



**ASPECTS ÉCOLOGIQUES
DE L'INDUSTRIE DES PATES ET PAPIERS**

- étude technique -



PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT

**ASPECTS ECOLOGIQUES DE L'INDUSTRIE
DES PATES ET PAPIERS**

– Etude Technique –



**PNUE, Programme de l'Industrie
Paris, Mai 1977**

TABLE DES MATIERES

	<i>Pages</i>
AVANT-PROPOS	5
1. INTRODUCTION	7
2. PROBLEMES ECOLOGIQUES	8
2.1. Pollution de l'eau	8
2.2. Emissions atmosphériques	11
2.3. Déchets solides	12
2.4. Erosion du sol	13
3. LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'EAU	13
3.1. Réduction des effluents	13
3.2. Traitement des effluents	15
4. LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR	23
4.1. Emission de particules	25
4.2. Emission de gaz	25
5. NOUVEAUX PROCEDES DE FABRICATION PERMETTANT DE REDUIRE LA POLLUTION	27
5.1. Procédé à l'oxygène en milieu alcalin	28
5.2. Procédé Rapson	30
5.3. Blanchiment à l'oxygène	32
6. CONCLUSIONS	32

AVANT-PROPOS

Lors de sa première session tenue en juin 1973, le Conseil d'Administration du P.N.U.E. a reconnu l'importance des problèmes écologiques associés au développement industriel et a noté l'intention du Directeur exécutif de lancer des travaux préliminaires sur les problèmes écologiques de certaines industries.

L'industrie des pâtes et papiers est l'un des principaux secteurs industriels retenus afin d'être examiné. Des consultations ont été entreprises avec des experts nommés par les gouvernements, l'industrie et des organisations internationales gouvernementales et non-gouvernementales et se sont concrétisées par un séminaire, tenu à Paris en mars 1975, au cours duquel ont été évaluées les solutions disponibles, les questions majeures et les issues possibles en matière de recherche et de développement permettant de résoudre ces problèmes écologiques

Ce rapport présente une synthèse de l'évaluation qui a été effectuée et souligne les aspects techniques des problèmes écologiques associés à l'industrie des pâtes et papiers.

Les opinions exprimées dans ce rapport ne sont pas nécessairement représentatives des décisions ou de la politique adoptées par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, en outre la mention de marques ou de procédés commerciaux n'implique aucun assentiment de la part du P.N.U.E.

1. INTRODUCTION

Le procédé fondamental de fabrication du papier a subi très peu de modifications, contrairement à d'autres industries. Bien que l'efficacité des équipements se soit améliorée, que la production ait augmenté en termes absolus et se soit automatisée de plus en plus, les matières premières fibreuses doivent encore être écorcées et défibrées par des moyens mécaniques, chimiques ou mi-chimiques en présence d'eau et de composés chimiques inorganiques forts (principalement des hypo-sulfites et des sulfures). La pâte est ainsi amenée à la machine à papier en une suspension aqueuse et déshydratée de façon à obtenir du papier, du carton, ou des produits similaires. La présence d'une eau appropriée et abondante, de matières premières fibreuses et de cours d'eau accessibles pour évacuer les effluents jouent donc un rôle important dans l'implantation d'une usine. L'industrie des pâtes et papiers compte parmi les plus grands utilisateurs industriels d'eau, non seulement en termes de consommation spécifique mais aussi en termes de quantité rejetée. Très peu d'industries combinent ces 2 caractéristiques dans une mesure analogue à celle des pâtes et papiers. En 1973, la production mondiale de papier et de carton était estimée à environ 148 millions de tonnes métriques. La consommation de pâte de bois, représentant environ 72% de la quantité totale des matières premières fibreuses, a été estimée à 403 millions de m³ (mesure des solides), au cours de la même période (1)

Dans les pays de l'O.C.D.E. produisant de la pâte et du papier, c'est-à-dire environ 85% de la production mondiale, une usine de sulfate type produisant 500 tonnes de pâte par jour, utilisera environ 100.000 m³ d'eau par jour. Ceci équivaut à la consommation d'une ville de 500.000 habitants.

L'eau et les effluents aquatiques sont donc considérés comme étant des problèmes écologiques prioritaires et l'on essaie surtout de réduire et de lutter contre les quantités déversées. Les émissions atmosphériques et les déchets solides provenant de l'industrie des pâtes et papiers posent également des problèmes en matière d'environnement. En raison de réglementations de plus en plus sévères en ce qui concerne la protection de l'environnement, des équipements de lutte contre la pollution sont actuellement ajoutés aux usines existantes ou incorporés aux nouvelles installations.

L'évolution en faveur de la lutte contre la pollution se traduit par le développement et la mise en place de procédés produisant peu de déchets et dans lesquels les déchets formés sont recyclés et réutilisés. La réalisation de procédés technologiques ne créant pas de déchets au niveau de la production et de la fabrication servira une double cause, à savoir la conservation des ressources et la mise en valeur de l'environnement.

(1) Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (1974) "Les ressources en fibre de bois et les besoins en bois à pâte". F.A.O. PAP 74/6 (Rev 1).

2. PROBLEMES ECOLOGIQUES

2.1 Pollution de l'eau

Les caractéristiques indésirables des effluents des pâtes et papiers, pouvant entraîner des problèmes pour les cours d'eau récepteurs, les égouts municipaux ou les usines de traitement sont les suivants :

DBO ₅	Demande biologique d'oxygène	métaux lourds
DCO	Demande chimique d'oxygène	matières toxiques
COT	Carbone organique total	turbidité
pH		ammoniaque
Ensemble des solides en suspension		huile et graisse
Coliformes, totaux et fécaux		phénols
Couleur		sulfite

Il existe également d'autres caractéristiques, tels que : les éléments nutritifs (azote et phosphore) et l'ensemble des solides dissouts.

Les méthodes d'analyse employées pour ces caractéristiques ont été longuement expliquées (1). Il est indispensable de veiller à ce que les échantillons prélevés en vue d'une analyse soient représentatifs, correctement manipulés et préservés.

Recommandations en ce qui concerne les procédures de stockage :

Analyse	Stockage d'échantillons	
	Réfrigération à 4°C	Congélation
DBO ₅	Jusqu'à 1 jour dans des systèmes d'échantillonnage composite	Temps de latence Unensemencement frais des effluents est nécessaire
DCO	Jusqu'à plusieurs jours	OK
Solides en suspension	Jusqu'à plusieurs jours	Non
Solides en suspension volatiles	Jusqu'à plusieurs jours	Non
Ensemble des solides	OK	OK

(1) Standard methods for the examination of water and waste water (1974). Prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Thirteenth Edition, Fifth Printing.

