais John Dickinson.
- 1844** En Allemagne, Keller invente la pâte mécanique. Celle-ci est toutefois peu résistante et ce n'est qu'en 1870 qu'on commence à l'utiliser dans le commerce.
- 1854** Début de la fabrication chimique de pâte de bois. Watt et Burgess, en Angleterre, font une «pâte à la soude» en faisant bouillir, à haute température, du bois dans un alcali caustique.
- 1897** La vitesse de la machine à papier atteint 500 pieds à la minute.
- 1920** Des vitesses de machines de 1000 pieds à la minute sont possibles.

Après **1920**, la documentation chronologique devient difficile à cause du rythme extrêmement rapide des progrès techniques. Ces progrès sont généralement le résultat d'un travail d'équipe dans de grandes organisations. Voici quelques-unes des dernières découvertes importantes:

a) *La pâte mi-chimique.* La pâte mi-chimique fit son apparition vers 1925. La disponibilité d'essences de bois dur non exploitées, le désir d'accroître la production de pâte pour réduire les coûts du bois et la soudaine prospérité de l'industrie du carton ondulé et de l'emballage sont autant de facteurs qui ont favorisé le développement de la pâte mi-chimique; cette dernière utilise principalement des essences de bois dur et a des productions de pâte se situant entre celles de la pâte mécanique à 95 p. 100 et celles de la pâte chimique à 50 p. 100. La fabrication de la pâte se fait en deux étapes: traitement chimique modéré, puis défibrage mécanique.

b) *La pâte textile.*

c) *Le blanchiment en plusieurs étapes.*

d) *Le couchage sur machine.*

- e) *Les procédés de défibrage par bases solubles.*
- f) *Le blanchiment des pâtes à grand rendement.*
- g) *Les procédés de défibrage en continu.*
- h) *La gestion par ordinateur des lessiveurs en continu, des blanchisseries et des machines à papier.*
- i) *Le lavage par diffusion.*
- j) *La pâte mécanique de raffineur.*
- k) *Les feuilles minces de métal de machine à papier.*
- l) *Les sous-produits de la térébenthine, de l'alcool, de la levure, de la vanilline, de la résine liquide et de l'oxysulfure de diméthyle.*

## Chapitre 4

### **PROCÉDÉS DE BASE DES PÂTES ET PAPIERS**

La meilleure façon de faire un tour d'horizon assez complet des pâtes et papiers est d'étudier le mode d'opération d'une usine. Il y a à la figure 4-1 un diagramme simplifié du système. On y fait également une brève description des matériaux utilisés et des déchets produits par chaque opération.

Voici une brève description de chaque étape.

#### **4.1 RÉCOLTE DU BOIS**

Depuis dix ans, d'importants changements dans les méthodes de récolte du bois sont survenus. Jadis, c'était un travail à haut coefficient de main-d'oeuvre, mais, par l'introduction d'appareils hydrauliques complexes, on tend maintenant vers la mécanisation. L'abattage, l'ébranchage, le tronçonnement et le débusquage mécanisés pourraient doubler ou tripler la productivité. (Malgré ces changements, on coupe encore aujourd'hui environ 50 p. 100 du bois à la main.)

Les trois modes d'exploitation forestière en usage aujourd'hui sont:

- a) le système du billon,
- b) le système de l'arbre entier
- c) et le système grumier.

Dans le système du billon, on abat l'arbre, on l'ébranche, on le coupe en longueurs requises et on entasse le bois ou on le transporte au bord de la route. Bien que cette méthode comporte encore beaucoup de travail manuel, on a mécanisé certaines étapes à un point tel qu'un seul conducteur de machine est nécessaire. Dans le système de l'arbre entier, on abat, écime et entasse les arbres entiers. On les achemine ensuite, par paquets, vers le bord de la route pour leur faire subir d'autres transformations ou les transporter à la fabrique. Dans le système grumier, des machines, comme la machine combinée Beloit, ébranchent et éciment l'arbre, le séparent de sa souche et l'entassent de manière à permettre à une autre machine de les transporter au bord de la route.

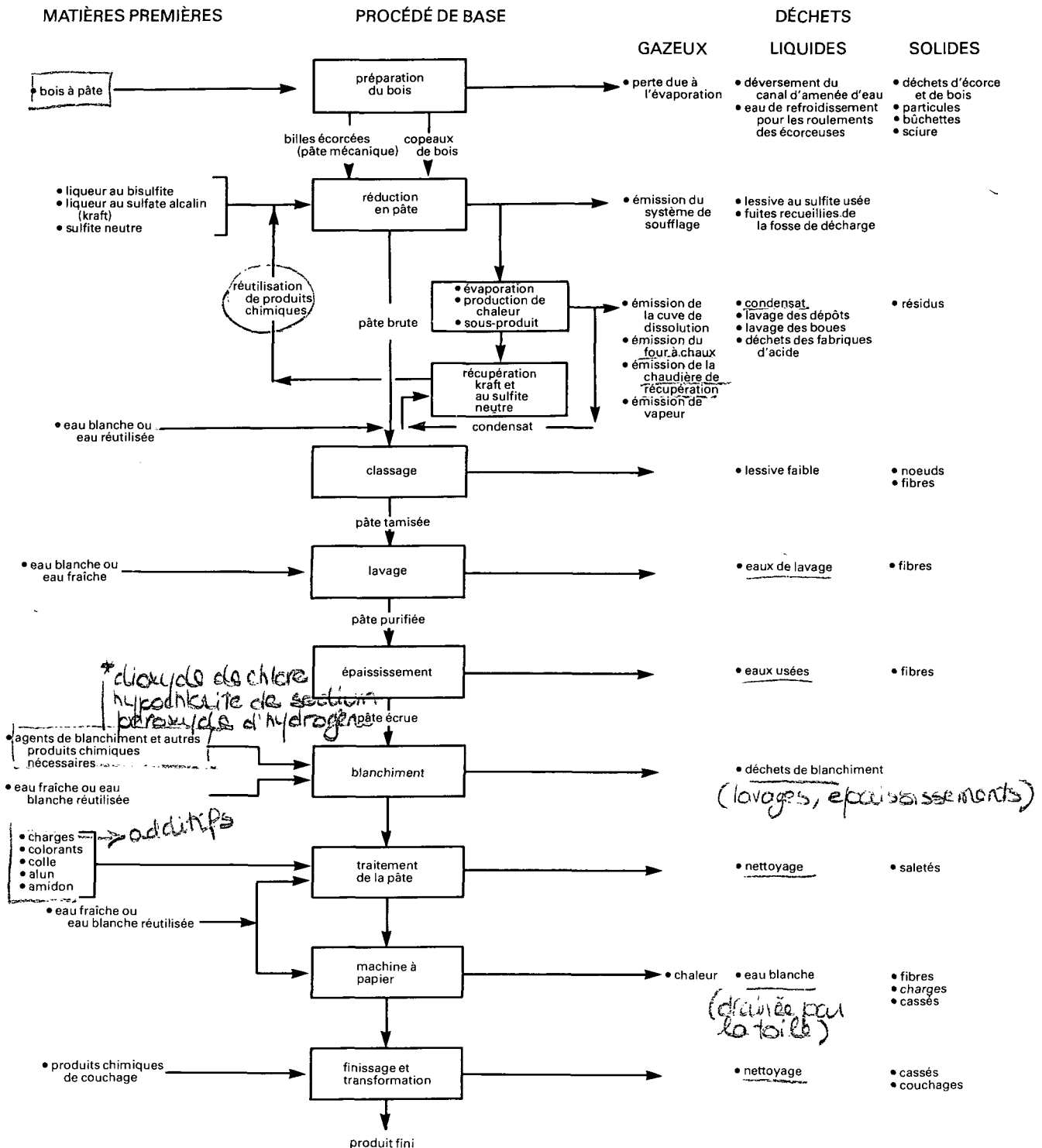


Figure 4-1. Schéma des procédés de base de fabrication des pâtes et papiers.



La mécanisation de l'exploitation forestière a nécessité de grandes dépenses initiales pour mettre au point des machines destinées à travailler sur des terrains raboteux et à des températures extrêmes. Cependant, la réduction du coût de la main-d'oeuvre et la disparition des grands baraquements, désormais inutiles, ont compensé ces dépenses. Si la mécanisation a réduit les coûts de production en forêt, elle a compliqué quelque peu le travail du fabricant. Le bois qu'on expédie maintenant aux usines est plus sale et n'est pas trié; par conséquent, les usines reçoivent plus de bois pourri.

Même si la plupart des papeteries exploitent leur propre service forestier, elles achètent aussi du bois des fermiers régionaux et des copeaux des scieries locales.

## 4.2 PRÉPARATION DU BOIS

La préparation du bois se fait par une série d'opérations qui préparent le bois pour le lessiveur de pâte. La figure 4-2 présente un schéma simplifié du processus. Les principales opérations consistent à transporter des billes aux écorceuses, à les écorcer, à les réduire en copeaux, à tamiser et à stocker les copeaux. D'habitude, on entrepose le bois, en copeaux ou en billes, dans le parc à bois. Selon le cas, on achemine par convoyeur pneumatique les copeaux entreposés vers le silo du lessiveur, tandis qu'on récupère les billes destinées à l'écorçage à l'aide de grues et de convoyeurs. Certaines fabriques utilisent des canaux d'amenée d'eau pour transporter les billes récupérées à l'écorçage, ce qui produit une grande quantité d'eaux usées. Cependant, on pourrait en réutiliser une grande partie en installant sur la ligne de recyclage des sas et des tamis fins pour retirer les grains et l'écorce. Les nouvelles fabriques installent des plates-formes de dégivrage et de lavage avant l'écorçage. Par ce procédé, on élimine presque tout le sable et tous les grains de surface. Pour laver, on utilise généralement de l'eau de fabrication usée chaude. L'emploi d'appareils destinés à l'enlèvement de l'écorce et des grains permet la réutilisation de la majeure partie de cette eau usée. Des compartiments de sédimentation avec des convoyeurs à raclettes servent à enlever les grains, et des épurateurs d'eau mobiles ou des épurateurs vibrants à disques, à retirer l'écorce.

### 4.2.1 Écorçage

On doit écorcer les billes pour s'assurer que la pâte sera exempte d'écorce et de saleté. Les méthodes d'écorçage mécanique et hydraulique sont toutes deux d'usage courant.

#### *Écorçage mécanique*

Le tambour écorceur est le plus fréquemment utilisé. La figure 4-3 montre un système typique d'écorçage humide. La friction créée par l'action rotative du tambour, quand les billes se frottent les unes aux autres, écorce les billes. Dans les écorceuses à tambour humides, on ajoute l'eau à la première section en acier solide du tambour pour aider l'écorce à se dégager. L'autre section du tambour possède des fentes permettant à l'écorce enlevée de tomber tandis que la bille continue d'avancer. Dans les *écorceuses* à

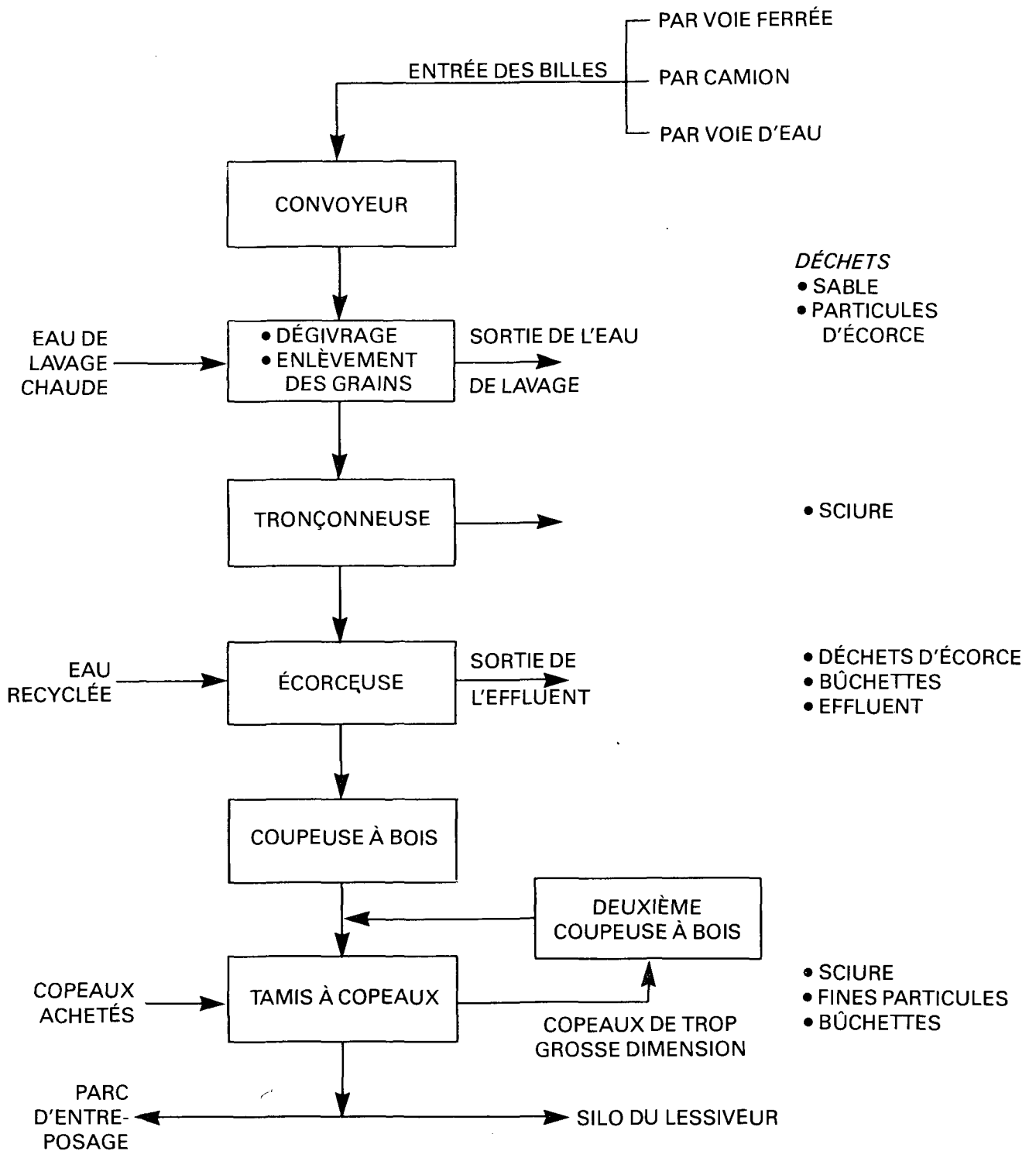
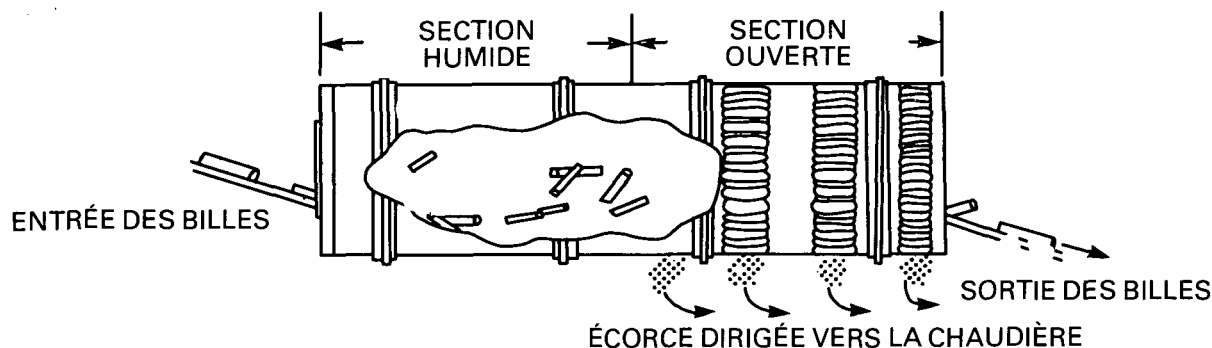


Figure 4-2. Préparation du bois.



*Figure 4-3. Tambour écorceur humide de type courant. La section d'alimentation est faite de plaques d'acier solides, tandis qu'à droite la section ouverte possède des fentes pour laisser tomber l'écorce. Dans l'écorçage à sec, le tambour est ouvert sur toute sa longueur.*

*tambour sèches*, le tambour a des fentes sur toute sa longueur pour l'enlèvement de l'écorce. Ces écorceuses sont plus longues et tournent beaucoup plus rapidement que les écorceuses à tambour humides. On peut faire brûler directement dans des fournaies l'écorce enlevée par l'écorceuse à sec, tandis que l'écorce obtenue par l'autre système est généralement acheminée dans un canal d'amenée d'eau, est asséchée puis envoyée aux fournaies en passant par une presse à écorces. La figure 4-4 illustre le système de récupération pour l'écorçage humide. Les écorceuses à tambour créent une perte de bois d'environ 4 p. 100 à 5 p. 100. Dans ce système, les billes ont habituellement les extrémités en forme de balai, ce qui produit des copeaux de qualité inférieure pour la fabrication de la pâte. Ce sont des dispositifs relativement peu coûteux mais qui consomment beaucoup d'énergie.

Dans l'écorçage des longues billes, la bille n'est pas coupée mais écorcée d'une seule pièce. L'écorceuse à couteaux et l'écorceuse à disques sont des types d'écorceuses qui traitent les billes séparément.

Les *écorceuses hydrauliques à gicleurs* sont très répandues sur la côte Ouest et dans le Sud, car elles sont inopérantes avec du bois gelé. On les utilise généralement pour écorcer des billes de grande dimension; elles dirigent des gicleurs d'eau à haute pression (1000 livres au pouce carré ou plus) vers la bille pour en enlever l'écorce. Ces machines sont très efficaces même si elles sont onéreuses et consomment beaucoup d'énergie. La détérioration du bois est minime et la perte s'élève à moins de 2 p. 100. Les déchets provenant d'un tel système contiennent beaucoup d'eau. On doit donc les traiter à nouveau pour récupérer l'écorce et s'en servir comme combustible.

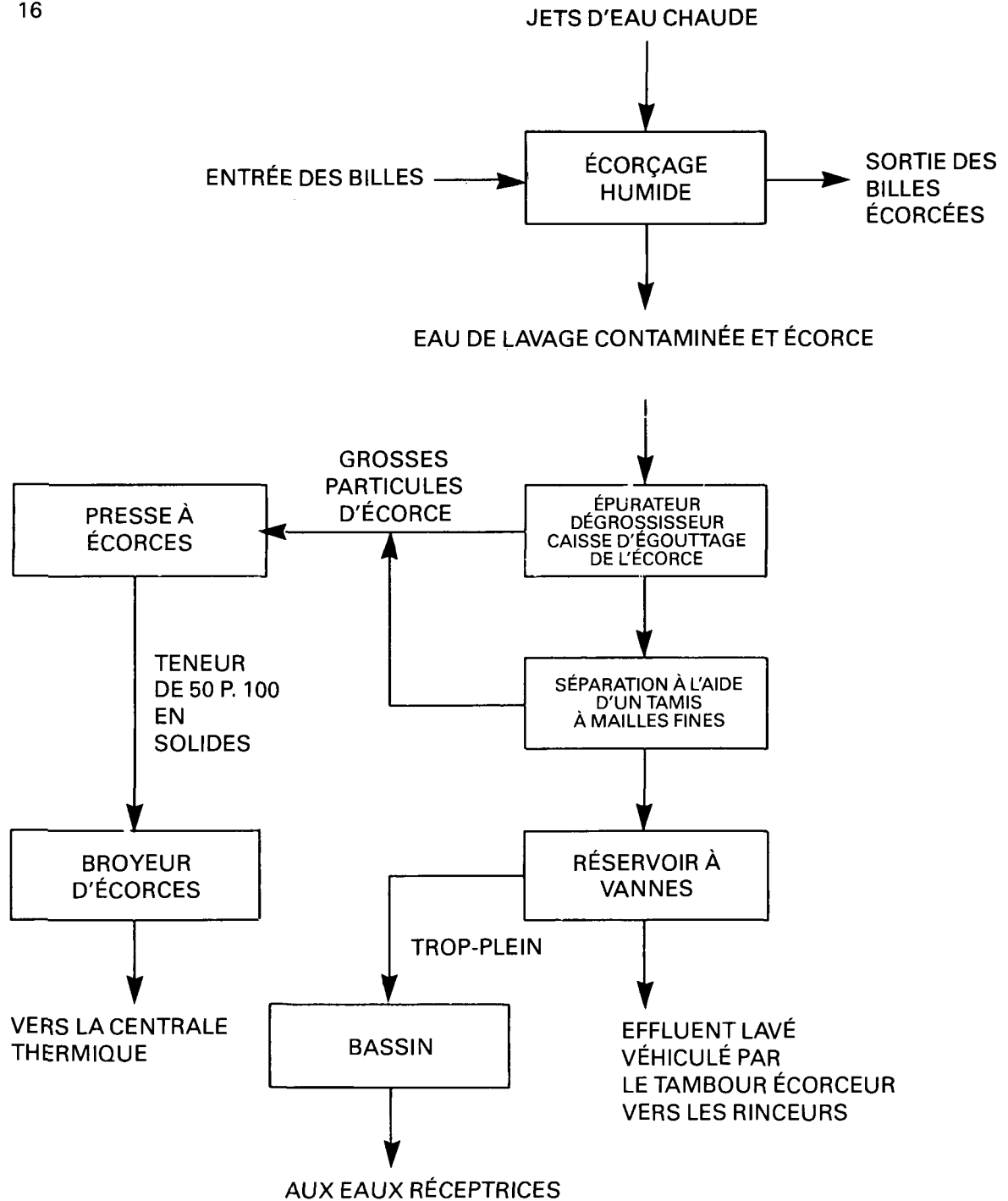


Figure 4-4. Système classique de récupération de l'écorce humide.

#### 4.2.2 Déchiquetage

Après l'écorçage, on réduit la bille en copeaux de dimensions de  $\frac{1}{2}$  à  $\frac{3}{4}$  pouce de grosseur. Cela permet une pénétration rapide de la liqueur de cuisson dans le bois lors de la fabrication de la pâte. Il y a plusieurs types de coupeuses à bois, mais le modèle le plus courant est la coupeuse à bois à couteaux multiples. Cette machine comporte une série de couteaux rattachés à un disque vers lesquels on achemine les billes par une descente. L'uniformité des copeaux est très importante, car des copeaux de dimensions irrégulières occasionnent des problèmes considérables dans la fabrication de la pâte, en plus de nécessiter des triages fréquents. Avec des copeaux en balai ou endommagés, la pâte perd de sa résistance à cause de la dégradation chimique de la cellulose à la fabrication. Il est crucial d'éliminer les fines particules et la poussière dans les machines de fabrication de pâte en continu, car elles tendent à obstruer les tamis de circulation de liqueur et à remplir les espaces entre les copeaux, entravant ainsi la circulation de la liqueur. En réglant la vitesse et en gardant les couteaux bien aiguisés, on réduit au minimum le nombre de copeaux endommagés, la production de fines particules et le nombre de bûchettes.

#### 4.2.3 Triage de copeaux

On sépare les copeaux de dimension acceptable de la sciure et des bûchettes en les passant dans des cribles mécaniques vibrants, inclinés ou horizontaux. Les copeaux de la bonne dimension passent au travers du tamis tandis que les bûchettes et les copeaux trop gros restent sur le dessus jusqu'à ce qu'un convoyeur les transporte vers un broyeur à copeaux qui les réduira. Dans certaines usines, on sépare à l'air comprimé la poussière et les copeaux trop petits des copeaux de dimension convenable.

#### 4.2.4 Élimination de l'écorce et du bois de rebut

Pour la plupart des fabriques, l'élimination de l'écorce séparée du bois présente de sérieuses difficultés. Parmi les méthodes d'élimination acceptables, notons l'incinération pour la production de chaleur, la fabrication de compost et l'utilisation comme charge de remplissage dans les panneaux de construction.

Depuis plusieurs années, on brûle les résidus d'écorce dans des fournaies spécialement conçues pour brûler de l'écorce. C'est un combustible économique de piètre qualité et, selon son humidité, on le brûle seul ou mélangé à de l'huile, du charbon ou de l'essence pour produire de la vapeur. La combustion de l'écorce est plus économique avec le mode d'écorçage à *sec*, parce que l'écorçage humide requiert un pressage mécanique pour enlever l'excédent d'eau. On a introduit dernièrement les systèmes de combustion à lit fluidisé, et il semble que ce soit une méthode très efficace pour brûler de l'écorce, du bois de rebut et des résidus de boue (voir la figure 4-5). Avec ce système, on peut brûler les rebuts avec seulement 30 p. 100 de solides. On peut utiliser la chaleur obtenue pour produire de la vapeur ou de l'eau chaude par le lavage direct des gaz de carneau chauds. La pollution de l'air est minimale.

La fabrication de compost à partir d'écorce a eu peu de succès, sauf dans quelques pays chauds. On doit également disposer de vastes espaces libres pour appliquer cette technique.

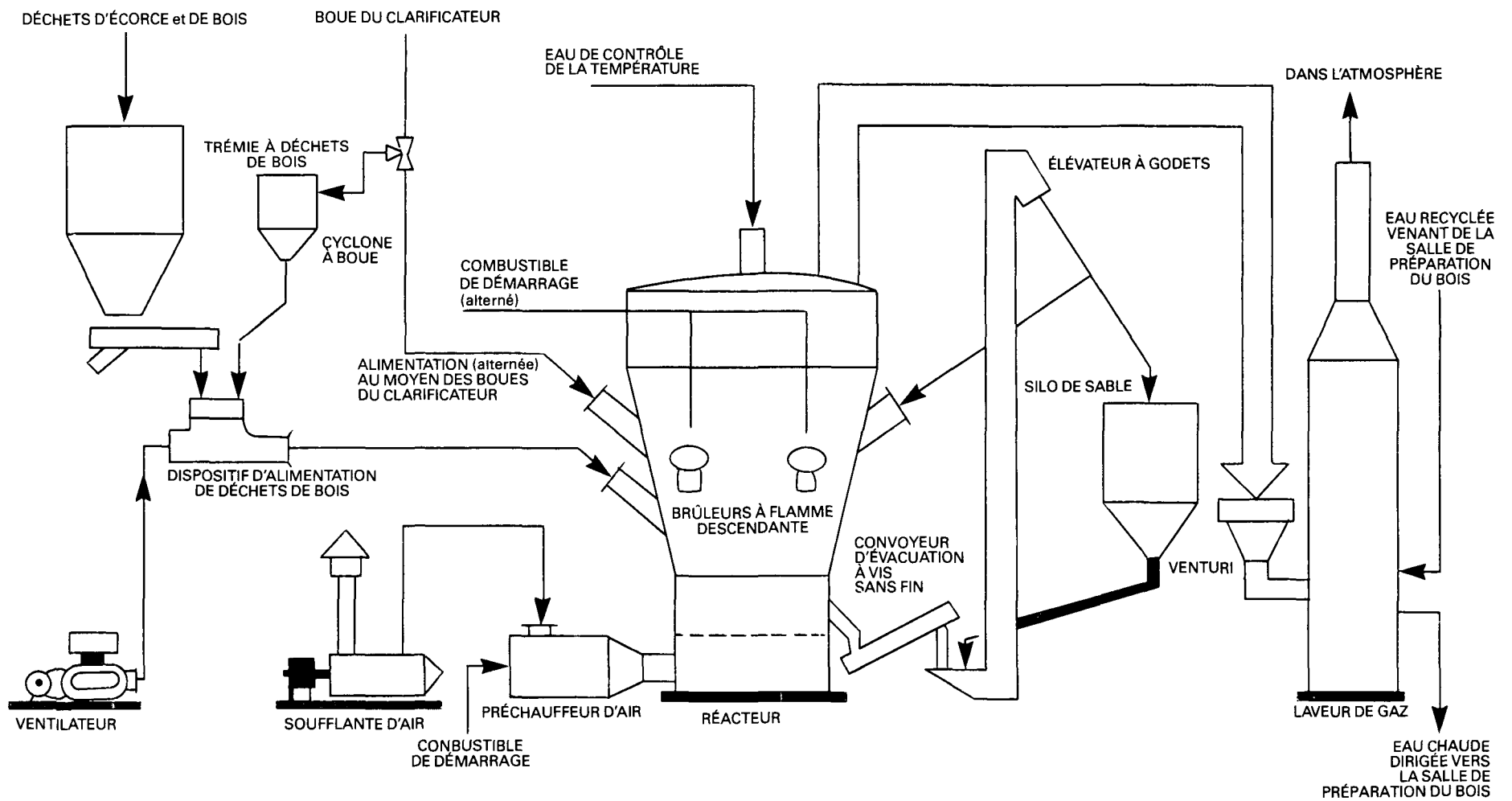


Figure 4-5. Système à lit fluidisé de Copeland appliqué à la combustion des déchets solides.

Quelques compagnies de papier, qui fabriquent aussi des panneaux de construction, ont trouvé qu'elles pouvaient produire des panneaux convenables contenant jusqu'à 25 p. 100 d'écorce. Comme plus de compagnies se diversifient et se lancent dans la fabrication des panneaux de construction, on utilise de plus en plus, de cette façon, l'écorce et le bois de rebut.

### **4.3 RÉDUCTION EN PÂTE**

#### **4.3.1 Introduction**

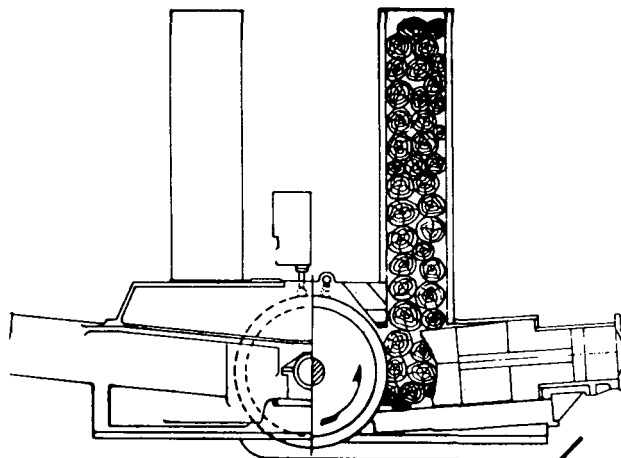
Le but fondamental de la réduction en pâte est de dégager et de séparer les unes des autres les cellules fibreuses, telles qu'elles sont dans le bois. Une fois amollies et séparées, ces fibres se présentent dans un état beaucoup plus convenable pour la fabrication du papier. La réduction se fait en soumettant le bois soit à une énergie mécanique, soit à une énergie chimique, soit aux deux.

On a jugé bon ici d'examiner la composition chimique de base et la structure de la cellule de bois de manière à évaluer la composition des effluents de lessives usées et les résidus des sous-produits résultant des étapes du traitement chimique. Par exemple, la lignine est la deuxième composante du bois en importance et représente 25 p. 100 à 35 p. 100 de son poids. La lignine et d'autres composantes chimiques du bois jouent un rôle dans le caractère polluant des procédés de réduction en pâte. Cependant, de manière à exposer de façon plus ordonnée les procédés de réduction, nous avons cru bon d'inclure dans l'annexe III une description de la structure de l'arbre et d'énoncer certains principes de chimie du bois.

#### **4.3.2 Réduction en pâte mécanique**

La méthode la plus ancienne de réduction en pâte mécanique est celle du défibreur. Dans ce procédé, on râpe les billes contre une meule rotative arrosée d'eau (voir la figure 4-6).

Avant le défibrage, le bois est réduit en fibres macérées. L'eau d'arrosage refroidit, nettoie et lubrifie la meule et entraîne la pâte. Parmi les facteurs pouvant nuire à la qualité de la pâte mécanique, il y a: l'essence, la source et l'âge du bois, sa teneur en humidité ainsi que l'état de la surface du défibreur, la vitesse du défibreur, la pression de service et la température de défibrage. On emploie surtout l'épinette, le sapin baumier, le pin gris, la pruche de l'Ouest, le peuplier et divers bois durs. La pâte mécanique faite d'épinette noire est brillante et forte, et celle faite de pin gris, qui contient plus de résine, est plus foncée et de moindre qualité pour la fabrication du papier. La pâte mécanique de peuplier est très peu résistante mais donne un papier beaucoup plus doux qui absorbe bien l'encre.



*Figure 4-6. Défibreur hydraulique à magasin.*

Les pâtes mécaniques faites de bois durs par le procédé habituel sont courtes et faibles; on leur fait donc habituellement subir un traitement chimique avant le défilage. Un tel procédé porte le nom de procédé de pâte chimico-mécanique. Le traitement préalable consiste à tremper la bille, à une pression et une température élevées, dans une liqueur de sulfite de sodium et de bicarbonate de sodium. Le rendement est légèrement inférieur à celui des pâtes mécaniques conventionnelles et se situe normalement aux alentours de 85 p. 100 à 90 p. 100.

La pâte mécanique de raffineur, introduite à la fin des années 50, est une méthode récente de fabrication de pâte mécanique. Ce procédé consiste à réduire les copeaux de bois en pâte en les faisant passer à travers des raffineurs à un ou deux disques rotatifs et à utiliser des épurateurs centrifuges pour classer les fibres. Dans certains cas, un traitement des copeaux avant le raffinage donnera de meilleurs résultats. La figure 4-7 montre un raffineur à deux disques classique.

L'adoption des raffineurs à disques a aussi permis d'employer les rebuts de scierie comme la sciure et les chutes. La pâte obtenue en raffinant la sciure est d'une qualité inférieure à celle que l'on obtient en raffinant les copeaux, mais elle semble de qualité comparable à la pâte mécanique de défibreur (voir le tableau 4-1).

La résistance supérieure de la pâte mécanique de raffineur a permis de réduire de façon substantielle la teneur en fibres chimiques du papier journal. Certaines compagnies produisent même du papier journal contenant 100 p. 100 de pâte mécanique de raffineur. Comme plusieurs petites fabriques de papier journal se sentent pressées d'éliminer la pâte



chimique au bisulfite, l'adoption de la pâte mécanique de raffineur constitue une possibilité réaliste qui vaut la peine d'être étudiée.

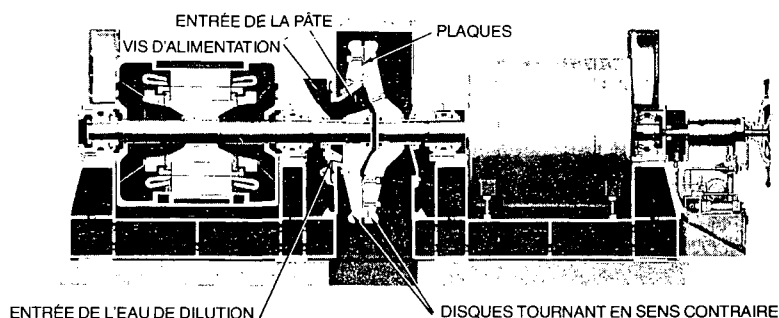


Figure 4-7. Raffineur à deux disques. (Bauer Bros. Co.)

TABLEAU 4-1

Comparaison entre la pâte mécanique régulière (de défibreur) et la pâte mécanique raffinée (de raffineur) provenant de copeaux et de sciure.

Indices	Pâte mécanique de défibreur	Copeaux de pruche	Sciure de pruche
Puissance, p.i./t.s.a.	—	87,5	83,0
Indice de raffinage, tamisage	115	102	72
Indice d'éclatement	11,1	14,8	12,1
Coefficient de déchirure	48,1	84,6	61,0
Longueur de rupture	3300	3500	3230
Bouffant	2,37	2,60	2,72
Éclat	54,6	48,0	45,2
Opacité	97,5	99,5	99,3

### ***Résidus de la réduction en pâte mécanique***

Dans le procédé de réduction du bois en pâte mécanique, dont le rendement varie de 85 p. 100 à 95 p. 100, les résidus se présentent principalement sous la forme de débris très fins que le système de tamisage et de nettoyage n'a pu retenir. La figure 4-8 illustre un système typique du procédé de fabrication de pâte mécanique. On recueille dans les tamis géants les grosses particules de bois rejetées, on les déchiquette et on les introduit dans un raffineur pour finalement produire une pâte acceptable. Les refus des épurateurs tertiaires sont les seuls rebuts solides, et ils sont partiellement récupérés dans le système de récupération de l'écorce et enfin dans le bassin ou le clarificateur.

### **4.3.3 Réduction en pâte mi-chimique**

On avait d'abord élaboré des méthodes de réduction en pâte mi-chimique dans le but d'utiliser les grandes quantités d'essences de bois dur inutilisées. On les utilisa d'abord pour fabriquer du carton ondulé, certains papiers à lettres et certains papiers pour impression à cause de la rigidité qu'elles apportaient.

La réduction en pâte mi-chimique se fait en deux étapes. On fait d'abord subir au bois réduit en copeaux un traitement chimique dans un lessiveur, puis on procède au défilage mécanique dans un raffineur à disques. La pâte mi-chimique donne des rendements variant de 60 p. 100 à 80 p. 100, selon l'usage auquel on destine la pâte et l'intensité du traitement chimique. De toute évidence, une proportion importante de la lignine (10 p. 100 à 18 p. 100) demeure dans la pâte à la fin du procédé. La teneur en hémicellulose demeure également élevée (de 18 p. 100 à 20 p. 100 pour le bois dur et de 8 p. 100 à 10 p. 100 pour le bois mou).

Il y a à la figure 4-9 un diagramme simplifié de ce procédé. Les deux procédés chimiques les plus en usage sont le procédé au sulfite neutre et le procédé mi-chimique kraft.

#### **4.3.3.1 *Le procédé mi-chimique au sulfite neutre (S.C.S.N.)***

Dans le procédé au sulfite neutre, la délignification se produit par la sulfonation de la lignine et par hydrolyse. L'agent lessiveur principal est le sulfite de sodium. On soumet aussi la liqueur à un traitement tampon pour empêcher une alcalinité et une acidité extrêmes de détériorer les hémicelluloses. Pour ce faire, on ajoute habituellement du carbonate de sodium à la liqueur de cuisson. Tandis que le traitement tampon protège la plus grande partie des hémicelluloses, il retarde aussi la délignification, mais dans des proportions moindres. Quand près de la moitié de la lignine est dissoute, la délignification tend à ralentir considérablement. On évacue alors la lessive par soufflage et on complète la réduction en pâte en utilisant des raffineurs à disques mécaniques.

Les résidus de liqueur de cuisson posent un problème d'élimination vers les cours d'eau récepteurs à cause de leur teneur en acides organiques. Ces acides organiques sont produits par les groupes acétyles des xylanes ainsi que par les sucres facilement hydrolysés d'hémicellulose qui se dissolvent et se détériorent. Les groupes d'aldéhydo-acides du xylane contribuent aussi à l'augmentation de la teneur en acides organiques. À cause de

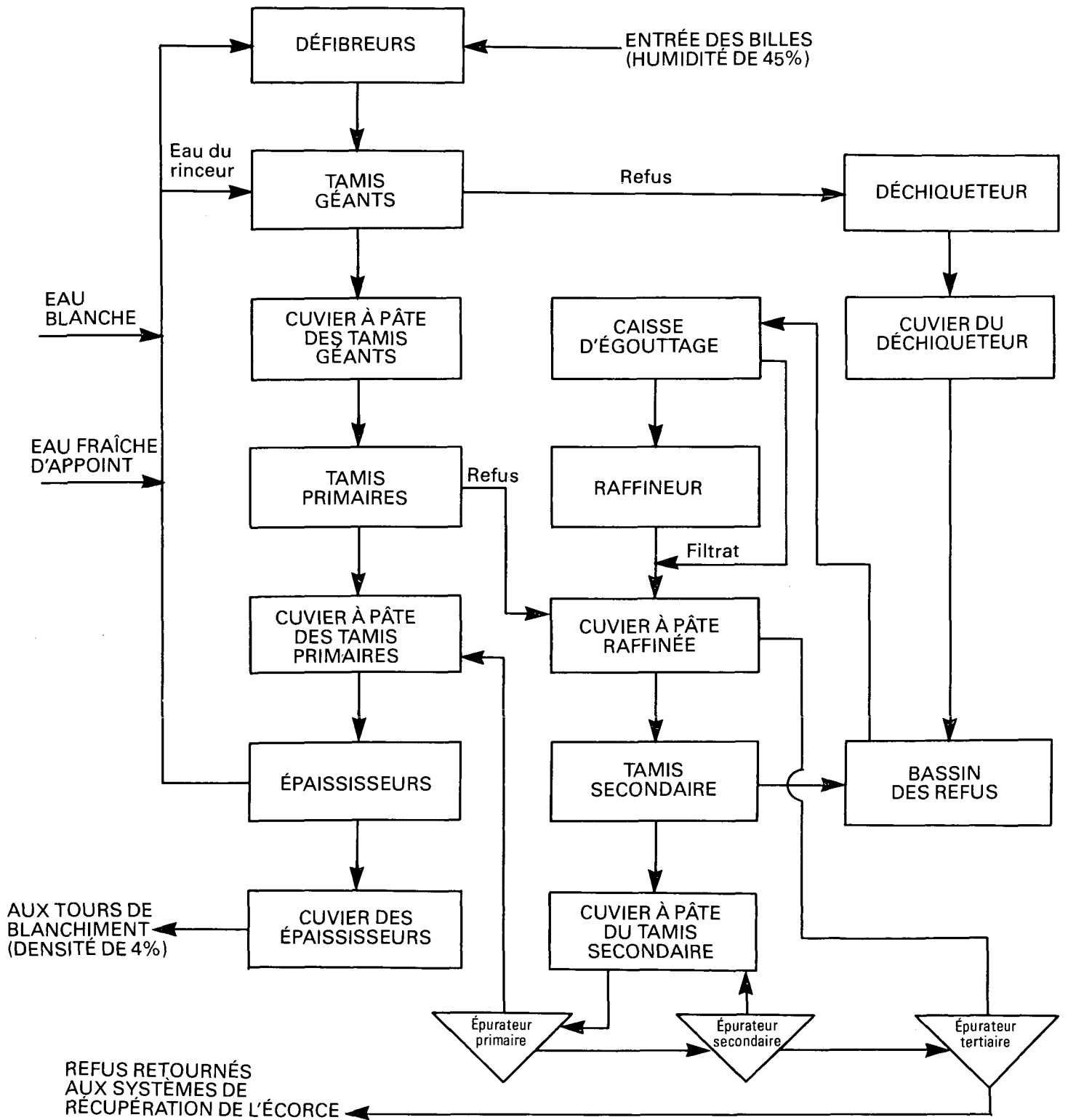


Figure 4-8. Système classique de fabrication de pâte mécanique.