Recommandation pour la préservation des échantillons :

<i>Caractéristiques</i>	<i>Conservation</i>	<i>Délai maximum</i>
DBO	Réfrigération à 4° C	6 heures
DCO	2 ml H ₂ SO ₄ / litre	7 jours
Solides	Inexistante	7 jours
Couleur	Réfrigération à 4° C	24 heures
Métaux, total	5 ml HNO ₃ par litre	6 mois
Métaux dissouts	Filtre, 3 ml 1 : 1 HNO ₃ par litre	6 mois
Turbidité	Inexistante	7 jours
Huile, graisse	2 ml H ₂ SO ₄ par litre 4° C	24 jours
Phénols	1.0 g Cu SO ₄ / l + H ₃ PO ₄ à pH ₄ - 4° C	24 heures
Sulfate	Réfrigération à 4° C	7 jours
Sulfure	2 ml Zn acétate par litre	7 jours

Les principales caractéristiques des effluents de l'industrie des pâtes et papiers entraînant des problèmes écologiques sont les particules solides en suspension, substances non dissoutes dans l'eau usée, retenues sur un filtre de 0,45 micron. Dans certains pays, un filtre de 10 µm est également utilisé. Le résidu retenu sur le filtre est séché dans un four à 105° C. Le dépôt de particules solides dans les étendues tranquilles d'un cours d'eau altèrera la vie aquatique normale de ce cours d'eau. Les couches de vase contenant des solides organiques subiront une décomposition progressive qui entraînera une consommation d'oxygène et la production de gaz nocifs. Des problèmes similaires peuvent survenir lorsqu'une trop grande quantité de solides en suspension est déversée dans les égouts municipaux. Les solides en suspension comprennent en général une fraction organique et une fraction inorganique. La fraction organique est habituellement définie comme étant l'ensemble des solides volatilisés ou oxydés à 550° C.

En 1970, la quantité de solides en suspension déversés dans les eaux réceptrices, a été estimée à environ 2,8% de l'ensemble de la production totale de pâte et de papier.

La demande biologique en oxygène (DBO₅) est toujours l'indicateur le plus utilisé pour évaluer le contenu des déchets biodégradables. Cependant, il faut l'appliquer avec beaucoup de précaution, étant donné que la présence de certains composés peut rendre le test inefficace. Bien que ce soit une méthode utile dans la caractérisation des déchets industriels, son emploi est limité en matière de surveillance, car le test doit se faire sur une période de 5 jours.

Toutefois on pense que la DBO₅ continuera à servir de norme pour les agences de réglementation, bien qu'il soit essentiel d'acquérir une parfaite compréhension de cette méthode. Le test de la demande chimique d'oxygène (DCO) peut également être utilisé pour évaluer les caractéristiques d'un effluent. Les résultats des tests de DCO sont généralement supérieurs à ceux du test de DBO parce que :

- de nombreux composés organiques qui peuvent être oxydés par le dichromate de potassium ne sont pas biochimiquement oxydables,
- certaines substances inorganiques, telles que les sulfures, sulfites, thio sulfates, nitrites et composés ferreux sont oxydés par le dichromate, créant ainsi une DCO inorganique qui gêne l'évaluation du contenu organique des eaux usées,
- les résultats de la DBO peuvent être affectés par le manque d'acclimatation de l'ensemencement et s'avérer à tort très peu élevés,
- les résultats de la DCO ne dépendent pas de l'acclimatation de l'ensemencement. Le test peut ne pas inclure certaines substances organiques, telles que la cellulose, qui ne sont pas habituellement disponibles aux bactéries de rivière.

La toxicité des effluents d'usines de pâtes et papiers peut être causée par des composés du soufre entrant dans le traitement de la pâte, des composés organiques dissouts provenant des matières premières ainsi què par des métaux lourds tels que le mercure (si des composés organiques du mercure sont utilisés pour la conservation du bois et la lutte contre l'accumulation de la vase) et le zinc (si des composés du zinc sont utilisés comme agents éclaircissants pour la pâte mécanique). Cependant, en ce qui concerne la toxicité dûe aux composés du mercure et du zinc, il existe maintenant d'autres méthodes permettant d'éviter leur utilisation qui, par conséquent, devrait cesser peu à peu.

La couleur et la turbidité des effluents présentent des problèmes esthétiques. La couleur des eaux usées de l'industrie des pâtes et papiers est dûe principalement à la lignine du bois et dans certaines usines de papier aux teintures. De faibles concentrations de composés tels que la lignine coloreront les eaux naturelles et cet effet peut être intensifié lorsque ces composés sont associés à d'autres matières. Les problèmes de couleur des effluents sont une source de préoccupations à la fois pour l'industrie et pour les organes réglementaires car il s'agit d'un effet visible de la pollution.

Ce problème est encore plus aigu dans les zones à la fois industrielles et touristiques. Un coliforme (*klebsiella pneumoniae*) a été identifié dans des eaux usées rejetées par des usines de pâtes et papiers (1). Cette bactérie représenterait jusqu'à 80 pour cent de l'ensemble des coliformes présents dans ces

(1) Knittel M.D. (1975) "Taxonomy of *klebsiella pneumoniae* isolated from Pulp/Paper Mill waste water". US EPA - 600/2-75-024, June.

effluents et semblerait pouvoir se reproduire dans des échantillons d'eaux usées stérilisées. Le rapport conclut que la question de la pathogénicité n'a pu être ni prouvée ni réfutée, mais reste posée et recommande que les effluents des usines de pâtes et papiers soient désinfectés ou soumis à d'autres méthodes de contrôle bactérien, tant qu'il n'est pas démontré que la *k. pneumoniae* n'est pas pathogène.

2.2. Emissions atmosphériques

Parmi les polluants atmosphériques émis par l'industrie des pâtes et papiers, les produits suivants sont considérés comme les principaux polluants entraînant des problèmes écologiques.

L'anhydride sulfureux est un gaz ininflammable, incolore, que l'on trouve dans l'air soit à l'état de gaz, soit dissout dans des gouttelettes d'eau. La plupart des gens peuvent le détecter à des concentrations d'environ $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou plus. L'anhydride sulfureux s'oxyde partiellement dans l'air pour former de l'anhydride sulfurique (SO_3), qui se combine immédiatement à la vapeur d'eau pour former de l'acide sulfurique ($\text{H}_2 \text{SO}_4$). Il existe un grand nombre de méthodes chimiques pour mesurer la concentration de SO_2 dans l'air ambiant, entre autres les méthodes pararosaniline et acidimétrique sont largement employées. Certains pays utilisent également d'une manière courante des instruments de surveillance en continu du SO_2 du type coulométrique ou pile à combustible. Les principes, les qualités et les défauts de ces méthodes ont été décrits en détail (1).

L'émission de SO_2 dans l'industrie des pâtes et papiers est particulièrement grave dans les usines au bisulfite, mais ces émissions peuvent être considérablement réduites grâce à de bons procédés d'exploitation et à des méthodes d'épuration appropriées. Cependant des difficultés se présentent au niveau d'usines d'incinération des liqueurs résiduaire.

Particules : les particules non viables peuvent être classées en poussières, fumées, et brouillards. Dans les usines de papier kraft, par exemple, les particules proviennent principalement du four de récupération, du four à chaux et du dissolvant. Elles sont principalement dues à la sublimation et à la condensation des produits chimiques inorganiques. La sublimation et la condensation produisent une fumée dont les composants ont vraisemblablement au départ une taille inférieure au micron mais qui ont tendance à s'agglomérer. De plus les émissions de particules proviennent des chaudières productrices de vapeur et des chaudières fonctionnant avec de l'écorce ainsi que d'autres combustibles.

(1) Organisation Mondiale de la Santé, OMS (1976) "Choix de Méthodes pour la Mesure des Polluants de l'Air". Publié sous les auspices du PNUE et de l'OMS. OMS Publication Offset n° 24.

En ce qui concerne le four à chaux, les émissions de particules se composent principalement de sels de sodium, de carbonate de calcium et d'oxyde de calcium, alors que dans le cas des dissolvants, les émissions sont principalement dues à l'entraînement de particules dans les gaz des événements. Selon les caractéristiques physiques chimiques et biologiques des particules, les effets peuvent être différents sur la santé de l'homme, la végétation, les matières et la météorologie. Cependant, il a été confirmé que les particules associées aux oxydes de soufre ont un effet synergétique (1).

Les principes gravimétriques et photométriques sont communément utilisés dans la détermination des particules. Les avantages et les défauts des différentes méthodes basées sur ces principes ont été discutés et étudiés (2).

L'odeur est un problème écologique important, surtout dans l'industrie du papier kraft où ce problème a pour origine l'utilisation du sulfure de sodium en tant que composant de la liqueur de digestion. Dans les digesteurs, un dégagement de λ d'hydrogène sulfuré se produit lorsque s'établit l'équilibre suivant : $S^{2-} \rightleftharpoons HS^- \rightleftharpoons H_2S(aq) \rightleftharpoons H_2(g)$, cet équilibre dépend fortement du pH.

D'autres sulfures organiques, tels que le méthyle mercaptan, CH_3SH , le sulfure de diméthyle, $(CH_3)_2S$, et le bisulfure de diméthyle $(CH_3)_2S_2$ sont également formés. Ces sulfures sont extrêmement odorants et peuvent être détectés à des concentrations ne dépassant pas 1 ppb. Les seuils de détection effective (3), (4), correspondant à certains de ces composés sont les suivants :

H_2S	hydrogène sulfuré	0,0047 ppm
SO_2	anhydride sulfureux	0,47 ppm
CH_3SH	méthyle mercaptan	0,0021 ppm
$(CH_3)_2S$	sulfure de diméthyle	0,0010 ppm
$(CH_3)_2S_2$	bisulfure de diméthyle	0,0056 ppm

2.3. Déchets solides

L'industrie produit une grande quantité de déchets solides comprenant entre autres, l'écorce, la boue, les cendres, la vase, etc. On estime que l'écorce représente 8 à 13% du poids du bois et dans l'industrie des pâtes à

- (1) U.S. Environmental Protection Agency, EPA (1974) "Health Consequences of Sulphur Oxides" EPA 650/1-74-004, May.
- (2) World Health Organization, WHO (1970) *Op. Cit.*
- (3) Leonardos G.D. Kendall and N. Barnard (1969) "Odor Threshold Determinations of 53 Odorant Chemicals". *J. Air Poll. Control Assoc.*, V 19, N° 2, p. 91.
- (4) Hellman, T.M. and G.H. Small (1974) "Characterization of the Odors Properties of 101 Petrochemicals Using sensory Methods". *J. Air Poll. Control Assoc.* V 24, N° 10, p. 979.

papier, environ 70 à 80% de l'écorçage s'effectue sur les lieux mêmes de l'usine. En général, l'écorce est brûlée pour produire de la vapeur, il conviendrait donc d'installer des équipements appropriés pour réduire la pollution de l'air due à cette opération. L'industrie se trouve confrontée au problème suivant : trouver des moyens acceptables pour éliminer les grandes quantités de boue résultant de ses efforts pour réduire la quantité de solides en suspension actuellement rejetés avec les effluents.

2.4 Erosion du sol

Elle peut se produire si l'abattage du bois pour l'industrie des pâtes et papiers n'est pas convenablement réglementé et intégré dans des programmes de reboisement. Des forêts régularisent l'écoulement des eaux de ruissellement et la mobilité de la neige; elles permettent également l'infiltration des eaux de ruissellement dans le sol ce qui alimente et régularise les cours d'eaux souterrains. En outre, les forêts affectent les précipitations par leur action sur les masses d'air se déplaçant au-dessus d'elles, ce qui modifie la température, l'humidité et la pression de l'air. Ainsi, dans certaines régions, le total des précipitations dans les zones forestières en été est de 10 pour cent supérieur à celui des zones peu boisées; lorsque le pourcentage de zone boisée passe de 18 à 100 pour cent, le volume des précipitations, peut augmenter d'environ 20%. Il a été évalué que toute augmentation de 10 pour cent de la surface forestière entraîne une augmentation moyenne d'environ 2 pour cent des précipitations. Outre son impact sur la protection des sols et sur la gestion des eaux, un abattage inconsidéré pourrait également poser des problèmes esthétiques, réduisant ainsi l'agrément des forêts du point de vue des loisirs.

3. LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'EAU

3.1. Réduction des effluents

L'une des mesures qui peuvent être prises pour minimiser les effets des effluents sur les cours d'eau récepteurs et les usines de traitement consiste à réduire le volume de ces eaux usées. Ceci peut être réalisé par :

La conservation de l'eau. Un certain nombre de techniques fondamentales pourraient être utilisées à cet effet, à savoir :

- installer des compteurs d'eau dans chaque service/secteur pour que les responsables prennent conscience des coûts occasionnés et des quantités d'eau utilisées,
- installer des vannes automatiques pour éviter les pertes dues à l'absence de fermeture d'une vanne alors qu'il n'est plus nécessaire de tirer de l'eau,

- installer des vannes à l'extrémité des tuyaux de manière à pouvoir couper immédiatement la pression sans que l'opérateur doive laisser couler l'eau pendant qu'il se dirige vers le point de branchement,
- détartrer les échangeurs de chaleur pour éviter les pertes lors des transferts de chaleur et, par conséquent, l'utilisation inefficace et excessive d'eau de refroidissement,
- vérifier régulièrement qu'il n'y a pas de fuite,
- faire appel à un contrôle centralisé de manière à éviter les gaspillages dus à des branchements inappropriés,
- réintroduire dans le circuit / réutiliser l'eau de refroidissement,
- utiliser des jets de rinçage à haute pression et faible volume de manière à obtenir une plus grande efficacité.
- lavage à haute température dans des digesteurs fonctionnant en continu,
- adopter un refroidissement à air chaque fois que cela est possible,
- dans les usines de papier de différentes qualités, l'éventuelle utilisation de l'effluent provenant de la production de papier fin comme eau de traitement pour la production de carton de basse qualité.

La classification des eaux usées, afin de séparer les eaux servant à la fabrication des eaux de refroidissement, ce qui réduit le volume d'eau nécessitant un traitement intensif. D'autre part, il est souvent possible de classer et séparer les eaux de fabrication afin que seules les plus polluées soient traitées et que les effluents relativement peu contaminés soient dilués et rejetés sans traitement.

L'élimination des rejets discontinus et massifs des eaux usées, afin de minimiser l'évacuation intermittente d'effluents concentrés dans les usines de traitement ou les cours d'eau récepteurs. Deux méthodes peuvent être utilisées pour venir à bout des rejets discontinus (a) modifier la production pour accroître la fréquence et diminuer l'importance des rejets et (b) retenir les eaux usées de rejet dans des bassins à partir desquels elles peuvent s'écouler de manière uniforme et continue sur une longue période de temps.

L'industrie des pâtes et papiers peut tirer parti d'une méthode particulière pour réduire la quantité d'eau usée rejetée en "fermant" le système d'eau blanche afin de minimiser ou d'éliminer complètement l'excès d'eau à partir du procédé de fabrication du papier. Selon un rapport (1) décrivant les re-

(1) Geiger C.G. (1975) "Environmental Aspects of the Pulp and Paper Industry", paper prepared under the joint UNIDO/UNEP Environment Programme and presented at the Sixth SIDA/UNIDO/SSIF In-plant Group Training Programme for Engineers in the field of Pulp and Paper Industries.

cherches effectuées par le projet suédois pour la protection de l'environnement, la consommation spécifique d'eau pour les différents procédés de fabrication de papier utilisés en Suède pourrait être sensiblement réduite en mettant les systèmes en circuit fermé.

Le rapport établit que la consommation d'eau, dans un système fermé, pourrait être réduite d'environ 20 m^3 /tonne de papier en utilisant la meilleure technologie actuellement disponible. Les solides en suspension dans les effluents peuvent également être réduits d'environ 50 mg/l , soit l'équivalent d' 1 kg/tonne ou $0,1\%$ de la production.

3.2. Traitement des effluents

Les déchets des usines de pâtes et papiers sont généralement traités par filtrage, flottation et sédimentation en vue de la récupération des produits et de la suppression des particules en suspension.

Les dispositifs de filtrage se composent habituellement d'un crible ou filtre cylindrique rotatif qui élimine les solides en suspension, sous la forme d'une couche de pâte qui est ensuite enlevée du tambour et réinsérée dans le système de fabrication du papier.

Les réservoirs ou bassins de sédimentation, normalement en ciment ou en acier sont également utilisés pour éliminer par gravité les particules présentes dans l'effluent. L'efficacité de la sédimentation dépend des caractéristiques de précipitation des solides en suspension devant être éliminés et des caractéristiques hydrauliques du réservoir de sédimentation. En ce qui concerne le dépôt des particules discrètes dans un bassin à débit continu, la surface A (m^2) et le taux de déversement Q/A , (Q est le débit m^3/h) sont des paramètres plus importants que la profondeur ou le temps de rétention. Cependant, en pratique les bassins ont normalement une profondeur d'environ 2 m à 4 m et un diamètre variant entre 5 m et 40 m (certains approchant 100 m); les solides y sont déversés à une concentration maximum de 6 à 8% . Les incrustants présents dans l'effluent rendent la clarification finale difficile, et les effluents contiennent habituellement 30 ppm ou plus de solides en suspension, sauf si des clarificateurs secondaires sont utilisés. Les effluents provenant des usines de papier fin ont généralement un taux de déversement de $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ et en ce qui concerne les usines de pâtes et papiers ce taux est d'environ $2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$.

Les techniques de flottation sont également utilisées pour récupérer la fibre en injectant de fines bulles de gaz (habituellement de l'air) dans l'effluent à l'état liquide. Les bulles se fixent à la substance en particules et la force portante de l'ensemble particules et bulles de gaz est suffisante pour faire remonter les particules à la surface. Le principal avantage de la flottation sur la sédimentation est que les particules très petites ou légères, qui se déposent

lentement, peuvent être éliminées plus complètement et plus rapidement. Une fois que les particules flottent en surface, elles peuvent être recueillies par un procédé d'écumage. Des produits chimiques sont communément utilisés pour favoriser le procédé de flottation.

Ces produits chimiques servent principalement à créer une surface ou une structure qui pourra facilement absorber ou capturer les bulles d'air. Des produits chimiques inorganiques, tels que des sels d'aluminium, des sels ferriques et la silice activée peuvent être utilisés pour agglomérer les particules, et ce faisant, créer une structure pouvant capturer facilement les bulles d'air. Différents produits chimiques organiques peuvent également être utilisés pour modifier la nature de la phase intermédiaire air-liquide ou de la phase intermédiaire solide-liquide, ou les deux à la fois.

Ces composés agissent habituellement au niveau de la phase intermédiaire pour provoquer les changements désirés.

Le traitement chimique des effluents d'usines de pâtes et papiers, à savoir la neutralisation, précipitation et oxydation, s'effectue pour un certain nombre de raisons, soit pour rendre l'effluent plus apte aux traitements ultérieurs ou pour réduire les caractéristiques indésirables des eaux résiduaires.