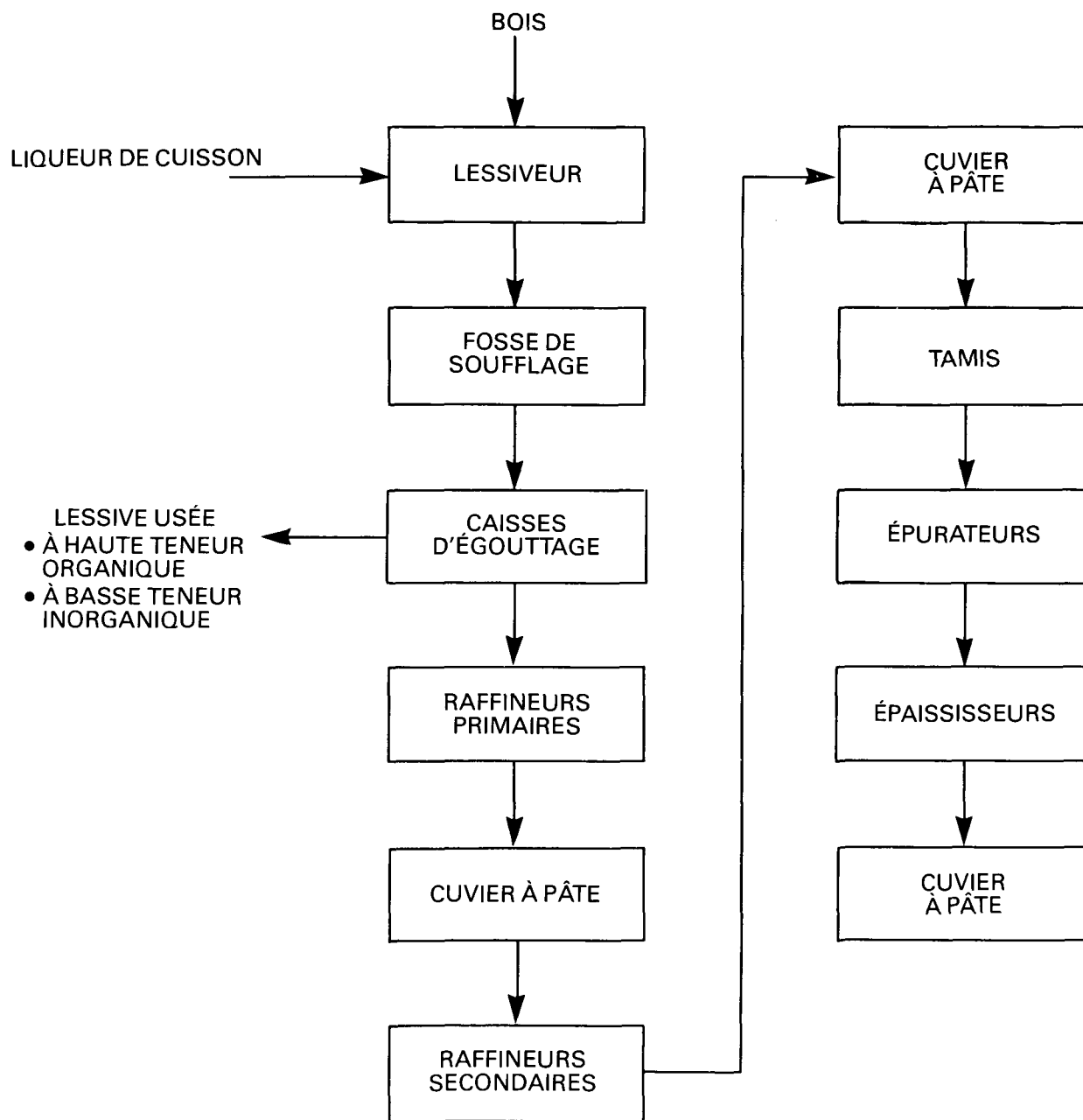


Figure 4-9. Système classique de réduction en pâte mi-chimique.

la *basse teneur organique* et de la *haute teneur inorganique* de ces lessives, la méthode de récupération traditionnelle utilisant l'évaporation et la combustion ne s'est pas avérée économique jusqu'à maintenant. L'introduction de réacteurs à lit fluidisé a permis, après une concentration des lessives usées à une teneur en solides de 30 p. 100 à 35 p. 100, la combustion de ces lessives. Les produits chimiques inorganiques et les sels de sodium organiques s'oxydent principalement en pastilles de sulfate de sodium et de carbonate de sodium. On les retire du réacteur et on peut les vendre à une fabrique de kraft qui les utilisera comme appoint chimique.

L'autre méthode acceptable d'évacuation des lessives usées, produites par le procédé mi-chimique au sulfite neutre, consiste à les expédier directement à un système de récupération conventionnel kraft. Dans un tel cas, il faudrait qu'une fabrique de kraft soit située à proximité. Pour de tels produits chimiques, on doit accorder un crédit à la fabrique de sulfite neutre pour assurer sa rentabilité.

#### **4.3.3.2 Procédé mi-chimique kraft**

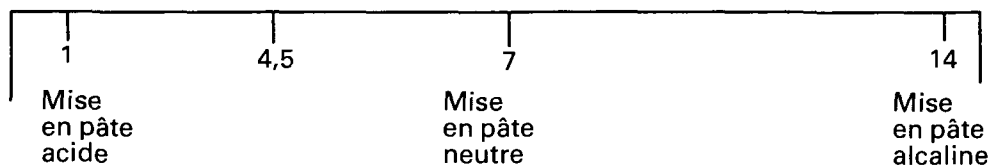
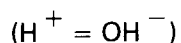
La réduction en pâte mi-chimique kraft a l'avantage d'être valable pour les bois durs et les bois mous. Les rendements sont moins bons que ceux du procédé de réduction en pâte mi-chimique au sulfite neutre et atteignent généralement 65 p. 100 à 70 p. 100. La lessive mi-chimique kraft est une faible lessive blanche que l'on obtient ordinairement d'une fabrique de kraft associée. Le lessivage dure habituellement moins de 30 minutes à des températures de 170°C à 180°C. Le raffinage mécanique est le même que dans le procédé mi-chimique au sulfite neutre, tandis qu'on intègre la lessive mi-chimique kraft usée au système de récupération kraft de l'usine associée. Pour qu'un système mi-chimique kraft soit rentable, il faut qu'une fabrique de kraft conventionnelle soit située à proximité.

#### **4.3.4 Mise en pâte chimique: techniques de base**

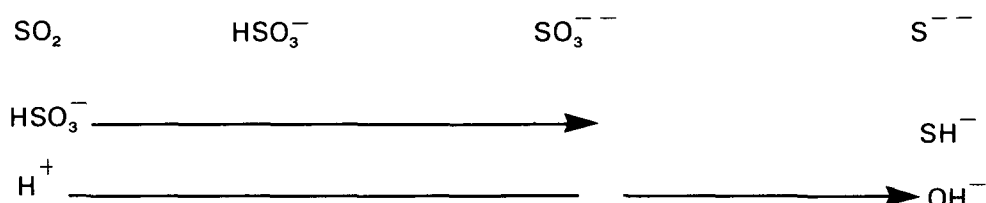
Dans la mise en pâte chimique, la séparation des fibres se fait exclusivement par dépense d'énergie chimique. Les rendements varient généralement entre 35 p. 100 et 50 p. 100. Pour la plupart des catégories de pâte chimique, on extrait environ 95 p. 100 de la lignine. Les deux principaux procédés de mise en pâte chimique sont le procédé au bisulfite et le procédé au sulfate. La figure 4-10 indique la relation générale entre les deux procédés quant à la variation du pH et aux agents chimiques de réduction en pâte. Elle montre que les ions chimiques fondamentaux de soufre, d'oxygène et d'alcali existent à différents états chimiques, selon le procédé employé. On utilise des composés à base de soufre pour tous les pH.

En gardant le système de mise en pâte près du pH neutre (ce qui se produit dans les procédés qui donnent les meilleurs rendements), on réduit les effets de l'hydrolyse génératrice d'acides ou d'alcalis. Lorsque le pH est bas ou élevé, l'hydrolyse s'accroît, car beaucoup des hémicelluloses à chaîne courte se dissolvent dans la liqueur de cuisson. Le bois très résineux et gras est immédiatement réduit en pâte et solubilisé dans un milieu alcalin à cause de réactions semblables à celles de la saponification. Les systèmes au bisulfite, au contraire, fonctionnent mieux avec du bois à basse teneur de résine ou de poix.

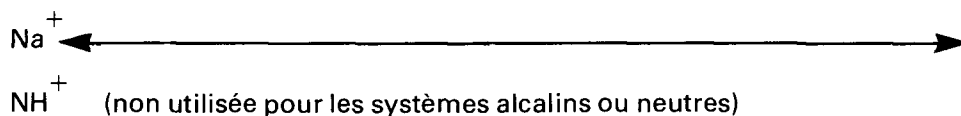
## ÉCHELLE DU pH



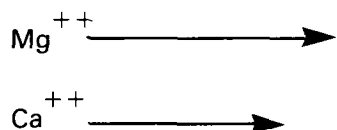
### COMPOSÉS CHIMIQUES DANS UNE SOLUTION D'EAU



#### *Bases solubles*



#### *Bases à solubilité limitée*



PROCÉDÉS		
Au sulfite acide	Au sulfite neutre	Kraft (au sulfate)
Au sulfite à grand rendement	Mi-chimique (S.C.S.N.)	( $Na^+$ , S, SH, OH)
Magnéfite	Chimico-mécanique	Mi-chimique kraft

*Figure 4-10. Systèmes de mise en pâte en milieu aqueux pour les principaux procédés commerciaux.*

Dans la mise en pâte, les principales variables actives sont: (a) la composition de la liqueur, (b) la température de lessivage, (c) le temps de lessivage, (d) la pression de lessivage, (e) le pH. Les manuels courants traitent le sujet plus en détail qu'il n'est possible de le faire ici.

#### 4.3.5 Comparaison du procédé au bisulfite et du procédé kraft

Comme le procédé au bisulfite produisait la pâte la plus brillante et la plus facile à blanchir, il demeura, jusqu'en 1930, la méthode principale de production de pâte chimique. À cette époque cependant, on apprit à blanchir la pâte kraft, plus foncée, sans qu'il y ait de sérieuses pertes de résistance. Aujourd'hui, le procédé kraft fournit environ 75 p. 100 de la production de pâte mécanique. Les deux principaux facteurs qui rendirent l'industrie du bisulfite moins concurrentielle furent: (a) sa dépendance du type de bois utilisable, (b) la difficulté de récupérer les produits chimiques de lessivage et d'utiliser les produits usés qui correspondent à la moitié de la substance de bois.

#### 4.3.6 Le procédé au bisulfite

LES ESSENCES DE BOIS. Habituellement, on réduit en pâte par ce procédé l'épinette, le sapin, le sapin baumier et la pruche de l'Ouest. Parmi les quelques essences de bois dur utilisées, il y a le bouleau et le peuplier. La raréfaction des essences de choix et l'augmentation du coût du bois sont deux causes importantes du recul de ce procédé de réduction.

USAGE COMMERCIAL. La pâte au bisulfite peut être classée de la façon suivante:

a) la pâte au bisulfite écrue pour le papier journal et autres produits de couleur mate,

b) les catégories de pâtes au bisulfite blanchies pour le papier bond, le papier registre et certaines qualités de papier écriture,

c) les catégories de pâtes au bisulfite à usage chimique utilisées dans la fabrication de la rayonne, du fil en acétate et de pellicules,

d) les catégories de pâte Mitscherlich pour des papiers semi-sulfurés et cristal.

##### 4.3.6.1 Procédé de base

La figure 4-11 représente de façon simplifiée un procédé de réduction au bisulfite. On prépare la liqueur de cuisson en brûlant du soufre pour produire du  $\text{SO}_2$  et en l'absorbant dans une solution de base alcaline. Auparavant, on utilisait exclusivement la pierre à chaux dans la tour d'absorption de gaz; elle servait de bourrage et constituait aussi

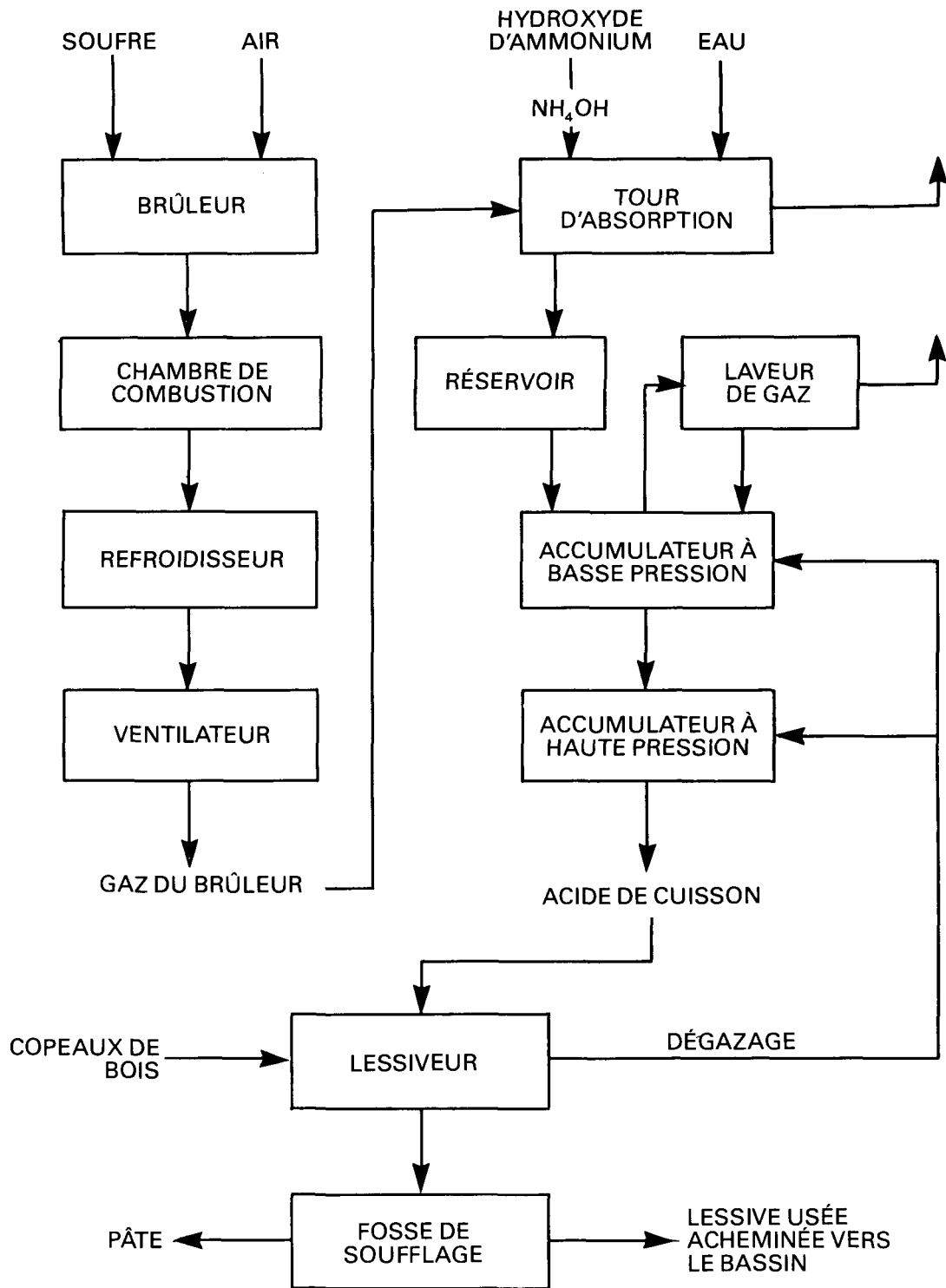


Figure 4-11. Procédé de mise en pâte au bisulfite.



une source chimique de calcium dans la production de bisulfite de calcium. Mais depuis quelques années, des bases solubles comme le magnésium, le sodium et l'ammonium ont largement remplacé la pierre à chaux pour des raisons de protection de l'environnement et parce qu'elles produisent des pâtes de résistance supérieure. Pour les bases solubles, on utilise des bourrages inertes, comme des selles de Berl, dans la tour d'absorption. Après l'absorption du  $\text{SO}_2$ , l'acide brut de lessivage est un mélange de  $\text{SO}_2$  libre dissout dans l'eau et de  $\text{SO}_2$  combiné sous la forme de bisulfite de Ca, de Mg, de  $\text{NH}_4$  ou de Na, selon la base utilisée [par exemple,  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ ]. Avant d'employer l'acide brut dans la réduction en pâte, on le renforce avec des gaz de  $\text{SO}_2$  qui s'échappent du lessiveur. Cela se produit dans les accumulateurs à basse et à haute pression. Voici quelques forces caractéristiques qu'ont les acides et le degré de renforcement:

	Pourcentage d'anhydride sulfureux (par unité de poids)	
	Acide brut	Acide renforcé
$\text{SO}_2$ total	4,0-4,2	5,0-8,0
$\text{SO}_2$ libre	2,8-2,5	5,0-6,8
$\text{SO}_2$ combiné	1,2-1,7	1,0-1,2

Généralement, on purifie les gaz qui s'échappent de l'accumulateur à basse pression avec une base alcaline pour récupérer tout autre  $\text{SO}_2$  que l'acide brut n'a pas absorbé dans l'accumulateur. Durant le lessivage, on doit régler avec soin la température et la pression pour assurer une pénétration uniforme de la liqueur de cuisson. La délignification se fait par des réactions de sulfonation et d'hydrolyse qui forment des sulfonates solubles de lignine. Avant de déverser la pâte dans les fosses de soufflage, on réduit la pression, et les accumulateurs reçoivent la vapeur et les gaz du lessiveur. Dans la fosse de soufflage, la lessive épuisée au bisulfite est écoulee vers l'égout ou conservée à des fins de récupération.

#### 4.3.6.2 *Récupération chimique*

Auparavant, on préparait la plus grande partie de la liqueur de cuisson au bisulfite à partir de la pierre à chaux. Comme la pierre à chaux était relativement bon marché, on cherchait peu à récupérer le calcium pour le réutiliser. Mais depuis qu'on a mis l'accent sur la protection de l'environnement, on a déployé des efforts considérables pour mettre au point des systèmes de traitement économiques pour la lessive épuisée au bisulfite. Parmi les nombreux systèmes proposés, aucun ne s'est avéré très approprié à la conjoncture économique du Canada et des États-Unis. Ces dernières années, un très grand nombre de fabriques de pâte au bisulfite de l'Amérique du Nord ont délaissé le calcium pour les bases solubles de magnésium, d'ammonium et de sodium. Les bases solubles donnent de meilleures productions de pâte et, partant, des chargements de D.B.O. moindres que ceux des systèmes basés sur le calcium. Elles ont aussi l'avantage d'offrir des pâtes de résistance supérieure et permettent de traiter une plus grande variété d'essences de bois.

Même si on est davantage intéressé à récupérer les bases solubles à cause de leur prix élevé, l'investissement initial requis pour les petites usines de pâte au bisulfite est astronomique. Dans la conjoncture économique actuelle, une fabrique possédant un atelier de récupération devient rentable quand la production quotidienne est d'environ 300 tonnes. *Comme la majorité des fabriques de pâte au bisulfite au Canada produisent de 100 à 200 tonnes par jour, un système de récupération indépendant est virtuellement impossible.*

Pour les fabriques de pâte au bisulfite ayant une grande production, la récupération à base de magnésium a connu des succès satisfaisants. La figure 4-12 illustre le procédé de base. On récupère la lessive faible n'ayant en suspension que de 10 p. 100 à 12 p. 100 de solides à l'aide de laveurs à contre-courant; on la concentre dans des évaporateurs à effets multiples et à contact direct jusqu'à ce qu'il y ait de 60 p. 100 à 65 p. 100 de solides en suspension, et on la vaporise dans un four de récupération de type traditionnel. Les produits de combustion sont une cendre de MgO exempte de carbone et du SO<sub>2</sub>. Les gaz passent à travers une série de multiclones où l'on recueille 85 p. 100 de la cendre qu'on entraîne avec de l'eau vers une cuve de rétention. On transforme ensuite la boue de MgO en Mg (OH)<sub>2</sub> dans le système d'étanchement, et on l'utilise pour absorber rapidement le SO<sub>2</sub>. On refroidit d'abord les gaz de carneau porteurs de SO<sub>2</sub>, et ensuite la boue de Mg (OH) absorbe pour produire une lessive au bisulfite de magnésium. On renforce ensuite la lessive brute avec du SO<sub>2</sub> supplémentaire avant de l'utiliser dans le lessiveur. Le pouvoir calorifique des résidus organiques dans les lessives usées est récupéré sous forme de vapeur pour produire de l'énergie et traiter la pâte. La récupération chimique totale du soufre et du Mg (OH)<sub>2</sub> est d'environ 80 p. 100. Les usines qui ont adopté ce procédé ont constaté des réductions de D.B.O. de plus de 80 p. 100. Un autre système de récupération au magnésium, semblable à celui que l'on vient de décrire, est le système Copeland. Il utilise un réacteur à lit fluidisé au lieu d'un four et permet la combustion des solides à une concentration de 35 p. 100 à 40 p. 100 au lieu des 60 p. 100 à 65 p. 100 habituels.

Il semble maintenant évident que le choix d'un système de récupération au bisulfite n'est pas facile. En résumé, voici quelques commentaires:

a) La technologie de la récupération de la liqueur noire provenant du procédé au bisulfite est encore en plein développement. Plusieurs nouveaux systèmes ont été proposés, mais, en dépit des nouvelles exigences de protection de l'environnement et d'un avenir économique incertain, personne ne désire instaurer un système qui n'a pas fait ses preuves.

b) La plupart des fabriques ont des besoins très différents concernant les essences de bois, la composition de la liqueur de cuisson, le degré de récupération, la production de la pâte et le choix d'intégrations possibles à tel ou tel système.

c) Les réserves croissantes d'essences de première qualité et l'augmentation des coûts du bois semblent être d'autres raisons pour lesquelles on n'investit pas dans le procédé au bisulfite qui se limite à un nombre assez restreint d'essences.

d) Dans la situation présente, il est rentable pour les usines à faible rendement d'adopter le procédé au bisulfite, qui donne un rendement élevé. Cela diminue la charge de D.B.O. de 35 p. 100 à 40 p. 100 et réduit au minimum les dimensions de futures installations

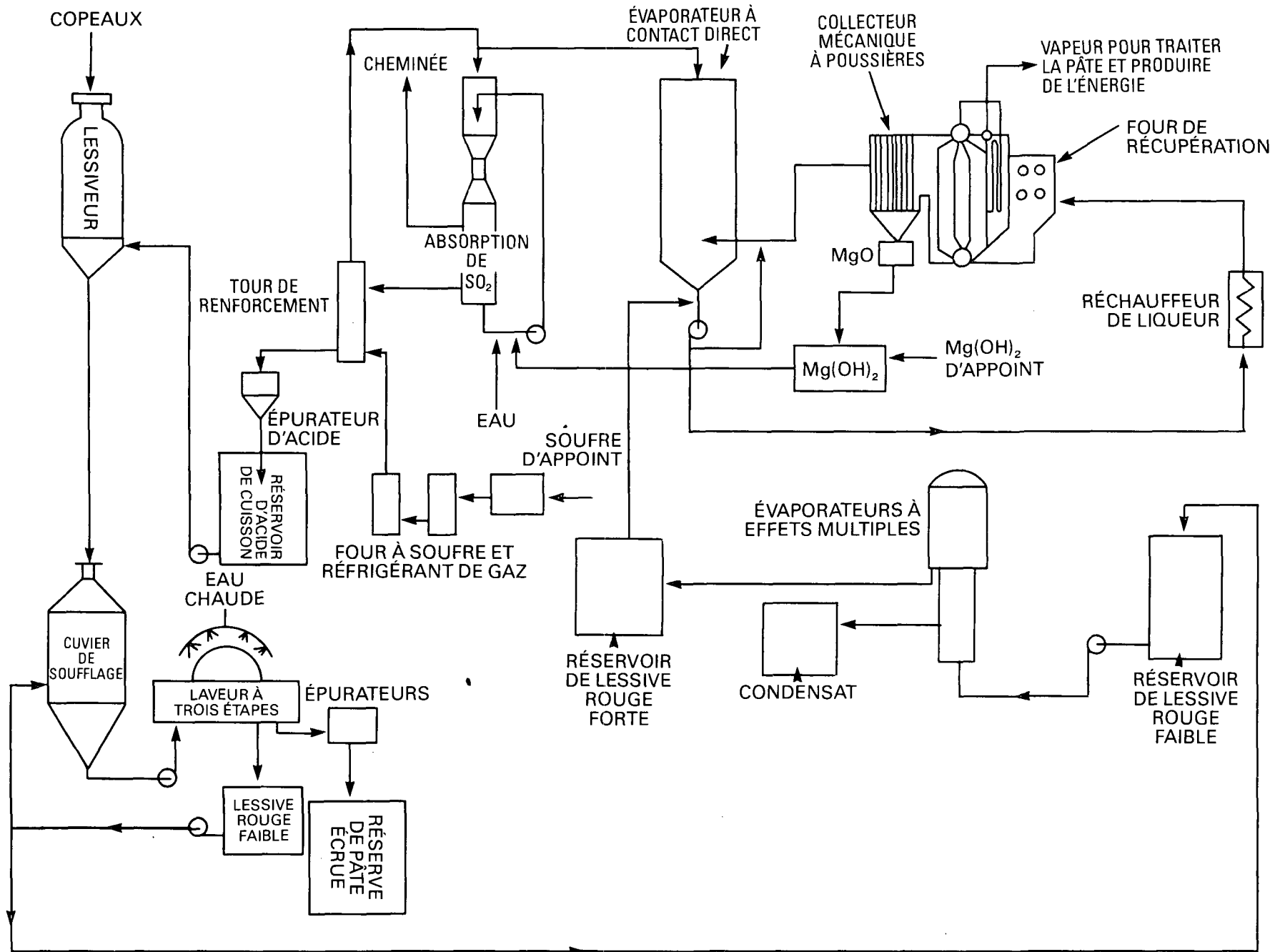


Figure 4-12. Schéma du procédé de base de la récupération au magnésium.

de traitement secondaire des rebuts. Ce changement réduit également la teneur en pouvoir calorifique de la lessive usée et justifierait assez mal, sur le plan de la rentabilité, l'adoption d'un système de récupération.

e) Les nombreuses petites exploitations du Canada qui utilisent le procédé au bisulfite posent un problème plutôt ardu. Elles sont trop petites pour même penser à une installation de récupération et pourtant, les autorités du Service de l'environnement insistent pour qu'elles réduisent leur charge de D.B.O. et la toxicité de leurs lessives usées. La fermeture de telles usines serait économiquement désastreuse pour nombre de petites localités. L'imposition de systèmes de récupération dans les grandes usines utilisant le procédé au bisulfite, pendant qu'on permettrait aux petites usines de fonctionner sans ce système, serait malhonnête car elle aurait des répercussions sur la concurrence.

#### 4.3.6.3 *Composition de la lessive épuisée au bisulfite*

Rydholm donne un résumé des sous-produits d'une cuisson au bisulfite typique à bas rendement (qui apparaît au tableau 4-2). Il indique également la provenance de ces produits pour les diverses composantes du bois ainsi que les quantités relatives obtenues par tonne de pâte. Comme il fallait s'y attendre, les produits les plus abondants proviennent de la détérioration des hémicelluloses et de la lignine. On a produit, à partir des lessives épuisées au bisulfite plusieurs substances utiles, dont l'acide acétique, l'acide formique, la vanilline, la levure de *Torula*, la levure de perkils, des additifs dispersants de ciment et des abat-poussières pour épandage sur les routes. Malheureusement, le marché pour de tels produits est très limité.

**TABLEAU 4-2**

*Sous-produits d'une cuisson au bisulfite typique.*

Composé	Provenance	Quantité, kilogramme par tonne de pâte
Méthanol	Groupes méthoxyles des glucuro-oxylines	7-10
Acide acétique	Groupes acétyles du xylane	30-90
Acide formique	Oxydation au bisulfite du formaldéhyde	0,5-1
Formaldéhyde	Groupes des hydroxyméthyles de la lignine	2-6
Glyoxal de méthyle	Détérioration des hexoses	5-6
Furfural	Déshydratation des pentoses	5-6
Acides sucre-sulfonés et aldoniques	Substitution et oxydation au bisulfite des sucres	150-250
Sucres	Hémicellulose et cellulose	200-400
Cymène	Oxydation au bisulfite des terpènes	0,3-1
Lignosulfonates	Lignine	600-800

La composition de la lessive usée varie selon l'essence de bois, le rendement, les conditions dans lesquelles se fait la réduction en pâte, etc. Le niveau de SO<sub>2</sub> résiduaire total varie de 0,2 p. 100 à 0,6 p. 100, tandis que le pH peut varier de 1,5 p. 100 à 5,0 p. 100 selon la base utilisée. La teneur en solides des lessives usées non diluées est généralement de 10 p. 100 ou de 12 p. 100. Environ 50 p. 100 des solides résiduaire sont organiques, et le reste est inorganique.

De récentes études faites par MM. Rosehart et G. Ozburn de l'Université Lakehead<sup>1</sup> sur les lessives résiduaire au bisulfite donnent une idée du niveau de D.B.O. et de D.C.O. des diverses lessives au bisulfite ainsi que des renseignements sur leur toxicité relative.

#### **4.3.6.4      *Autres sources de pollution dans la fabrication de pâte au bisulfite pour papier journal***

Dans les fabriques utilisant le procédé au bisulfite et n'ayant pas de système de récupération, on constate que la source principale de déchets polluants consiste en lessives usées acides, à cause de leur D.B.O. élevée et de leur teneur en solides en suspension. Dans les systèmes à base soluble avec récupération, les principaux courants de contamination proviennent des condensats d'évaporation avec des niveaux de D.B.O. allant de 3000 p.p.m. à 5000 p.p.m. des pertes chimiques du four de récupération, de la préparation des acides et des pertes de lavage au rinceur. Parmi les autres sources possibles de pollution, on peut inclure les effluents de pâte mécanique blanchie, les additions chimiques d'agents fongicides et bactéricides, les aides de rétention, les colorants et l'alun.

#### **4.3.7      *Mise en pâte kraft (procédé au sulfate)***

Le procédé kraft est maintenant le procédé de mise en pâte le plus employé. La récupération chimique et la technique du blanchiment, qui se sont développées dans les années 30 et 40, ont amené sa récente croissance spectaculaire. Sa souplesse en fait un procédé adapté à n'importe quelle essence de bois. La lessive alcaline dissout ou disperse des substances extraites de certaines essences de bois qui causent des problèmes de poix dans la réduction en pâte au bisulfite. Dans le procédé au sulfate, les hydrates de carbone, qui ont tendance à se détériorer en milieu acide, sont très stables dans l'alcali. La rapidité du procédé et la très bonne résistance de sa pâte constituent d'autres avantages. Le principal inconvénient réside dans la couleur sombre de sa pâte écriue et dans les coûts de blanchiment. Une quantité assez grande de lignine résiduaire condensée demeure dans la pâte, et on ne peut pas la retirer par un autre lessivage sans détériorer considérablement les hydrates de carbone. C'est cette lignine résiduaire qui donne une couleur sombre à la pâte kraft écriue, et elle est beaucoup plus difficile à retirer par blanchiment que la lignine des pâtes au bisulfite. L'introduction relativement récente du blanchiment en plusieurs étapes et l'utilisation du bioxyde de chlore comme agent de blanchiment final ont beaucoup aidé à obvier à cet inconvénient.

---

<sup>1</sup> Document présenté à la Section technique de l'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, Conférence sur l'amélioration de l'air et des cours d'eau, 1973.

#### 4.3.7.1 *Description du procédé*

Dans la mise en pâte kraft, on utilise une solution alcaline appelée lessive blanche et composée de  $\text{Na}_2\text{S}$  et de  $\text{NaOH}$  pour éliminer la lignine du bois afin de séparer les fibres. La figure 4-13 illustre la nature cyclique de ce procédé. (On trouvera une description plus détaillée dans les ouvrages de référence énumérés dans la bibliographie.) Après le lessivage, on sépare les liqueurs de cuisson usées de la pâte, et on les traite dans le système de récupération kraft. Ce dernier régénère les produits chimiques de cuisson du  $\text{Na}_2\text{S}$  et du  $\text{NaOH}$  tout en utilisant le pouvoir calorifique du résidu organique pour la production, par la vapeur, d'énergie et pour le traitement de la pâte.

Le *procédé de lessivage* peut être discontinu ou continu. Dans le *lessivage en continu*, on chauffe ordinairement les copeaux dans un autoclave avant de les introduire dans le lessiveur. Un étuvage préalable retire l'air, les gaz qui ne se condensent pas et les constituants volatils comme les terpènes. Plus tard, les terpènes se condensent pour former un sous-produit, la térébenthine. Après leur entrée dans le lessiveur en continu, les copeaux sont imprégnés de liqueur de cuisson à une température contrôlée de  $116^\circ\text{C}$  pour assurer la pénétration uniforme de la liqueur de cuisson. Une fois cette opération menée à bien, on élève la température à environ  $165^\circ\text{C}$  (la température de cuisson) et on la maintient pendant à peu près une heure. On refroidit ensuite la pâte à environ  $125^\circ\text{C}$  avec de la lessive de lavage.

On procède alors au lavage par diffusion, retirant ainsi une grande proportion des produits chimiques usés. Dans la partie inférieure du lessiveur, la température de lavage est de  $80^\circ\text{C}$  à  $85^\circ\text{C}$ . Cela assure de meilleures conditions de soufflage tout en n'occasionnant que peu ou pas de dommage mécanique aux fibres.

Dans le *lessivage en discontinu*, on met les copeaux et la liqueur de cuisson dans le lessiveur et, selon une table de température, on ajoute ensuite de la vapeur directe. Durant les premières étapes du lessivage, les terpènes et les autres constituants volatils se distillent et on doit les évacuer. Il faut d'une à cinq heures pour atteindre la pression maximale de cuisson qui est de  $100\text{ lb/po}^2$  à  $135\text{ lb/po}^2$  au manomètre ( $165^\circ\text{C}$ ). Après le lessivage, on souffle la pâte chaude dans un cuvier de soufflage où on la dilue avec de la lessive usée. *Aujourd'hui, la plupart des nouvelles fabriques installent des systèmes de fabrication de pâte en continu.* Cette dernière technique est la plus répandue (voir la figure 4-14).

#### 4.3.7.2 *Lavage de pâte brune*

On lave ensuite la pâte qui provient du cuvier de soufflage par un procédé de séparation soigneusement contrôlé qu'on appelle le *lavage de la pâte brune*. Cela se fait généralement à l'aide d'une série de *filtres à tambour sous vide et à contre-courant* conçus pour déplacer la lessive usée noire la plus concentrée. La figure 4-15 illustre un tel système en trois étapes. Une dilution superflue de la lessive noire surcharge les évaporateurs, tandis qu'un lavage insuffisant de la pâte provoque des pertes de produits chimiques, ce qui exige un appoint supérieur de sulfate de sodium brut en plus grande quantité.

Pour un procédé semblable, les principes fondamentaux de lavage sont simples. Quand on ne dispose que d'une quantité limitée d'eau de lavage, la meilleure façon de faire le lavage est de procéder par mélange et essorage au moyen d'une torsion constante.

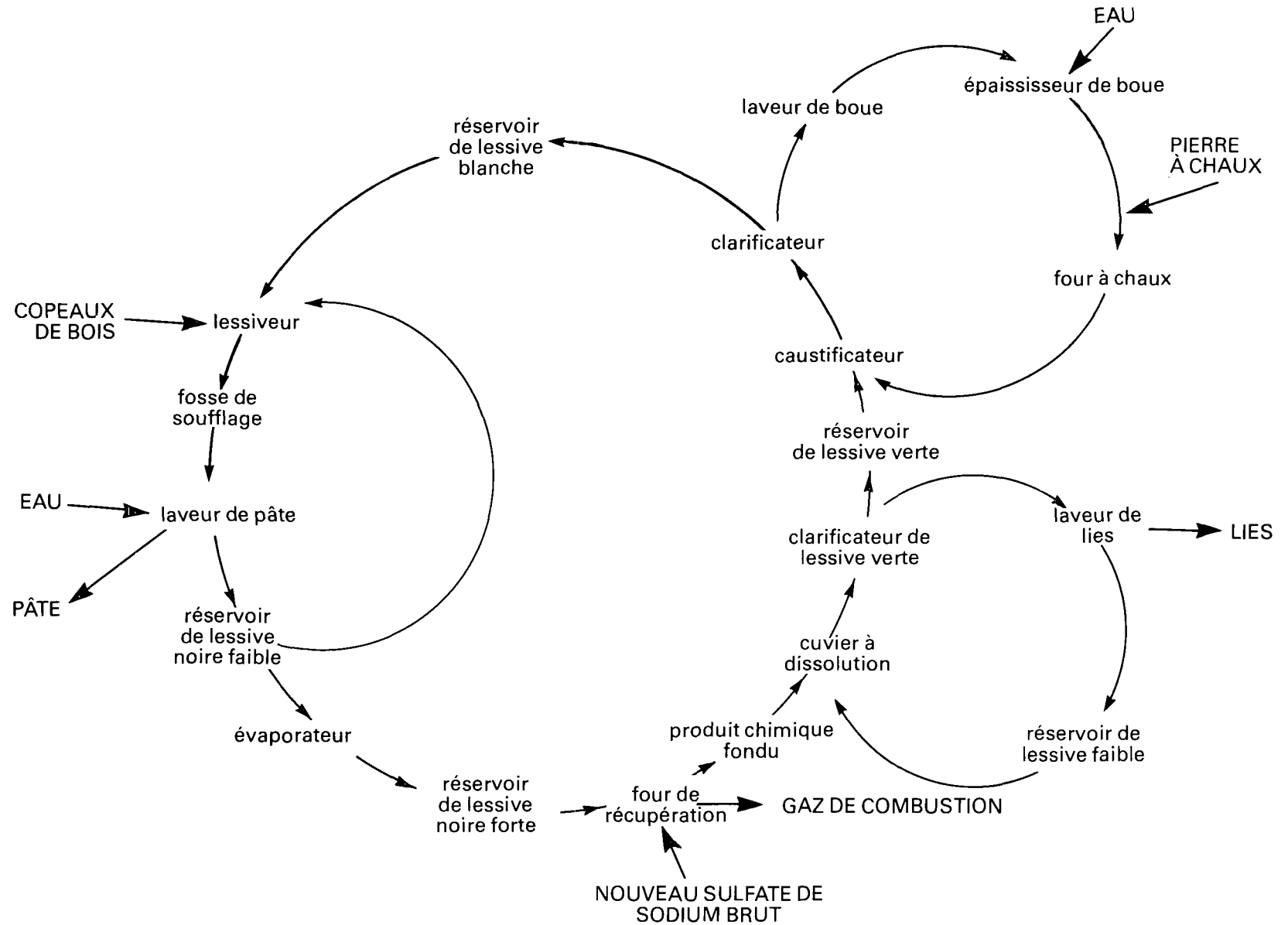


Figure 4-13. Diagramme qui met en évidence la nature cyclique du procédé de récupération kraft.

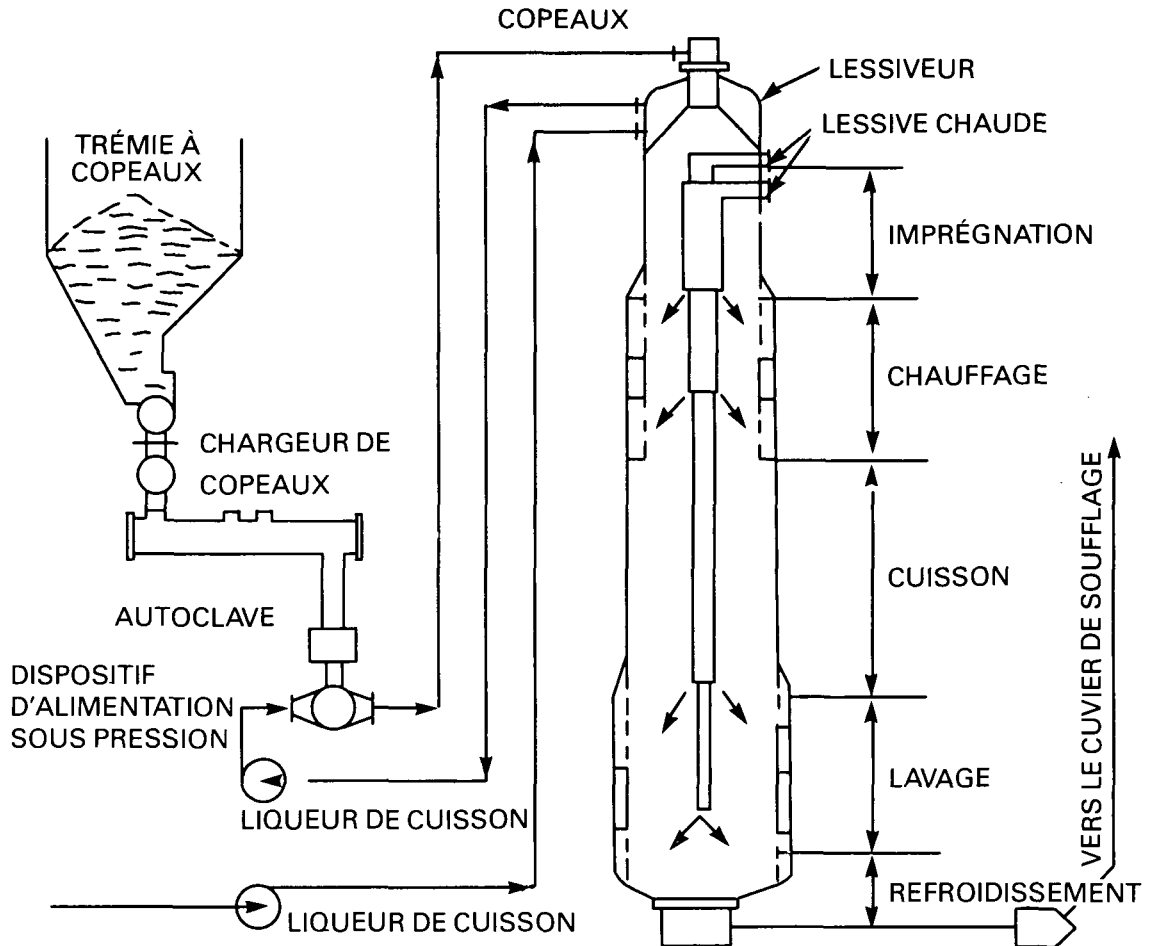


Figure 4-14. Lessiveur en continu Kamyr utilisé pour la mise en pâte.