Un procédé de précipitation en 3 étapes utilisant la chaux comme coagulant a été décrit (1). Lors de la première étape, le sulfure de calcium se dépose et est réintroduit sous forme de lait dans la solution de cuisson. Lors de la seconde phase, la lignine est précipitée et transformée en un pain sur un filtre rotatif. Pendant la troisième phase, toute matière colloïdale restante se dépose lorsque le pH est élevé à 11. Environ 40% de la DBO est ainsi éliminée.

Un traitement à la chaux massive employé dans une usine américaine de kraft blanchi a également fait l'objet d'un rapport (2). En traitant seulement les effluents les plus colorés, le rapport déclare qu'environ 70% des rejets totaux de couleur de l'usine et 20 à 40% de la DBO pouvaient être éliminés. Cependant, il s'est présenté les problèmes suivants : la formation de mousse et l'entraînement de particules solides à la surverse du clarificateur s'intensifient; la liqueur de cuisson est plus diluée; les besoins en combustible pour four à chaux augmentent et un plus grand nombre de problèmes de mousse se posent au niveau de la liqueur de cuisson. En raison de la forte demande de chaux dans ce procédé, un second système utilisant des quantités modérées de chaux a été mis au point dans une usine de papier kraft écru. Dans ce procédé à la chaux stœchiométrique la fibre de cellulose sert d'adjuvant pour la précipitation et la déshydratation. L'hydrate de calcium sous forme de lait de chaux

(1) Nemerow, N.L. (1971) "Liquid Waste of Industry, Theories, Practices and Treatment". Addison-Wesley Publishing Co.

(2) Organisation de Coopération et de Développement Economiques, OCDE (1972). "Application des Techniques Avancées à la Lutte contre la Pollution dans l'Industrie des Pâtes et Papiers". OCDE PARIS.

est mélangé à la totalité de l'effluent en proportion directe du débit. Le mélange passe dans un flocculateur et est clarifié dans un clarificateur à alimentation centrale. Les substances colorées sont précipitées sous forme de sels de calcium, avec la fibre et les autres matières solides susceptibles de se déposer. Par conséquent, l'effluent traité est saturé en hydrate de calcium. Dans une application, l'effluent est aéré puis déchargé dans le cours d'eau récepteur. Le rapport de l'O.C.D.E. déclare que ce système peut fonctionner avec succès dans de multiples conditions pour donner un effluent de couleur relativement constante dans la gamme de 125 ppm unités de couleur APHA. Le rendement est directement lié au réglage de l'alimentation en chaux.

Traitement biologique

Ce procédé repose sur la capacité des microorganismes à assimiler les substances organiques oxydables présentes dans l'effluent. Les systèmes basés sur ce procédé comprennent un large éventail de temps de réaction et de concentrations de matières solides biologiques. Chaque système a ses propres avantages et l'on peut obtenir de bons rendements lorsqu'un système fonctionne dans des conditions optimales.

En général, les eaux usées des usines de pâtes et papiers manquent d'azote et de phosphore et ces 2 éléments nutritifs doivent être ajoutés pour obtenir une oxydation biologique efficace des déchets. Le rapport DBO/N/P est de l'ordre de 100/5/1.

Les bassins d'oxydation : ils sont habituellement destinés à recevoir 10 à 300 livres de DBO/aire par jour (1,02 à 30,6 g/m² par jour).

Une efficacité de 90 pour cent a été obtenue avec des charges inférieures à 50 livres de DBO/aire par jour (5,10 g/m² par jour). Avec des charges supérieures, l'efficacité atteint un plafond d'environ 60 à 70 pour cent. La rétention dure normalement 10 à 30 jours. Les bassins d'oxydation sont fiables, ont une certaine souplesse d'emploi, ne nécessitent aucun équipement mécanique, et ont des coûts d'exploitation peu élevés. Cependant ils exigent de grandes étendues de terrain. L'efficacité des bassins d'oxydation a été étudiée dans un rapport (1), dont voici les conclusions :

(1) Gehm H.E. (1965), Chapter on "Pulp and Paper". Industrial Waste Water Control, Edited by C.F. Gurnham, Academic Press Inc.

Type d'usine	Système	Surface du bassin $m^2 \times 10^5$ (Acres)	Temps de rétention maximum (jours)	Affluent (mg/l)	Effluent DBO	Élimination %
Papier journal	Multiple	4,05 (100)	20	200	40	80
Papier journal	Simple	5,66 (140)	15	180	110	39
Kraft blanchi	Simple	8,70 (215)	30	299	157	48
Kraft blanchi	Simple	7,08 (175)	35	108	36	67
Kraft écru	Multiple	15,16 (350)	82	200	30	90

Bassins aérés : ce système est apparu comme une solution de substitution intéressante lorsque la superficie de terrain disponible ou son emplacement ne permet pas d'opter pour le bassin d'oxydation. Cependant, ce procédé entraîne des dépenses en capital et des coûts d'exploitation plus élevés; par ailleurs, il a été observé que les bassins aérés étaient plus sensibles aux opérations par temps froid, surtout lorsque la durée de rétention est réduite. D'une manière générale, il faut environ 2 acres par MGD (million de gallons par jour) ($180 m^2 / 1$ par sec.) pour les bassins aérés contre 40 acres par MGD ($3.600 m^2 / 1$ par sec.) pour les bassins d'oxydation. Le rapport optimal DBO / N est d'environ 50 / 1 pour 4 jours d'aération et il pourrait atteindre 100 / 1 pour 15 jours d'aération. Si l'aération s'étend au delà de 15 jours, il n'est normalement pas nécessaire d'ajouter des agents nutritifs. Avec ce système, il est produit environ 0,1 à 0,2 livre (0,045 à 0,09 kg) de boue par livre (kg) de DBO éliminée.

Boue activée : la stabilisation traditionnelle par contact et des systèmes entièrement mixtes ont été utilisés pour traiter les déchets des usines de pâtes et papiers. Il a été constaté que les types traditionnels sont plus adaptés aux usines au sulfite. Une élimination de 85% de la DBO a été signalée pour un temps de rétention de 4 à 6 heures et une charge en solides en suspension dans la liqueur mixte (MLSS) de 2.000 à 3.500 mg/l. En ce qui concerne les usines de pâte à kraft, la stabilisation par contact a été utilisée.

Avec un temps de contact de 2 à 3 heures et une charge de MLSS de 2.000 à 3.500 mg/l, lors de la phase de contact, il a également été constaté une élimination de 85% de la DBO.

Les deux systèmes produisent environ 0,5 à 1 livre (0,23 à 0,45 kg) de boue par livre de DBO éliminée. Les besoins en éléments nutritifs sont en général inférieurs au maximum théorique de 1 mg/l d'azote pour 20 mg/l de DBO et de 1 mg/l de phosphore pour 60 mg/l de DBO parce qu'il se trouve des traces de ces éléments dans les eaux résiduaires.