Dans le lavage de la pâte brune, on utilise le même procédé sauf qu'au début de l'étape *A*, on ajoute continuellement de l'eau claire. On réutilise ensuite dans l'étape *B* le filtrat obtenu en *A* comme agent nettoyeur, tandis que l'on réutilise au début de l'étape *C* le filtrat obtenu en *B*. De cette façon, la pâte se lave complètement à mesure qu'elle se déplace en sens inverse du courant de la lessive. Il est manifeste que c'est dans le filtrat obtenu à l'étape *C* qu'apparaîtra la plus grande quantité de solides dissous. On retire continuellement cette lessive concentrée filtrée de la cuve des filtrats au point *E* et on l'envoie aux évaporateurs.

Le filtre sous vide sépare très bien la pâte de la lessive usée. Il est constitué d'un cylindre recouvert de toile métallique qui tourne dans une cuve contenant de la pâte liquide



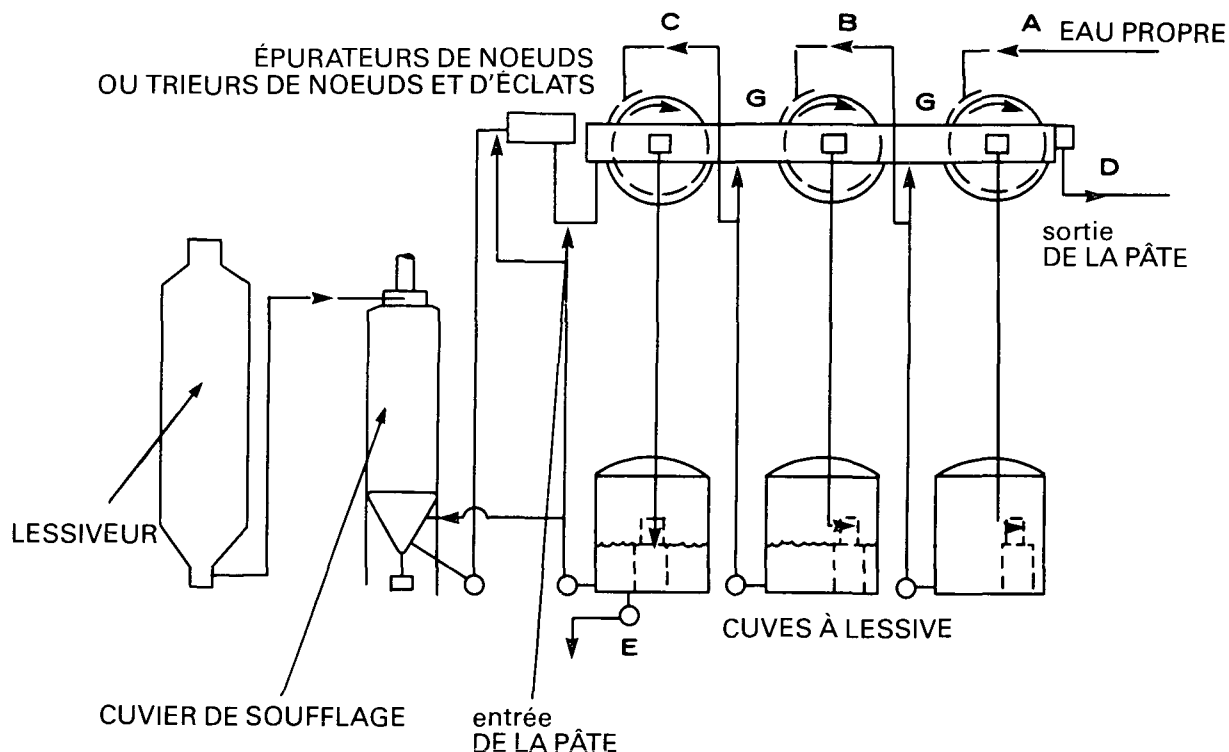


Figure 4-15. Système classique de lavage de pâte brune.

et dont la section inférieure est submergée par cette suspension pâteuse. On fait le vide en manoeuvrant les valves intérieures à mesure que le tambour entre dans la pâte liquide. La lessive noire s'écoule à travers la toile métallique et la pâte demeure à la surface de la toile. Le matelas de pâte se forme à mesure que le tambour tourne dans la pâte liquide, et il est retenu à la surface de la toile par le vide qui existe à l'intérieur du cylindre. Quand il a émergé de la pâte liquide, le matelas est habituellement lavé avec de l'eau ou le filtrat du stade précédent au moyen de plusieurs rinceurs situés au-dessus de la feuille de pâte. On libère de cette façon la feuille du reste de lessive usée présente dans le matelas et provenant de la pâte liquide. Enfin, la feuille continue de tourner sur le tambour jusqu'au moment où on cesse de faire le vide et où on retire la pâte lavée, qui a une concentration de 12 p. 100 à 15 p. 100 de la surface de la toile. Elle entre ensuite dans la phase de mélange G. Là, les retriurateurs morcellent la feuille épaissie et la diluent avec de la lessive plus faible de l'étape suivante. On secoue alors les fibres pour dégager les solides dissous encore retenus avant de passer à l'épuration avec le prochain filtre sous vide. Ce lavage à contre-courant offre les avantages suivants:

- a) un système clos sans égout,
- b) une main-d'oeuvre et un entretien peu considérables,
- c) une dilution minimisée,
- d) peu de perte de chaleur
- e) et un fonctionnement continu et uniforme.

Généralement, on utilise de deux à quatre laveurs en série et ceux-ci retirent de 98 p. 100 à 99 p. 100 des produits chimiques usés et des solides dissous. La soude perdue, c'est la quantité de sodium qui reste dans la feuille de pâte après que celle-ci ait subi la dernière étape de lavage. On l'exprime habituellement sous forme de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  à ajouter au système pour compenser la perte de sodium. Il y aura toujours de la soude perdue puisqu'un lavage ne pourra jamais dégager du sodium retenu solidement. Cette perte minimale est de 5 à 15 livres de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  par tonne de pâte. Concrètement, un système qui perd de 20 à 30 livres de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  par tonne de pâte est efficace.

#### **4.3.7.3      *Contrôle de la mousse dans le lavage***

La formation de mousse présente une difficulté majeure dans le lavage sous vide, surtout dans le cas des lessives de pin qui ont une haute teneur en résine et en acides gras. La mousse comble les vides entre les fibres et empêche l'écoulement de la lessive. Elle réduit le pouvoir nettoyant des rinceurs en diminuant le taux de diffusion et en permettant à des rainures de se former. D'habitude, on ajoute continuellement des agents chimiques antimousses (silicones, etc.) de manière à contrôler la formation de mousse.

#### **4.3.7.4      *Facteurs qui déterminent l'efficacité du laveur***

On peut considérer le lavage de la pâte comme le résultat de deux opérations:

- a) la dilution et l'agitation de la pâte dans la cuve avec de la lessive faible, puis l'épaississement sur le tambour,
- b) le déplacement de la lessive de cuve avec de la lessive de rinceur sur le tambour filtreur.

*L'efficacité individuelle de lavage* est alors une simple mesure des solides dissous dégagés de la pâte quand celle-ci parvient à un stade de lavage donné et quand elle en sort, pour une quantité donnée d'eau de dilution fournie au système. Les conditions suivantes auront une influence sur l'efficacité du lavage: (a) la vitesse du laveur, (b) l'épaisseur de la feuille, (c) la concentration de la pâte, (d) la viscosité de la lessive, (e) le débit de l'eau du rinceur, (f) le débit d'écoulement de la pâte, (g) le vide, (h) la température, etc. Une analyse structurée d'un tel système exige le calcul de *l'indice de dilution* et du *coefficient d'extraction* d'un laveur.

**INDICE DE DILUTION (I.D.).** On doit surveiller attentivement la quantité d'eau de dilution utilisée dans le lavage, car non seulement elle influence l'efficacité du lavage mais

elle doit aussi être évaporée à l'atelier de récupération. Habituellement, on ajoute toute l'eau de dilution au dernier stade de lavage au moyen des rinceurs.

On a exprimé la dilution ainsi: la différence entre la concentration de solides de lessive noire du lessiveur et la concentration de solides de lessive noire envoyés aux évaporateurs. Cependant, cette méthode ne tient pas compte des différences qui existent dans la concentration de lessive noire venant du lessiveur. L'indice de dilution prend cette variation en considération. *L'indice de dilution est le nombre réel de livres d'eau que l'on introduit dans le cycle de récupération, par livre de pâte sèche à l'air lavée.*

*Exemple:* Prenons une fabrique qui lave avec une perte en produits chimiques de 47 livres de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  par tonne de pâte sèche à l'air; la pâte lavée a une concentration de 16 p. 100 par rapport à la pâte absolument sèche en sortant du dernier laveur et elle utilise 1880 gallons d'eau de lavage par tonne sèche à l'air. La proportion de solides de lessive noire dans l'eau que l'on retire avec la dernière feuille lavée est de 1,74 livre par livre de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

*Donc:*

Quantité totale d'eau de lavage ajoutée =  $1880 \text{ gal/t (S.A.)} \times 8,33 \text{ lb/gal} = 15\,663 \text{ lb/t (S.A.)}$

Quantité de sulfate de sodium brut dans la pâte lavée =  $47 \text{ lb/t (S.A.)}$

Quantité totale de solides dans la pâte lavée  $47 \times 1,74 = 82 \text{ lb/t (S.A.)}$

Quantité totale de lessive dans la pâte lavée =  $\frac{1880 \text{ lb}}{\text{t (S.A.)}} \times \frac{100 - 16}{16} = 9540 \text{ lb/t (S.A.)}$

Quantité totale d'eau dans la pâte lavée =  $9540 - 82 = 9368 \text{ lb/t (S.A.)}$

Dilution =  $15\,663 - 9368 = 6295 \text{ lb/t (S.A.)}$

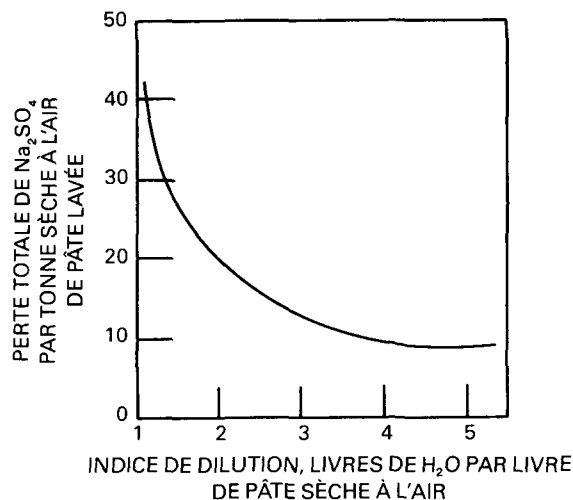
Indice de dilution =  $\frac{6295 \text{ lb/t (S.A.)}}{2000 \text{ lb/t (S.A.)}} = 3,15 \frac{\text{lb d'eau}}{\text{lb de pâte (S.A.)}}$

Pour un système donné, les pertes en produits chimiques sont directement reliées à l'indice de dilution. Un tracé de la soude perdue par rapport à l'indice de dilution est utile pour assurer le meilleur fonctionnement possible (voir la figure 4-16).

LE COEFFICIENT D'EXTRACTION (C.E.) est le rapport entre les matériaux solubles que l'on extrait dans les rinceurs du filtre et la quantité maximale que l'on peut retirer.

*Exemple:* Prenons un système à un seul stade ayant  $S_v$  p. 100 de solides solubles dans la liqueur à la cuve; on en laisse  $S$  p. 100 dans la pâte et les rinceurs en retirent  $S_s$  p. 100.

$$\text{Coefficient d'extraction} = \frac{S_v - S}{S_v - S_s}$$



*Figure 4-16. Tracé des pertes en produits chimiques par rapport à l'indice de dilution pour un système de lavage à deux tambours et à trois stades, à l'indice de permanganate 22 de la T.A.P.P.I. (pâte: sapin de Douglas et pruche).*

Cette proportion de matières extraites est le principal moyen permettant de déterminer l'efficacité de tout stade de lavage, et elle est une mesure de toutes les variables d'exécution. L'efficacité du laveur varie naturellement avec la quantité d'eau de dilution ajoutée et, par conséquent, le coefficient d'extraction est directement proportionnel à l'indice de dilution.

Durant le premier stade d'un système, le coefficient d'extraction est relativement élevé car il y a peu d'air dans la pâte et sa lessive. Il variera généralement de 0,8 à 0,92, selon l'indice de dilution.

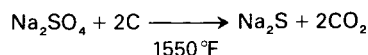
Pour les stades intermédiaires, le coefficient d'extraction se situe normalement entre 0,5 et 0,7 selon l'indice de dilution. En combinant les valeurs du coefficient d'extraction obtenues à chaque étape, on obtient l'efficacité générale du laveur du système. On trouvera de plus amples renseignements sur le lavage de la pâte brune dans les ouvrages de référence figurant dans la bibliographie.

#### **4.3.7.5 Système de récupération kraft**

Le système de récupération est le cœur du procédé kraft, et il touche la récupération de la chaleur et des produits chimiques à partir des liqueurs de cuisson noires usées. La figure 4-13 a déjà mis en évidence la nature cyclique du procédé de récupération, dans lequel on régénère les produits de cuisson chimiques et on brûle les résidus organiques pour produire de l'énergie. Voici un bref résumé des étapes du procédé:

a) On concentre, à une teneur en solides d'environ 50 p. 100, la lessive noire extraite par les laveurs de pâte brune dans une série d'évaporateurs verticaux à effets multiples avec de longs tubes.

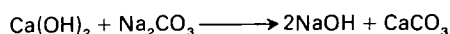
b) La lessive noire concentrée est ensuite brûlée dans une chaudière de récupération. La matière organique se consume immédiatement, produisant beaucoup de chaleur pour la formation de vapeur, tandis que les sels de sodium et de soufre s'accumulent en salin fondu dans le foyer de la chaudière. Aux températures élevées qu'on utilise, le  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , ajouté à la lessive noire comme appoint aux pertes de sodium et de soufre, est transformé en  $\text{Na}_2\text{S}$  comme suit:



c) On retire de la chaudière le salin en fusion, composé surtout de  $\text{Na}_2\text{S}$ , de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et d'un peu de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  intact, et on le mélange avec de l'eau dans les cuiviers de dissolution. La couleur verdâtre des sels fondus est transmise au mélange d'eau, et c'est pourquoi on l'appelle *lessive verte*.

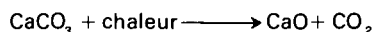
d) On pompe alors la lessive verte dans un clarificateur à lessive verte où sont enlevés les résidus de cendre carbonée ainsi que d'autres impuretés. Les résidus sédimentés sont transportés dans un laveur de fond et nettoyés pour enlever les sels de sodium solubles. Les sels dissous sont remis dans le circuit et les dépôts de fond sont transportés à l'extérieur pour être enfouis.

e) La lessive verte du clarificateur est ensuite pompée dans la zone de caustification où on ajoute de l'hydroxyde de calcium pour convertir le carbonate de sodium en soude caustique, en vertu de la réaction suivante.

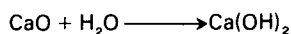


Le carbonate de calcium formé à partir de la réaction est parfaitement insoluble et, déposé, il est retiré de la solution dans un clarificateur à lessive blanche. La solution clarifiée retirée contient les deux principaux produits chimiques actifs de lessivage, le  $\text{Na}_2\text{S}$  et le  $\text{NaOH}$ . La lessive clarifiée est appelée *lessive blanche*, et on peut dès lors la réutiliser dans le lessiveur.

f) Le carbonate de calcium retiré du clarificateur de lessive blanche est pompé dans un filtre à boue où il est épaissi et lavé pour récupérer les sels sodés entraînés. Le  $\text{CaCO}_3$  épaissi est alors calciné dans un four à chaleur directe qui le transforme en oxyde de calcium comme suit:



g) Le  $\text{CaO}$  produit est récupéré et on y ajoute de l'eau pour produire de l'hydroxyde de calcium qu'on réutilise en revenant à l'étape e.



#### **4.3.7.6 Écumage de savon kraft**

L'écumage de savon a toujours fait partie du procédé kraft, mais il est devenu passablement important au cours des dernières années. Cela est surtout dû au fait qu'on a découvert que les acides résiniques contenus dans les savons étaient un des principaux éléments toxiques des effluents des usines de pâte. L'écume de savon est surtout le produit des acides résiniques et des acides gras présents dans le bois original qui, au moment du défilage, se saponifient dans la lessive alcaline formant leurs sels sodés. Dans la liqueur de cuisson résiduelle faible, ces sels demeurent solubles; mais pendant l'évaporation, leur solubilité diminue au point où ils commencent à «relarguer». Cela se produit habituellement lorsque la concentration en solides de la lessive noire atteint entre 25 p. 100 et 30 p. 100. Cette matière est appelée «écume de savon», et on l'enlève habituellement à l'aide d'une spatule rotative dans un bassin d'écumage. On verra à la figure 4-17 où se situe ordinairement le bassin d'écumage du savon. On peut voir que la lessive qui quitte les derniers évaporateurs est acheminée vers le bassin d'écumage. (Dans certaines usines, le bassin d'écumage est situé entre les quatrième et cinquième étapes d'évaporation.)

Une durée de séjour adéquate dans le bassin (de une à deux heures) permet au savon de monter et de flotter à la surface. On recueille habituellement le savon écumé dans un bassin de savon, après quoi on le vend tel quel ou, si l'usine produit de la résine liquide, on fait subir au savon une autre transformation. On ramasse aussi de petites quantités de savon dans le réservoir de stockage de liqueur noire faible et dans celui de la lessive noire forte. Une partie des acides résiniques demeurent dans la lessive noire parce que cette méthode de récupération du savon n'est pas très efficace.

On trouve des acides résiniques en abondance dans les espèces de pin. L'acide abiétique est le principal élément de la fraction d'acide résinique (appelée résine) isolée pour la commercialiser. Dans le numéro de septembre 1973 du *Pulp and Paper Magazine of Canada*, Rogers a identifié les principaux éléments toxiques de l'acide résinique dans l'effluent d'une usine de kraft de Colombie-Britannique comme étant de l'acide déhydrabiétique, de l'acide isopimarique et de l'acide séco-déhydrabiétique, qu'on peut voir à la figure 4-18. Il a aussi montré que les acides résiniques étaient très toxiques pour le saumon lorsque la teneur atteignait 2,0 p.p.m. On a aussi découvert que certains acides gras et certains composés cycliques chlorés (trichlorovératrol) étaient toxiques.

#### **4.3.7.7 Sous-produits du procédé kraft**

Il existe un certain nombre de sous-produits organiques tirés des lessives de pâte kraft. Ils comprennent la térébenthine, la résine liquide, la lignine alcaline et le sulfoxyde de diméthyle. Toutefois, à l'exception de la récupération de la térébenthine et de la résine, très peu d'usines se préoccupent des autres sous-produits en raison du marché limité et parce qu'on peut fabriquer certains de ces produits de façon moins coûteuse à partir d'autres matières premières. Il faudra effectuer d'autres recherches pour trouver des marchés plus importants pour les sous-produits de lignine et de cellulose.

#### **4.3.7.8 Termes chimiques qu'on utilise habituellement dans le procédé kraft**

Dans l'industrie kraft, on utilise souvent des termes comme alcali actif, alcali réel, sulfidité, etc., pour décrire la composition chimique des lessives. Pour les exprimer

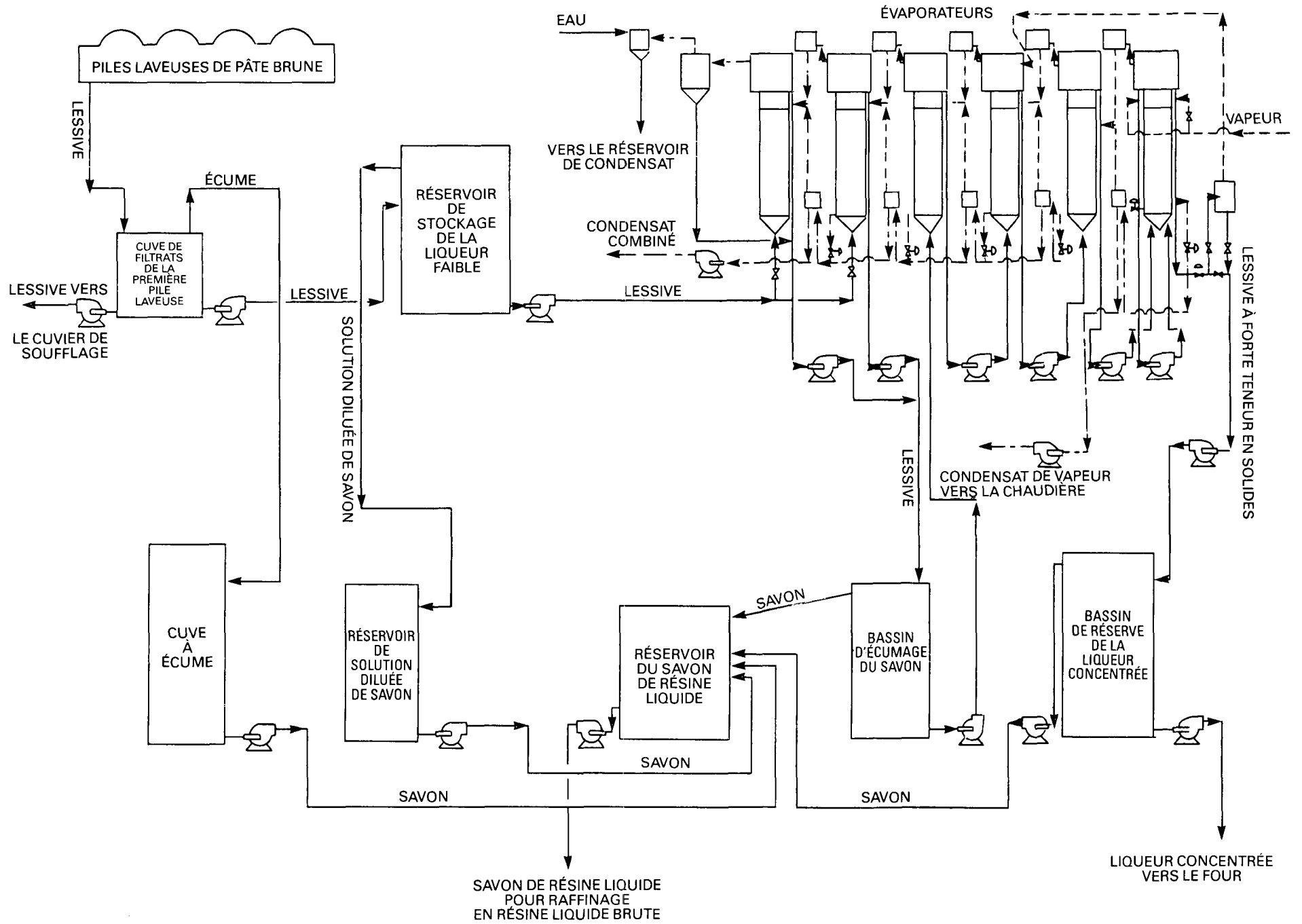
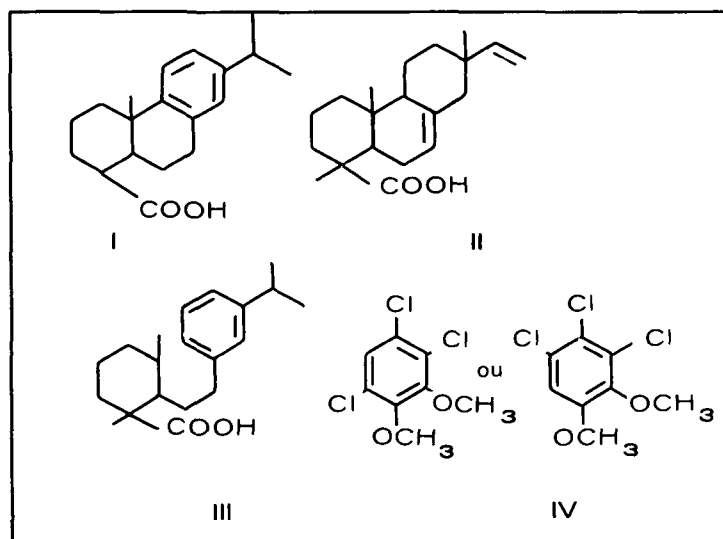


Figure 4-17. Schéma de l'écoulement de la lessive noire au sulfate et de la méthode de récupération du savon de résine liquide.



**Figure 4-18. Structure des diverses matières toxiques: I, acide déhydrabiétique; II, acide isopimarique; III, acide séco-déhydrabiétique; IV, trichlorovératrol.**

quantitativement, il est d'usage courant d'exprimer les quantités des différents composés sodés selon leur poids équivalent par rapport à l'oxyde de sodium, Na<sub>2</sub>O. Le composé Na<sub>2</sub>O n'existe pas réellement et on ne l'utilise que par convention. C'est ainsi qu'on trouve les définitions suivantes:

*Produit chimique total:* Tous les sels Na rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.

*Alcali actif:* NaOH + Na<sub>2</sub>S rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.

*Alcali réel:* NaOH + ½Na<sub>2</sub>S rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.

*Sulfidité:*  $\frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}} \times 100$  (Tous les produits chimiques rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.)

*Alcali total:* NaOH + Na<sub>2</sub>S + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.

*Alcali titrable total:* NaOH + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.

*Causticité:*  $\frac{\text{NaOH}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3} \times 100$  (Tous les produits chimiques rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.)

*Activité:*  $\frac{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3} \times 100$  (Tous les produits chimiques rapportés sous forme de Na<sub>2</sub>O.)



#### 4.3.7.9 Sources des pertes chimiques dans le système de récupération

**PERTES LIQUIDES.** Des pertes relativement faibles de lessive résultent d'un système de récupération kraft qui fonctionne bien. On trouve en abrégé à la figure 4-19 les sources des effluents liquides d'un système de récupération typique. Lorsque ce système fonctionne normalement, les liquides qui s'écoulent de façon continue sont du condensat de térébenthine, du condensat d'évaporateur et l'effluent du laveur de gaz du four à chaux. Des déversements, des trop-pleins et des écoulements périodiques de lessive noire se produisent occasionnellement par suite de désordres du système ou de pannes de la pompe, mais habituellement on apporte rapidement un correctif.

**AMÉLIORATION DES CONDENSATS D'USINE POLLUÉS À L'AIDE DE L'ÉPURATION PAR L'AIR ET LA VAPEUR.** On peut traiter les condensats contaminés pour les réutiliser comme eau de dilution ou de lavage à d'autres étapes du procédé en leur faisant subir une épuration par la vapeur ou par l'air. Par ces méthodes, on fait disparaître les gaz dissous nauséabonds, tout en réduisant la demande biochimique en oxygène et la toxicité.

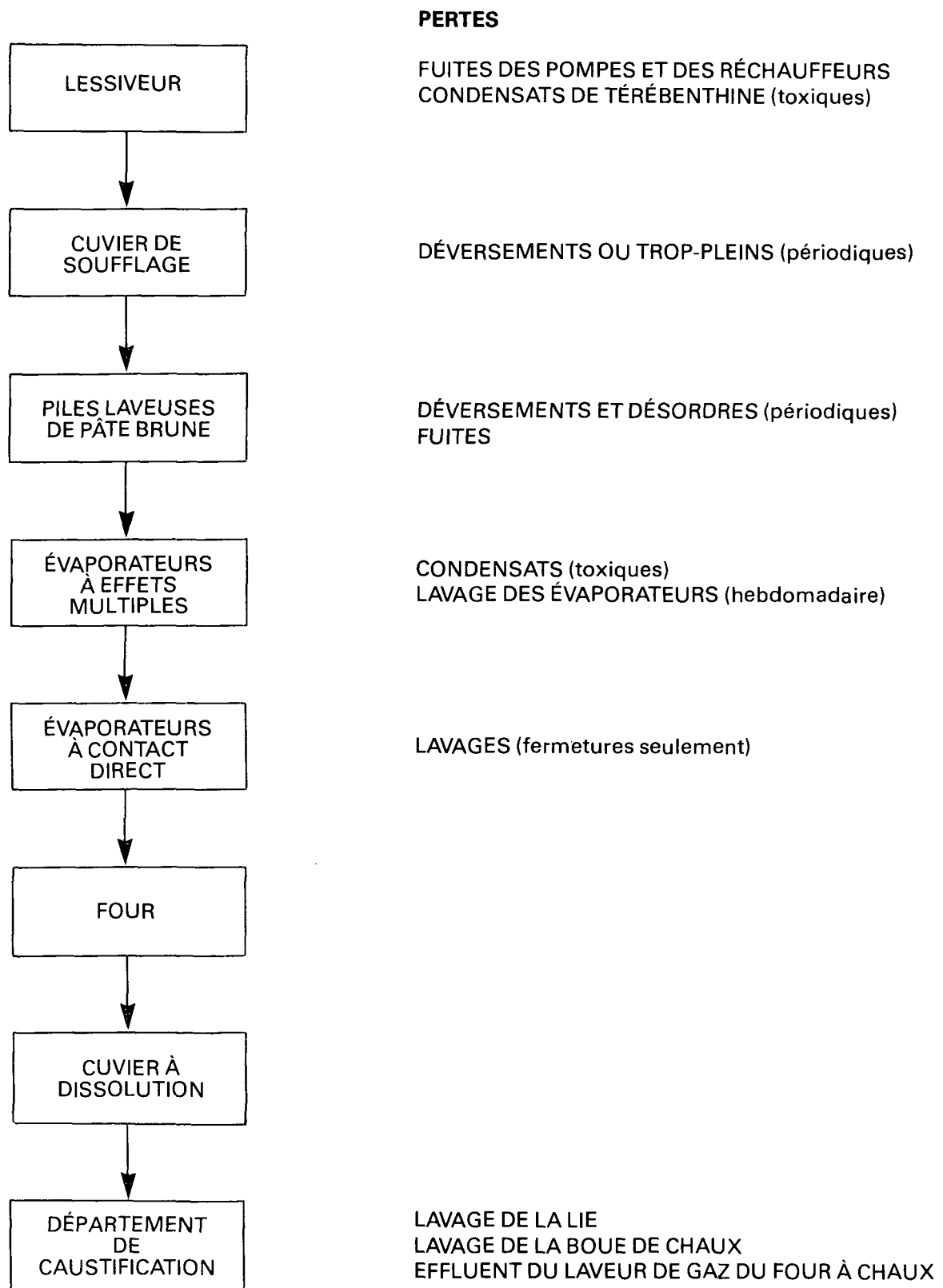
Les principales sources de condensats d'usine de kraft contenant divers composés de térébenthine et de soufre malodorant sont: (a) les condensats d'évaporateur et (b) la fraction lourde du décanteur de térébenthine. Les éléments indésirables de ces écoulements comprennent le mercaptan de méthyle, le sulfure de diméthyle, le disulfure de diméthyle, l'hydrogène sulfuré, les terpènes, le terpinéol et le méthanol.

Les condensats d'évaporateur proviennent des vapeurs produites par l'évaporation de la lessive noire de kraft. Dans les évaporateurs à effets multiples, la vapeur produite par un effet est utilisée comme milieu chauffant pour un autre. Voir la figure 4-20.

Au moment de la condensation de ces vapeurs, les liquides produisent des quantités substantielles des éléments indésirables mentionnés plus tôt. Les vapeurs du dernier évaporateur à effets multiples sont en grande partie condensées à l'aide d'un condenseur barométrique ou de surface. Les gaz et les vapeurs qu'on ne parvient pas à condenser à l'aide du condenseur de surface sont soit condensés dans le système de refroidissement, soit laissés comme gaz incondensables du réservoir d'étanchéité du condensat.

Dans le cas d'un système de défibrage en continu, les condensats de térébenthine résultent de la condensation des éléments volatils produits en étuvant préalablement les copeaux de bois avant le lessivage, comme on peut le voir à la figure 4-21.

À la même figure, on peut voir aussi comment fonctionne le décanteur de térébenthine. La térébenthine a une densité qui se situe aux alentours de 0,8, c'est pourquoi elle monte à la surface de l'eau condensée. Le niveau d'eau dans le décanteur est contrôlé par la hauteur du tuyau d'évacuation en forme de U inversé. Le tuyau d'évacuation de la térébenthine est situé au-dessus de ce niveau pour assurer le déversement d'une térébenthine essentiellement pure. C'est le courant inférieur aqueux du décanteur qui est contaminé par les terpènes, les terpinéols et le méthanol et qui, par conséquent, contribue à la charge polluante.



*Figure 4-19. Pertes d'effluents liquides dans un système de récupération du procédé kraft.*

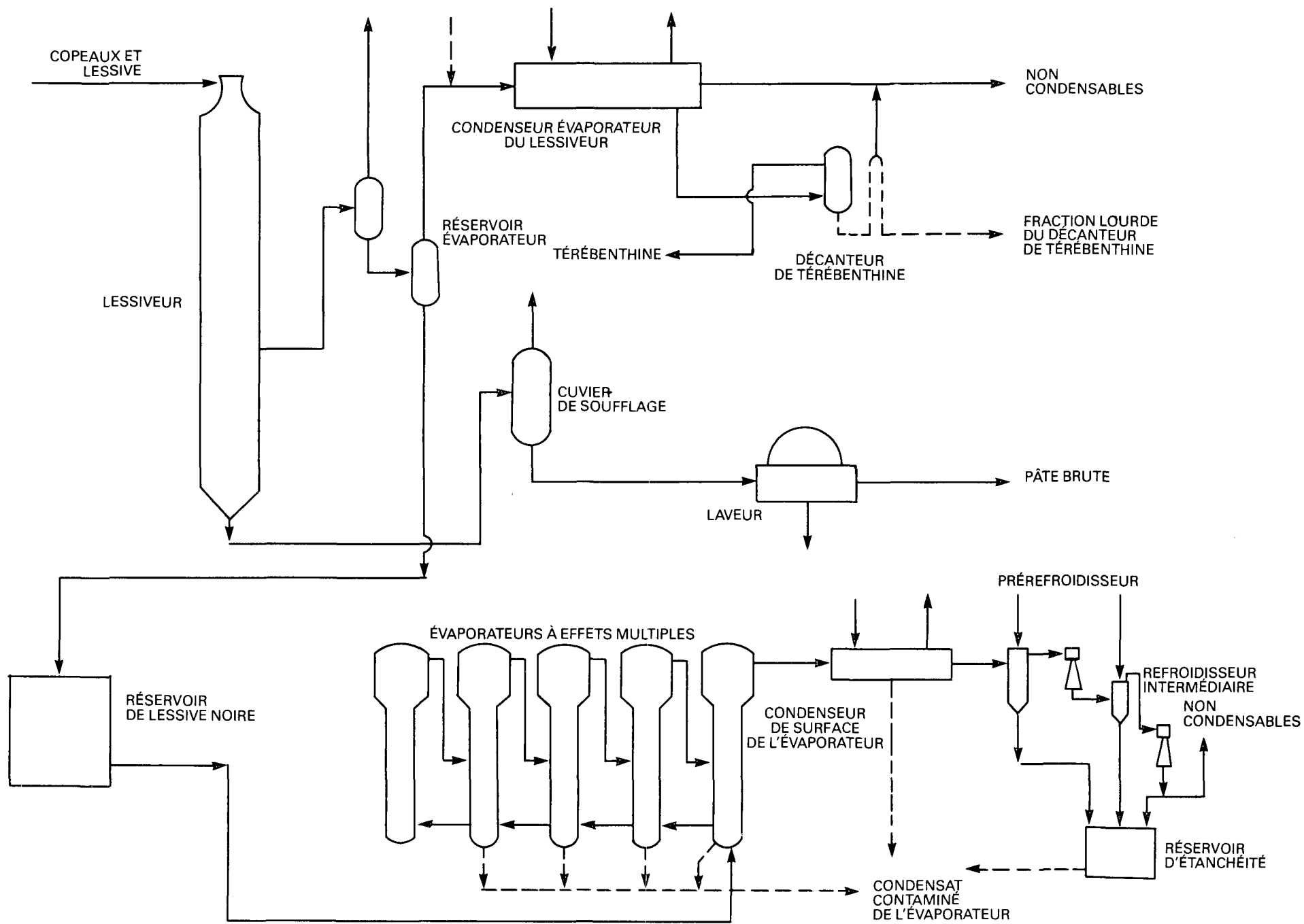


Figure 4-20. Sources des condensats contaminés des usines de kraft.

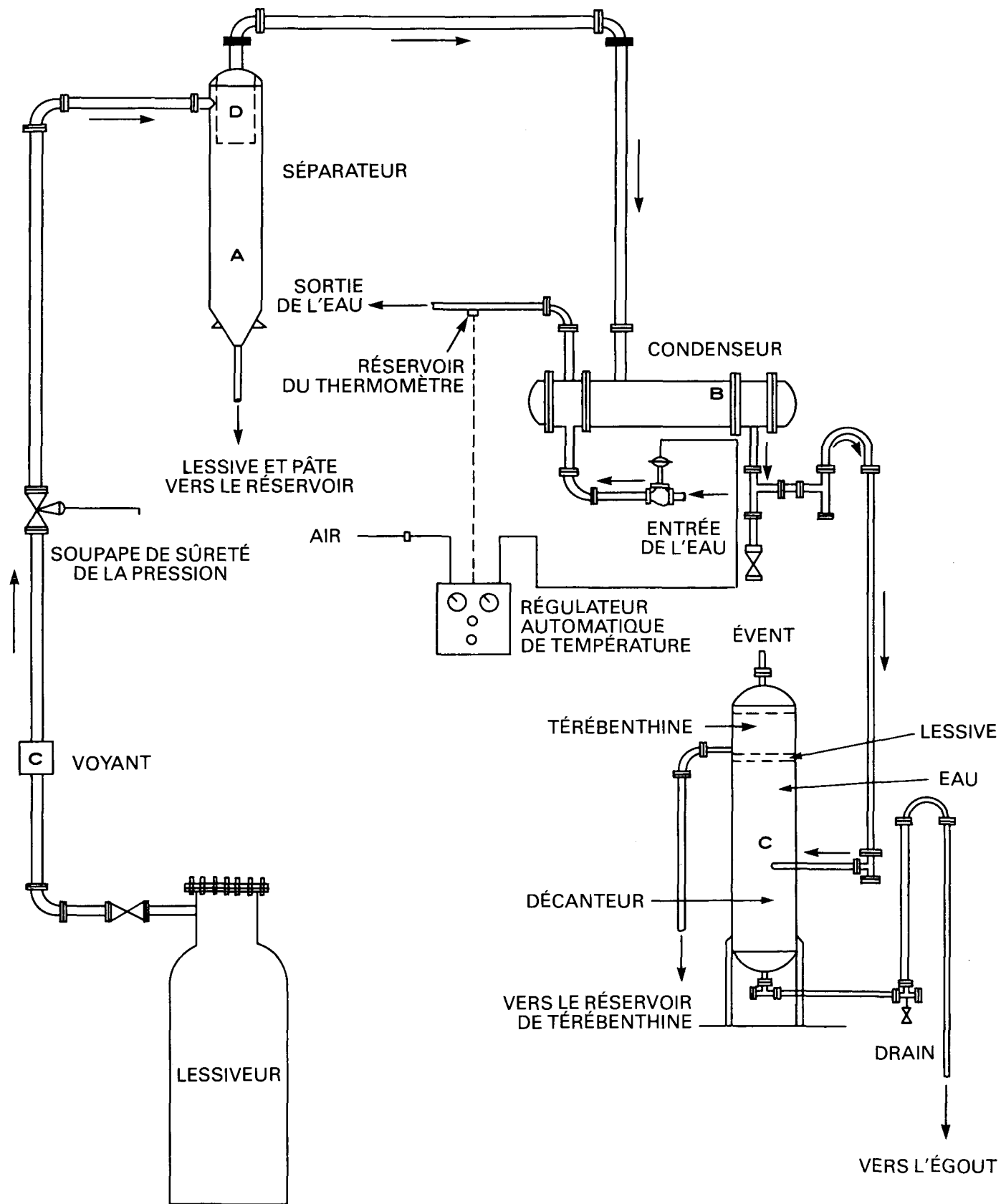


Figure 4-21. Installation classique de récupération de térébenthine.

Récemment, lors de la conférence d'octobre 1973 de l'organisme T.A.P.P.I. sur la fabrication de pâte alcaline, H. White a signalé une méthode supérieure au système de décanteur. L'auteur a révélé qu'en utilisant un centrifugeur De Laval, il était possible d'obtenir une efficacité de récupération de plus de 95 p. 100, alors qu'avec l'ancienne méthode du décanteur, on n'obtenait qu'un rendement de 78 p. 100. Le rendement en térébenthine s'est aussi accru de 0,53 à 0,75 gallon par corde de bois. Parmi les autres avantages, on trouve une diminution de 73 p. 100 de la demande biochimique en oxygène. Le système centrifuge serait économique et facile à entretenir.

Dans le passé, les condensats d'évaporateur et ceux provenant du décanage de térébenthine étaient habituellement acheminés vers l'égout. Aujourd'hui, cependant, comme on sait qu'ils sont toxiques pour les poissons, on a fait des efforts considérables pour éliminer les contaminants et pour réutiliser les eaux épurées comme eau d'appoint ou de lavage dans d'autres parties du procédé. On trouvera, illustrée aux figures 4-22 et 4-23, la disposition de base des appareils utilisés pour épurer les condensats contaminés par l'air et la vapeur. Les éléments volatils isolés sont habituellement brûlés dans le four à chaux, dans le four de récupération ou dans un autre lieu d'oxydation.

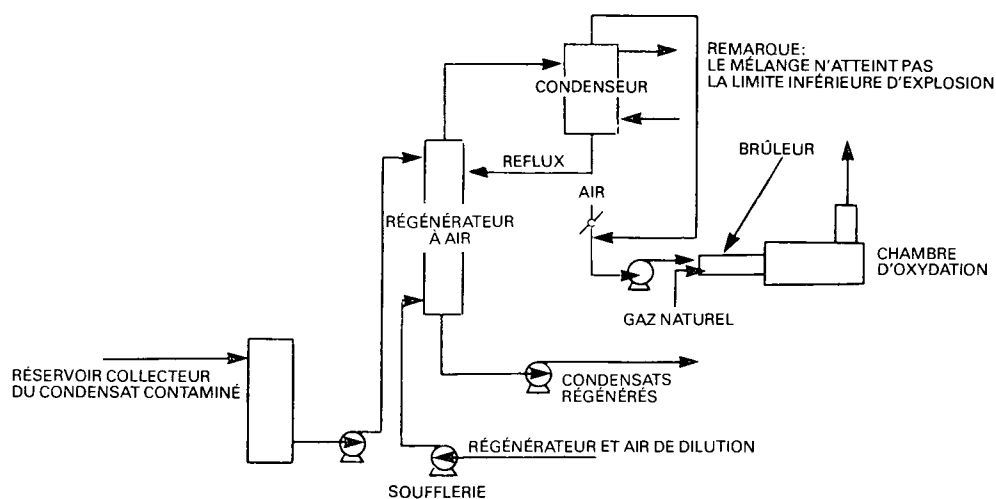


Figure 4-22. Schéma d'un système de régénération à air et de lutte contre les odeurs.

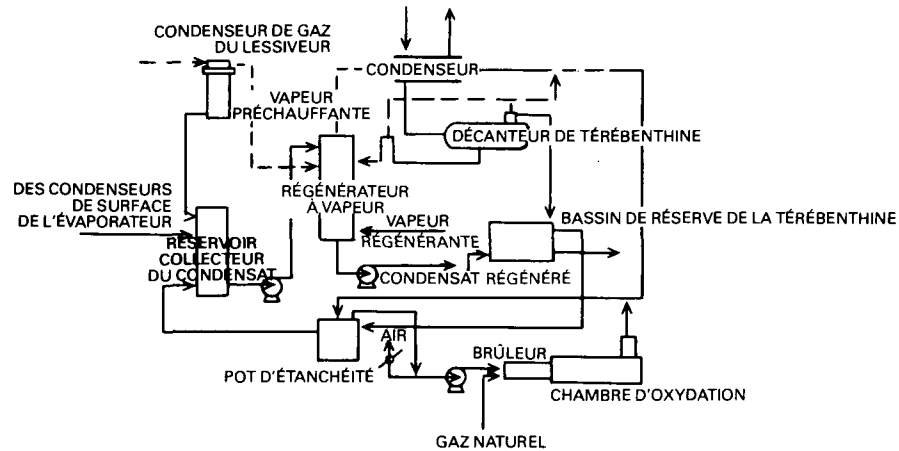


Figure 4-23. Schéma d'un système de régénération par la vapeur et de lutte contre les odeurs.

**PERTES SOUS FORME D'ÉMISSIONS GAZEUSES.** Les principales émissions d'une usine de kraft sont la vapeur d'eau, les particules et les odeurs. Les émissions de vapeur d'eau, même si elles sont les plus évidentes, surtout pendant les périodes de forte humidité, sont généralement considérées comme inoffensives. Le contaminant le plus remarquable d'une usine de kraft est l'odeur, qu'on peut détecter à plusieurs milles de l'usine si elle n'est pas contrôlée. La décharge de matières particulaires n'est habituellement un problème que dans le voisinage immédiat de l'usine.

À la figure 4-24, on trouve les émissions provoquées par les différentes opérations de l'usine. La longueur des flèches représente la quantité relative du contaminant émis par chacune des opérations. Le tableau 4-3, donne une idée plus quantitative des émissions moyennes potentielles dans le cas de systèmes dépourvus de mécanismes de contrôle.

On trouvera à la figure 4-25 un schéma un peu plus réaliste sur les principales émissions d'odeurs. Les émissions malodorantes proviennent des composés sulfuriques formés dans la lessive noire pendant le procédé de lessivage, et elles jaillissent à différentes étapes du système de récupération. Il s'agit fondamentalement des composés suivants:

Hydrogène sulfuré	$H_2S$
Mercaptan de méthyle	$CH_2SH$
Sulfure de diméthyle	$CH_3SCH_3$
Disulfure de diméthyle	$CH_3SSCH_3$

Le four de récupération même est responsable de 60 p. 100 environ de toutes les odeurs.

## LÉGENDE

w: vapeur d'eau  
 p: matière particulaire  
 o: odeurs

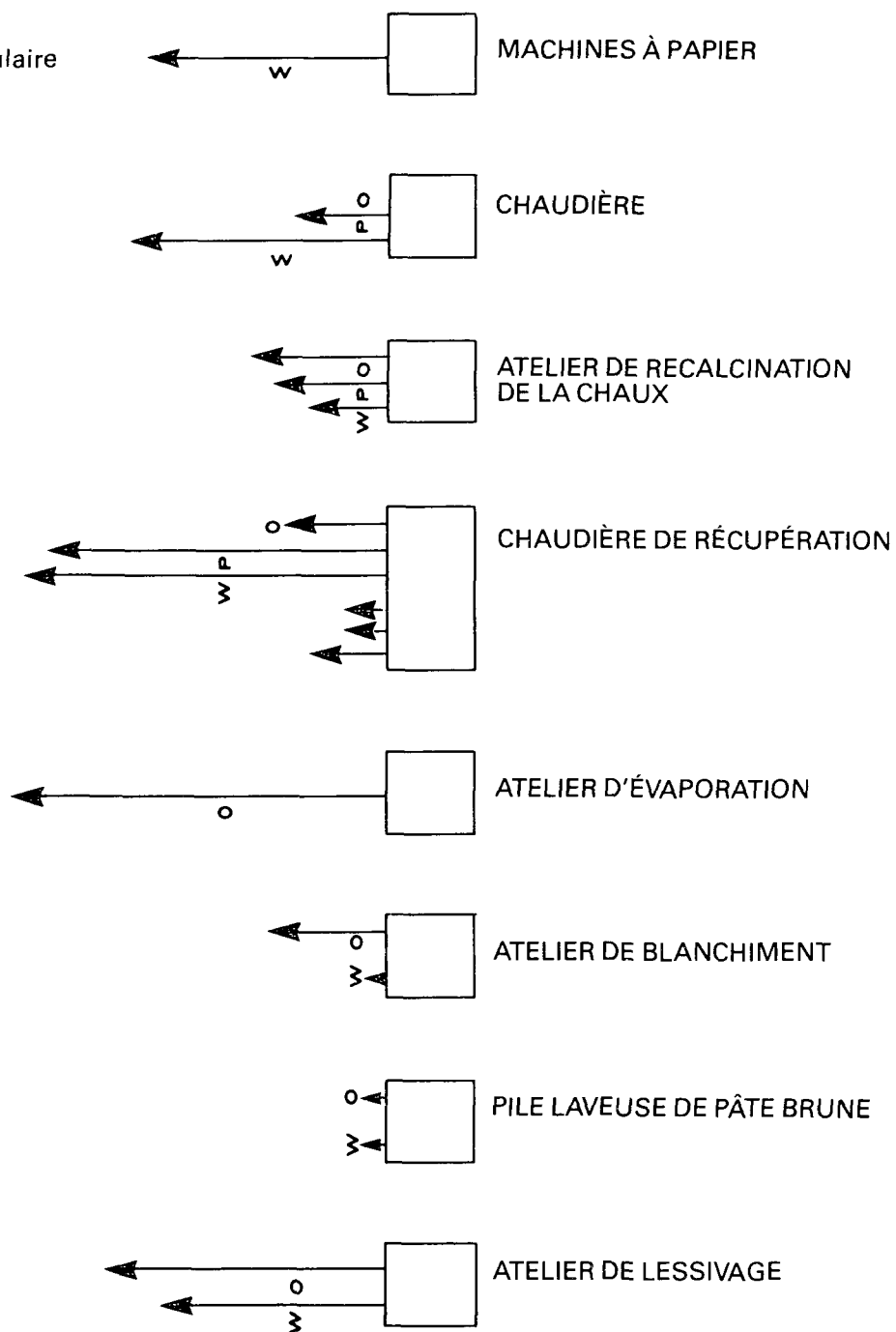


Figure 4-24. Émissions dans l'atmosphère d'une fabrique de pâtes et papiers kraft.

**TABLEAU 4-3**  
*Émissions caractéristiques des usines de pâte kraft.*

Département	Vol. total, pieds cubes standard* par tonne	Vapeur d'eau, livres par tonne	Particules, livres par tonne	Soufre**, livres par tonne
Lessiveur				
• discontinu	300	2 500	0	2,5
• en continu	150	1 500	0	1,5
Pile laveuse	70 000	250	0	0,5
Atelier de blanchiment***	80 000	220	0	2,04****
Évaporateurs	300	—	0	3,5
Four de récupération	330 000	4 300	170	10,0
Cuvier pour dissoudre	30 000	700	5	0,15
Four à chaux	45 000	850	45	1,0
Chaudière (déchets de bois écrasé)	300 000	3 000	35	0,01
Machines à papier	430 000	2 700	0	0

\* Pieds cubes standard dans des conditions normales de 1 atmosphère et de 68°F.

\*\* Ne comprend pas le soufre sous la forme SO<sub>2</sub>.

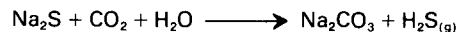
\*\*\* Atelier de blanchiment en six étapes CEHDED.

\*\*\*\* Chlore en livres par tonne.

Les méthodes de réduction des odeurs ont été centrées sur:

a) *La combustion des gaz d'échappement.* Le captage et la combustion des gaz d'échappement ont été passablement efficaces pour de petites quantités, dans le cas d'effluents en courant concentré comme les effluents non condensables du digesteur, la térébenthine et les systèmes d'évaporation. Dans des conditions adéquatement contrôlées, ces courants peuvent être brûlés soit dans le four de récupération, soit dans le four à chaux.

b) *L'oxydation de la lessive noire lorsqu'est utilisée l'évaporation par contact direct.* Cette méthode implique l'oxydation des composés sulfureux dans la lessive noire jusqu'à ce qu'ils atteignent une forme plus stable, de sorte que leur émission dans l'atmosphère est considérablement réduite. La conversion du Na<sub>2</sub> résiduel en thiosulfate plus stable, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O, a une importance particulière. Pendant l'évaporation par contact direct, le CO<sub>2</sub> de caractère acide des gaz de carneau d'un four chaud ferait émettre par le Na<sub>2</sub>S de grandes quantités de H<sub>2</sub>S selon le modèle suivant:



Le Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ne se décompose pas, ce qui élimine une importante source d'odeur. On peut exploiter des systèmes d'oxydation à un niveau d'efficacité de 99 p. 100. Le moussage de la lessive qui se produit lorsque l'air est injecté dans la lessive pour l'oxyder constitue le principal inconvénient de ce système. De nombreuses usines ont été déçues de cette méthode de réduction des odeurs au cours des années 60 en raison de systèmes mal conçus. Toutefois, il s'est avéré depuis qu'on pouvait effectuer une oxydation dans les usines de kraft qui utilisent du bois dont la teneur en résine est très élevée, comme le pin gris.



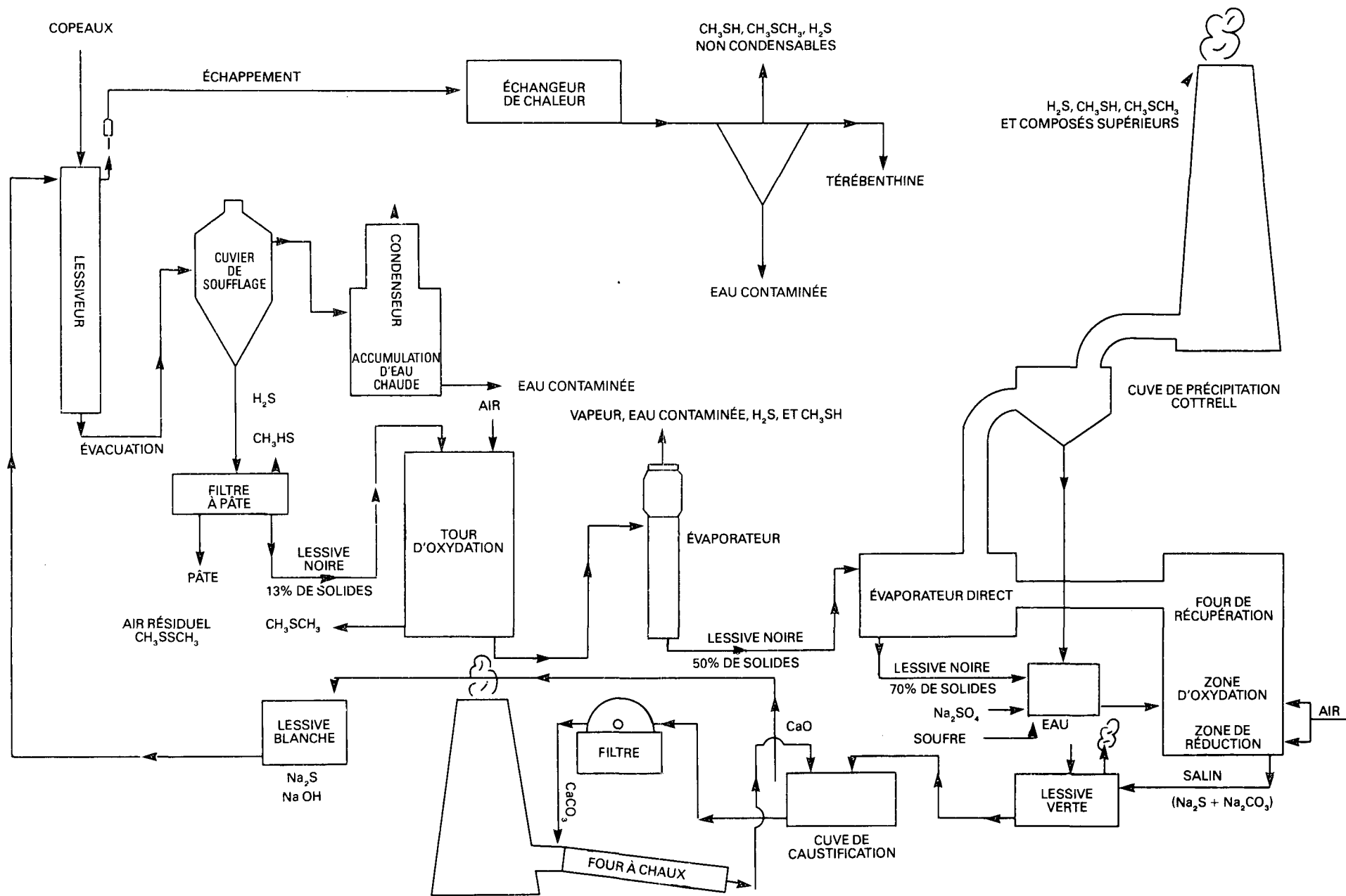


Figure 4-25. Diagramme du procédé de fabrication de pâte kraft montrant les principales émissions à différents points.

En même temps qu'on expérimentait l'oxydation de la lessive noire, les fournisseurs nord-américains de chaudières de récupération, Combustion Engineering et Babcock and Wilcox, ont proposé deux nouvelles méthodes pour limiter les odeurs.

c) *Le système A.C.E. de Combustion Engineering.* On peut voir une illustration de ce système à la figure 4-26. Il nécessite l'utilisation d'un évaporateur spécialement conçu, qui fonctionne au contact de l'air, et empêche les gaz d'échappement d'un four chaud d'entrer directement en contact avec la lessive noire dans les évaporateurs en cascade. Dans ce système, les gaz du four chaud servent à chauffer l'air frais qui entre. L'air frais chauffé est alors mis en contact avec la lessive noire pour provoquer une évaporation et obtenir l'augmentation désirée des solides de la lessive noire avant de les brûler dans le four. On utilise alors ce même air frais humidifié pour la combustion dans le four.

d) *Le système B. & W. sans contact direct.* Dans ce système, qu'on peut voir à la figure 4-27, la lessive, comportant 55 p. 100 de solides, qui provient des évaporateurs à effets multiples, voit sa teneur en solides augmenter de 10 p. 100 au moment où elle passe à travers un autre évaporateur épaisseur avant la combustion. Pour tirer parti de la chaleur des gaz d'échappement et obtenir un fonctionnement efficace du four, on utilise un économiseur considérablement agrandi pour chauffer préalablement l'eau d'alimentation du four. Une partie de cette eau d'alimentation chauffée circule dans un réchauffeur d'air pour chauffer l'air de combustion du four.

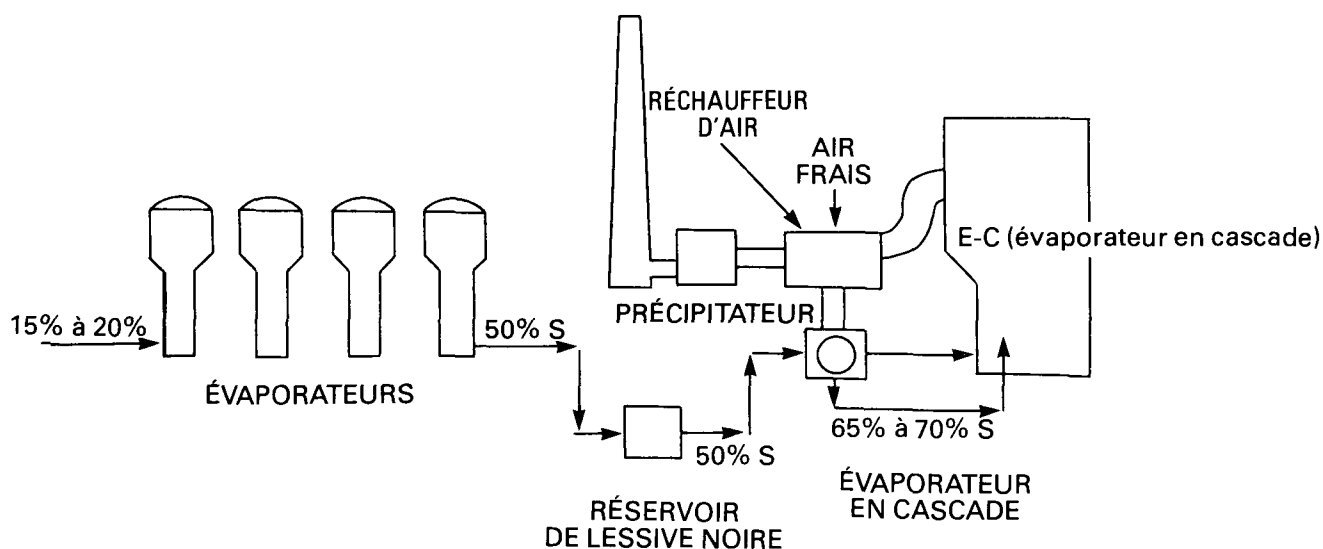


Figure 4-26. Système Ace de C.E.

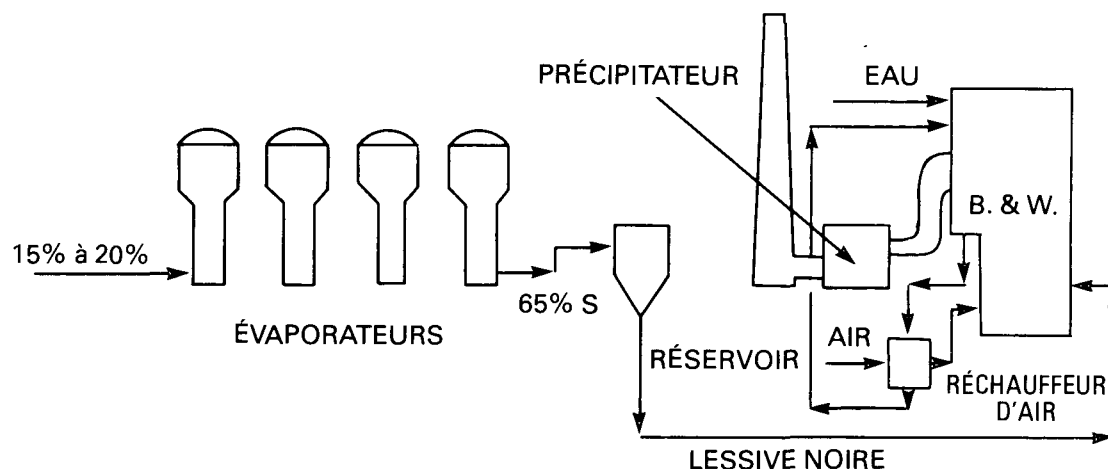


Figure 4-27. Système B. & W. sans contact direct.

Les systèmes C.E. et B. & W. abaissent les émissions réductibles totales de soufre à un point légèrement inférieur à celui des méthodes faisant appel à l'oxydation de la lessive noire, mais leurs niveaux d'émission de  $\text{SO}_2$  sont substantiellement plus élevés. Cela est dû au fait que le  $\text{SO}_2$  formé dans les réactions du four n'est plus élevé au contact de la lessive noire alcaline dans les évaporateurs par contact direct. Des problèmes de fonctionnement nuisent aussi à ces nouveaux systèmes. Le réchauffeur d'air C.E. à écoulement laminaire et l'économiseur agrandi voient leur dimension prendre de l'importance dans la mesure où la cendre volante du four augmente, et c'est pourquoi il faut utiliser des souffleurs de suie spéciaux. L'évaporateur épaisseur pour une teneur élevée en solides des souffleurs dans le système B. & W. voit aussi son flux de transfert de chaleur réduit par l'augmentation rapide des dépôts, ce qui nécessite des décrassages fréquents.

Les principales sources d'émission de particules sont le four de récupération, le four à chaux et les chaudières. De ces trois sources, c'est au four de récupération qu'il faut accorder la plus grande attention. La matière en particules du four consiste surtout en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Les deux méthodes fondamentales de lutte utilisées sont celle du précipitateur électrostatique et celle des laveurs à venturi. Le précipitateur électrostatique est de loin la méthode la plus efficace et c'est un collecteur de particules très répandu. Les systèmes à laveurs à venturi consomment beaucoup d'énergie et posent le problème de la réutilisation de la lessive d'épuration. On exige d'une usine moderne une efficacité de 99 p. 100 en ce qui concerne l'élimination des particules.

Pour ce qui est des gaz d'échappement du four à chaux, on utilise diverses sortes d'épurateurs à eau. Ils fournissent un rendement de récupération de 99 p. 100 des particules et de 90 p. 100 de la vapeur de soude.

On peut munir les *chaudières*, qui fonctionnent avec des déchets de bois écrasé, d'un collecteur efficace des poussières ou des cendres, de type cyclone, pour séparer la cendre volante des gaz d'échappement.

On peut voir, au tableau 4-4, l'ordre de grandeur des niveaux possibles d'émissions d'une usine de kraft dotée de *systèmes de lutte contre la pollution* touchant les différentes opérations. La figure 4-28 illustre des systèmes représentatifs de lutte contre les émissions. On trouvera au tableau 4-5 des estimations approximatives du coût, en prenant l'année 1969 comme base, de la lutte contre les émissions, selon les différentes sources.

**TABLEAU 4-4**

*Émissions moyennes dans l'atmosphère d'une usine de pâte kraft munie de systèmes de lutte contre les émissions.*

Département	Vol. Total, pieds cubes standard par tonne	Vapeur d'eau, livres par tonne	Particules, livres par tonne	Soufre, livres par tonne
Lessiveur				
• discontinu	—	—	—	—
• en continu	—	—	—	—
Piles laveuses	—	—	—	—
Atelier de blanchiment	80 000	220	—	—
Oxydation de la lessive noire	35 000	700	—	0,3
Évaporateurs	—	—	—	—
Four de récupération	330 000	4 300	3,5	1,0
Cuvier à dissolution	30 000	700	0,5	0,1
Four à chaux	45 000	1 350	1	0,2
Chaudière (déchets de bois écrasé)	300 000	3 000	5	0,01
Machine à papier	400 000	1 600	—	—

#### 4.4 CLASSAGE ET ÉPURATION DE LA PÂTE

Le classage et l'épuration de la pâte ont pour but d'éliminer les impuretés et les corps étrangers comme les bûchettes, les noeuds, le gravier, l'écorce, le sable, les copeaux non cuits, etc. Pour accomplir ce travail, on effectue habituellement (a) *un dégrossissage* (ou triage de bûchettes), (b) *un tamisage* et (c) *une épuration centrifuge*. La plupart du temps, le dégrossissage est suivi d'un lavage, d'un épaississage, d'un essorage, puis d'un tamisage. On enlève les particules fines, comme les impuretés, le gravier et d'autres matières indésirables à l'aide d'épurateurs centrifuges.

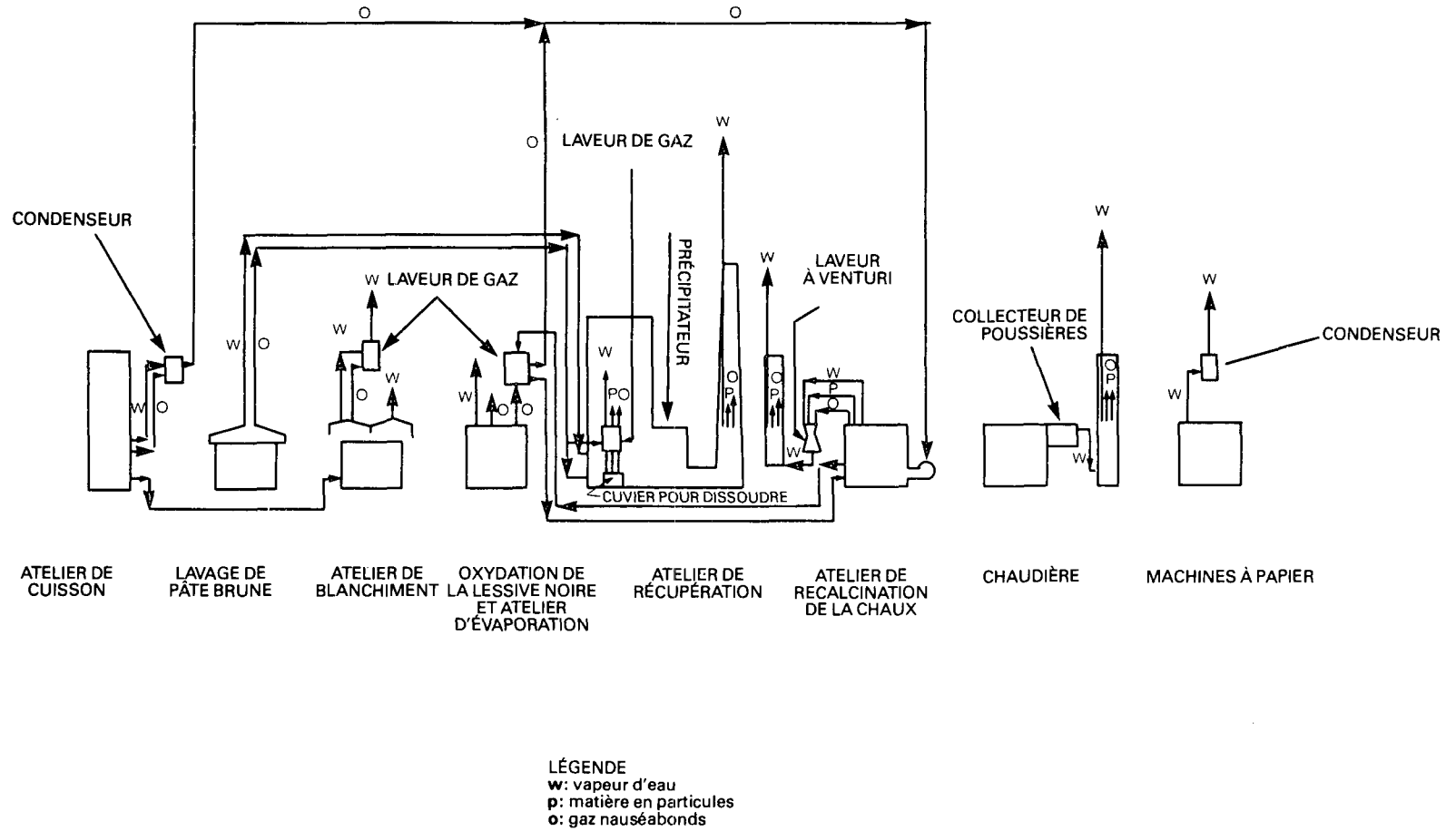


Figure 4-28. Émissions contrôlées dans l'atmosphère d'une fabrique de pâtes et papiers kraft.

**TABLEAU 4-5**  
*Estimations des frais de premier établissement de systèmes de lutte contre les émissions dans l'atmosphère.*

Département	Oxydation de la lessive noire et évaporation par contact direct	Sans oxydation de la lessive noire et sans évaporation par contact direct des gaz d'échappement
Lessiveur	\$ 180 000	\$ 180 000
Piles laveuses	80 000	80 000
Atelier de blanchiment	20 000	20 000
Évaporateur	300 000	200 000
Four à chaux et caustification	60 000	60 000
Chaudière	60 000	60 000
Chaudière de récupération	500 000	1 000 000
<b>TOTAL</b>	<b>\$1 200 000</b>	<b>\$1 600 000</b>

#### 4.4.1 Dégrossissage

On utilise le dégrossissage pour enlever les objets volumineux comme les noeuds, les bûchettes et les morceaux non broyés. Les dégrossisseurs ont habituellement des perforations de ¼ à ½ pouce de diamètre; ils sont soit vibrants, soit mécaniques, soit rotatifs, soit centrifuges.

*Dans la fabrication de pâte mécanique, les dégrossisseurs les plus répandus sont les tamis racleurs inclinés, les tamis vibrants et les tamis rotatifs.*

*Dans la fabrication de pâte chimique, le dégrossisseur vibrant est le trieur de noeuds et d'éclats classique, mais on utilise de plus en plus des tamis rotatifs centrifuges étanches (trieurs de noeuds à pression) dans les nouvelles installations.*

#### 4.4.2 Tamisage

On utilise le tamisage pour enlever les faisceaux de fibres et les particules qui sont entre 4 et 20 fois plus gros que la moyenne. (Le dégrossissage enlève des débris qui sont approximativement 90 fois plus gros.) Comme le classage n'est pas complet après un seul tamisage, on en effectue un deuxième, un troisième et même un quatrième. Le tamis vibrant qu'on utilisait auparavant à cette fin a pratiquement été remplacé par le tamis rotatif centrifuge gravitaire, plus compact, à écoulement libre. On a déjà présenté, à la figure 4-8, le diagramme d'un système de classage mécanique caractéristique, lors de l'exposé sur la fabrication de pâte mécanique. On a vu qu'il s'agissait d'un système fermé et que le débit des déchets du système provenait surtout des refus du filtre tertiaire.

On trouvera à la figure 4-29 le diagramme d'un système classique de classage de la pâte chimique. Comme dans le cas du système pour la pâte mécanique, les principaux déchets proviennent des filtres tertiaires, en supposant qu'on peut réutiliser le filtrat des épaisseurs comme eau de dilution dans diverses parties du système.

Lors d'une étude récente des usines de kraft, effectuée par le Comité de la section technique sur la fabrication de pâte alcaline (C.P.P.A.), on a signalé des rejets de fibres de 2 à 10 livres par tonne de production séchée au four pour diverses usines de kraft. Pour une usine qui produit 600 tonnes par jour, cela signifie un rejet de 1 à 3 tonnes par jour. Le bilan hydrique du classage et de l'épuration de la pâte brune se lit comme suit:

Utilisation d'eau fraîche	800 à 5500 gallons américains par tonne séchée au four
Utilisation de l'eau blanche du blanchiment	300 à 2000 gallons américains par tonne séchée au four
Utilisation d'eau blanche écru	3500 à 25 000 gallons américains par tonne séchée au four
Eau usée	200 à 3800 gallons américains par tonne séchée au four

#### 4.4.3 Épuration

L'épuration centrifuge est l'appareil qu'on utilise le plus souvent en épuration de la pâte pour enlever l'écorce, le sable, le gravier et d'autres petites particules (voir la figure 4-30). La séparation s'effectue par suite d'une différence dans la densité des débris et celle de la pâte acceptable.

La pâte diluée est déversée en un mouvement tangentiel dans le séparateur conique, ce qui la fait tourner rapidement et provoque un mouvement vers le bas dans le cône. Les particules ayant une petite surface et les débris à forte densité se dirigent vers les flancs du cône, descendent et convergent vers l'orifice d'évacuation. Le tourbillon ascendant créé au centre du cône porte la pâte claire et propre. On effectue habituellement un deuxième et un troisième tamisage pour séparer de nouveau les rejets des étapes de séparation précédentes. Plusieurs usines font suivre le dégrossissage de l'épuration, tandis que d'autres effectuent d'abord un tamisage.

#### 4.5 ÉPAISSISSEMENT

Après le classage et l'épuration de la pâte, on l'épaissit habituellement pour la faire passer d'une concentration de 1 p. 100 environ à une concentration en fibres variant entre 3 p. 100 et 14 p. 100, selon l'usage et les exigences d'entreposage. On économise ainsi sur la capacité d'emménagement et on minimise l'influence des arrêts à diverses étapes du système. Si un mélange continu de la pâte dans le réservoir est souhaitable, la concentration en fibres ne devrait pas dépasser 4 p. 100. Lorsque ce n'est pas le mélange, mais plutôt

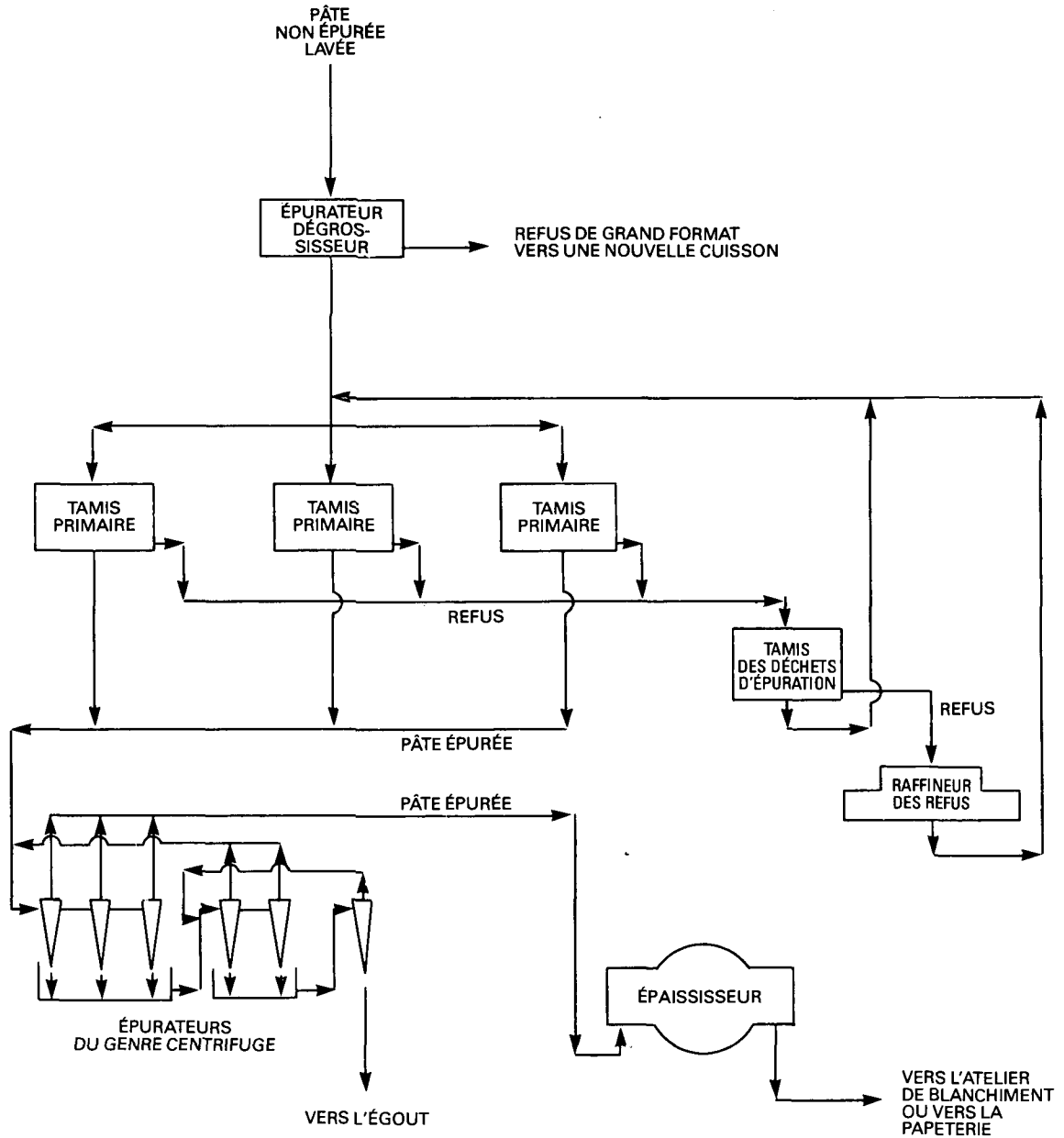
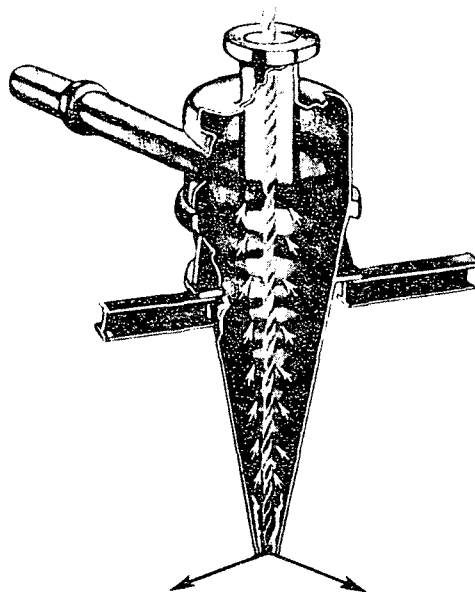


Figure 4-29. Système classique de classage et d'épuration de la pâte chimique.



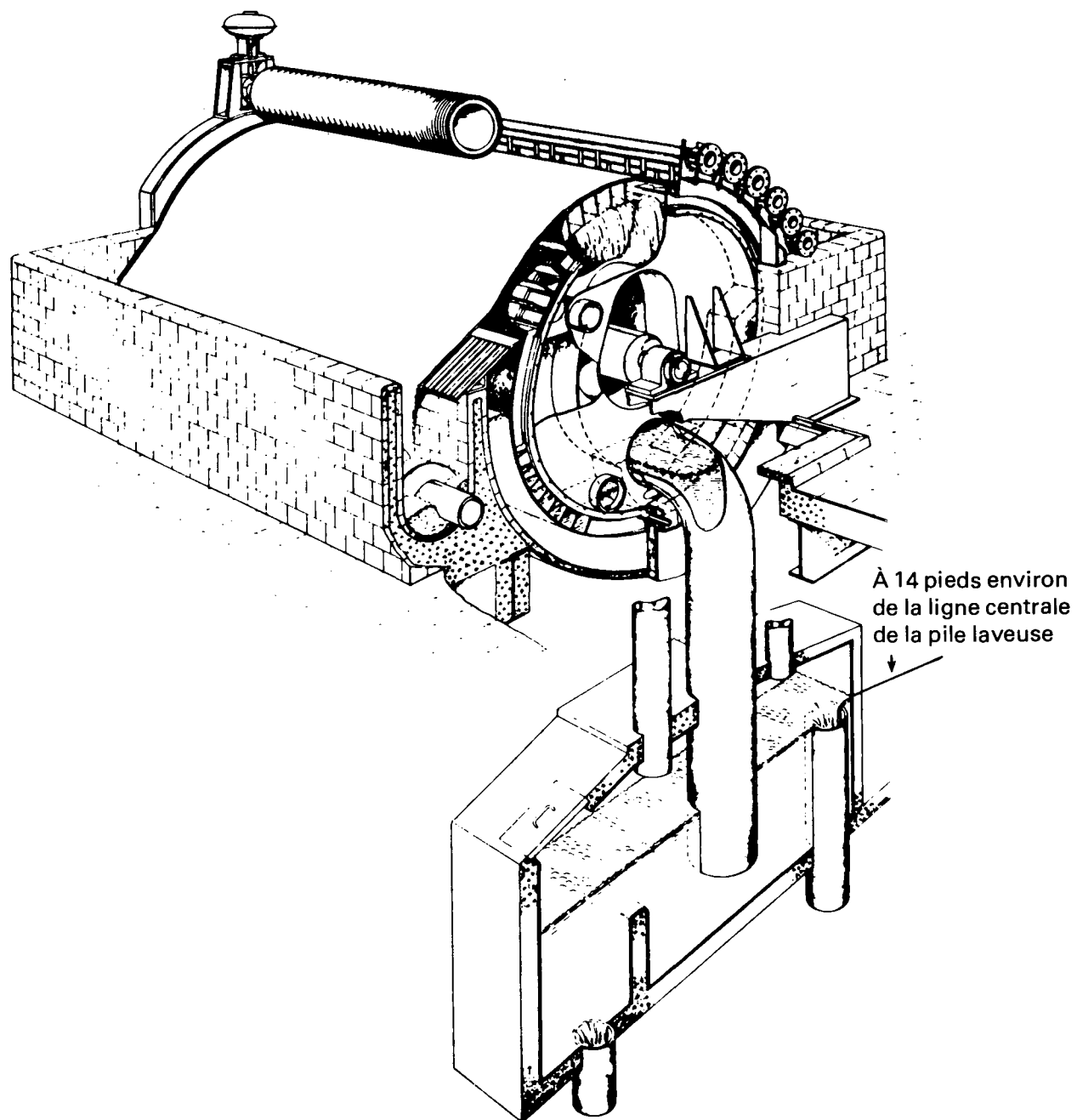


*Figure 4-30. Épurateur centrifuge classique.* (Black Clawson-Kennedy Ltd.)

le stockage maximal qui s'impose, la concentration en fibres peut alors osciller entre 12 p. 100 et 14 p. 100. L'eau qui reste après l'épaississement est habituellement réutilisée pour le lavage, le classage, dans la salle de préparation du bois, etc. ou est acheminée vers l'égout. Les épaisseurs utilisés sont soit les *épaisseurs par gravité*, soit les *filtres sous vide*. On peut effectuer ces travaux d'épaississement après le lavage de la pâte, après le tamisage, tout autant qu'avant ou après le blanchiment.

a) *L'épaississeur, ou épaisseur par gravité*, épaissit la pâte pour lui faire atteindre une concentration en fibres qui se situe entre 4 p. 100 et 8 p. 100. Il consiste essentiellement en une cuve pour la pâte diluée et en un cylindre recouvert d'une toile métallique pour épaissir la pâte. On maintient la pâte dans la cuve à plusieurs pouces sous le sommet du cylindre pendant qu'on garde un bas niveau d'eau dans le cylindre pour augmenter l'écoulement par gravité vers le fond, ce qui influe sur l'écoulement de l'eau dans le cylindre et, de là, provoque l'accumulation d'un matelas de fibre de pâte à sa surface.

b) *Le filtre sous vide* utilisé pour l'épaississement est le même que celui qu'on a décrit auparavant pour le lavage de la pâte. On peut atteindre des concentrations en fibres de 15 p. 100 à 25 p. 100. Les avantages qu'ont les filtres à vide sur les épaisseurs proviennent du fait qu'ils ont besoin d'une moins grande superficie, qu'ils provoquent une perte



*Figure 4-31. Filtre à tambour sous vide classique.*

moins grande de fibres et qu'ils ont besoin de moins d'entretien. On trouvera à la figure 4-31 l'illustration d'un groupe de type classique. Dans l'étude dont il a plus tôt été question, effectuée par le Comité de la section technique sur la fabrication de pâte alcaline (C.P.P.A.), on signale aussi que certaines usines de kraft envoient à l'égout entre 800 et 1400 gallons américains de filtrat d'épaississeur par tonne de pâte séchée au four.