Pour obtenir une élimination de DBO de 85% ou plus, les charges ne doivent pas excéder 125 livres pour 1000 pieds cube (2 kg par 1000 m³) de volume d'aération. Le dépôt optimum de boue se produit généralement dans le clarificateur final, sur un éventail de charge de 0,2 à 0,7 livre de DBO par livre (0,09 à 0,315 kg de DBO par kg) de MLSS. Les systèmes de boue activée entraînent des dépenses en capital et des coûts d'exploitation très élevés et ne peuvent fonctionner qu'avec un personnel hautement qualifié. D'autre part, ils produisent des quantités énormes d'excès de boues secondaires caractérisées par leur haute résistance à la déshydratation. Cependant, ces systèmes ont des rendements réguliers, en particulier dans des conditions climatiques rudes et ils pourraient être les systèmes les plus appropriés lorsque les surfaces de terrain disponibles pour les usines d'épuration sont limitées.

Le traitement par surface biologique en rotation, se composant de disques ou tambours a également fait l'objet de recherches (1) au niveau d'une usine pilote afin de traiter les effluents provenant du carton isolant, du kraft blanchi et écri, du papier fin couché et non couché, des vieux cartons, des pâtes mécaniques et bisulfites.

En conclusion, il est apparu que ce système permet un traitement excellent des déchets des usines de pâtes et papiers, mais dans la plupart des cas il doit être conçu en fonction de taux de charge hydraulique considérablement plus faibles que ceux normalement spécifiés pour un traitement des eaux usées d'origine domestique. La résistance aux charges de choc est excellente et le fonctionnement en est relativement simple.

En ce qui concerne les effluents ayant une DBO initiale élevée (> 500 mg/l), il a été recommandé une attention particulière au niveau de la conception du système en vue d'inclure éventuellement une 1ère phase plus longue. La boue secondaire produite par le traitement par surface biologique en rotation est essentiellement comparable à la boue provenant du système à boue activée en termes de propriétés de sédimentation et de déshydratation. Les taux de production de boue sont nettement plus faibles que ceux considérés comme normaux pour le procédé à boues activées, ce qui est un facteur extrêmement important.

Bien que les procédés à surface biologique en rotation soient largement utilisés en Europe, surtout pour l'épuration des eaux usées d'origine domestique, ce système a reçu une certaine attention aux U.S.A. grâce à l'Agence pour la Protection de l'Environnement (EPA). Aucune information n'a jusqu'à présent été publiée sur l'utilisation de ce système dans des conditions réelles, bien que des applications aient été signalées au Japon et dans un certain nombre d'autres pays.

(1) Gillespie W. (1974) "A Pilot Plant Investigation of Rotating Biological Surface Treatment of Pulp and Paper Wastes". Stream Improvement Technical Bulletin N° 278, November.. National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc. New York.

Les autres méthodes d'épuration permettant d'améliorer la qualité, en particulier les couleurs des effluents, comprennent :

Le charbon actif : il peut éliminer les matières organiques dissoutes, mais pas les matières inorganiques dissoutes. L'élimination des solides en suspension est possible sur un filtre à charbon, bien que ceci ne soit pas sa fonction principale. Conjointement à d'autres techniques d'épuration (sédimentation, élimination des colorants par la chaux, traitement secondaire biologique) il est possible d'obtenir un effluent final acceptable comme eau industrielle.

Un nouveau système de traitement au charbon actif basé sur l'absorption qui permet d'éviter certains problèmes associés aux systèmes traditionnels par contact avec du charbon en poudre ou en granulés, a fait l'objet d'un rapport concernant une étude au sein d'une usine pilote (1).

Il s'agit d'un système à agitation, contre-courant et phases multiples, dans lequel le charbon et le liquide sont continuellement renvoyés à contre-courant d'une phase à l'autre comme le montre la figure 1.

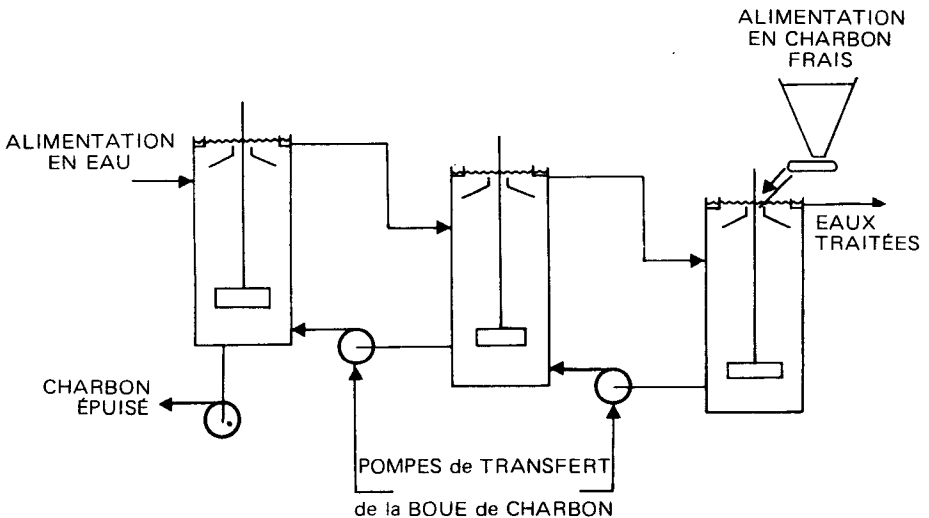


FIG. 1. SYSTEME D'ABSORPTION AU CHARBON ACTIF

(1) Organisation de Coopération de Développement Economique, OCDE (1972) *Op. Cit.*'

En utilisant pour les particules de charbon une taille intermédiaire entre les classifications répondant aux normes de poudre et de granulé, le système conjugue les avantages des deux, pour les raisons suivantes :

- le charbon de taille intermédiaire atteint sa capacité beaucoup plus vite que le charbon en grains plus grossiers, car le taux d'absorption est inversement proportionnel au carré du diamètre des particules de charbon. Le taux d'absorption plus élevé du charbon de taille intermédiaire entraîne une augmentation correspondante du taux de roulement, ce qui implique une diminution du stock de charbon. Par conséquent, la taille de l'absorbeur décroît proportionnellement.
- Le nouveau système d'absorbeur permet un contrôle minutieux de la qualité de l'effluent épuré par des ajustements dans le taux de transfert du charbon et/ou de la densité de la boue de charbon. Un rapport plus étroit est possible entre la capacité du régénérateur et le débit moyen de charbon, tout en évitant les estimations coûteuses dues aux arrêts du circuit, en raison du rejet continu du charbon épuisé. Les clarificateurs primaires ne sont pas indispensables dans ce système car les solides en suspension dans l'effluent n'entraînent pas de problèmes de bouchage semblables à ceux du système à colonne de charbon en granulé.
- Par rapport au système à charbon en poudre, le charbon de taille intermédiaire a un taux de déposition plus élevé, ce qui élimine la nécessité de recourir à des flocculants et réduit sensiblement la superficie de clarification nécessaire. L'emploi d'un système à charbon de taille intermédiaire permet d'utiliser un réservoir correctement cloisonné et agité à la fois comme absorbeur et clarificateur. La taille et le coût des équipements en est donc considérablement réduit.