#### 4.6 **BLANCHIMENT**

Les pâtes produites soit par des méthodes mécaniques, soit par des méthodes chimiques, ont une couleur qui peut varier du brun foncé au blanc crémeux selon la sorte de bois et la méthode de défibrage utilisées. Même si la plus grande partie de la pâte produite est utilisée sous sa forme foncée (pour les boîtes de carton, les sacs, le papier journal, les papiers d'emballage, etc.), on en blanchit une partie de plus en plus grande pour produire du papier blanc pour un grand nombre d'applications. *Le blanchiment consiste donc à enlever ou à altérer les substances d'absorption de la lumière présentes dans la pâte écrue.*

Les principales substances d'absorption de la lumière qu'on trouve dans la pâte de bois proviennent de la lignine, de la résine, des ions métalliques et des constituants qui ne comportent pas d'hydrates de carbone du bois original. (La cellulose et les hémicelluloses n'apportent pas de couleur, car elles sont intrinsèquement blanches.) Les dérivés de la lignine sont les principaux constituants colorés de la pâte. On pense généralement que pendant la fabrication de la pâte chimique, les complexes d'absorption de la lumière se forment à partir des groupes phénoliques du polymère de lignine et donnent naissance à la couleur foncée de la pâte. Pendant le processus de fabrication de la pâte mécanique, il y a plusieurs facteurs complexes qui contribuent à la perte de blancheur pendant le défibrage ou le raffinage.

Dans le passé, le blanchiment était surtout réservé aux pâtes chimiques, mais au cours des dernières années, les pâtes mécaniques à haut rendement ont aussi été blanchies pour satisfaire aux normes plus exigeantes.

##### 4.6.1 **Mesure de la blancheur**

Lorsqu'une surface peut réfléchir pleinement et de façon diffuse toutes les couleurs et dans la même proportion qu'elles se présentent dans la lumière solaire, on dit du réflecteur qu'il est blanc pur (comme un bloc d'oxyde de magnésium). L'absorption d'une ou de plusieurs longueurs d'onde produira des changements de couleur observables. L'évaluation et la comparaison de la blancheur exigent la définition d'un système de mesure, une norme de référence et des instruments d'essai convenables.

a) On a décidé, de façon arbitraire, dans l'industrie que la blancheur normale signifiait la réflectance observée sur un échantillon qui reçoit une longueur d'onde lumineuse de 457 microns et qui est placé devant une couche opaque de la même facture.

b) Dès l'origine, on a choisi la réflectance de la région bleue du spectre (457 microns) comme blancheur parce que, de toutes les mesures à valeur simple de blancheur possible du produit final, c'est la réflectance du bleu qui est la plus sensible et la plus adéquate.

Les deux principaux photomètres de réflectance en usage actuellement sont (a) le mesureur de blancheur General Electric et (b) le photomètre photoélectrique de réflectance Elrepho, fabriqué par Carl Zeiss. En raison de sa géométrie optique, l'Elrepho est beaucoup moins dépendant de la surface de la feuille que l'appareil fabriqué par General Electric et ne nécessite donc pas une stricte adhésion aux méthodes de fabrication de la feuille.

En ce qui concerne la méthode d'évaluation de la blancheur (Norme E. 1 1972), la section technique sur les normes de la C.P.P.A. recommande un appareil ayant la géométrie du compteur Elrepho.

#### **4.6.2 Blanchiment de la pâte mécanique**

Les exigences de blancheur des applications de la pâte mécanique ne sont pas aussi rigoureuses que celles des pâtes chimiques: cette blancheur varie généralement de 65 à 75 G.E. La blancheur de la pâte mécanique écrue varie habituellement entre 50 et 65 G.E., selon l'essence de bois utilisée. L'épinette et le sapin baumier sont les meilleures essences, avec une blancheur de 58 à 65 G.E.; le pin gris vient ensuite avec une blancheur de 55 à 59 G.E.; celle de la pruche de l'Ouest est de l'ordre de 51 à 56 G.E.

En blanchissant la pâte mécanique, on cherche surtout à décolorer la pâte sans solubiliser la lignine. Cela se fait habituellement à l'aide soit de réducteurs, soit d'oxydants. Les deux augmentent la blancheur dans la même mesure, même si la réversion de la blancheur provenant du blanchiment par réduction est plus forte que celle due au blanchiment par oxydation. On trouvera illustré au tableau 4.6 les augmentations de blancheur attendues de différents agents de blanchiment. Les hydrosulfites sont les agents de blanchiment qu'on utilise le plus souvent.

Les peroxydes sont excellents chaque fois qu'il faut une grande blancheur, mais ils sont plus dispendieux que les hydrosulfites. Le procédé à deux étapes utilisant le peroxyde et l'hydrosulfite a le plus grand pouvoir de blanchiment, mais il est coûteux.

#### **4.6.3 Élimination des déchets**

Les pertes de production dues au blanchiment de la pâte mécanique atteignent vraisemblablement 1 p. 100 à 4 p. 100, selon les conditions et les produits chimiques utilisés. La matière dissoute se présente surtout sous forme de matière organique et d'additions à la charge de demande biochimique de l'usine en oxygène. L'utilisation d'hydrosulfite de zinc pour le blanchiment a aussi été interdite par certaines autorités préoccupées d'écologie, car le zinc est un métal lourd qui a tendance à s'accumuler dans les poissons.

**TABLEAU 4.6**  
*Méthodes de blanchiment des pâtes mécaniques.*

Méthodes de blanchiment	Méthodes d'application habituelles	Augmentation de la blancheur, en unités G.E.
<i>Réducteur</i>		
Bisulfite de sodium	Appliqué aux défibreurs ou aux copeaux avant le raffinage	1-4
Hydrosulfite de sodium ou Hydrosulfite de zinc	Ajouté à la pâte avant qu'elle entre dans la tour ou dans le cuvier d'emmagasinage	8-1
Borohydrure de sodium	N'est pas utilisé dans le commerce	8
SO <sub>2</sub> -Borol	Ajouté petit à petit à la pâte avant qu'elle entre dans le cuvier d'emmagasinage	11
<i>Oxydant</i>		
Hypochlorite de calcium ou Hypochlorite de sodium	Limité aux feuillus, ajouté avant le cuvier d'emmagasinage	10-12
Peroxyde d'hydrogène ou Peroxyde de sodium	Habituellement dans le procédé de la tour, quelquefois dans le presse-pâte	10-14
Acide peracétique	N'est pas utilisé dans le commerce	10 ?
Peroxyde et hydrosulfite combinés	Procédé de la tour	12-18

#### 4.6.4 Blanchiment de la pâte chimique

Le blanchiment des pâtes chimiques est souvent considéré comme un prolongement de la délignification qui a commencé à l'étape du lessivage. La blancheur initiale d'une pâte au sulfate non blanchie atteint 45 environ, tandis que celle de la pâte au bisulfite non blanchie atteint 60 environ. Il est donc plus difficile de donner une blancheur particulière à la pâte au sulfate qu'à la pâte au bisulfite. On parvient à donner un degré de blancheur très élevé (90+) aux pâtes au bisulfite en leur faisant franchir les trois étapes de blanchiment que sont la chloruration, l'extraction par caustification et l'attaque par l'hypochlorite, alors que le traitement de la pâte au sulfate nécessite cinq étapes de blanchiment.

Ce blanchiment aux étapes multiples comprend habituellement:

a) *Une chloruration (C)*, par laquelle l'addition de  $\text{Cl}_2$  à la pâte rend soluble la plus grande partie de la lignine résiduelle grâce à des réactions de substitution et d'addition. La pâte chlorée est alors lavée et épaissie avant la prochaine étape, celle de l'épuration alcaline. *Grâce au lavage, on enlève un tiers environ des produits de chlorolignine.* Ce filtrat de pile laveuse possède une teneur élevée en D.B.O. et des quantités considérables de composés colorés de chlorolignine. On envoie ordinairement ce filtrat à l'égout.

b) *Une épuration alcaline (E)*. Cette étape implique l'addition de soude caustique ( $\text{NaOH}$ ) à la pâte pour enlever les produits de réaction résiduels qui se sont incomplètement solubilisés au cours de la phase acide et aqueuse, mais qui se sont rapidement dissous dans un milieu alcalin. Le traitement alcalin de la pâte permet aussi d'enlever des matières résineuses, les pentoses, et autres hydrates de carbone au poids moléculaire peu élevé. Les traitements alcalins modérés n'influent pas sur les qualités de la pâte pour la fabrication du papier. On utilise l'épuration alcaline après chaque étape intermédiaire de blanchiment oxydant, et elle est suivie de l'épaississement et du lavage de la pâte. Le filtrat de la première épuration contient beaucoup d'éléments dissous qui contribuent à donner de la couleur, et il s'agit de l'effluent le plus toxique d'un système de blanchiment de kraft. Ordinairement, on envoie à l'égout le filtrat de lavage de la première épuration.

c) *D'autres étapes d'un blanchiment oxydant.* Il faut au moins une étape de blanchiment oxydant après la chloruration et l'épuration pour obtenir une pâte suffisamment blanche pour être commercialisable. L'hypochlorite de sodium (H) et le bioxyde de chlore (D) sont les produits chimiques qu'on utilise le plus souvent pour le blanchiment oxydant. Après les étapes C (chloruration) et E (épuration), les pâtes au bisulfite ont une blancheur de 70 (G.E.) environ, et on peut augmenter facilement cette blancheur à 90 (G.E.) à l'aide d'une autre étape oxydante. Avec des pâtes kraft, le niveau de blancheur de départ après les étapes C et E atteint 30 (G.E.) environ; il faut donc 3 étapes additionnelles ou plus pour atteindre une blancheur de 90 (G.E.). Une série CEHEH sur de la pâte kraft donnerait une blancheur de 85 (G.E.) environ. La découverte du bioxyde de chlore en 1946 a permis de donner aux pâtes kraft un niveau de blancheur de 90+ sans perte considérable. Deux des séries de blanchiment de kraft utilisées le plus couramment aujourd'hui sont les suivantes: CEDED et CEHDED.

On trouvera à la figure 4-32 le diagramme de fonctionnement d'un atelier de blanchiment de type classique à 5 étapes.

Le diagramme de fonctionnement illustre aussi les deux genres de recirculation de l'eau dans un atelier de blanchiment. Dans un atelier où il n'y a qu'une étape (*étape unique*), on peut réutiliser le filtrat de la caisse d'étanchéité d'une pile laveuse pour diluer et acheminer la pâte destinée à la même pile laveuse. Cela représente une quantité considérable de filtrat, mais puisqu'il y a un recyclage interne, la demande en eau à l'extérieur du système est minimale. L'autre méthode de recyclage implique le transfert du filtrat excédentaire des caisses d'étanchéité de la dernière pile laveuse aux premières étapes, ce qui maintient un écoulement à contre-courant du filtrat de la sortie de l'atelier (pâte blanchie) à

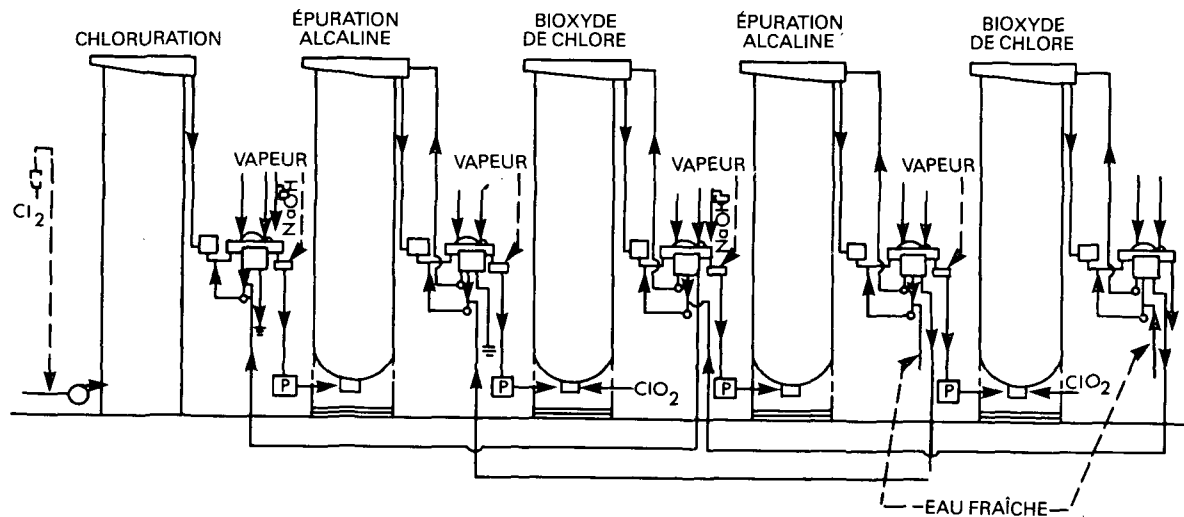


Figure 4-32. Diagramme de fonctionnement d'un atelier de blanchiment à cinq étapes: CEDED.

(Monographie 27 de la T.A.P.P.I.)

l'entrée de l'atelier (pâte non blanchie). L'utilisation d'eau fraîche ou d'eau blanche dans les rinceurs permet de s'assurer que la nappe d'eau qui entre dans chacune des étapes de blanchiment est relativement dépourvue de matière organique dissoute qui, autrement, consommerait les produits chimiques de blanchiment. Afin de conserver l'eau au maximum, comme le veut la technologie actuelle, seul le trop-plein de la chloruration et de la première étape d'extraction par caustification est envoyé à l'égout.

#### 4.6.5 Estimation des volumes de filtrats acheminés vers l'égout et des méthodes de réduction

En 1970, un relevé de l'eau des usines de kraft effectué par le Comité sur la fabrication de pâte alcaline de l'A.C.P.P. a révélé une importante variabilité dans les filtrats de différentes usines acheminés vers l'égout. Les variations approximatives des différents effluents sont les suivantes:

Eau blanche non blanchie	1000-4000 gal am./t
Filtrat de première chloruration	6500-18 000 gal am./t
Filtrat de la première extraction par caustification	2000-5000 gal am./t

Dans une étude plus récente, *Water Re-Use and Recycle in Bleacheries* (réutilisation et recyclage de l'eau dans les ateliers de blanchiment), effectuée par J. Histed (qu'on peut obtenir auprès du secrétariat de la R.C.R.D., au ministère de l'Environnement), il est dit que le volume d'effluent le moins élevé pour une usine CEDED était de 9000 gallons américains par tonne séchée au four, sans compter l'effluent de l'épaississeur de pâte écrue. Même si les effluents de nombreuses usines dépassent ce chiffre, il semble que les meilleurs ateliers de blanchiment en Amérique du Nord utilisent aujourd'hui un lavage complètement à contre-courant et ont des volumes d'effluents qui sont de l'ordre de 9000 à 15 000 gallons américains par tonne. On trouvera à la figure 4-33 une illustration de ce système. Les additions majeures d'eau fraîche ou blanche sont habituellement appliquées aux rinceurs du filtre de l'étape finale du blanchiment et aux premiers rinceurs de la pile laveuse (de chloruration), tandis qu'on ajoute de petites quantités aux vaporisations des étapes intermédiaires.

L'utilisation de l'effluent d'un atelier de blanchiment comme eau de dilution ou de lavage dans le système de récupération en constitue l'usage ultime. Toutefois, avant de pouvoir effectuer cette réutilisation, il faut réduire le volume d'effluent produit à moins de 5000 gallons américains par tonne pour que l'évaporation de ces effluents devienne économiquement possible. L'évaporation est nécessaire à la cristallisation du chlorure de sodium qui, autrement, s'accumulerait dans le système. Dans une étude rendue publique par J. Histed, lors de la conférence sur le blanchiment qui s'est tenue à Vancouver en juin 1973, on a présenté des preuves établies en laboratoire montrant qu'en utilisant une série DCEDED, il était possible d'obtenir un effluent d'atelier de blanchiment de 4500 gallons américains par tonne séchée au four. DC signifie que le bioxyde de chlore est le principal constituant chimique et que le chlore est le constituant mineur pour la chloruration.

#### **4.6.6 Effluents d'atelier de blanchiment**

Au cours des dernières années, les demandes de protection écologique ont stimulé un certain nombre de recherches considérables visant à déterminer la composition, la D.B.O., la D.C.O., la couleur et la toxicité des effluents d'ateliers de blanchiment. On a démontré que l'eau de fabrication la plus toxique était le filtrat de lavage de la première extraction par caustification, suivi du filtrat écreu de l'épaississeur, de l'effluent de la chloruration et des rejets combinés d'eau d'égout des usines. Selon les données d'une étude récente de sept usines de kraft pendant une période de quarante jours qu'on trouve dans le rapport de projet 10-1 (publié par le secrétariat de la R.C.R.P., Service canadien des forêts, ministère de l'Environnement), les effluents se classaient comme suit en ce qui concerne la toxicité et la D.B.O.<sub>5</sub>.

##### ***Toxicité***

Dans le cas d'une concentration à 100 p. 100 d'un effluent neutralisé (qui s'exprime en temps médian de survie):



	T.M.S. (minutes)
Filtrat de première extraction par caustification	136
Filtrat écru d'épaississeur	207
Effluent de chloruration	449
Rejets combinés d'eau d'égout des usines	728

Les valeurs du T.M.S. se rapportent au temps médian de survie de 50 p. 100 des saumons coho exposés à des concentrations s'élevant à 100 p. 100 des différents effluents. Toutes les mesures de toxicité ont été effectuées sur des échantillons soufflés à l'air, filtrés et neutralisés. La teneur en oxygène dissous des échantillons a été maintenue à saturation pour vérifier que la cause de la mort était bien due à la toxicité des éléments non volatils de l'effluent et non à une diminution d'oxygène.

	D.B.O. <sub>5</sub> (milligrammes par litre)
Filtrat écru d'épaississeur	227
Filtrat de première extraction par caustification	235
Rejets combinés d'eau d'égout des usines	195
Effluent de chloruration	155

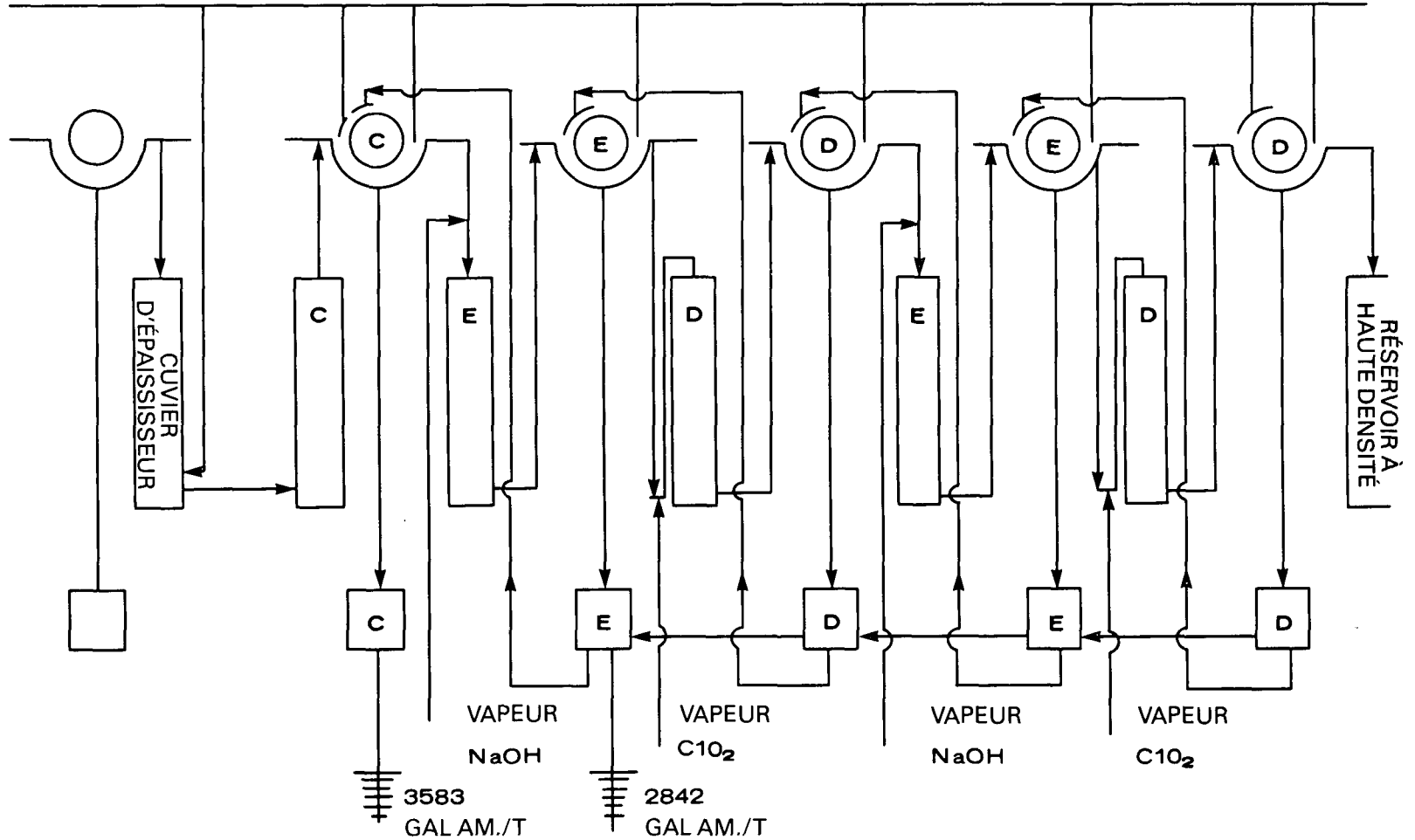
Tout en évaluant la toxicité et la D.B.O.<sub>5</sub> des différents effluents, l'étude a montré de plus qu'il y avait non seulement des différences considérables entre les usines échantillonnées, mais aussi des différences à l'intérieur des usines prises une à une. Elle a aussi montré que la connaissance de la D.B.O.<sub>5</sub> ne permet pas de prévoir la toxicité préalable d'un échantillon.

Les charges de D.B.O. variaient de 23 536 à 74 275 D.B.O.<sub>5</sub> par jour, ce qui correspond à une production variant entre 35,1 et 93,1 livres de D.B.O.<sub>5</sub> par tonne séchée à l'air.

#### **4.6.7 Recherche actuelle sur la réduction et l'élimination des effluents d'ateliers de blanchiment**

On trouvera ci-dessous un aperçu des secteurs de recherche et de développement les plus nouveaux.

EAU FROIDE, TIÈDE, OU CHAUDE, EAU BLANCHE DE MACHINE À PÂTE OU À PAPIER



EFFLUENT TOTAL: 11 425 GALLONS AMÉRICAINS PAR TONNE SÉCHÉE AU FOUR

Figure 4-33. Système complet de lavage à contre-courant.

#### 4.6.7.1 *L'usine de kraft dépourvue d'effluent*

M. W. H. Rapson, de l'université de Toronto, a présenté un projet d'usine de kraft dont l'eau serait totalement recyclée. Il souligne le fait que l'évacuation des effluents d'ateliers de blanchiment de kraft constitue un des problèmes d'élimination des déchets des plus difficiles. Sa solution pour le traitement des effluents chlorés et alcalins consiste à les introduire dans un système de récupération chimique de kraft légèrement modifié. Ces modifications consistent en l'introduction d'évaporateurs additionnels pour cristalliser les quantités substantielles de NaCl qui se sont formées et en l'utilisation d'un système de lessivage pour purifier le NaCl afin de pouvoir le réutiliser. En employant le procédé R4 de fabrication du  $\text{ClO}_2$ , on produirait les deux principaux produits chimiques de blanchiment que sont le  $\text{Cl}_2$  et le  $\text{ClO}_2$  à partir du NaCl, du chlorate de sodium et de l'acide sulfurique. Le sous-produit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  qui serait formé servirait aussi au moment de la formation du sulfate de sodium brut pour l'usine de pâte. Grâce au recyclage de sulfate de sodium brut, l'usine serait presque complètement fermée au point de vue chimique. On trouvera à la figure 4-34 une illustration de la méthode proposée de récupération du sulfate de sodium brut.

En recherchant ce recyclage du NaCl, Rapson touche aussi au concept du recyclage de l'eau. La principale source d'eau recyclée est celle qui est produite par les évaporateurs. On trouvera à la figure 4-35 un schéma simplifié du projet. Rapson et ses collègues ont publié des chiffres qui donnent à penser que le procédé serait rentable. Les principales économies proviennent de l'élimination des installations d'épuration des effluents primaire et secondaire, de la capacité réduite de la chaudière et des besoins moindres d'épuration de l'eau.

#### 4.6.7.2 *Blanchiment à l'oxygène*

Cette innovation implique l'élimination de la première des deux étapes classiques de blanchiment, soit la chloruration et l'extraction par caustification. Elle consiste à traiter la pâte avec de l'oxygène sous pression et dans un milieu alcalin. Du point de vue écologique, on a signalé que la D.C.O., la D.B.O. et la couleur avaient été considérablement réduites. En comparant la série OCEDED avec la série CEHDED, on a obtenu les réductions suivantes:

- a) la D.B.O.<sub>5</sub> a été réduite de 50 p. 100,
- b) la D.C.O. a été réduite de 40 p. 100,
- c) la couleur a été réduite de 60 p. 100.

#### 4.6.7.3 *Le procédé «papripleach»*

Ce procédé est fondé sur l'application de réactifs gazeux ( $\text{NH}_3$ ) à des pâtes chimiques ayant une forte consistance (de 20 p. 100 à 40 p. 100), à l'état floconneux. Les séries de «papripleach» CgEDgEDg donnent des pâtes blanchies qui se comparent ou sont supérieures à celles obtenues au moyen de la série classique CEDED. Les travaux en laboratoire ont montré qu'une série Cg.NH<sub>3</sub>.Dg.NH<sub>3</sub>.Dg pourrait réduire le coût des produits chimiques et de la vapeur de \$3 à \$5 par tonne, si on la compare à la série classique CEDED. Les propriétés mécaniques des pâtes produites égalent ou surpassent celles des méthodes classiques de blanchiment.

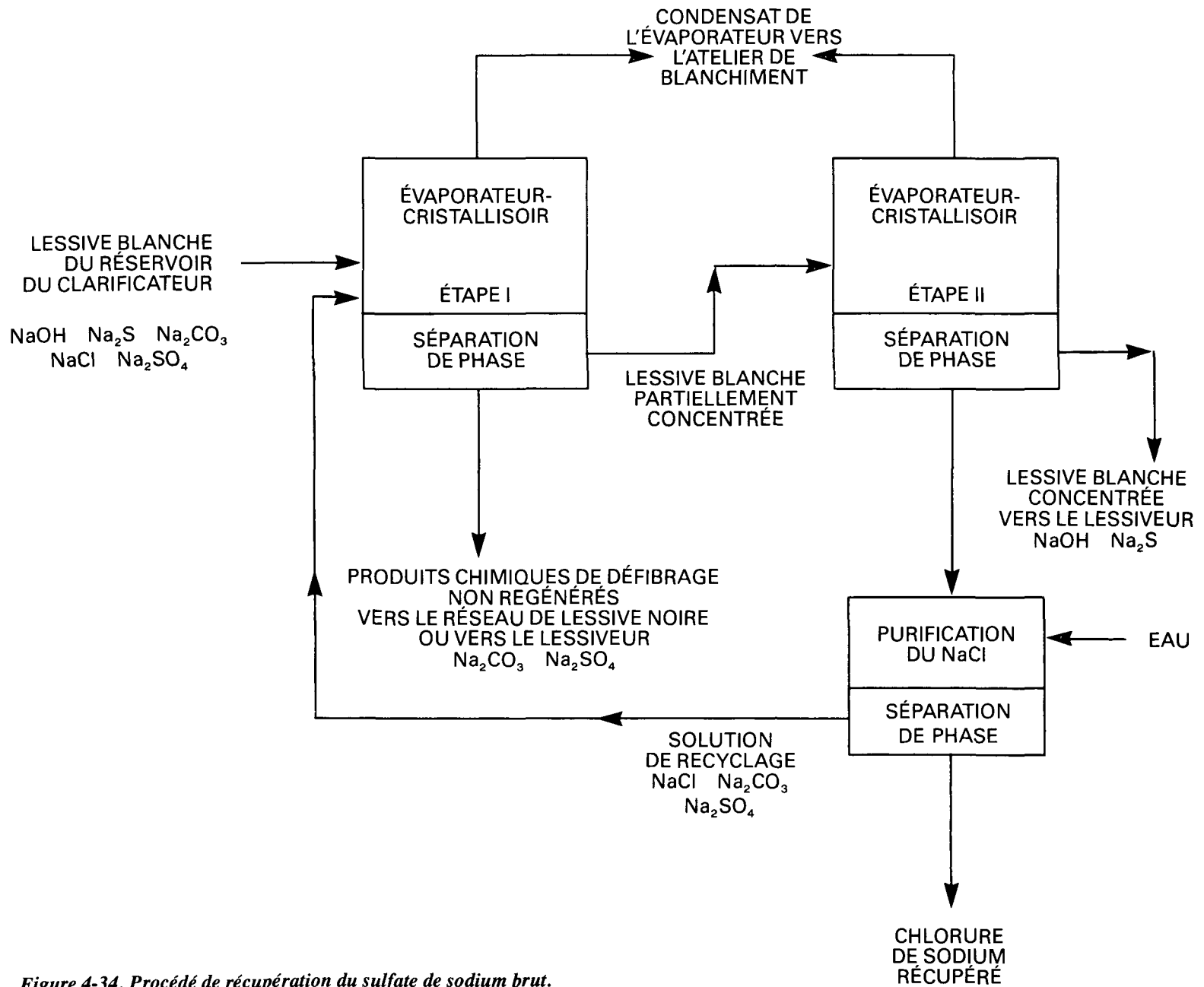


Figure 4-34. Procédé de récupération du sulfate de sodium brut.

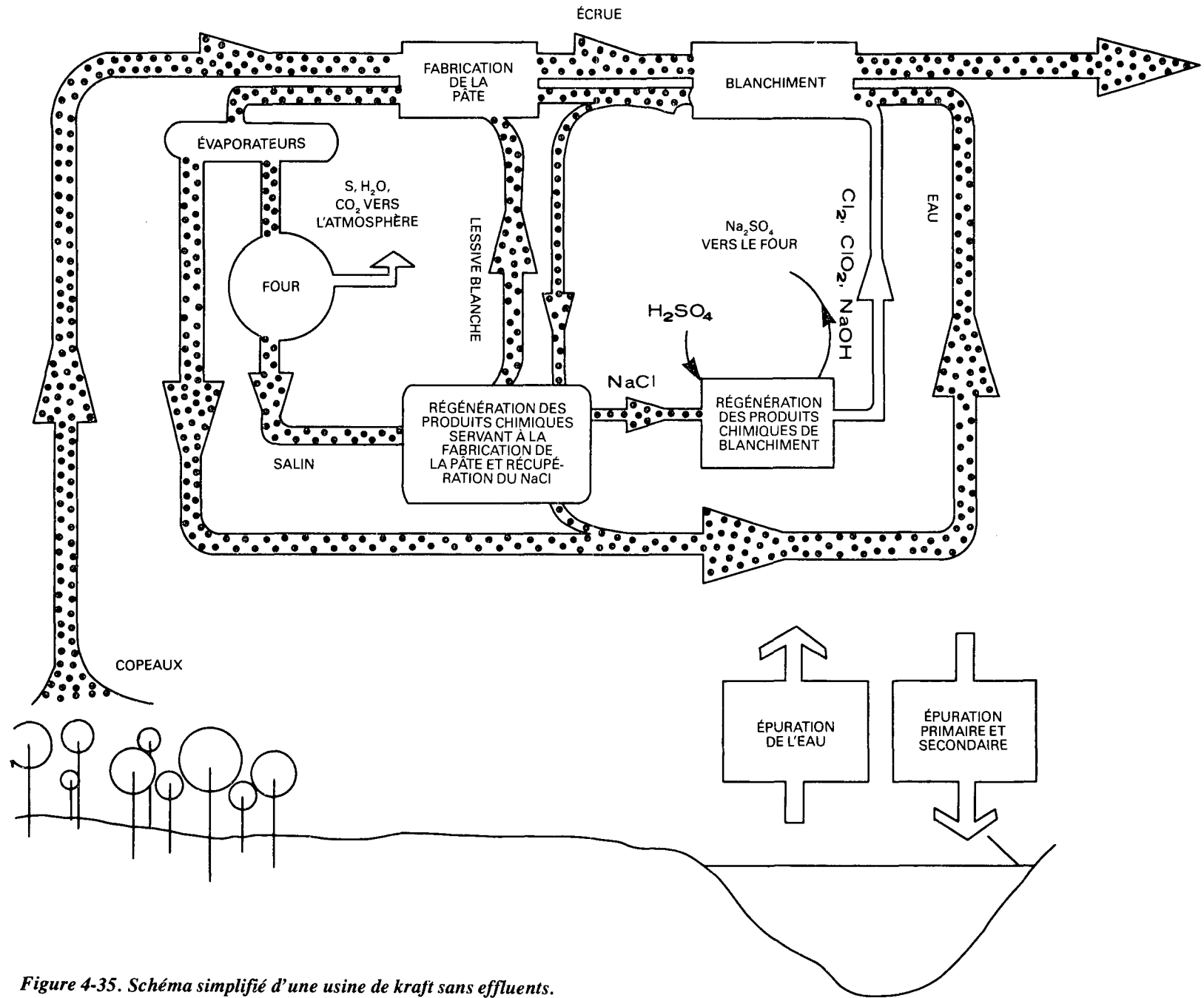


Figure 4-35. Schéma simplifié d'une usine de kraft sans effluents.

#### 4.7 PRÉPARATION DE LA PÂTE

Ce terme englobe les opérations suivantes de fabrication du papier: (a) la retri-  
turation et le mélange de différentes pâtes, (b) l'addition de divers produits chimiques et  
charges, et (c) le traitement mécanique pour que les fibres puissent former une feuille de  
papier. Les fonctions accessoires comprennent aussi le contrôle de la densité, le dosage, le  
raffinage, le mélange du cuvier de machine et le classage.

Le mélange de composition ou de pâte qui entre dans une machine à papier  
varie considérablement selon la qualité du papier qu'on fabrique. Par exemple, le *papier*  
*journal* est habituellement constitué d'un mélange de 75 p. 100 à 80 p. 100 de pâte méca-  
nique et de 20 p. 100 à 25 p. 100 de pâte chimique et ne contient pas, ordinairement, d'additif  
chimique. D'un autre côté, le *papier bond* peut être constitué à 100 p. 100 de pâte au bisulfite  
ou d'un mélange de pâte au bisulfite et de chiffons, ou de pâte au bisulfite et de kraft; il  
contient habituellement entre 4 p. 100 et 10 p. 100 de charge et une application de collage  
d'amidon en surface. Le nombre de genres différents de papier est si grand, et ces papiers  
sont si différents dans leur fabrication qu'il est impossible de les décrire tous. Pour démon-  
trer la grande variété des classes de papier et de cartons manufacturés, en voici une courte  
liste:

Qualités d'imprimerie	Qualités industrielles
Billets de banque	Papier à sac, à doubler, papier d'emballage
Bible	Papier pour carbones
Buvard, filtre	Papier à cigarettes, à condensateurs
Bond, registre	Papier et carton pour le bâtiment
Livre	Papier d'emballage pour aliments
Carton mince	Papier gommé, papier à étiquettes
Couverture, papier à dessin	Papier isolant
Papier d'ordinateur	Carton
Papier à polycopie	Papiers hygiéniques
Papier tenture	
Papier journal, à catalogues	
Papier offset	
Papier photographique	
Papier à lettres, papier pour enveloppes	

On trouvera à la figure 4-36 un système moderne de préparation de la pâte du  
genre continu.

On ajoute d'abord les proportions exactes des différentes pâtes formant la  
composition à une trémie de mélange, puis dans un cuvier de mélange. On ajoute aussi les  
colorants, la colle, la charge, l'alun, etc., et on les mélange parfaitement. La composition est

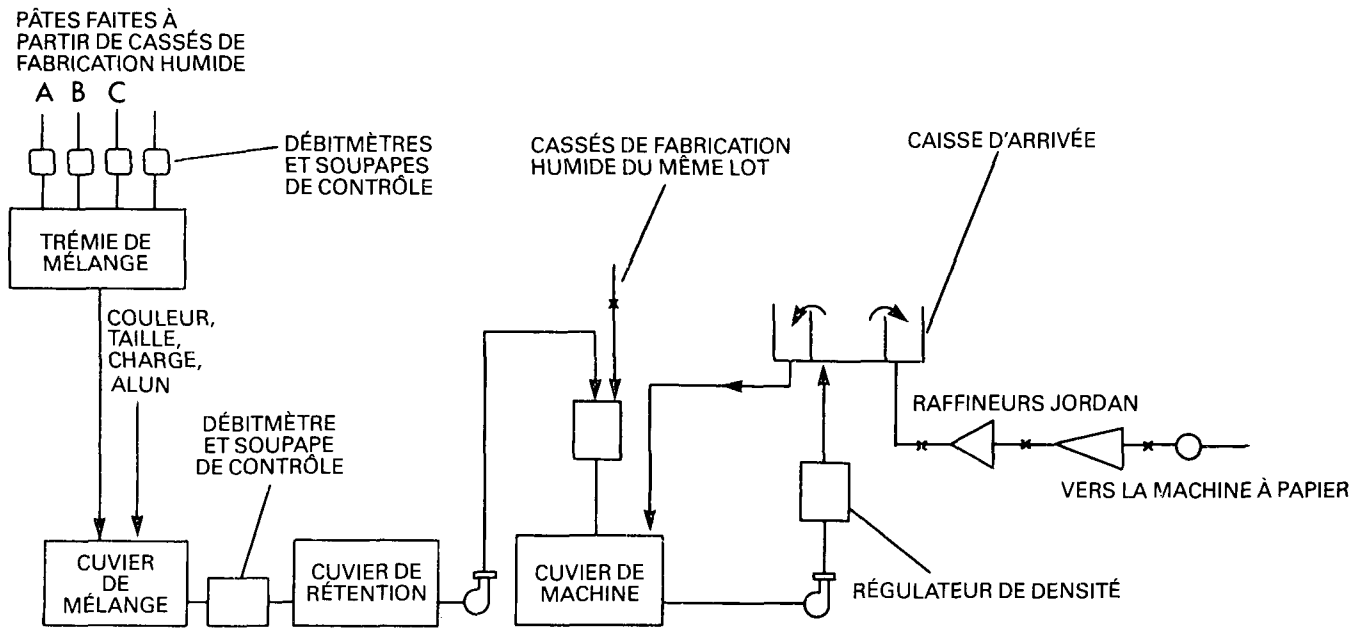


Figure 4-36. Système en continu de préparation de la pâte.

alors pompée jusqu'à un cuvier de machine. La densité du cuvier de machine est soigneusement contrôlée à l'aide de régulateurs automatiques de densité. La pâte est alors pompée dans une caisse d'arrivée où une partie déborde et revient au cuvier de machine tandis que l'autre partie est dirigée vers la machine à papier. Chaque fois qu'une fibrillation mécanique des fibres de pâte est nécessaire, on l'effectue habituellement avant que la pâte n'atteigne la machine à papier à l'aide d'appareils comme le raffineur à disques, le raffineur conique Jordan, ou d'autres appareils du même genre.

La fibrillation mécanique ou le raffinage des fibres de pâte constitue une partie vitale du processus de fabrication du papier. Elle consiste en l'utilisation d'appareils mécaniques qui agissent sur les fibres, leur donnant une superficie accrue, une plus grande flexibilité et des surfaces fibrilleuses. Un tel procédé augmente substantiellement la résistance du papier tout en le rendant plus uniforme, plus opaque et moins poreux.

L'instrument traditionnel utilisé pour le traitement mécanique des fibres de pâte est la pile raffineuse hollandaise qu'on peut voir à la figure 4-37.

Elle consiste en une cuve ovale et en un cylindre de pile muni d'une base ou de lames de métal et d'une platine fixe. Le fonctionnement implique l'addition d'eau et des pâtes appropriées qui sont parfaitement mélangées par le mouvement rotatif du cylindre de pile dans la cuve. Une fois le mélange fini, on ajoute les différents produits chimiques et les charges. On fait alors descendre le cylindre de pile vers la platine et on l'ajuste à la pression requise. À mesure que la pâte circule, les fibres passent entre les lames du cylindre et la platine, où elles sont traitées mécaniquement. La mesure de la coupe et de la fibrillation des fibres dépend de plusieurs variables comme la finesse des lames, la pression du cylindre, la densité, la durée du raffinage, etc. Lorsque la composition a subi un traitement adéquat et qu'elle a atteint les propriétés requises, on arrête le raffinage, et la pâte est déversée dans un cuvier de stockage.

Les instruments utilisés pour le traitement mécanique des fibres de pâte, dont la mise au point est plus récente, comprennent le raffineur conique Jordan, le raffineur conique, et le raffineur à disques, qu'on peut voir aux figures 4-38, 4-39 et 4-40. Ces instruments fonctionnent en continu et on les utilise juste avant que la pâte atteigne la machine à papier. On peut les utiliser seuls ou en combinaison les uns avec les autres, et avec de la pâte raffinée, selon les propriétés du papier à produire. Comme ces raffineurs sont des instruments qui fonctionnent en continu, ils ont largement remplacé les anciens raffineurs.

Après le raffinage de la pâte, on la conserve habituellement dans un cuvier de machine avant de la pomper dans la machine à papier.

### **Additifs dans la préparation de la pâte**

Des *charges* sont habituellement incorporées dans la composition pour donner au papier une opacité, une blancheur et une douceur accrues. Ces matières sont habituellement des poudres fines comme de l'argile, du talc, de la diatomite, du gypse, du carbonate de calcium, du sulfate de calcium, du bioxyde de titane, du sulfate de baryum et du sulfure de zinc. On peut les ajouter sous forme de pâte liquide au moment du mélange ou dans le raffineur. Seule une partie de la charge ajoutée est retenue dans la feuille; le reste est remis



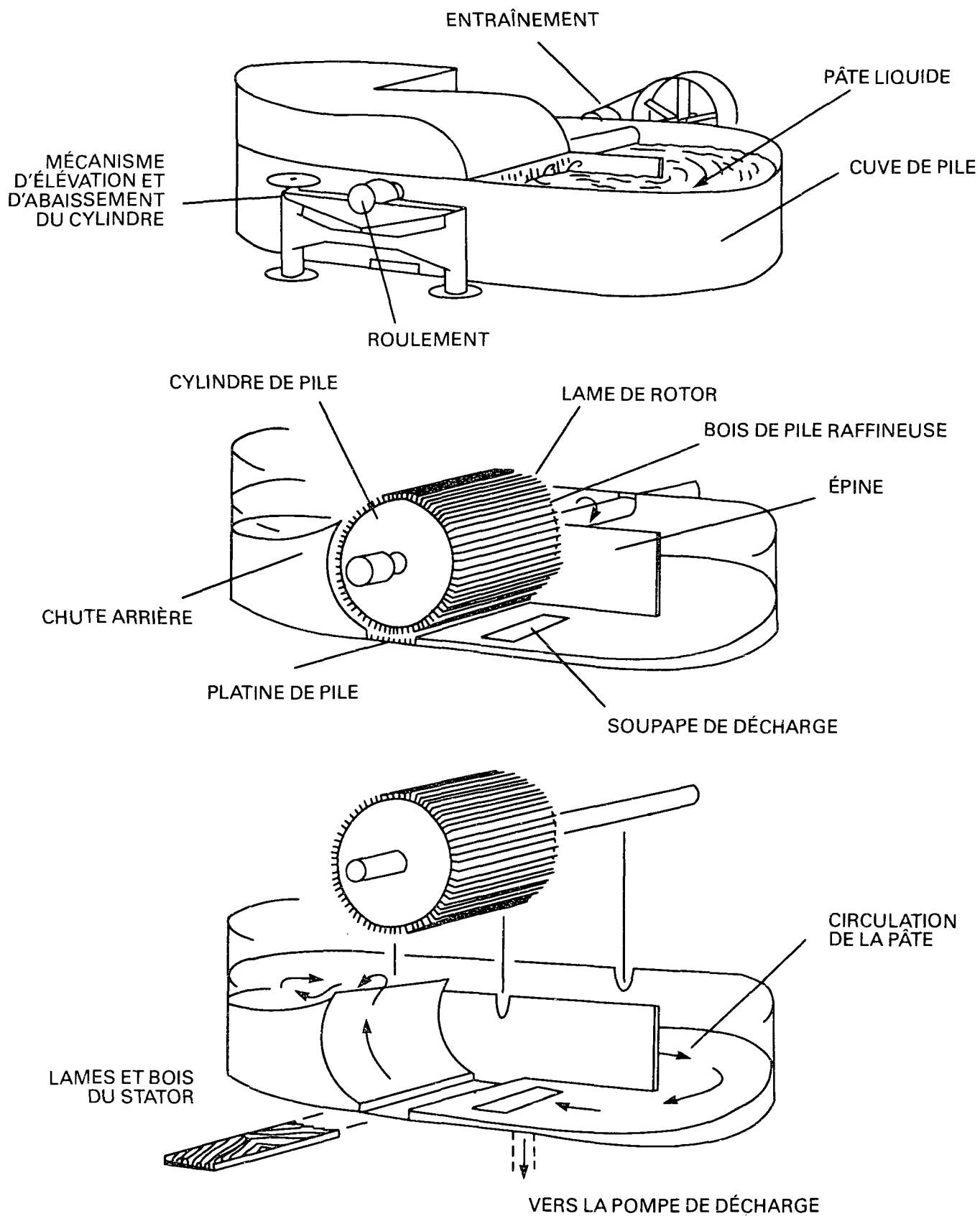
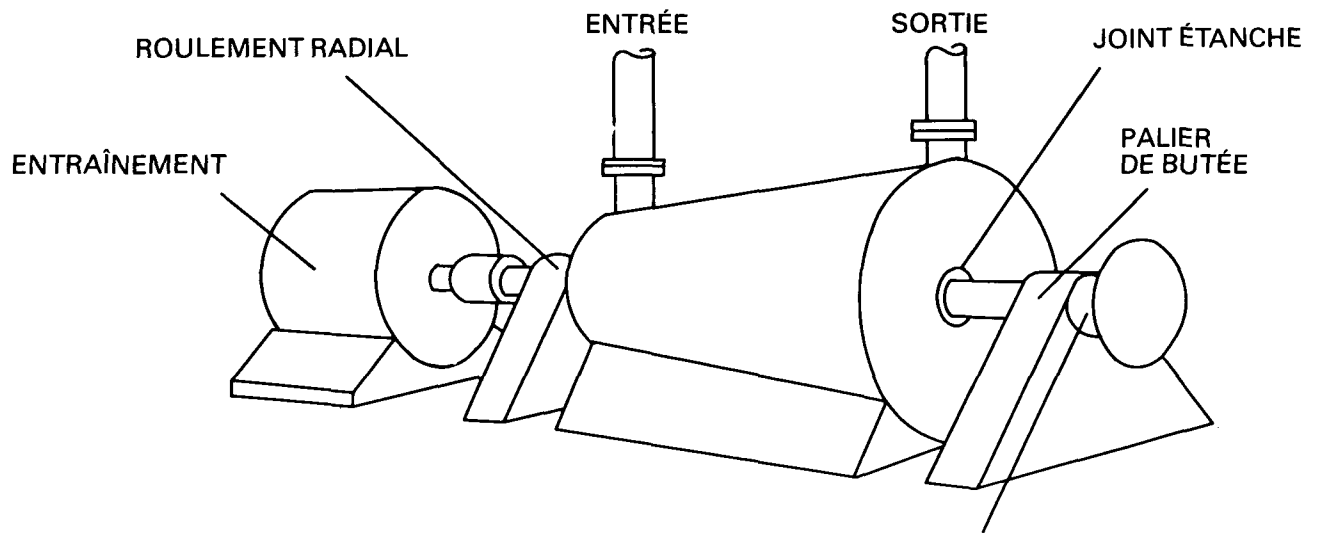


Figure 4-37. Pile raffineuse (représentation simplifiée).



MÉCANISME D'AJUSTEMENT DE LA POUSSÉE ET DE L'ÉCARTEMENT

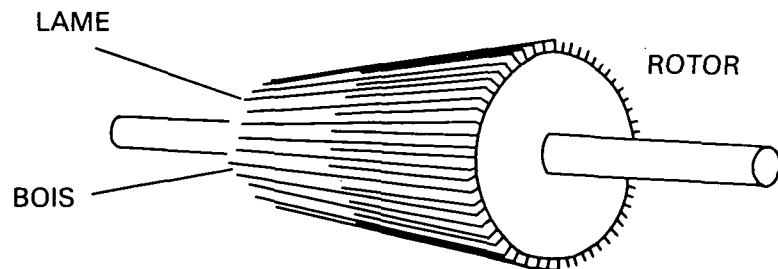
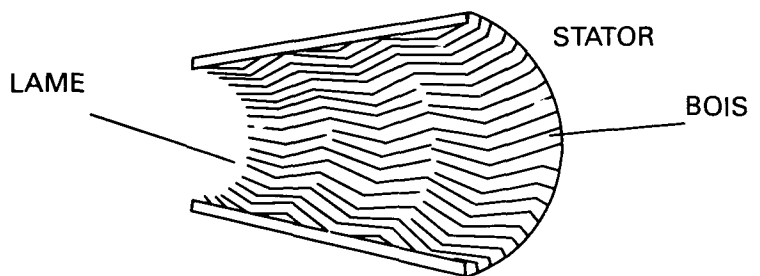
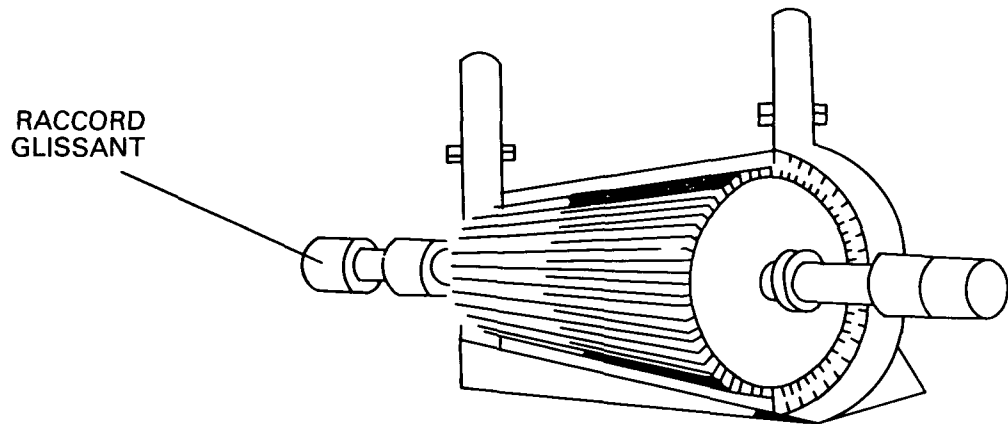


Figure 4-38. Raffineur conique Jordan (représentation simplifiée).

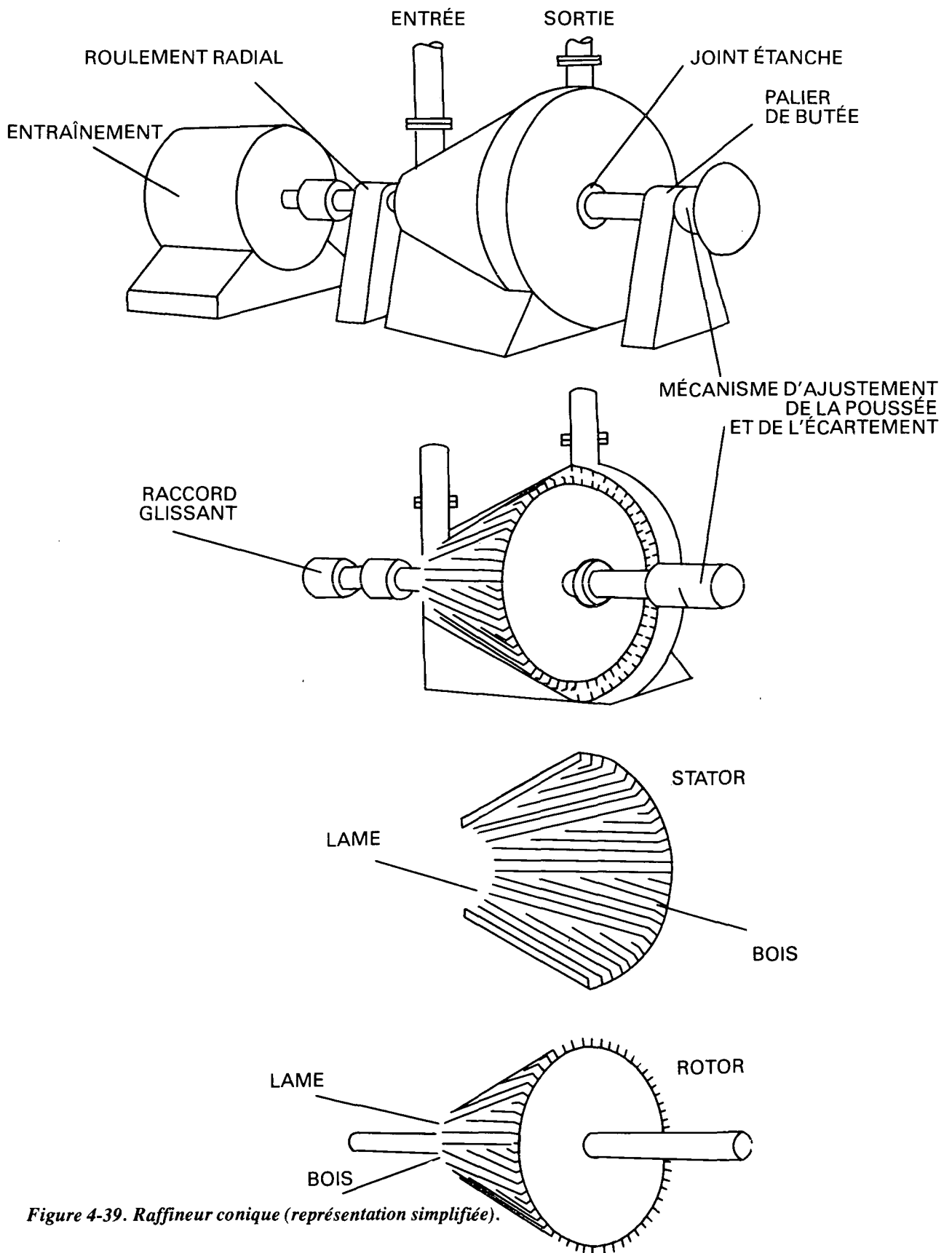


Figure 4-39. Raffineur conique (représentation simplifiée).

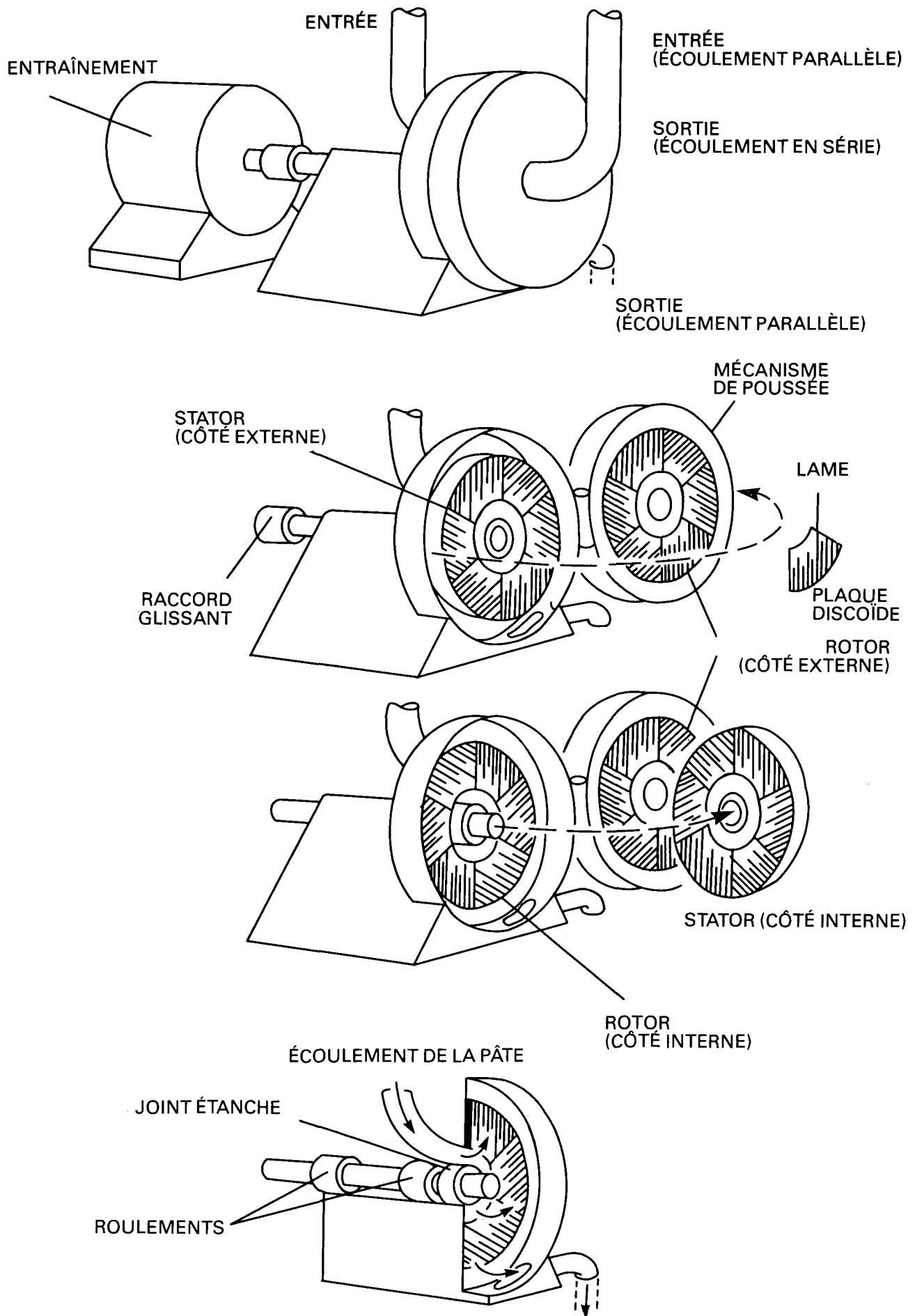


Figure 4-40. Raffineur à disques (représentation simplifiée).

en circulation dans le système d'eau blanche. La chute ou la mise à l'égout de cette eau blanche constituent un gaspillage de la charge et produisent un effluent dont la teneur en matières en suspension est élevée.

Le *collage* de la pâte est un autre traitement qu'on applique habituellement à la pâte et qui donne de la résistance au papier à l'état humide, une meilleure qualité d'impression et une résistance plus forte à l'arrachage. Les matières qu'on utilise pour ce traitement comprennent la colle de résine, des cires naturelles, des amidons, des colles, des résines synthétiques et des latex. On les ajoute habituellement à la pâte à l'étape du mélange ou du raffinage, et elles sont précipitées plus tard sur les fibres par une addition d'alum (ou d'aluminate de sodium) juste avant que la pâte atteigne la machine à papier. Il existe une autre méthode de collage qui consiste à faire passer la feuille partiellement séchée dans une solution de collage. C'est la méthode du collage en surface.

On ajoute souvent des colorants à la composition pour obtenir une feuille d'une couleur particulière. On ajoute ces colorants ou pigments dans la pile raffineuse ou à d'autres étapes qui précèdent celle de la machine à papier. Ils se divisent généralement en deux grands groupes: (a) les colorants synthétiques organiques et (b) les pigments synthétiques, naturels et inorganiques. Les colorants synthétiques organiques sont les plus communément appliqués, et ils sont habituellement classés en colorants du genre acide, basique, direct ou soufré.

#### 4.8 LA MACHINE À PAPIER

La machine à papier est le moyen mécanique utilisé pour convertir en papier la pâte en suspension. Les deux machines classiques utilisées sont: (a) la machine à table plate (appelée aussi fourdrinier) et (b) la machine à forme ronde. Elles comportent trois sections: une partie humide, une presse et un sécheur. La machine à papier fourdrinier est de loin l'appareil le plus utilisé aujourd'hui, et on l'a adaptée avec succès pour qu'elle puisse fabriquer une grande variété de papiers et de cartons minces. Les machines à forme ronde sont surtout utilisées pour fabriquer du papier lourd, du carton et du papier non uniforme. On trouvera à la figure 4-41 une illustration des éléments d'un fourdrinier moderne. On peut aussi voir le cheminement du papier dans la machine.

La pâte en suspension ayant une concentration en fibres d'environ 0,5 p. 100 (selon la qualité à respecter) entre dans la caisse d'arrivée, puis elle est poussée de force entre les lèvres de la règle qui s'ouvrent sur une toile mobile sans fin. La plus grande partie de l'eau coule à travers la toile par gravité et par succion, ainsi que par l'action des déflecteurs, des pontuseaux et des caisses aspirantes. L'eau blanche tirée du voisinage de la caisse d'arrivée, des déflecteurs et des pontuseaux est riche en fibres, en fines, en charges, etc. qui passent à travers la toile et sont recueillies séparément à partir de l'eau blanche moins dense retirée par les caisses aspirantes et le cylindre aspirant. Cette riche eau blanche tombe dans la fosse sous la toile, où elle est recyclée pour diluer la pâte épaisse qui provient du cuvier de la machine. D'un autre côté, les eaux blanches claires aboutissent dans un compartiment différent de la fosse appelé «fosse sous le cylindre aspirant». Cette eau est utilisée comme eau d'appoint ou eau de rinçage, tandis que tout excédent coule dans une fosse ramasse-pâte.

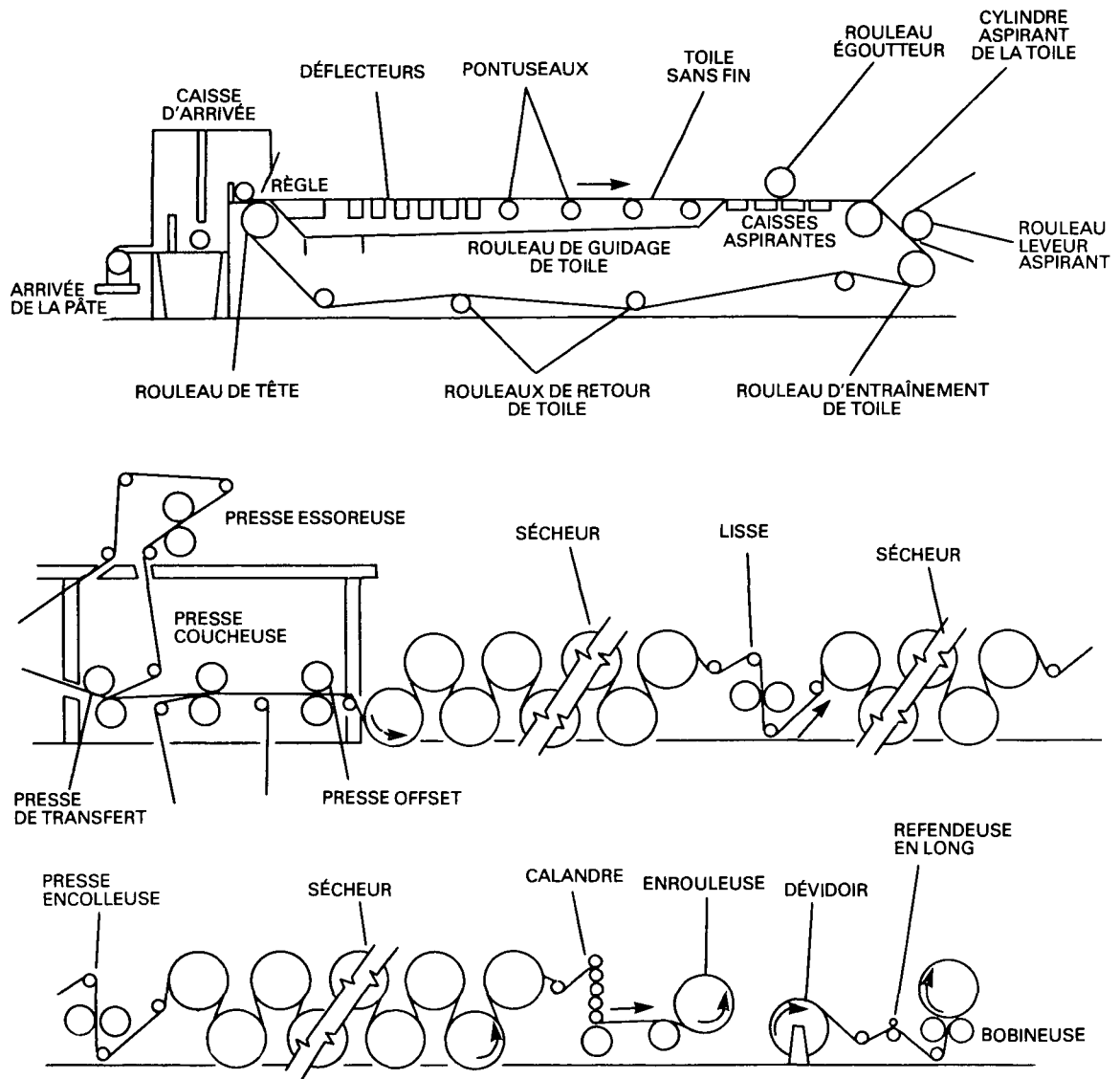


Figure 4-41. Schéma d'un fourdrinier.

Les ramasse-pâte sont essentiels pour la réutilisation de l'eau et pour la récupération de quantités substantielles de fibres, d'additifs, de pigments, etc. qui, autrement, s'ajouteraient aux charges polluantes. Dans un système convenablement conçu, on devrait pouvoir récupérer 95 p. 100 environ des fibres et des charges grâce au ramasse-pâte. Parmi les nombreux modèles de ramasse-pâte utilisés, le filtre à disques est le plus populaire en raison de son haut rendement et du peu d'espace qu'il occupe.

Après être passée par les caisses et le cylindre aspirants, la feuille a une concentration en fibres de 15 p. 100 à 20 p. 100 environ. Elle passe alors de la toile au feutre leveur ou feutre de presse humide au moyen d'un rouleau leveur aspirant et parvient à la partie de la presse où l'humidité est de nouveau abaissée. La feuille est par la suite transférée au feutre de la presse coucheuse où on enlève de nouveau de l'eau en pressant ensemble la feuille et la couverture en feutre dans la presse coucheuse. Certaines machines ont aussi une presse montante. La dernière presse pourrait être soit une presse droite comme la presse offset de la figure 4-41, soit une presse montante. La presse offset donne de la douceur à la feuille humide avant qu'elle parvienne à la sécherie, ce qui assure un bon contact avec les surfaces du cylindre sécheur. En quittant la section des presses, la feuille a atteint une concentration en fibres de 30 p. 100 à 40 p. 100. La sécherie consiste normalement en une série de rouleaux sécheurs à la vapeur sur lesquels le papier est acheminé par une toile de sécheur. Cette toile maintient aussi la feuille humide contre le cylindre pour assurer des conditions optimales de transfert de chaleur. Les sécheries des machines sont enfermées dans des hottes et des événements pour l'élimination de l'air chargé d'humidité au moment où le séchage a lieu. Les hottes des sécheurs n'apparaissent pas sur la figure 4-41. Certaines machines sont aussi munies d'une lisse située aux deux tiers environ du cheminement qui suit la section du sécheur principal. Elle a pour but de rendre compacte et d'adoucir la feuille qui a encore une teneur plutôt élevée en humidité. Sur la figure 4-41, après la principale section de séchage, on peut voir une presse encolleuse; c'est là qu'on ajoute à la surface du papier des solutions de collage, comme l'amidon, pour donner à la feuille des propriétés d'impression améliorées ainsi qu'une résistance à la pénétration des liquides. Avant d'entrer dans la presse encolleuse, la feuille est habituellement sèche (entre 3 p. 100 et 8 p. 100 de teneur en eau). Après le collage, une autre section de séchage est nécessaire pour enlever l'humidité absorbée au moment du collage. Ordinairement, le papier journal est exempt de colle. Pour la production de papier fin, on peut remplacer la presse encolleuse par une coucheuse sur machine selon la qualité de papier qu'on veut obtenir. La feuille séchée entre alors dans la lisse où elle est comprimée et où sa surface est adoucie avant le bobinage. Lorsqu'une bobine est pleine, on la transfère à une rebobineuse munie de couteaux circulaires qui coupent le papier en rouleaux dont le format convient à la demande du client.

La vitesse de fonctionnement des fourdriniers varie de 20 à 1500 pieds par minute pour la production de papier fin, et elle peut atteindre de 2500 à 3000 pieds par minute pour la production de papier journal.

Le couchage du papier constitue habituellement une opération indépendante parce que la coucheuse fonctionne beaucoup moins rapidement que les machines à papier. Aujourd'hui, la plupart des papiers couchés de qualité moyenne sont couchés sur la machine à papier. On utilise aussi des coucheuses hors machine, particulièrement lorsqu'il est nécessaire d'effectuer de lourds couchages ou lorsqu'il existe d'autres conditions qui ne permettent pas une application sur la machine à papier sans la ralentir.

Il arrive souvent qu'on produise un papier ne répondant pas à la qualité voulue pendant la mise en marche de la machine à papier, lorsqu'il se produit une panne ou lorsqu'on rencontre des difficultés au moment du transfert de la feuille. Le papier humide qu'on produit pendant ces périodes s'appelle «cassé de fabrication humide» et le papier sec s'appelle, dans ce cas, «cassé de fabrication sec». Les deux sont habituellement retriturerés dans une pile raffineuse de cassés et stockés pour une réutilisation ou pour un nouveau mélange avec la pâte, jouant à ce moment-là le rôle de charge.

**TOXICITÉ DES ADDITIFS CHIMIQUES.** Généralement, la concentration chimique des additifs dans un système de fabrication de pâte est suffisamment faible pour ne pas avoir d'effet toxique. Toutefois, il faut remarquer que lorsque la concentration est élevée, certains d'entre eux peuvent être très toxiques<sup>2</sup>.

#### **4.9 OPÉRATIONS DE FINITION ET DE TRANSFORMATION**

Par travaux de finition, on entend les travaux entrepris dans la salle de finition qui sont nécessaires pour préparer l'expédition du papier. Ils comprennent les opérations suivantes:

- a) le satinage dans certains cas spéciaux pour améliorer l'état de la surface du papier,
- b) la refente et le rebobinage secondaires pour produire des rouleaux selon les instructions du client,
- c) la coupe du papier en feuilles si tel doit être le produit fini, plutôt qu'en rouleaux,
- d) et le couchage hors machine.

La plupart de ces opérations de finition ne produisent que peu de déchets liquides, sauf dans le cas du couchage. Il est parfois nécessaire d'envoyer à l'égout l'excédent de couchage, les couchages de mauvaise qualité, et de nettoyer le système périodiquement.

---

<sup>2</sup> MM. R. G. Rosenberg et G. Ozborn. Étude présentée à la Conférence de la section technique de l'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, en septembre 1973, sur l'amélioration de l'air et des effluents liquides. On y trouve une indication sur la toxicité relative de certains additifs.



## Chapitre 5

### MÉTHODES DE RÉDUCTION DES DÉCHETS

#### 5.1 EFFLUENTS GÉNÉRAUX D'UNE USINE DE KRAFT

Pour discuter intelligemment de la réduction des déchets, il importe d'établir un certain niveau de référence permettant de noter facilement les améliorations. Dans un rapport récent de l'O.C.D.E. (février 1973), publié en anglais sous le titre *Advanced Pollution Abatement Technology in the Pulp and Paper Industry*, on utilise les effluents hypothétiques d'une usine classique de pâte kraft (500 tonnes par jour), représentant les anciennes techniques, pour établir des comparaisons avec les nouvelles techniques. Ces données apparaissent au tableau 5-1. Les effluents moyens, selon les anciennes techniques, étaient de 83 784 gallons par tonne. Au cours des dernières années, grâce à la mise en oeuvre des nouvelles techniques et à l'intérêt porté à la réutilisation de l'eau, le déversement d'un certain nombre d'usines est passé à entre 25 000 et 30 000 gallons par tonne, bien que l'utilisation type des ressources en eau par les usines atteigne environ 40 000 gallons par tonne de production, de nos jours. Si les efforts se poursuivent, on croit qu'il serait possible d'atteindre un niveau de déversement de 15 000 gallons par tonne. Le tableau 5-2 offre des données sur les effluents des usines qui utilisent les techniques les mieux connues de nos jours (ces données sont tirées de la bibliographie présentée à l'annexe 1, référence 4).

Si l'eau ne fait pas l'objet d'une réutilisation à grande échelle, il sera impossible d'obtenir pareille réduction. Les pressions écologiques et le coût élevé du nettoyage et de l'épuration d'importantes quantités d'eau sont les principaux facteurs qui encouragent une réutilisation maximale des ressources en eau. On réutilise l'eau dans la mesure où des conditions défavorables se manifestent dans le système, notamment les hausses de température, la croissance de dépôts et de champignons, l'augmentation des matières dissoutes, l'accélération de la corrosion et la contamination.

#### 5.2 RÉUTILISATION INTERNE DE L'EAU DE FABRICATION

Bien que chaque usine ait sa propre méthode de réutilisation de l'eau, les eaux de fabrication les plus fréquemment recueillies et réutilisées sont les suivantes:

- a) eaux utilisées pour la manutention du bois et les tambours écorceurs,
- b) condensats des évaporateurs et des échangeurs de chaleur,
- c) eaux de lavage provenant du système de classage et d'épuration de la pâte,
- d) filtrats des piles laveuses des ateliers de blanchiment,
- e) eaux blanches des machines à papier.

**TABLEAU 5-1**

*Effluents d'une usine classique de kraft (500 tonnes par jour) construite entre 1960 et 1965 (anciennes techniques).*

Étapes de fabrication	Effluent		Matières en suspension		D.B.O. <sub>5</sub>	
	gallons par jour	gallons par tonne	livres par jour	livres par tonne	livres par jour	livres par tonne
1. Écorçage	1 350 000	2 640	15 400	31	3 300	7
2. Cuisson et lavage	135 000	264	—	—	4 400	9
3. Classage et épuration	13 500 000	26 400	15 400	31	9 900	20
4. Blanchiment						
• Substances acides	7 920 000	15 800	2 640	6	11 000	22
• Substances alcalines	5 280 000	10 500	1 760	3	5 500	11
5. Fabrication de feuilles de pâte	528 000	1 050	1 100	2	—	—
6. Évaporation	923 000	1 850	77	0,2	15 300	30
7. Caustification	660 000	1 320	110	0,2	—	—
8. Chaudière de récupération	1 980 000	3 960	165	0,2	—	—
<b>TOTAL</b>	<b>32 376 000</b>	<b>83 784</b>	<b>36 652</b>	<b>73,6</b>	<b>48 400</b>	<b>99</b>

### 5.2.1 Eau utilisée pour la manutention du bois

Les canaux d'aménée des billes, les bassins chauffés, les plate-formes de dégivrage, les écorceuses hydrauliques et à tambour humides ainsi que l'écoulement de l'écorce constituent les principaux domaines de la préparation du bois qui exigent l'utilisation de l'eau. De nombreuses usines recyclent cet effluent après l'avoir épuré, en vue d'enlever les particules abrasives et d'effectuer un tamisage et une clarification en profondeur. Certaines usines ont également l'habitude d'utiliser les effluents chauffés des évaporateurs, des ateliers de blanchiment et des machines à papier en guise d'eau de rinçage, pour accroître l'efficacité de l'écorçage, particulièrement en ce qui concerne le bois gelé.

**TABLEAU 5-2**  
**Charges polluantes et quantités d'eaux usées dans une usine de kraft blanchi (nouvelles techniques).**

Étapes de fabrication	M.S.	M.D.	D.B.O.	Effluent
	livres par tonne	livres par tonne	livres par tonne	gallons par tonne
1. Préparation du bois	2	2	0,2	1 700
2. Fabrication de la pâte				
• Caustification	2	44	9	2 700
• Évaporateur éjecteur	0,3	10	9	400
• Lie verte	0,6	19,4	1	900
• Condensats	0,1	5	2	600
3. Classage de la pâte	Ne produit généralement pas de déchets			
4. Lavage, épaissement et épuration de la pâte	15	35	8	2 000
5. Blanchiment	2	123	8	11 500
6. Fabrication du papier	30	40	10	7 500
<b>TOTAL</b>	<b>52</b>	<b>280</b>	<b>47</b>	<b>27 300</b>
<b>OBJECTIF</b>	<b>11</b>	<b>28</b>	<b>11</b>	<b>15 000 à 25 000</b>

### 5.2.2 Condensats

Les condensats non contaminés des échangeurs de chaleur du lessiveur, du premier évaporateur à effets multiples et des autres appareils de transfert de la chaleur obtenue au cours du procédé de fabrication retournent à la chaudière pour servir à produire de la vapeur. Les *condensats contaminés* proviennent surtout des évaporateurs à effets multiples, des condenseurs de térébenthine et des condenseurs barométriques. Certaines usines réutilisent les condensats chauds des évaporateurs comme eau de rinçage pour les piles laveuses de la pâte brune; cependant, les effluents du condenseur de térébenthine sont généralement acheminés vers l'égout. Les effluents contaminés peuvent faire l'objet d'autres réutilisations dans les usines de kraft, notamment pour faire fonctionner la pile laveuse des lies, diluer la lessive verte, dissoudre la chaux et laver la boue de chaux.

### **5.2.3 Système de classage**

Le service du classage se prête fort bien à la réutilisation des eaux usées. L'eau des épaisseurs est fréquemment recyclée et utilisée comme eau de dilution, avant les opérations de classage et d'épuration qui doivent s'effectuer à de très faibles concentrations.

### **5.2.4 Effluents des ateliers de blanchiment**

Il faut des quantités importantes d'eau pour enlever la lignine résiduelle et laver la pâte au cours du blanchiment. Il est cependant possible de réduire la formation d'eau fraîche dans ce domaine. On doit, à cette fin:

- a) utiliser le filtrat des piles laveuses pour diluer la pâte qui quitte la tour de blanchiment précédente (lavage à contre-courant);
- b) utiliser le filtrat excédentaire des piles laveuses obtenu au cours du cycle précédent de lavage dans des caisses d'étanchéité;
- c) utiliser de l'eau blanche pour diluer la pâte préalablement blanchie;
- d) et utiliser des sources d'eau chaude propres comme eau de rinçage (condensats du lessiveur).

### **5.2.5 La machine à papier**

La machine à papier produit de grosses quantités d'eaux blanches qui sont d'assez bonne qualité pour pouvoir être réutilisées dans toute l'usine. Elle sert principalement à diluer la pâte fibreuse qui sort du cuvier de tête, dont la concentration en fibres est de 3 p. 100 à 4 p. 100, pour lui faire atteindre une consistance de l'ordre de 5 p. 100 dans la caisse d'arrivée. Autrefois, il était courant de recueillir tout l'excédent des eaux blanches, après avoir satisfait aux exigences de la dilution de la pâte fibreuse, et de le déposer dans un ramasse-pâte. Ce dernier récupérait les matières solides tandis que le filtrat était acheminé vers l'égout. De nos jours, les principes de gestion exigent que les eaux blanches clarifiées fassent l'objet d'une recirculation. On a l'habitude de réutiliser l'eau blanche excédentaire dans les ateliers de blanchiment (pour laver la pâte, à des fins d'étanchéité et pour diluer la pâte à forte densité), dans les régulateurs de concentration et dans les épurateurs.

## **5.3 MÉTHODES EXTERNES DE RÉDUCTION DES DÉCHETS**

La technologie n'a pas encore surmonté les problèmes liés au recyclage total des effluents d'eaux usées, de sorte qu'il est nécessaire de soumettre ceux-ci à des méthodes d'épuration externes. Dans l'effluent définitif de toute usine, les principaux polluants sont la température, la D.B.O., la D.C.O., la couleur, les matières dissoutes, les matières en suspension, la toxicité et les bactéries. Il n'existe malheureusement aucun procédé d'épuration unique qui soit en mesure d'éliminer efficacement tous ces contaminants, de sorte qu'il faut exécuter un programme d'épuration «par étapes». Les étapes classiques de l'épuration sont les suivantes:

a) **PRÉTRAITEMENT**: Les installations de prétraitement sont destinées à enlever les particules abrasives et les matières de grandes dimensions, à neutraliser les déchets acides ou alcalins, à uniformiser les caractéristiques des eaux usées au point de vue qualitatif et à réduire la température.

b) **ÉPURATION PRIMAIRE**: Le procédé sert à enlever les matières solides et les matières organiques de grandes dimensions.

c) **ÉPURATION SECONDAIRE**: Le procédé sert à éliminer la demande biochimique en oxygène (D.B.O.) des matières organiques dissoutes qui subsistent dans l'effluent déjà soumis au procédé d'épuration primaire.

d) **ÉPURATION TERTIAIRE**: Le procédé sert à éliminer la toxicité, la couleur, les bactéries coliformes, l'odeur et le goût. Jusqu'à maintenant, l'industrie canadienne des pâtes et papiers n'a appliqué aucun procédé d'épuration tertiaire.

### 5.3.1 Prétraitement

Les méthodes de prétraitement les plus communes sont l'enlèvement des particules abrasives et des débris et le criblage des eaux usées. Il importe d'enlever les cendres inorganiques, les particules abrasives dues au procédé de préparation du bois, le sable et le gravier des effluents d'eaux usées, pour éviter l'abrasion et l'endommagement des pompes, des canalisations et des appareils de déshydratation des matières solides. Le dessableur est un bassin de sédimentation par gravité, qu'on peut nettoyer périodiquement par des procédés manuels ou par des appareils d'enlèvement mécaniques. On utilise communément des grilles à barreaux avec espacement de  $\frac{3}{4}$  pouce à  $1\frac{1}{2}$  pouce pour enlever les gros débris susceptibles d'entraver le fonctionnement des déversoirs et des conduits d'évacuation des boues. Les nouveaux projets ont tendance à employer des méthodes de nettoyage mécaniques. Outre les grilles à barreaux, certaines usines utilisent des tamis fins, avec des ouvertures de  $\frac{3}{8}$  à  $\frac{3}{4}$  pouce, pour enlever les noeuds, les cassés, l'écorce et les autres matières fibreuses susceptibles de nuire aux installations de manutention et de déshydratation des matières solides.

La *neutralisation des eaux usées de l'usine* constitue un autre procédé de prétraitement. Le pH des eaux usées, en plus d'influer sur l'état des cours d'eau récepteurs, peut, s'il est excessif, provoquer une corrosion grave et avoir des effets nocifs sur l'épuration secondaire. Le pH des eaux usées doit normalement se situer entre 6,5 et 8,5 pour éviter que soient perturbés les réseaux d'épuration biologique secondaires. La méthode de neutralisation doit être conçue en fonction du pH, de l'acidité et de l'alcalinité des égouts ainsi que du volume de ces derniers. De nos jours, la plupart des usines possèdent des égouts distincts pour les fibres acides, alcalines et neutres. Les égouts destinés à recueillir les substances acides reçoivent généralement les effluents en provenance des diverses étapes du blanchiment acide ainsi que les eaux usées d'opérations chimiques connexes, comportant des acides chlorhydrique, sulfurique et autres, dont le pH atteint une valeur de 1 à 3. Les eaux usées des centrales électriques et des opérations de récupération du four à chaux comportent d'importantes quantités de matières solides inorganiques alcalines. Les eaux usées des

opérations de fabrication de la pâte (procédé kraft) sont alcalines, tandis que les eaux usées attribuables au procédé au bisulfite sont acides. Les déchets de l'extraction par caustification, en provenance de l'atelier de blanchiment, sont également fortement alcalins.