Les traitements par osmose inverse, échange d'ions et amine sont d'autres techniques actuellement mises au point et susceptibles de connaître une application commerciale dans un proche avenir.

Le traitement et la réutilisation des effluents de pâte à kraft ont fait l'objet d'un bilan technologique (1).

Méthodes de traitement permettant d'éliminer le rejet de polluants dans les eaux navigables.

L'amendement de 1972 à la loi fédérale des Etats-Unis sur la lutte contre la pollution de l'eau (Public Law 92500, 18 Oct. 1972) paragraphe 101, stipule que "l'élimination des rejets de polluants dans les eaux navigables est un objectif national pour 1986". Cet objectif a été interprété en tant que "rejet de

(1) Timpe W.G., E. Lang and R.L. Miller (1973)
 "Kraft Pulping Treatment and Reuse - State of the Art"
 U.S. EPA Technology Series R2-73-164. February

polluants égal à zéro" (zero pollutant discharge) et, en termes techniques, a peu à peu été accepté comme signifiant que les eaux rejetées ne peuvent contenir aucun composant ou chaleur à des concentrations supérieures à celles des eaux dans lesquelles les rejets sont effectués. Sur cette base, il ne serait donc procédé à aucun rejet étant donné que la qualité de l'eau rejetée serait égale à celle de l'eau d'entrée et par conséquent cette eau serait réutilisée.

L'industrie des pâtes et papiers, en raison des caractéristiques inhérentes aux procédés de fabrication, se situe parmi les industries de base utilisant le plus d'eau de traitement. Afin de satisfaire aux exigences du "rejet de polluants égal à zéro", des méthodes avancées de traitement des effluents sont nécessaires et, à cet égard, une étude (1) a été menée afin d'évaluer la technologie et les frais impliqués. Sur la figure 2 est présenté le schéma d'un système de traitement de ce type.

Selon le rapport du N.C.A.S.I. les dépenses en capital et les frais d'exploitation que pourraient impliquer la meilleure technologie actuellement disponible de lutte contre la pollution, 1977 (US B.P.C.T.C.A.) et l'objectif national pour 1985 d'élimination des rejets de polluants dans les eaux navigables, peuvent se résumer comme suit :

	"BPCTCA" Objectif National 1985		
	Au niveau actuel de rejet d'eau	1/2 rejet moyen	Rejet moyen
Besoins en capital (Milliards de dollars)*			
Dépenses connues avant 1972			
Externes	0,38		
Internes	0,32		
Supplément pour élimination de liqueur NSSC et récupération de liqueur sulfite	0,20		
Supplément pour révision interne afin de réduire les rejets d'eau	—	0,9	—
Supplément pour traitement externe	1,00	2,5	4,3
Total	1,9	2,4	4,3
Cumul	1,9	5,3	6,2
Coût par tonne journalière (10 ³ \$/Tonne)*10		29	34
Coût d'exploitation (\$ / Tonne)			
Coût moyen pondéré	4	19	32
Cumul	4	23	36

* Dollars 1972

(1) National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc. NCASI (1974).

"An Engineering Estimate of the Cost to the Paper Industry of Achieving Selected EPA National Effluent Limitation Levels".

NCASI Stream Improvement Technical Bulletin N° 270. January.