Comme l'indique la figure 5-1, les cours d'eaux usées acides et alcalins des usines de kraft peuvent être combinés et neutralisés efficacement par un brassage et un mélange appropriés, et par le contrôle du pH. Maintes usines plus anciennes combinent les divers effluents bien avant qu'ils n'atteignent l'usine d'épuration. Ces effluents peuvent subir de fort importantes variations de pH. Dans ce cas, il importe d'utiliser des réseaux de commande automatique du pH, spécialement conçus à cette fin, pour être en mesure d'ajouter rapidement la chaux ou l'acide nécessaires à une neutralisation efficace et à la protection des réseaux biologiques secondaires.

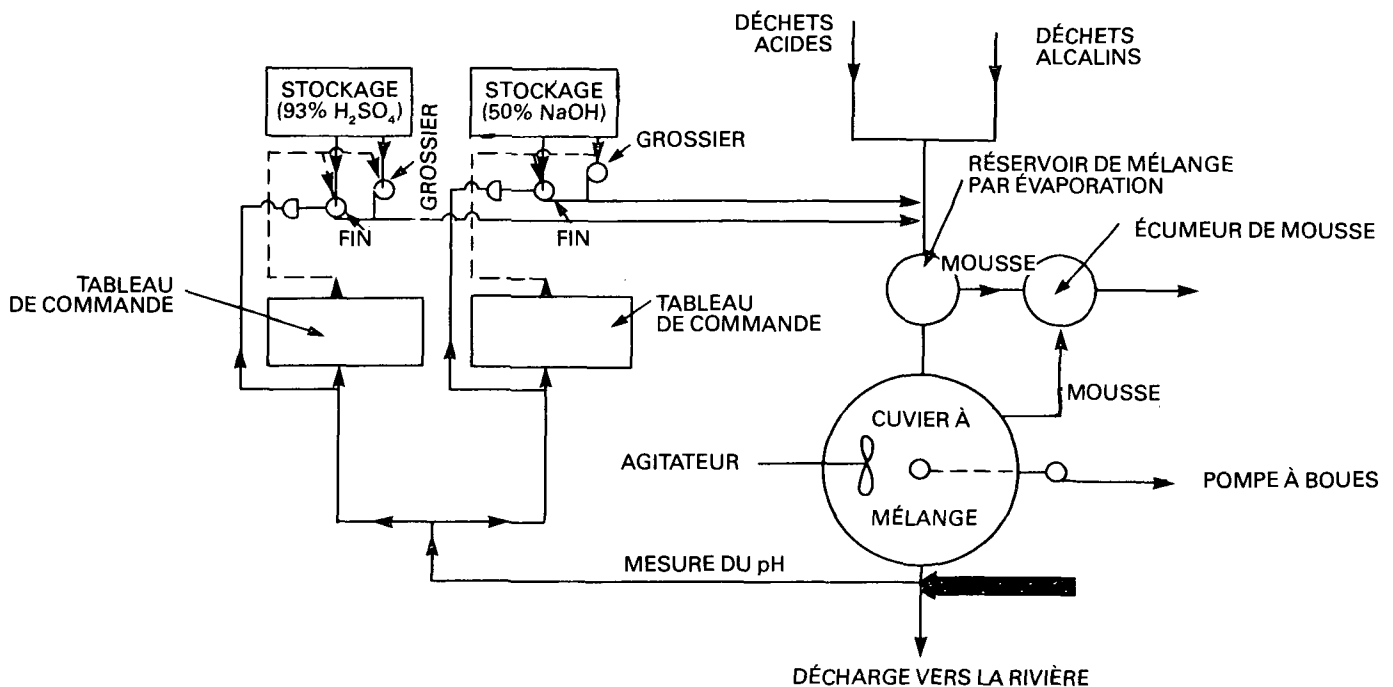


Figure 5-1. Réseau de contrôle automatique du pH.

Une autre installation de prétraitement communément utilisée consiste en un réservoir ou un bassin de déversements d'urgence destinés à retenir les effluents toxiques, extrêmement acides ou alcalins attribuables à des perturbations imprévues du procédé. Une telle installation permet d'effectuer une épuration spéciale des effluents, le cas échéant, et de contrôler son ajout aux canalisations d'égouts principales de façon à minimiser toute perturbation des opérations subséquentes d'épuration des eaux usées.

### 5.3.2 **Épuration primaire**

Les effluents d'eaux usées des usines comportent des matières en suspension, qui sont principalement constituées de fibres, de débris de fibres, d'écorce, de charges et de substances de couchage qui échappent aux systèmes de récupération interne. De nos jours, les normes en matière d'effluents exigent que les usines réduisent à moins de 50 p.p.m. (parties par million) la teneur des effluents définitifs en matières en suspension. La méthode la plus communément utilisée à cette fin est la sédimentation, bien qu'on ait parfois recours à la flottation et à la filtration. Règle générale, les méthodes de sédimentation utilisent un clarificateur par gravité ou un étang (bassin) prévoyant une durée de séjour appropriée pour permettre la sédimentation de 80 p. 100 à 95 p. 100 des matières en suspension. Les matières colloïdales et les dispersants du type chimique qu'on trouve dans les eaux usées peuvent nuire à la sédimentation, au même titre que les écarts extrêmes de température entre l'air ambiant et les effluents d'eaux usées. Dans pareils cas, on peut ajouter des substances chimiques de floculation, comme l'alun, le chlorure ferrique ou les polyélectrolytes, pour accroître l'efficacité de la sédimentation. On trouve une installation type d'épuration primaire, pour une usine de kraft qui produit 600 tonnes par jour, à la figure 5-2.

De nos jours, la plupart des usines possèdent des installations d'épuration primaire ou sont en voie de s'en procurer. Aux premiers stades de l'installation, maintes usines détenant des titres fonciers importants ont préféré installer des réseaux d'étangs plutôt que des clarificateurs, pour des raisons monétaires. Cependant, on tend aujourd'hui à employer des clarificateurs par gravité. Ceux-ci permettent d'effectuer un enlèvement constant des boues, soumis à un contrôle automatique, tandis que les bassins de sédimentation exigent un drainage périodique qui peut s'avérer coûteux si on ne dispose pas d'une décharge sanitaire à proximité immédiate.

La D.B.O. éliminée au cours de l'épuration primaire est liée aux matières organiques et fibreuses qui se sont déposées au fond de l'effluent d'eaux usées. L'effluent ainsi clarifié n'en conserve pas moins des matières dissoutes et une couleur particulière.

### 5.3.3 **Épuration secondaire**

L'épuration secondaire a pour objectif premier d'éliminer la demande biochimique en oxygène (D.B.O.) attribuable aux matières organiques dissoutes de l'effluent déjà clarifié. Cette D.B.O. peut être supérieure au pouvoir auto-épurateur des cours d'eau récepteurs, provoquant une pénurie d'oxygène et la mort des organismes aquatiques. Le tableau 5-3 indique la charge en D.B.O. des effluents de certaines opérations de fabrication des pâtes et papiers.

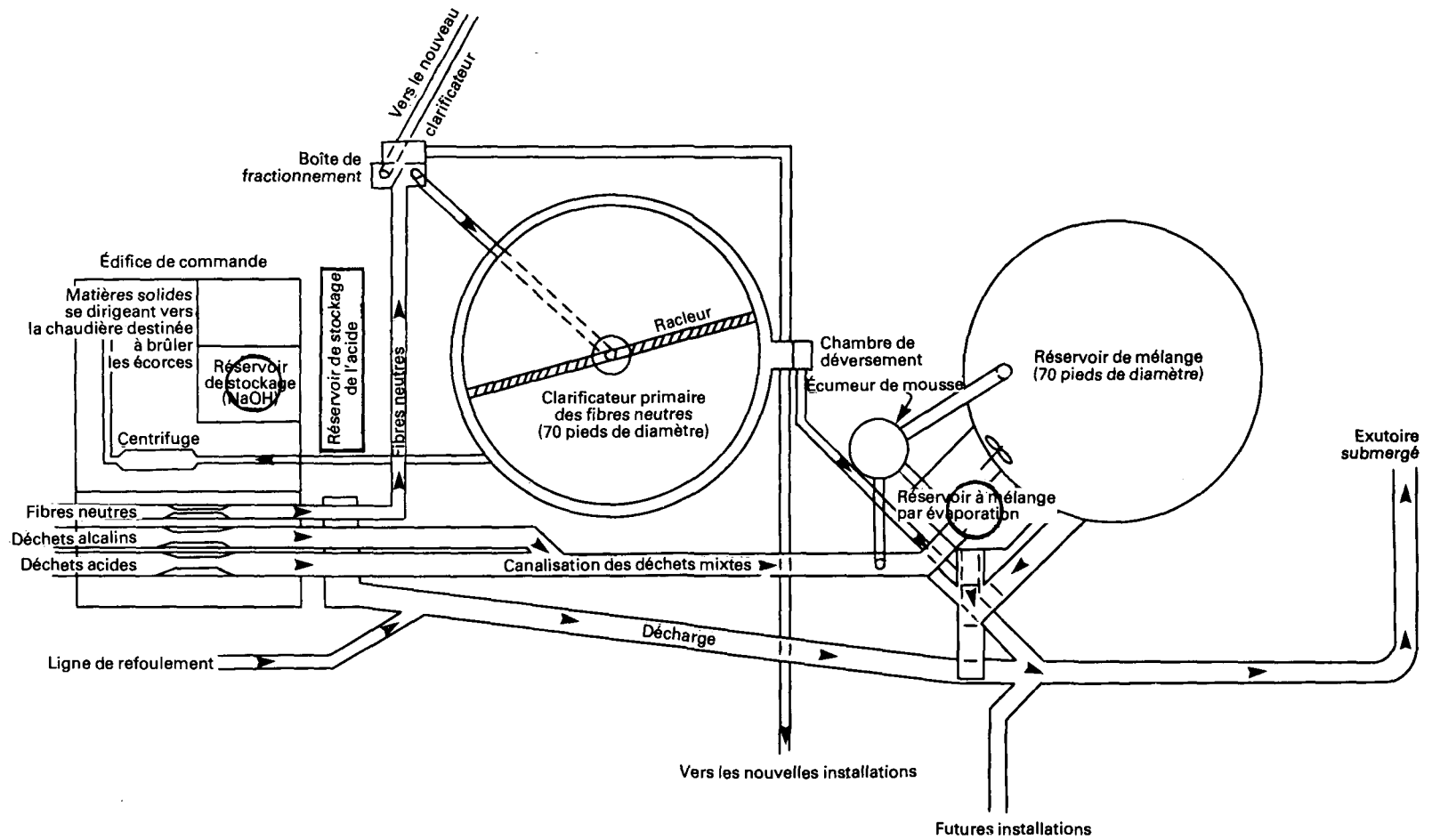


Figure 5-2. Vue d'ensemble d'une usine d'épuration primaire des effluents.



**TABLEAU 5-3**  
**D.B.O. de certains effluents de la fabrication des pâtes et papiers.**

Type d'effluent	D.B.O. de 5 jours, livres par tonne
Pâte kraft	25-50
Pâte chimique	15-25
Pâte au bisulfite (pas de récupération)	400-600
Pâte obtenue par le procédé semi-chimique au sulfite neutre	250-450
Blanchiment	12-200
Papiers fins (bond)	20-40
Papiers d'emballage (ondulés)	25-60
Papier journal	10-20

Une grande variété de procédés d'épuration biologique servent à réduire la D.B.O. Les deux méthodes les plus communément utilisées à cette fin sont le procédé des boues activées et le lagunage aéré. Les lits bactériens, les bassins d'oxydation et l'élimination par irrigation constituent d'autres méthodes.

Avant d'effectuer l'épuration biologique, on ajoute généralement des sels nutritifs essentiels (azote et phosphore), sous forme d'ammoniac et d'acide orthophosphorique. Dans des conditions normales, il faut une part de phosphore et cinq parts d'azote pour éliminer 100 parts de D.B.O.

*Des réseaux d'étangs aérés* fonctionnent actuellement dans plusieurs usines canadiennes. Ce mode de réduction de la D.B.O. consiste à épurer l'effluent en présence d'oxygène et de faibles concentrations de micro-organismes. En présence d'oxygène dissous, les populations biologiques s'alimentent de matière organique résiduaire. Un tel réseau peut assurer une réduction de la D.B.O. de l'ordre de 40 p. 100 à 75 p. 100. Les installations types prévoient de une à deux acres d'étangs pour un écoulement quotidien d'un million de gallons d'eaux usées. L'aération mécanique des surfaces s'avère la meilleure méthode. Avec une aération appropriée, on peut s'attendre à une réduction de 75 p. 100 de la D.B.O. après une durée de séjour de quatre jours, et à une réduction de plus de 90 p. 100 après une durée de séjour d'une semaine. Bien que les étangs aérés exigent une superficie beaucoup plus vaste que certains autres moyens plus perfectionnés de réduction de la D.B.O., ils présentent les avantages suivants:

- a) un volume imposant et un mélange rapide, qui permettent d'absorber des déchets forts sans beaucoup changer le caractère de l'effluent,
- b) moins de sels nutritifs requis,
- c) la production d'un moins grand nombre de matières actives et, par conséquent, la disparition du problème de l'élimination des boues.

Règle générale, on emploie le *procédé des boues activées* en vue de réduire la D.B.O. lorsque la superficie des terres est limitée. Certaines usines de kraft, de carton et de désencrage ont adopté cette méthode d'épuration des eaux usées aux États-Unis. Les usines canadiennes ne l'ont pas encore adoptée, bien que certaines d'entre elles effectuent des études à partir d'installations pilotes. Ce procédé apparaît à la figure 5-3.

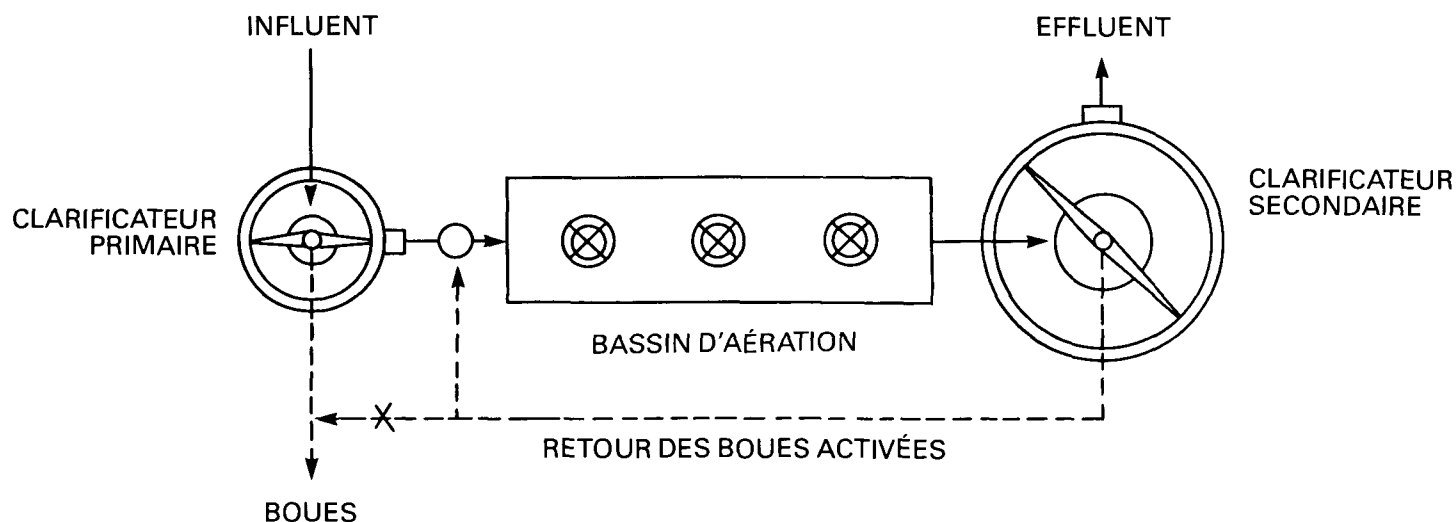


Figure 5-3. Diagramme du procédé des boues activées.

Cette méthode diffère de celle des étangs aérés dans la mesure où elle fait entrer en contact de très fortes concentrations de matières biologiquement actives (ou des «boues activées») avec des déchets organiques dans les effluents des usines. Le taux de réduction de la D.B.O. est donc fort rapide, avec des durées de séjour globales de l'ordre de deux à six heures. Comme l'indique la figure 5-3, l'effluent déjà clarifié pénètre dans le bassin d'aération où il entre en contact avec les boues activées. On introduit l'oxygène en injectant de l'air comprimé, par aération mécanique ou par un mélange des deux. Les populations biologiques s'alimentent de matière organique, éliminant celle-ci des eaux usées. Un enlèvement et une stabilisation efficaces de la D.B.O. signifient que la colonie biologique est en bonne santé et qu'elle produira de nouveaux organismes biologiques.

Pour appuyer ce procédé, on sépare par gravité la masse biologique en provenance du bassin d'aération de l'effluent définitif, grâce à un clarificateur, et on la renvoie à la première étape du procédé. Comme il y a formation de nouveaux organismes biologiques, on gaspille une partie de ces derniers pour maintenir des conditions optimales. Ce procédé permet d'obtenir une réduction de 85 p. 100 de la D.B.O. des effluents des usines qui utilisent le procédé au bisulfite et le procédé kraft.

### **Détoxication par épuration biologique**

Dans le numéro de septembre 1973 du *Pulp and Paper Magazine of Canada*, MM. Servizi et Gordon font état de la détoxication obtenue grâce aux étangs aérés des effluents des usines de kraft. Leurs conclusions sont les suivantes:

1. Règle générale, l'épuration biologique qui s'effectue dans les étangs aérés est en mesure d'assurer la détoxication des effluents d'usines de pâte kraft, mais il existe certaines exceptions.
2. Le détournement des fuites de lessive noire vers les étangs aérés entraîne souvent une détoxication insuffisante. Il importe de conserver ces fuites dans l'usine même ou dans des bassins de déversement, en vue de les recycler ou de les déverser lentement dans le réseau d'épuration.
3. Les effluents dus à la réduction en pâte du sapin de Douglas ou aux copeaux d'épinette sont souvent liés à une détoxication insuffisante, mais pas toujours, et on ignore la raison de cet état de choses. Il existe des preuves que les substances toxiques résiduelles peuvent être fortement résistantes à l'épuration biologique et qu'il faut donc effectuer une détoxication lente.
4. C'est en améliorant les méthodes de récupération chimique et de recyclage et en contrôlant les fuites de lessive noire qu'on a réussi à réduire la charge polluante des usines de pâte kraft (définie par la D.B.O. et la toxicité aiguë), plutôt qu'en acheminant l'eau chaude contaminée vers l'égout.

#### **5.3.4 Épuration tertiaire**

Les éléments résiduels qui subsistent dans l'effluent à la suite de l'épuration secondaire sont les éléments dissous de la couleur et les bactéries pathogènes et non pathogènes. La plupart des usines possèdent déjà des installations distinctes d'épuration des eaux usées des égouts sanitaires, ou sont en voie de s'en procurer, de sorte que la pollution par les bactéries pathogènes sera contrôlée dans une grande mesure. Il a été impossible d'effectuer l'épuration d'autres formes de bactéries par chloration et par ozonisation, à cause de la forte demande chimique et de l'écoulement relativement élevé des eaux usées.

On a réussi à enlever la couleur en laboratoire, par l'absorption de carbone activé, l'écumage des mousses et des procédés d'épuration intensive à la chaux. Cependant, à ce jour, on n'a entrepris aucune installation d'envergure en raison de l'importance des coûts engagés à ce titre.

On n'a pas encore exigé que l'industrie effectue l'épuration tertiaire des effluents des usines de papier.

#### 5.4 ÉCONOMIE DE L'ÉLIMINATION DES RÉSIDUS

Dans un article récent de M. Hurtubise (*Pulp and Paper Magazine of Canada*, septembre 1973), on affirme que l'industrie canadienne des pâtes et papiers a dépensé 195 millions de dollars pour lutter contre la pollution de l'eau entre 1960 et 1971, soit 130 millions pour des améliorations au sein des usines et 65 millions pour des installations externes.

Voici les coûts actuels de l'installation des procédés d'épuration primaire et secondaire dans diverses usines:

Type d'usine	Coûts d'immobilisations la tonne	Coûts d'exploitation la tonne
Kraft blanchi (non intégré)	\$7400	\$3.97
Usine de papiers fins (fibres chimiques achetées)	\$7500	\$2.60

On estime que si toutes les usines se conformaient aux règlements fédéraux en matière d'effluents des usines de pâtes et papiers, il faudrait engager des dépenses de près de 500 millions de dollars<sup>3</sup>. Hurtubise en conclut que les progrès de l'industrie dans le domaine de la lutte contre la pollution dépendront en grande partie de la disponibilité des fonds et de l'évolution d'une technologie plus efficace. M. A. Haycraft, président de Kimberly-Clark du Canada Ltée, a récemment exprimé le point de vue des gestionnaires d'usines à cet égard, lorsqu'il a affirmé que «puisque notre industrie ne peut financer des dépenses aussi importantes durant une si brève période, nous croyons que le gouvernement doit nous aider à établir des calendriers réalistes».

<sup>3</sup>Rapport de l'O.C.D.E. sur la pollution de l'industrie des pâtes et papiers, 1973.

## **Annexes**



## Annexe I

**BIBLIOGRAPHIE****SOURCES DE RÉFÉRENCE UTILISÉES POUR LA RÉDACTION DU PRÉSENT MANUEL**

1. *Pulp and Paper Manufacture*, R. G. MacDonald (éditeur), McGraw-Hill Book Company, 1970, 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> volumes.
2. *Pulping Processes*, S.A. Rydholm, Interscience Publishers, 1965.
3. *Handbook of Pulp and Paper Technology*, publié par K. Britt, Van Nostrand Reinhold Company, 2<sup>e</sup> édition, 1970.
4. *The Cost of Clean Water*, 3<sup>e</sup> volume: *Industrial Waste Profile of Paper Mills*, U.S. Department of the Interior, Federal Water Pollution Control Administration, publication n° I.W.P.-3 du F.W.P.C.A.
5. *Pulp and Paper Science and Technology*, publié par C.E. Libby, McGraw-Hill Book Company, 1962, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> volumes.
6. *Pulp and Paper*, 1<sup>er</sup> volume: *Pulping and Bleaching*, J.P. Casey, Interscience Publishers, 1960.
7. *Kraft Pulping Theory and Practice*, H.F. Wenzl, Lockwood Publishing Company, 1967.
8. *Chemical Recovery in Alkaline Pulping Process*, T.A.P.P.I., monographie n° 32.
9. «The Brightening of Mechanical Pulps — A Survey of Existing Technology», D. H. Andrews, *Pulp and Paper Magazine of Canada*, page 79, 7 juin 1968.
10. *Wood Extractives and Their Significance to the Pulp and Paper Industry*, W. E. Hillis, Academic Press, 1962.
11. *Groundwood Operating Manual*, Technical Section, Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers (C.P.P.A.), 1967.





## Annexe II

**GLOSSAIRE DES TERMES RELATIFS AUX PÂTES ET PAPIERS**

<b>Additifs</b>	Matières premières non fibreuses utilisées dans la fabrication de papier.
<b>Apprêt sur machine</b>	L'apprêt normal que l'on applique sur une machine à papier dotée de sècheurs conventionnels différents du sècheur frictionneur.
<b>Blanchet (impression offset)</b>	Un caoutchouc toilé, utilisé en impression offset, qui transfère l'impression de la plaque au papier.
<b>Blancheur</b>	Une mesure de la blancheur du papier par rapport à une norme.
<b>Bombé</b>	On dit qu'un rouleau est bombé lorsqu'il a un diamètre plus grand au centre qu'aux extrémités et qu'il s'évase graduellement du milieu vers les bords pour compenser les déviations.
<b>Bouffant</b>	Une mesure obtenue en divisant l'épaisseur du papier par le poids spécifique.
<b>Bûchettes (ou faisceaux de fibres non isolées)</b>	Un petit paquet de fibres qui n'a pas été complètement séparé lors du défibrage.
<b>Caisse aspirante</b>	Une caisse étroite ayant un couvercle troué et montée sous la toile métallique de fourdrinier. Le vide que l'on maintient dans la caisse aspire l'eau de la feuille. On utilise des caisses semblables, mais beaucoup plus étroites, pour retirer l'eau des bandes de feutre.
<b>Caisse d'arrivée</b>	Un compartiment de distribution à partir duquel on étend de façon égale la pâte de papier sur la toile de la machine à papier.

<b>Calandre</b>	Partie de la machine à papier qui comprend une série de rouleaux de forte coquille qui contrôlent l'épaisseur et le lissé de la bande de papier lorsqu'elle passe entre les rouleaux.
<b>Cassés</b>	Le papier que l'on a rejeté à une étape quelconque de la fabrication. On le renvoie habituellement à la retrituration pour le traiter à nouveau.
<b>Charges (dans le papier)</b>	Matériaux utilisés pour combler les espaces entre les fibres.
<b>Colle, ou apprêt</b>	La substance ajoutée au papier pour imperméabiliser la feuille.
<b>Colle de résine</b>	La solution ou la dispersion obtenue par le traitement de la sorte de résine voulue avec un alcali.
<b>Colorants directs ou colorants substantifs</b>	Une catégorie de colorants à l'aniline, aussi nommés colorants substantifs à cause de leur grande affinité pour la cellulose.
<b>Colorants pigmentaires</b>	Des colorants qui, par nature, sont insolubles dans l'eau et que l'on peut employer directement comme pigments sans transformation chimique.
<b>Composition</b>	Les proportions particulières de matières premières, en pâte et en produits chimiques, avec lesquelles on fabrique telle catégorie de papier, prêt à être expédié à la machine à papier.
<b>Concentration</b>	Pourcentage du poids des fibres exemptes d'humidité ou sèches à l'air (selon les spécifications) dans une suspension de fibres de pâte dans l'eau.
<b>Condensat</b>	Eau condensée par la vapeur qui est venue en contact avec une surface plus froide pendant une opération.
<b>Conifères</b>	Arbres conifères toujours verts, comme l'épinette, la pruche, le pin de Douglas, le pin.
<b>Couchage</b>	Une couche de substances adhésives ou colorantes que

l'on a étendue sur la surface du papier ou du carton pour créer une nouvelle surface.

<b>Couchage par rouleau</b>	L'application de la couleur de couchage sur un côté de la pièce de papier, ou sur les deux, au moyen d'un rouleau de caoutchouc sur lequel on avait mesuré la couleur. Ce procédé est possible autant sur la machine à papier que sans la machine à papier.
<b>Coucheuse à racle</b>	Une lame droite utilisée pour distribuer et contrôler la quantité de couchage sur le papier.
<b>Cuve de caustification</b>	Une cuve qui permet à l'hydroxyde de calcium et au carbonate de sodium de réagir pour former de l'hydroxyde de sodium et du carbonate de calcium.
<b>Cuve de précipitation</b>	Appareil utilisé habituellement à l'aide d'un courant électrique à haute tension pour récupérer les solides dans un courant de gaz.
<b>Cylindre refroidisseur ou cylindre suinteur, cylindre mouilleur</b>	Un rouleau creux, refroidi à l'intérieur par un courant d'eau qui cause une légère condensation en périphérie, que l'on utilise pour redonner de l'humidité à la bande de papier séchée, près de l'extrémité de la machine à papier.
<b>Cylindres sécheurs</b>	Les cylindres chauffés à la vapeur au-dessus desquels on fait passer la bande de papier pour la sécher.
<b>Décalage</b>	La différence de vitesse entre deux sections adjacentes de la machine à papier pour compenser la tension dans la bande de papier.
<b>Décanteur</b>	Une cuve de décantation utilisée pour séparer les solides d'un liquide.
<b>Découpeur en long à couteaux circulaires, ou couteau circulaire, disque coupeur, refendeur en long</b>	Le disque rotatif utilisé pour couper la bande de papier à une largeur particulière ou pour rogner les bords d'une bande ou de rouleaux que l'on rebobine.
<b>Densimètre ou porosimètre</b>	Un instrument qui mesure la résistance du papier au passage de l'air.

<b>Dépastillage</b>	Un procédé de réduction de fibres agglomérées en fibres isolées provenant de copeaux de bois, de feuilles de pâte, de cassés de fabrication secs, de pâte de papier récupérée, etc.
<b>Dispersant</b>	Un agent tensio-actif ajouté à un milieu de soutien pour favoriser et maintenir la séparation de fines particules individuelles, solides ou liquides.
<b>Eau blanche</b>	Terme général désignant l'eau que l'on retire d'une suspension de pâte et qui contient une petite quantité de fibres ou d'additifs. Sur une machine à papier, l'excédent d'eau que l'on a drainé de la composition par la toile.
<b>Eau filtrée</b>	L'effluent séparé de l'eau blanche durant le processus de récupération des fibres. On l'utilise habituellement comme eau de rinçage.
<b>Écrasé</b>	Un défaut dans le papier, causé par une pression linéaire excessive lorsque le papier était encore trop humide.
<b>Enzymes</b>	Une catégorie de substances organiques complexes qui accélèrent ou catalysent certaines transformations chimiques particulières comme la modification des amidons naturels pour les applications de la presse encolleuse.
<b>Épaisseur du papier</b>	L'épaisseur d'une feuille de papier exprimée en millièmes de pouce.
<b>Épaississeur</b>	Un appareil semblable à une machine de déshydratation pour essorer la pâte. Il est généralement constitué d'une cuve, d'une forme ronde et d'un rouleau coucheur duquel on retire la pâte avec un docteur.
<b>Faisceaux de fibres</b>	Un paquet, court et épais, de fibres non isolées que l'on rencontre dans la pâte mécanique; de courtes bûchettes.
<b>Feuille continue</b>	Il s'agit de la pleine largeur de la feuille de papier lorsqu'elle est en train d'être formée, pressée, séchée, apprêtée et transformée.

<b>Feuilles minces de métal</b>	Éléments immobiles spéciaux de la table de fourdrinier installés sous la toile pour contrôler le retrait de l'eau et maintenir la toile. Ils remplacent les pontuseaux.
<b>Feuillus</b>	Arbres à bois dur ou latifoliés qui perdent leurs feuilles en hiver, comme le peuplier, l'aulne et l'érable.
<b>Fibre</b>	L'unité cellulaire de croissance végétale.
<b>Fibrillation</b>	Le dégagement d'éléments filiformes de la paroi de la fibre.
<b>Fibrilles</b>	Des éléments filiformes de la paroi des fibres de cellulose.
<b>Filtre ou épurateur</b>	Dispositif mécanique destiné essentiellement à récupérer les fibres de l'eau blanche.
<b>Filtre à boues</b>	Un instrument utilisé pour laver et concentrer une pâte liquide.
<b>Formation (de la feuille) ou épair</b>	Disposition des fibres dans une feuille de papier: épair irrégulier si les fibres ne sont pas uniformes; épair régulier ou épair fondu si les fibres sont uniformes.
<b>Fortement collé (papier)</b>	Collé de façon à résister de façon maximale à l'eau.
<b>Gondolage</b>	Un défaut dans les feuilles de papier causé par l'inégalité des deux faces de la feuille, ce qui occasionne un retrait inégal entre le côté toile et le côté feutre quand la feuille est soumise à des changements d'humidité relative.
<b>Grains (d'une meule)</b>	Les particules abrasives du défibreux qui lui permettent de meuler.
<b>Hémicellulose</b>	Partie de la fibre de bois faite de substances ressemblant à du sucre, intimement associées à la cellulose dans la paroi des fibres et retirées principalement durant la cuisson.
<b>Indice d'égouttage</b>	Une mesure du rythme auquel l'eau s'écoule de la pâte en suspension.

<b>K n° (indice de permanganate)</b>	Un essai chimique réalisé sur la pâte pour déterminer le degré de délignification.
<b>Lame d'air</b>	Le principe de la lame d'air est le même que celui du docteur; il utilise un mince jet d'air pour enlever l'excédent de couchage de la surface d'une feuille humide qui vient d'être recouverte.
<b>Lame de docteur ou racle</b>	Une mince lame de métal, de bois ou de caoutchouc placée le long d'un rouleau ou d'un cylindre pour en maintenir la surface propre ou pour appliquer de la crêpe. On utilise aussi cette lame pour contrôler les enductions.
<b>Laveur de gaz</b>	Un instrument servant à retirer, à l'aide d'un jet de liquide (habituellement de l'eau), certains gaz ou solides d'un courant de gaz mélangé.
<b>Lessive blanche</b>	Dans le procédé kraft, un liquide composé des produits chimiques utilisés dans le lessiveur et servant à cuire les copeaux de bois.
<b>Lessive verte</b>	Dans le procédé kraft, un liquide composé de produits chimiques obtenus de la chaudière de récupération.
<b>Ligne de contact de deux rouleaux ou pince</b>	La ligne de contact entre deux rouleaux.
<b>Liqueur noire ou lessive noire</b>	Dans le procédé kraft, un liquide composé de produits chimiques épuisés et de résidus de bois.
<b>Lisse</b>	Une presse verticale située entre les sections du séchoir, où la feuille est encore partiellement humide. Elle comprime la feuille et en rend la surface plus lisse.
<b>Longueur de rupture</b>	La longueur d'une feuille de papier qui romprait d'elle-même en étant suspendue verticalement.
<b>Meule de défibreur</b>	Une grosse meule utilisée dans la réduction du bois en pâte dans la fabrication du papier. Elle est faite de grains abrasifs qu'on assemble et fixe à un centre de béton.
<b>Molette</b>	Un outil servant à refaire la surface des meules de défi-

breur. La molette à filets, la molette à rainures droites et la molette à pointes de diamant sont les plus courantes.

<b>Mouillant</b>	Une substance qui améliore l'humidification d'une surface solide par un liquide ou une solution.
<b>Moyennement collé</b>	Collé de façon à offrir une résistance moyenne à l'eau.
<b>Mullen (résistance à l'éclatement)</b>	La résistance à l'éclatement d'une feuille de papier, ou sa résistance à la perforation.
<b>Opacité</b>	Le degré de non-transparence du papier.
<b>Palan</b>	Montage substitut de barres qui forment les surfaces de travail dans un raffineur.
<b>Papier à faces dissemblables</b>	Il s'agit d'une feuille de papier dont les deux faces ont une texture ou une couleur différente. Le côté toile peut être plus voyant que la normale, ou la couleur peut avoir une nuance plus pâle de ce côté.
<b>Papier sans colle ou papier absorbant</b>	Papier non collé à la résine qui résiste peu à l'eau comme, par exemple, le papier brouillard.
<b>Pâte finie, pâte raffinée</b>	Terme des fabricants de papier désignant les matériaux (composition) engraisés, raffinés et mélangés en suspension dans l'eau quand ils parviennent à la machine à papier.
<b>Pâte mécanique</b>	Pâte produite par le défibrage mécanique du bois à l'aide de meules rotatives ou de plateaux de raffinage.
<b>Pigment</b>	Substance minérale finement divisée qui est insoluble dans l'eau.
<b>Pile raffineuse</b>	Une machine utilisée pour mélanger, défibrer ou raffiner les pâtes.
<b>Plastifiants</b>	Matériaux utilisés pour assouplir le papier.
<b>Poids de base ou poids spécifique</b>	Le poids en livres d'une rame de papier standard.

<b>Poids de couchage</b>	La quantité de couchage sec; on l'exprime habituellement en livres par rame.
<b>Poix</b>	Dans l'industrie du papier, la poix est la substance (en grande partie un mélange d'acides gras et résineux et de substances organiques que l'on ne peut saponifier) que l'on peut extraire du bois. Elle provient principalement du bois et, dans certaines conditions, elle s'accumule sur la toile de fourdrinier ou dans la section de la presse et occasionne des problèmes dans la fabrication du papier.
<b>Pompe de mélange</b>	Une grosse pompe utilisée dans la fabrication du papier pour mélanger la pâte de papier à l'eau et expédier le tout à la caisse d'arrivée.
<b>Pontuseaux</b>	Les rouleaux qui tiennent la toile de la machine à papier et aident à égoutter la feuille.
<b>Presse encolleuse</b>	Un ensemble de deux rouleaux presseurs orientés verticalement ou horizontalement servant à vaporiser ou appliquer de la colle ou d'autres solutions sur un côté de la feuille ou les deux et à retirer l'excédent.
<b>Raffineur à disques</b>	Un raffineur en continu, dans lequel le raffinage se fait en faisant passer la pâte entre des plateaux rainurés situés sur deux disques verticaux. D'habitude, un disque est immobile tandis que l'autre tourne.
<b>Raffineur conique Jordan</b>	Un raffineur conique utilisé pour hydrater et raccourcir les fibres.
<b>Ramasse-pâte</b>	Instrument utilisé pour récupérer les fibres et le remplisseur, de l'eau blanche. D'habitude, il s'agit d'un tambour rotatif recouvert de toile, ou de disques recouverts de toile. On fait le vide pour aspirer l'eau à travers la toile. Il y a plusieurs autres types de ramasse-pâte qui fonctionnent selon le principe de la sédimentation ou de la flottation.
<b>Rame (de papier)</b>	D'habitude, 500 feuilles de papier.



<b>Résine résistante à l'état humide</b>	Un additif synthétique utilisé pour renforcer le papier humide.
<b>Résistance à la déchirure</b>	La force requise pour déchirer un échantillon de papier dans des conditions particulières.
<b>Résistance à l'arrachage</b>	La résistance du papier aux défauts de la surface causées par l'étalage de l'encre durant l'impression.
<b>Résistance à la traction</b>	La résistance du papier à la rupture lorsqu'il est soumis à une force de traction.
<b>Résistance de la bande de papier au frottement</b>	La résistance du couchage de papier à l'amollissement et au détachement par friction sous l'action combinée de la solution et du blanchet.
<b>Retrituration</b>	Réduction en pâte liquide et désintégration du papier séché ou de la pâte séchée.
<b>Rigidité, raideur, dureté</b>	Une mesure de la résistance du papier à la flexion.
<b>Rouleau coucheur</b>	Le ou les derniers rouleaux qui essorent la feuille immédiatement avant qu'elle ne laisse la section de la toile métallique pour entrer dans la section de la presse de la machine à papier. On utilise le rouleau coucheur d'en bas, ou le plus souvent le cylindre aspirant de la toile, pour conduire la toile de la machine.
<b>Rouleau d'entraînement</b>	Un rouleau conventionnel dans la calandre en bout de machine situé directement au-dessus du rouleau porteur.
<b>Rouleau de tête</b>	Le rouleau qui supporte la toile métallique sur la machine à papier à l'avant de la table de fourdrinier où l'on étend la pâte sur la toile.
<b>Rouleau égoutteur</b>	Un cylindre ajouré recouvert de toile métallique tissée, situé au sommet de la toile de fourdrinier près de la caisse aspirante pour améliorer la formation des feuilles humides et pour mieux les compresser. On l'utilise aussi pour appliquer les filigranes.
<b>Rouleau flottant</b>	Nom commercial d'un rouleau bombé non déviant et

variable, où une enveloppe tourne autour d'un axe immobile. La pression d'huile à l'intérieur de l'enveloppe compense la charge. D'habitude, il remplace le rouleau porteur sur les calandres en bout de machine, mais on peut l'utiliser à n'importe quelle position sur la presse.

**Rouleau porteur**

Un gros rouleau commandé, en forte coquille, situé au bas de la lisse ou de la supercalandre.

**Salin**

Les produits chimiques inorganiques que l'on obtient en fusion de la chaudière de récupération.

**Sec absolu  
(à 100° centigrades)**

Pâte ou papier séché au four par un procédé normalisé à un point où il ne contient plus aucune humidité. Le poids sec absolu divisé par 0,9 égale le poids du papier séché à l'air dans la pratique courante.

**Sèche à l'air (S.A.)**

Se dit d'une pâte d'une certaine humidité qu'une exposition à l'air ne peut plus réduire. Le commerce des pâtes et papiers a convenu que l'expression «sec à l'air» signifie 90 p. 100 de fibre séchée et 10 p. 100 d'humidité.

**Sens de fabrication**

La direction sur la feuille de papier qui correspond à la direction dans laquelle fonctionnait la machine lors de la fabrication du papier; la direction qui lui est perpendiculaire est appelée «sens travers».

**SO<sub>2</sub> combiné**

Gaz de bioxyde de soufre qui s'est combiné à une base alcaline.

**SO<sub>2</sub> libre**

Dans le procédé au bisulfite, il s'agit de la partie de gaz de bioxyde de soufre qui n'est pas combinée à une base alcaline. Elle est plutôt combinée à l'eau comme acide sulfureux.

**Supercalandre**

Une machine faite de rouleaux de métal et de papier dur. Les rouleaux de métal du dessus et du dessous ont le plus grand diamètre; les rouleaux du centre sont les plus petits. Les rouleaux de papier ou de coton ont tous le même diamètre, mais contrairement aux rouleaux de métal, ils provoquent un léger glissement dont l'effet de lissage favorise un très beau fini.

<b>Test du pliage</b>	Le nombre de doubles plis que l'on peut faire dans une feuille de papier avant qu'elle ne se rompe.
<b>Toile métallique de fourdrinier</b>	Un écran tissé sans fin sur lequel la pâte se transforme en une feuille de papier.
<b>Traitement de la pâte</b>	Ce terme désigne les étapes qui surviennent entre le défibrage ou le blanchiment et la formation de la bande sur la machine à papier.
<b>Trieur de noeuds et d'éclats (de bois)</b>	Un appareil de tamisage utilisé pour enlever les noeuds et autres matières inacceptables de la pâte de papier.
<b>Typographie</b>	Un procédé d'impression (caractères en relief) utilisant de l'encre relativement visqueuse.
<b>Unité cubique</b>	Un volume de 200 pieds cubes de copeaux, de sciure ou de déchets de bois écrasé.



## SYMBOLES CHIMIQUES

Nom chimique	Symbole	Nom commun
Acide chlorhydrique	HCl	Acide muriatique
Acide sulfureux	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	
Acide sulfurique	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Anhydride sulfurique	SO <sub>3</sub>	
Bicarbonate de sodium	NaHCO <sub>3</sub>	Bicarbonate de soude
Bisulfite de calcium	Ca(HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Acide brut de cuisson au bisulfite
Bioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	
Bioxyde de chlore	ClO <sub>2</sub>	
Bioxyde de soufre	SO <sub>2</sub>	
Carbonate de calcium	CaCO <sub>3</sub>	Chaux calcaire
Carbonate neutre de sodium	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonate de soude
Chlore	Cl <sub>2</sub>	
Chlorate de sodium	NaClO <sub>3</sub>	
Chlorure de calcium	CaCl <sub>2</sub>	
Eau	H <sub>2</sub> O	
Hydroxyde de calcium	Ca(OH) <sub>2</sub>	Chaux éteinte
Hydroxyde de sodium	NaOH	Soude caustique
Hydrosulfite de sodium	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	
Hydrosulfite de zinc	LiNS <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	
Hypochlorite de calcium	Ca(OCl) <sub>2</sub>	Solution de blanchiment
Oxyde de calcium	CaO	Chaux vive
Oxyde de titane	TiO <sub>2</sub>	
Oxygène	O <sub>2</sub>	
Ozone	O <sub>3</sub>	
Peroxyde d'hydrogène	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
Sulfate d'aluminium	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Alun
Sulfate de calcium	CaSO <sub>4</sub>	Gypse
Sulfate de magnésium	MgSO <sub>4</sub>	Sels d'Epsom
Sulfate de sodium	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Sulfure de sodium	Na <sub>2</sub> S	



## Annexe III LA CHIMIE DU BOIS

### STRUCTURE DE L'ARBRE

On considère généralement que l'arbre est constitué de trois parties principales: (a) la cime, composée des feuilles et des branches, (b) le tronc et (c) l'appareil racinaire. Les feuilles ou les aiguilles sont les «usines» où se fabriquent les matières alimentaires, source d'énergie et de croissance de l'arbre, par l'intermédiaire de la photosynthèse. (La photosynthèse est la production d'hydrates de carbone à partir d'anhydride carbonique et d'eau en présence de la chlorophylle et de la lumière.)

À la figure A-1, on trouve le croquis en coupe d'un tronc d'arbre montrant sa structure générale. Le *cambium* est une mince couche cellulaire entre l'écorce et l'aubier, le lieu de croissance des cellules. La vitesse d'accroissement varie avec les saisons, des cellules fibreuses aux parois minces se déposant au printemps, et des fibres plus denses, aux parois épaisses, se déposant à l'automne. Le cambium est inactif pendant les mois les plus froids de l'année. Cette croissance annuelle explique le phénomène des anneaux annuels, dont le nombre total représente l'âge de l'arbre.

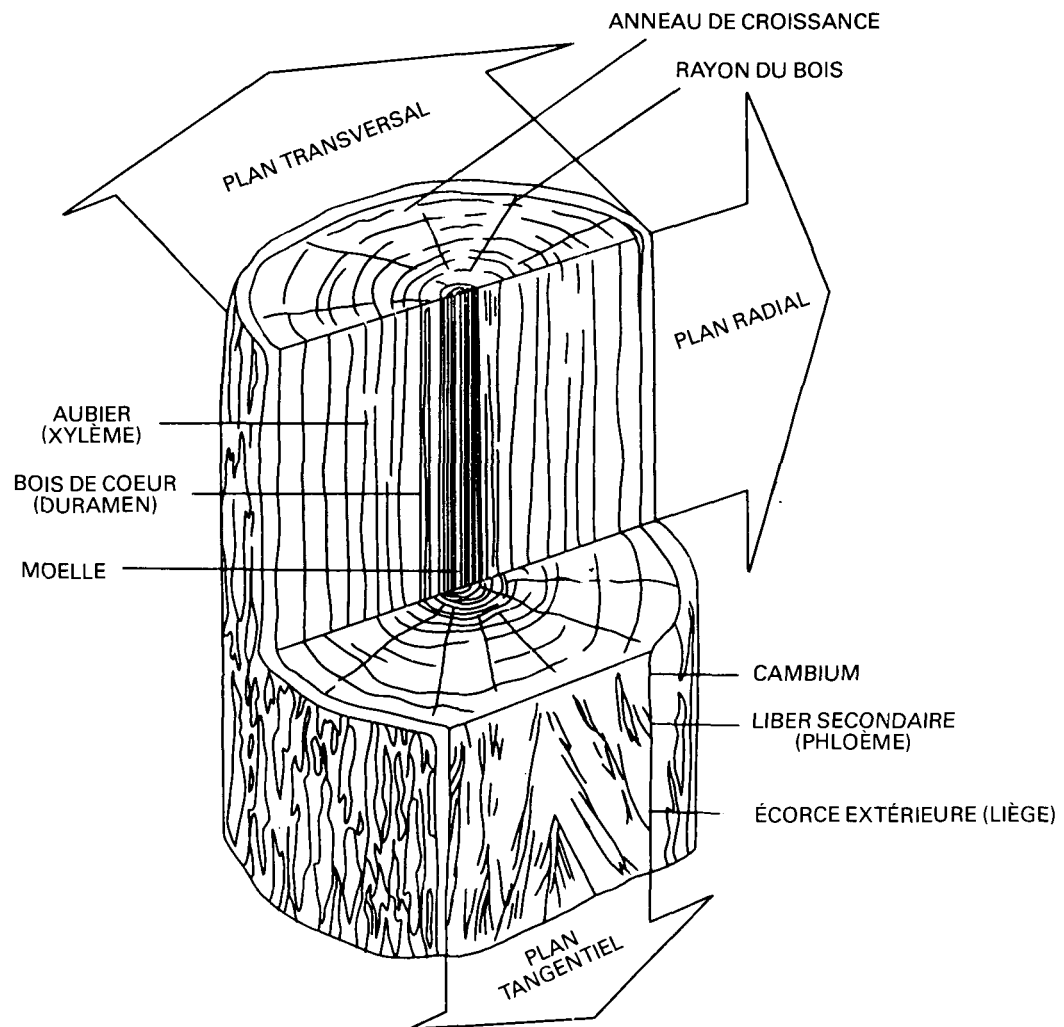
Le *liber* est une couche mince contenant des cellules conductrices et des cellules d'emmagasinement. L'écorce extérieure est un ensemble de cellules mortes qui existaient à l'origine dans le liber vivant. Chimiquement, elle est composée d'une variété d'éléments étrangers ainsi que de cellulose, d'hémicellulose et de lignine.

L'*aubier* de l'arbre fournit un support structural à la cime de l'arbre, agit comme réservoir nutritif et s'acquitte de l'importante fonction de l'acheminement de la sève. Il est physiologiquement actif et en communication continue avec le cambium et avec le liber vivant.

Le *bois de coeur* (ou duramen) est un noyau de cellules de bois mortes dans le centre du tronc, dont l'activité physiologique a cessé. Il ne sert que de support mécanique. Le bois de coeur est habituellement beaucoup plus foncé que l'aubier, en raison de la déposition de composés organiques résineux dans les parois et les cavités des cellules. Cette déposition fait qu'au moment de la fabrication de la pâte, la pénétration des lessives est plus difficile dans le bois de coeur que dans l'aubier.

### Essences répandues

Deux grandes sortes de bois sont communément utilisées dans la fabrication canadienne des pâtes et papiers. Il s'agit des conifères (gymnospermes) ou des bois mous, et des bois durs (angiospermes) ou feuillus.

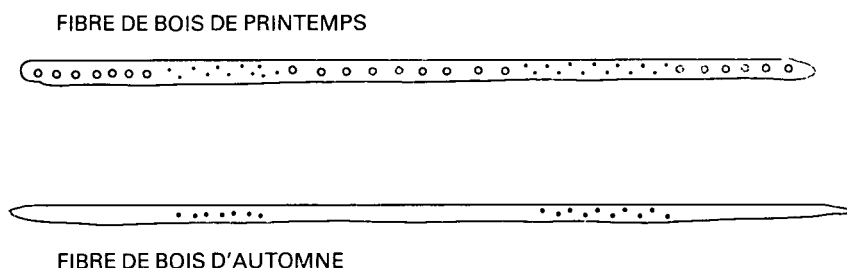


*Figure A-1. Bloc de bois en coupe.*

Les *conifères* prédominent et représentent 80 p. 100 environ des forêts existantes. Les essences les plus importantes sont le pin gris, l'épinette, le sapin et la pruche de l'Est. On les rencontre habituellement en peuplements purs, et ce sont ces essences qui conviennent le mieux aux méthodes classiques de fabrication de pâte. Du point de vue de la fabrication du papier, l'élément structural important des conifères est la trachéïde des fibres, de forme tubulaire, dont la longueur varie entre 2 mm et 5 mm. (Voir la figure A-2.) La



trachéide du bois de printemps a beaucoup plus de ponctuations que la trachéide du bois d'automne. Naturellement, cela est dû à l'activité physiologique plus intense qui a eu lieu au moment de la formation des cellules du bois de printemps.

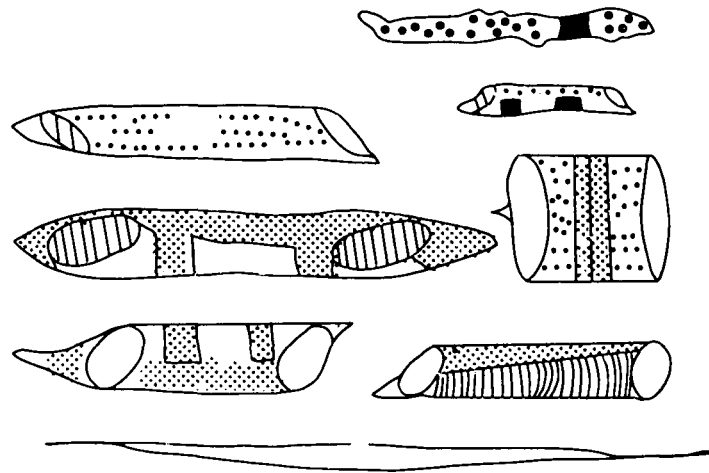


*Figure A-2. Trachéides de bois de printemps et de bois d'automne.*

Les essences de bois dur sont les arbres qui perdent leurs feuilles annuellement. Les essences canadiennes les plus connues utilisées pour la fabrication de pâte sont les bouleaux, les trembles, les peupliers et les érables. Les bois durs ont une structure plus dense que les bois mous et il est plus difficile de les défibrer. Leur teneur en constituants colorés et résineux est aussi plus élevée que dans le cas des bois mous. La présence d'éléments poreux est une différence anatomique majeure des feuillus, si on les compare aux conifères. Les vaisseaux sont courts, mais ils forment dans l'arbre des réseaux en forme de pipe-line dont la fonction majeure est l'acheminement de la sève. La longueur des fibres des feuillus varie entre 1 mm et 2 mm, et ces fibres ont beaucoup moins de ponctuations sur leurs parois si on les compare aux fibres des conifères. On trouvera à la figure A-3 des exemples des fibres et vaisseaux classiques des feuillus.

### **Structure des fibres**

La figure A-4 présente une vue en coupe transversale d'une cellule caractéristique des fibres. Toutes les fibres sont tubulaires par nature, étant dotées de cavités internes qu'on appelle le lumen de la fibre. On peut dire que la structure de la paroi d'une cellule de fibre se compose d'une paroi primaire externe et d'une paroi secondaire interne qui se divise en trois couches: la couche externe (S1), la couche moyenne (S2) et la couche interne (S3). La différenciation



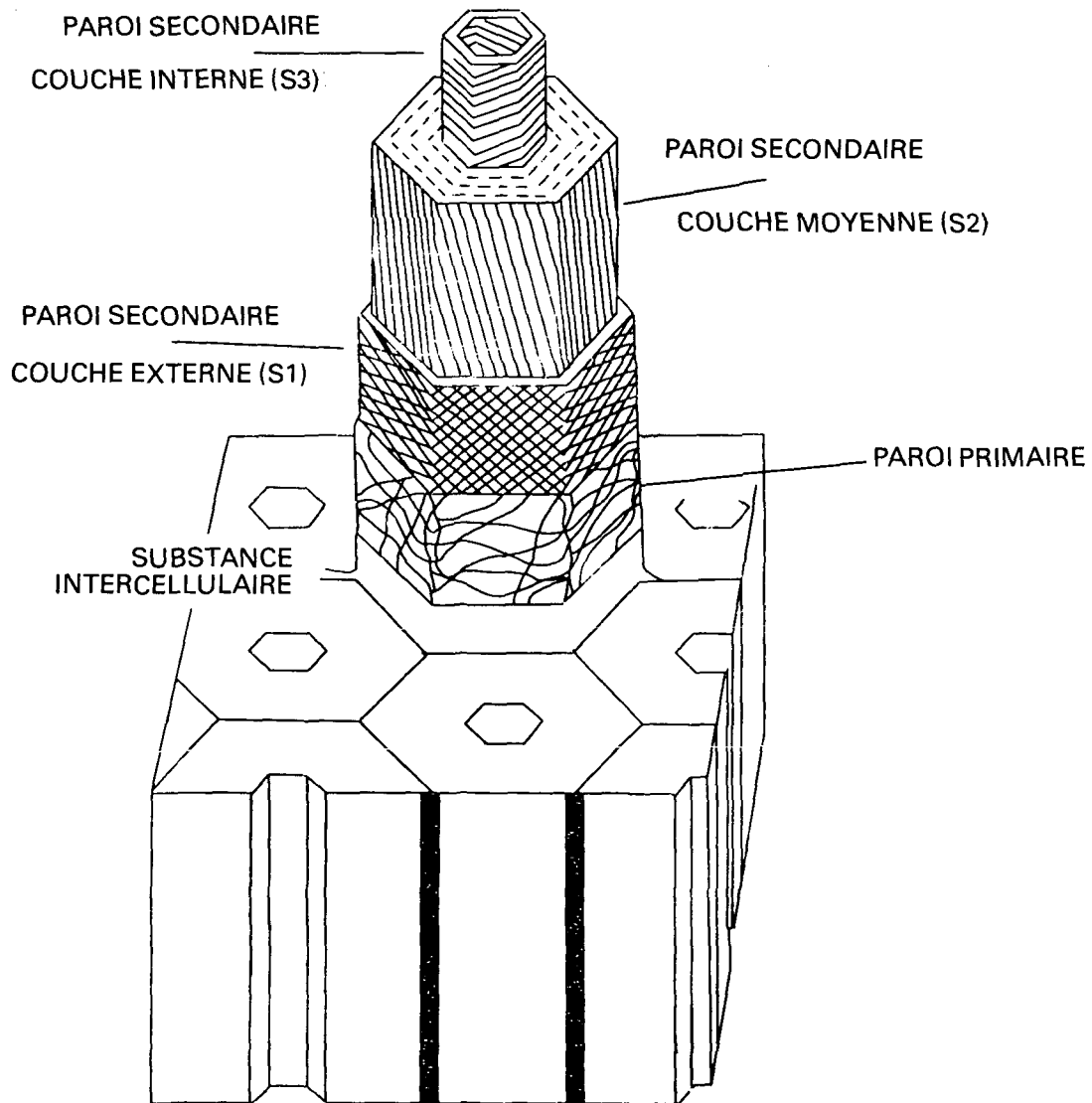
**Figure A-3. Éléments typiques de fibres et de vaisseaux de feuillus.**

des couches de la paroi secondaire repose sur l'orientation différente des fibrilles de cellulose qui en forment la structure. La substance intercellulaire est du genre adhésif résineux et a pour fonction de lier les cellules pour donner à l'arbre une rigidité structurale. Cette substance est appelée lignine. Elle forme de 26 p. 100 à 30 p. 100 du poids des conifères et de 18 p. 100 à 25 p. 100 du poids des feuillus. Pour séparer les fibres les unes des autres pour la fabrication du papier, il faut éliminer la lignine. La proportion de lignine enlevée dépend de l'intensité et du genre d'énergie mécanique et chimique appliquée au bois au moment du défibrage.

#### **Importance de la morphologie de la fibre dans la fabrication de la pâte**

La structure anatomique du bois est particulièrement importante dans la fabrication de la pâte chimique, car elle règle largement l'ampleur et la manière de pénétration et de diffusion dans le bois des produits chimiques de défibrage. Tandis que la réduction des grumes en copeaux expose une plus grande surface de bois, ce sont le réseau capillaire et la ponctuation entre les fibres et les autres cellules du bois qui règlent surtout la pénétration de la lessive.

Dans les *conifères*, la pénétration de la liqueur s'effectue surtout par le lumen de la fibre à trachéïdes et par leurs nombreuses ponctuations aréolaires et leurs capillaires. Dans les *feuillus*, la pénétration s'effectue rapidement par les grands lumens des segments de vaisseaux, mais la délignification est plus lente que dans le cas des conifères en raison de l'absence de ponctuation dans la paroi des fibres. La ponctuation de la paroi des fibres aide à



*Figure A-4. Schéma de la structure d'une fibre de bois.*

la diffusion des produits chimiques dans les lamelles moyennes très lignifiées. La diffusion des produits chimiques par les parois des fibres jusqu'aux lamelles moyennes se produit aussi, mais moins rapidement. Une fois que les produits chimiques ont atteint les lamelles moyennes, la délignification se produit par dissolution du réseau de lignine en des formes solubles de tailles différentes.

### ***Importance de la morphologie des fibres dans la fabrication du papier***

La résistance à la traction et la résistance à l'éclatement sont deux des propriétés physiques importantes du papier. Même si une analyse détaillée de ce domaine n'est pas opportune dans le cadre de ce manuel, il faut reconnaître que les caractéristiques anatomiques suivantes ont toutes une incidence directe sur la résistance du papier: (a) la longueur et la largeur de la fibre, (b) l'épaisseur de la paroi des cellules, (c) la densité de base (le rapport entre l'épaisseur de la paroi des cellules et le diamètre est un bon indice de la densité des fibres), (d) le pourcentage de bois de printemps et de bois d'été, et (e) le diamètre du lumen. Même si la composition chimique des fibres joue aussi un rôle dans la détermination des propriétés de résistance, elle n'est pas aussi importante que les caractéristiques anatomiques. Par exemple, les fibres du bois de printemps, avec leurs minces parois de cellules et leur grand lumen, se brisent rapidement au moment de la fabrication de la pâte, ce qui donne de grandes surfaces pour la liaison des fibres entre elles. Cette grande cohésion des fibres donne du papier qui a les caractéristiques suivantes:

- a) une forte résistance à la traction et à l'éclatement,
- b) un faible bouffant,
- c) une surface lisse pour l'impression
- d) et une faible résistance à la déchirure.

D'un autre côté, les fibres du bois d'été dont les cellules ont des parois épaisses et de petits lumens donnent des papiers qui ont les caractéristiques suivantes:

- a) une forte résistance à la déchirure,
- b) un fort bouffant
- c) et une faible résistance à la traction, à l'éclatement et au pliage.

Ces fibres ne se rompent pas facilement au moment de la fabrication de la pâte; elles demeurent rigides et ne donnent donc pas une forte cohésion des fibres.

### **COMPOSITION CHIMIQUE DU BOIS**

La composition élémentaire des feuillus et des conifères est très semblable et elle est approximativement la suivante:

**TABLEAU A-1**  
**Éléments chimiques du bois.**

Éléments chimiques	Pourcentage du poids (approximativement)
Carbone	50
Oxygène	44
Hydrogène	6
Azote	0,1
Cendre (inorganique)	0,3

On décompose habituellement les éléments du bois en trois systèmes chimiques majeurs:

- a) les polysaccharides,
- b) les lignines,
- c) les substances extractibles.

On trouvera à la figure A-5 une illustration de leur corrélation et de leur importance approximative en pourcentage basée sur le bois sec.

### **Corps étrangers et produits de l'extraction**

Lorsque le bois est broyé et qu'on lui a appliqué des solvants neutres d'extraction comme de l'eau, de l'alcool, du benzène, de l'éther et de l'acétone, 3 p. 100 à 10 p. 100 du bois se dissolvent. La fraction extraite contient diverses couleurs, et c'est elle qui colore les effluents d'une usine de pâte. Les alcools s'évaporent et polluent l'atmosphère. On a traité de ces substances lors des discussions sur les sous-produits polluants.

### **Les polysaccharides**

On trouve la partie du bois qui est constituée de polysaccharides dans la paroi des cellules des fibres. Selon l'essence, elle constitue entre 60 p. 100 et 80 p. 100 du poids total du bois sec. Les polysaccharides du bois sont simplement des hydrates de carbone dont le poids moléculaire est élevé, composés de sucres simples comme le glucose, le mannose et le xylose. Les polysaccharides sont constitués de cellulose et d'hémicellulose. Leur combinaison est généralement appelée holocellulose. Le principal composant polysaccharide du bois est la *cellulose*. C'est un polymère du glucose, sucre simple, et, selon son D.P., ou degré de polymérisation (c'est-à-dire le nombre d'unités de glucose dans le polymère), il peut avoir un poids moléculaire très élevé. Le D.P. de la cellulose varie généralement entre 1000 et 15 000. La cellulose qu'on trouve dans la paroi de la cellule des fibres a des caractéristiques amorphes et cristallines. On trouvera à la figure A-6 une décomposition schématique de la cellulose sous sa forme la plus simple.

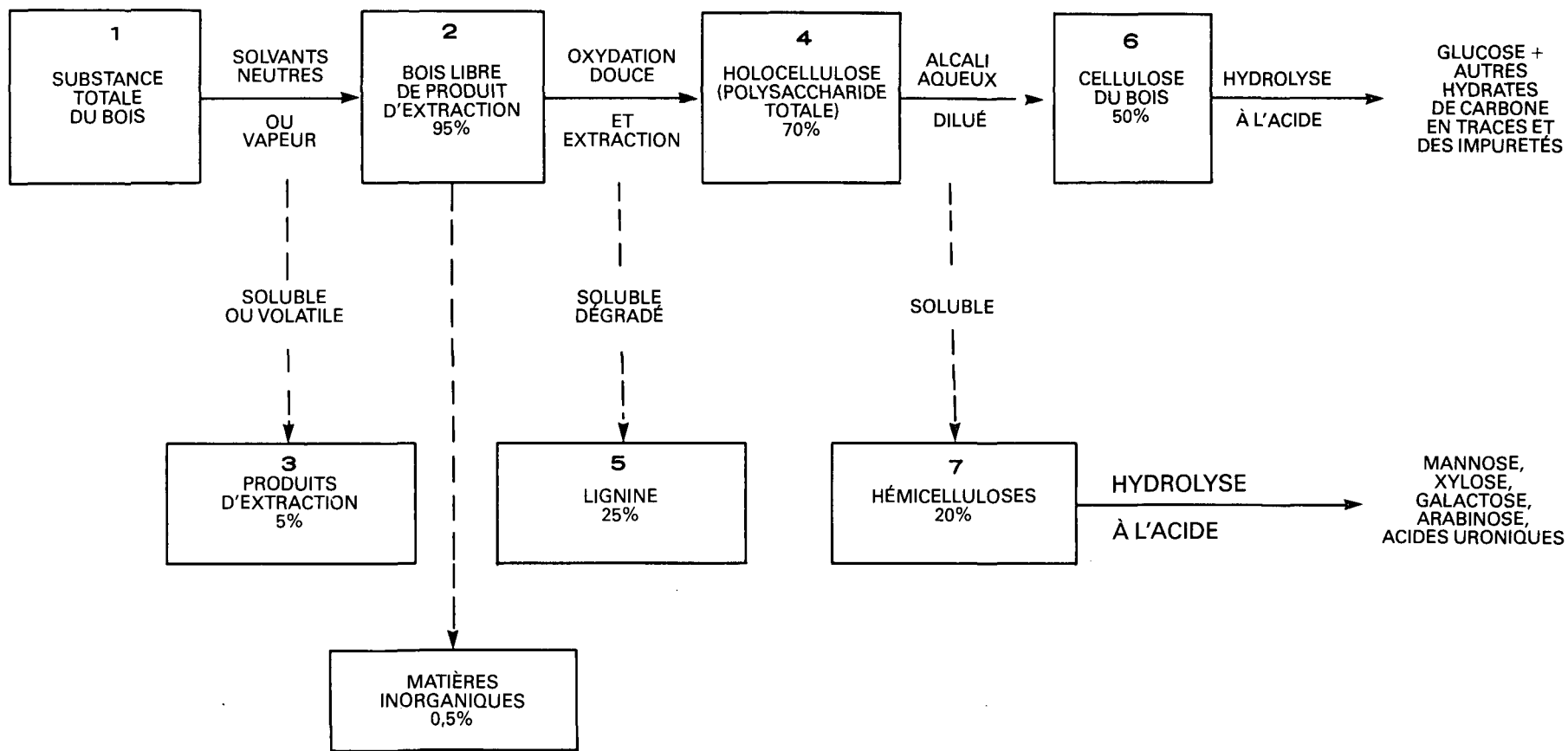


Figure A-5. Composés chimiques du bois.

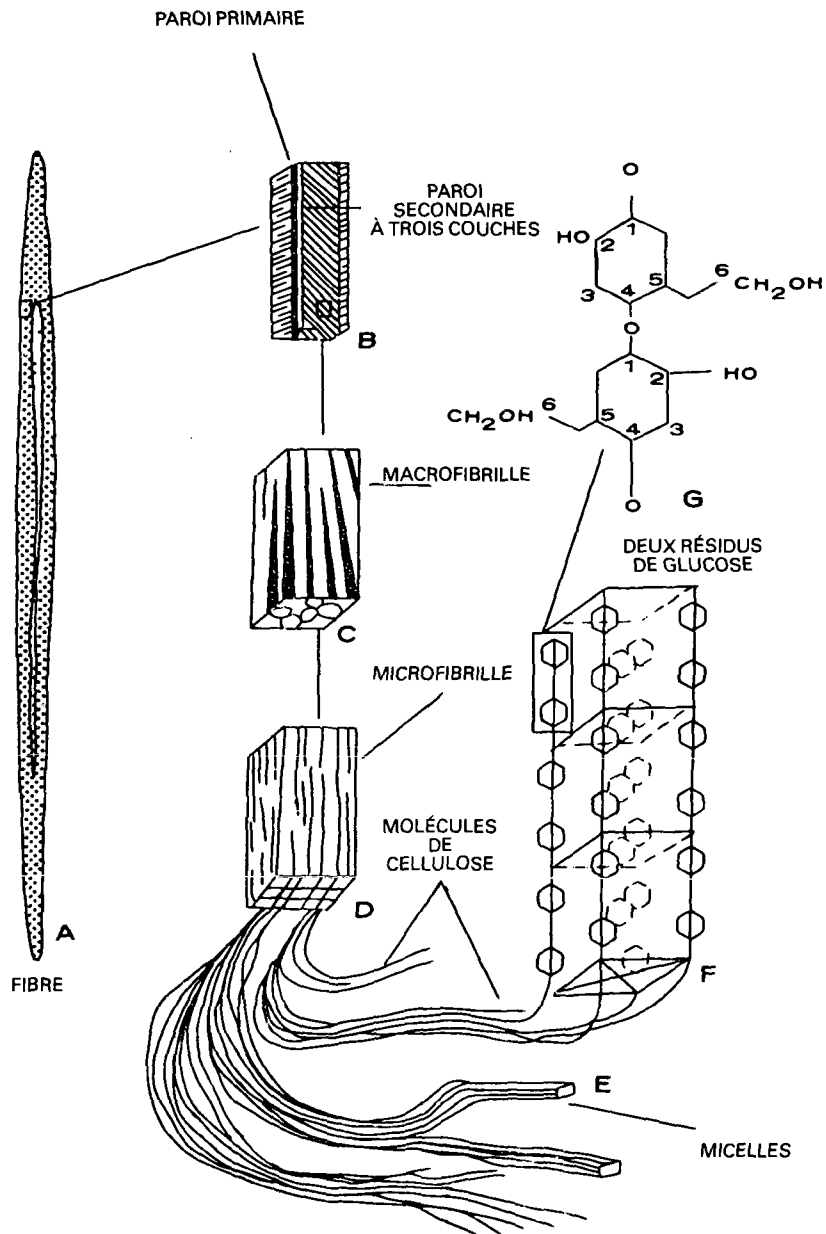


Figure A-6. Structure microscopique et ultra-microscopique de la cellulose.

On appelle *hémicelluloses* les autres polysaccharides au poids moléculaire plus faible. En raison de leurs ramifications, ce sont des polymères plus complexes que la cellulose. Leur structure consiste en combinaisons variées d'unités de mannose, de xylose, de galactose et d'arabinose, ainsi que d'unités d'acide uronique. Les parties de l'hémicellulose qui contiennent du xylose sont souvent appelées xylanes ou pentosanes, le xylose constituant le sucre le plus commun du pentose. Une autre variété d'hémicellulose est constituée en grande partie d'unités de mannose liées entre elles, et liées aux unités de glucose. Il s'agit des glucomannanes. Les figures A-7 et A-8 illustrent leur structure chimique. Le tableau A-2 indique les quantités relatives de ces hémicelluloses dans les bois durs et dans les bois tendres. L'hémicellulose résiste moins bien à la dégradation que la cellulose durant la fabrication de la pâte chimique, de sorte que les produits ainsi dégradés viennent s'ajouter aux lessives usées qui contribuent à la charge en D.B.O.

**TABLEAU A-2**

*Principaux polymères des hydrates de carbone de l'hémicellulose des bois durs et des bois tendres.*

Polymère	Quantité relative	
	Bois tendres	Bois durs
4-0-méthylglucuronoxylane (acétate)	faible ou inexistante	très importante
4-0-méthylglucuroarabinoxylane	moyenne	infime
Glucomannane	nulle	peu importante
Galactoglucomannane (acétate)	très importante	nulle
Arabinogalactane	importante pour le mélèze	nulle

Source: T. E. Timmel, *Wood Science and Technology*, 1(1) : 45, 1967.

La *lignine* constitue le deuxième élément du bois, par ordre d'importance, et est à l'origine de 25 p. 100 à 35 p. 100 de son poids. Le réseau de lignine se concentre entre les cellules fibreuses; il cimente les fibres entre elles et donne à l'arbre la rigidité de sa structure. La lignine se forme dans le bois après que les hydrates de carbone s'y soient établis. La lignification commence vraiment lors de la formation de la paroi secondaire de la fibre.

Le monomère de phényl-propane qui apparaît à la figure A-9 constitue le fondement de la formation de la lignine.

Comme l'indique la figure A-10, la lignine est un réseau complexe, à trois dimensions, d'unités de phényl-propane liées par de l'éther et du carbone. On ne comprend pas encore tout à fait sa structure. Règle générale, on juge que la lignine est un polymère d'un poids moléculaire extrêmement élevé, et que pour cette raison aucun solvant ne peut agir avant qu'il ne soit dégradé.



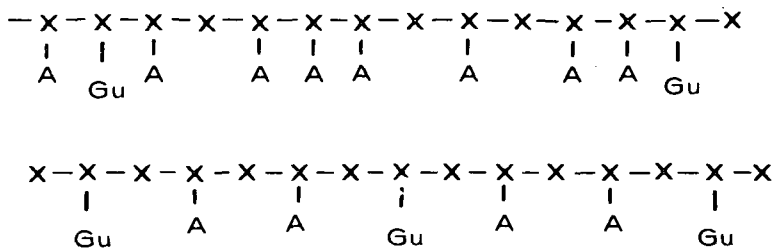
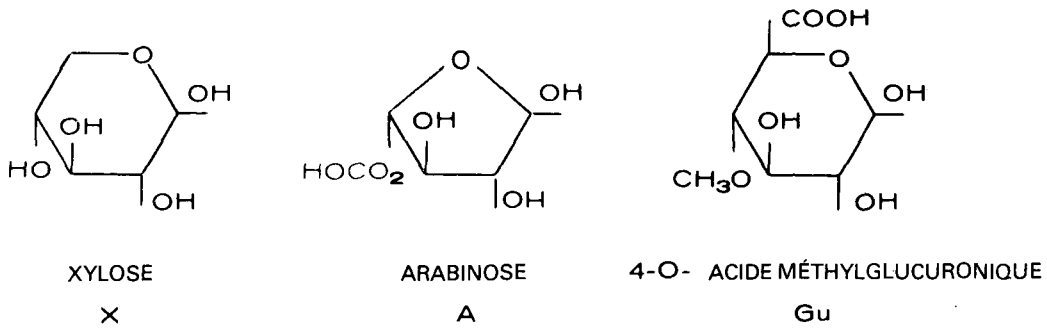


Figure A-7. Structure des xylanes.

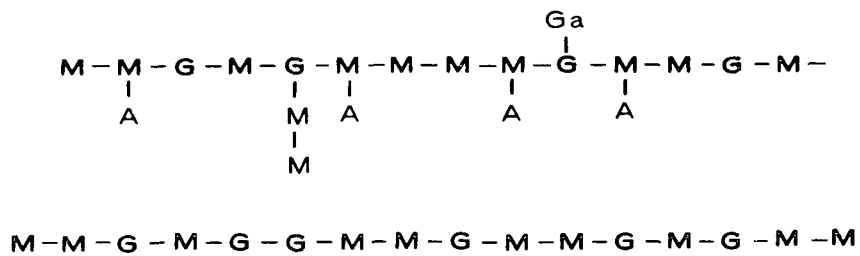
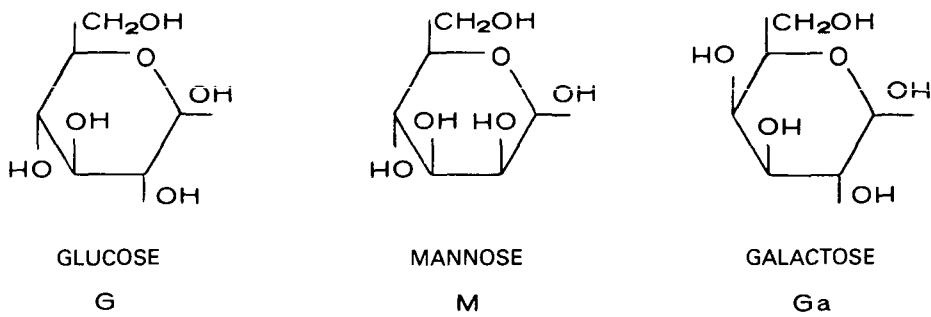
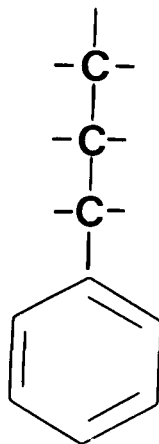
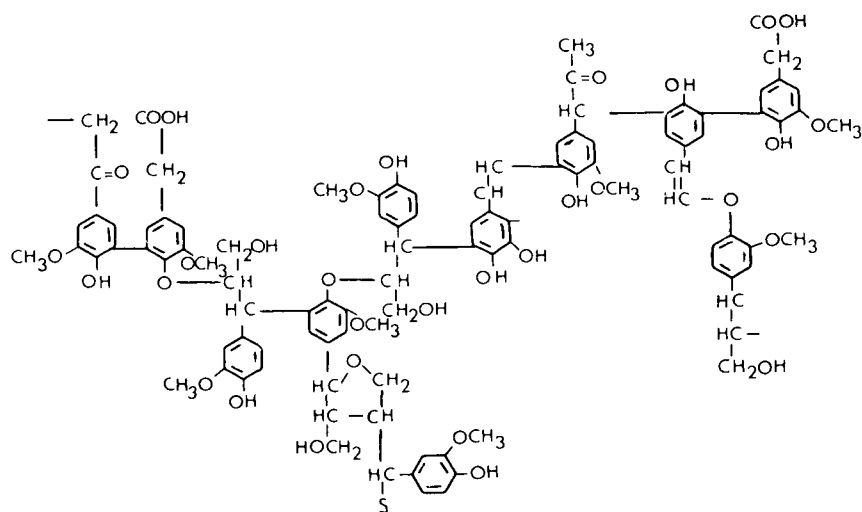


Figure A-8. Structure des glucomannanes.



*Figure A-9. Monomère de phényl-propane.*



*Figure A-10. Essai de définition des caractères structuraux d'un segment d'une molécule de lignine (pin soumis au procédé kraft).*

### Mécanismes de la fabrication de la pâte

La solubilité de la lignine est principalement régie par:

- l'interaction des composés du soufre avec la lignine par *sulfonation*, durant le procédé au sulfite, et par *sulfitage*, durant le procédé kraft,
- et le taux d'hydrolyse, qui est régi en grande partie par l'adaptation du pH (par «hydrolyse», on entend le clivage des liaisons de lignine-lignine ou de lignine-hydrates de carbone, et l'introduction de groupes d'hydroxyles au moment du clivage).

Les figures A-11, A-12 et A-13 illustrent la sulfonation, le sulfitage et l'hydrolyse.

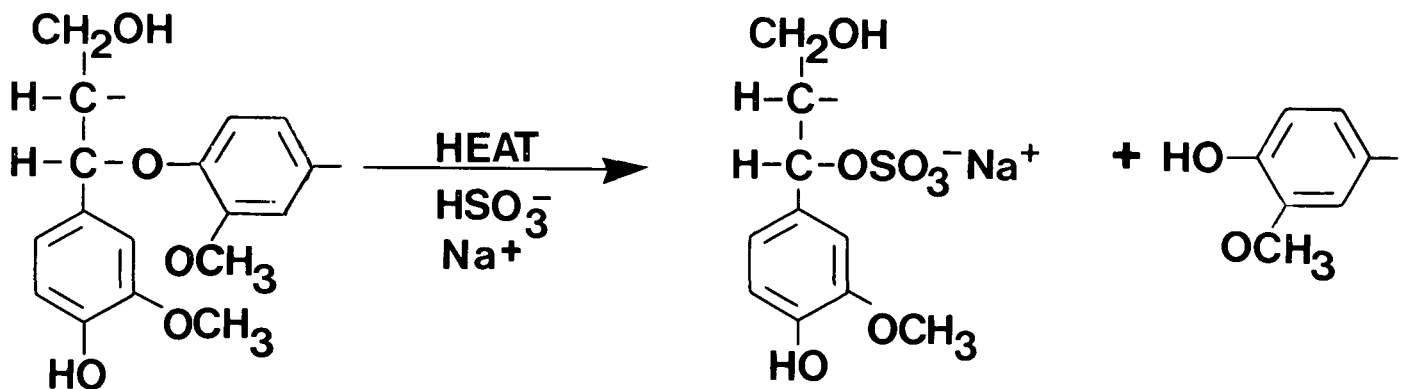


Figure A-11. Réaction de la lignine à la sulfonation.

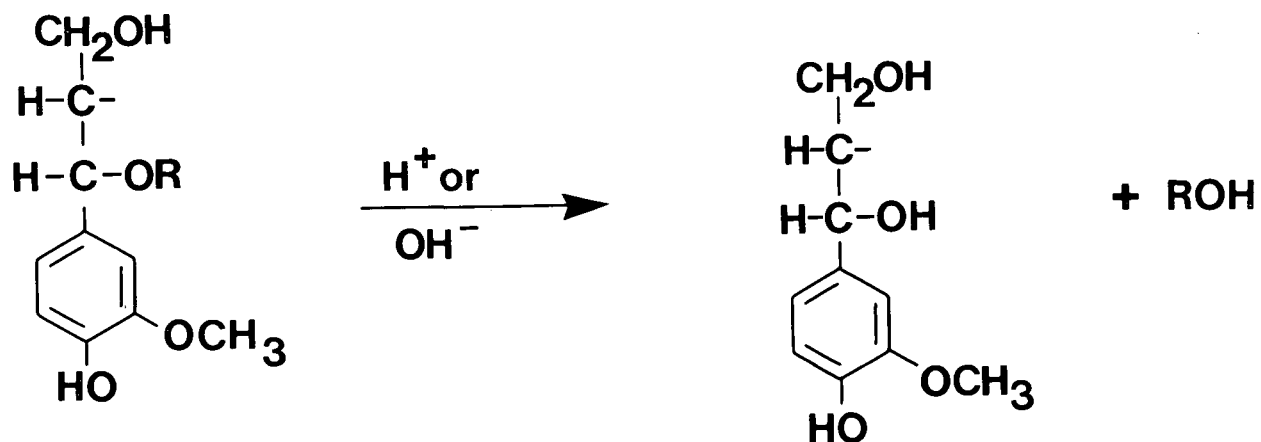


Figure A-12. Hydrolyse acide ou alcaline.

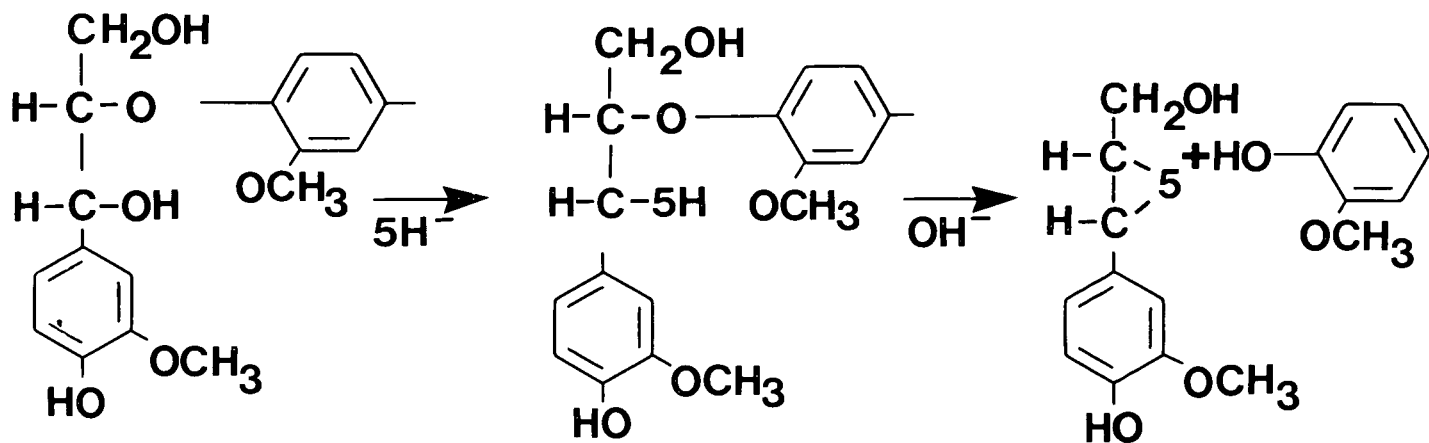


Figure A-13. Sulfitage et hydrolyse alcaline de la lignine.