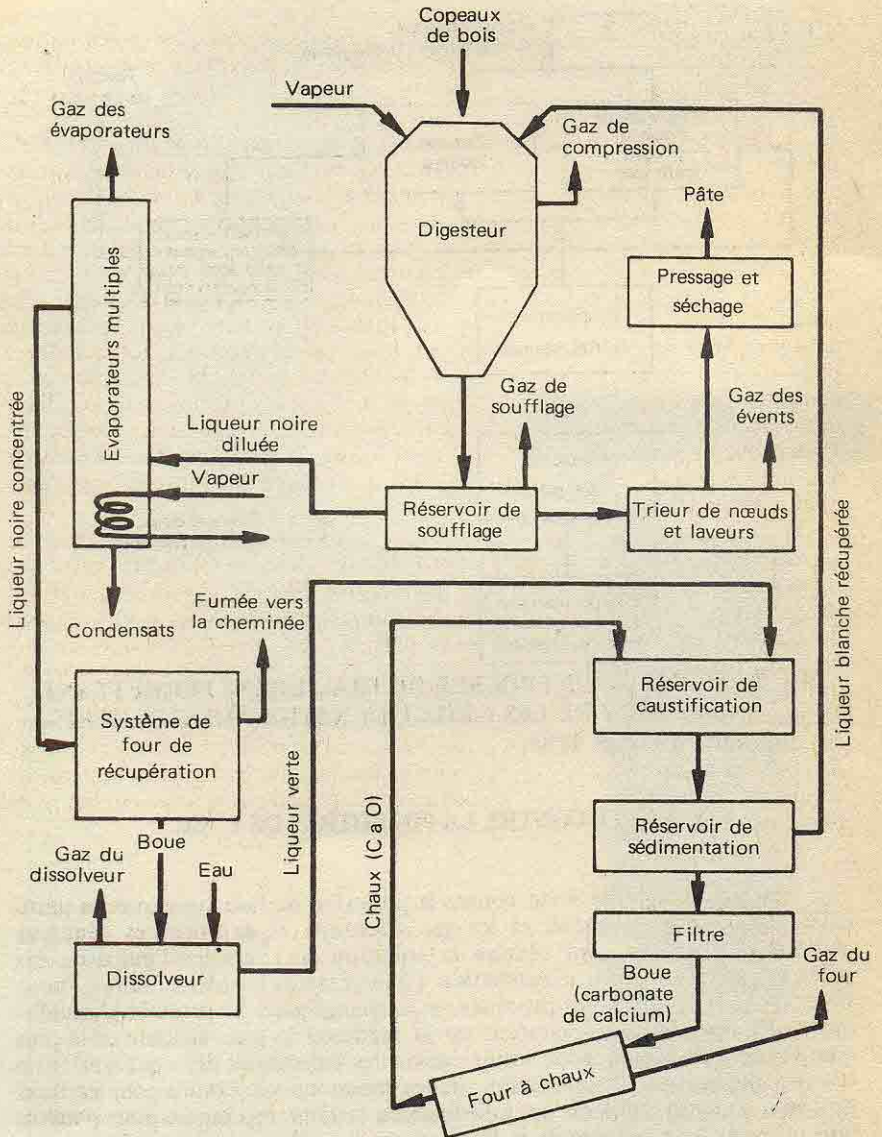


FIG. 3. FABRICATION DE LA PATE A KRAFT AVEC INDICATION DES SOURCES D'EMISSION

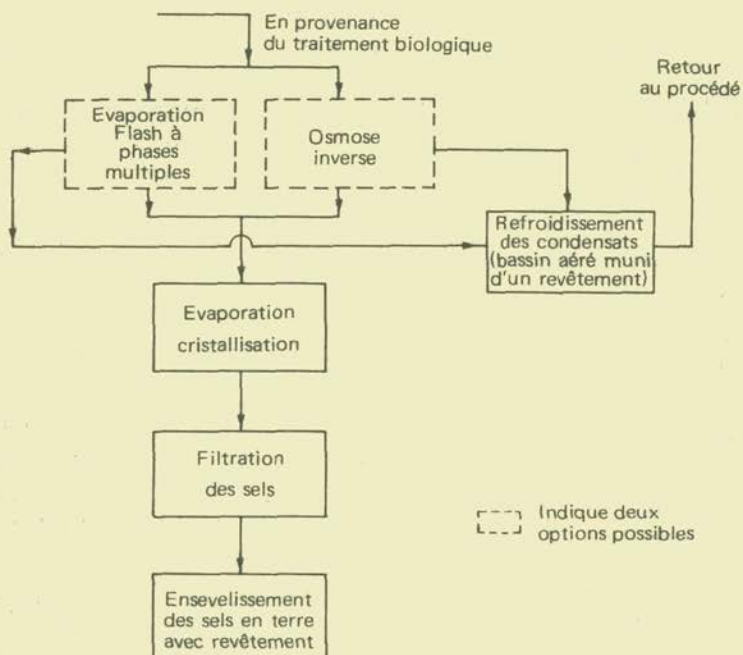


FIG. 2. SCHEMA D'UN PROCÉDE DE TRAITEMENT PERMETTANT D'ATTEINDRE LES OBJECTIFS NATIONAUX DES ETATS-UNIS POUR 1985.

4. LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR

La technologie de lutte contre la pollution de l'air concerne les particules, l'anhydride sulfureux et les gaz odorants. Trois principes généraux peuvent être utilisés pour réduire la pollution de l'air dans l'industrie des pâtes et papiers; à savoir, l'installation d'équipements supplémentaires, l'amélioration et le contrôle des procédés, et le changement de procédé. Actuellement, l'équipement anti-pollution est la méthode la plus efficace et la plus couramment employée pour lutter contre les émissions. Bien que l'effet de certains paramètres d'exploitation sur les émissions soit connu pour certains procédés de cette industrie, ces informations restent trop vagues pour pouvoir être utilisées dans le cadre de la lutte contre la pollution atmosphérique. On ne dispose de suffisamment d'informations permettant de réduire les émissions en optimisant les paramètres d'exploitation que dans le domaine des fours de récupération du kraft. A la figure 3 est présenté le schéma d'un procédé type de fabrication de pâte à kraft, indiquant les sources d'émissions.

- 4.1. Les émissions de particules** peuvent être réduites par des précipitateurs électrostatiques, des épurateurs, des collecteurs à cyclone et des filtres sac métalliques.

Les précipitateurs électrostatiques sont le principal type de capteur utilisé pour réduire les émissions de particules à partir des fours de récupération. Ces particules se composent principalement de sulfate de soude et de carbonate de soude. Avant d'atteindre un dispositif anti-pollution, la concentration en particules varie généralement entre 8 et 12 grains par pied cube standard, soit 200 à 450 livres/tonne de pâte séchée à l'air (T.P.S.A.) (90 à 202,5 kg/T.P.S.A.). Le niveau réel des émissions dépend de l'efficacité du dispositif anti-pollution, lequel est fonction de la conception du système. Dans un système conventionnel de four de récupération, doté d'évaporateurs à contact direct pour les fumées, le dispositif de lutte contre les émissions de particules se compose d'un évaporateur par contact, suivi soit d'un précipitateur ou d'une unité de récupération venturi, et éventuellement d'un épurateur secondaire. Lorsqu'aucun évaporateur à contact n'est utilisé, la tendance actuelle consiste à n'employer que des précipitateurs, sans que cela exclue l'installation d'épurateurs secondaires.

Les épurateurs sont utilisés pour éliminer les particules provenant des fours à chaux, des dissolvants ainsi que d'autres sources. Ainsi, une unité de récupération venturi, utilisant la liqueur noire comme milieu d'épuration, sert de dispositif primaire de captage des particules et d'évaporateur à contact pour les fumées. Les collecteurs à cyclone et les filtres sac métalliques sont utilisés pour lutter contre les émissions de particules à partir des dissolvants. Habituellement un liquide vaporisé et un lait de chaux dilué sont utilisés avec ces dispositifs. Pour un captage plus efficace des particules, des tours chargées de corps de remplissage et des épurateurs venturi comprenant un système de récupération de la chaleur ont été adoptés pour lutter contre les émissions de particules à partir des dissolvants.

- 4.2. Emissions gazeuses** : elles peuvent être réduites par un certain nombre de procédés; la combustion, l'absorption et l'oxydation en phase liquide sont des exemples de techniques anti-pollution utilisant ces principes.

La combustion implique l'oxydation thermique des composés réducteurs du soufre non condensables en anhydride sulfureux, lequel est considéré comme moins inacceptable que les composés à partir duquel il a été formé; ainsi les gaz non condensables provenant des évaporateurs à effets multiples et des digesteurs peuvent être envoyés au ventilateur d'air de combustion du four à chaux ou à un incinérateur séparé (1). Dans le four à chaux, la majeure partie

(1) Blosser R.D. and B.H. Cooper (1967) "Current Practices in Thermal oxidation of Non-condensable gases in the Kraft Industry".
National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc.
Atmospheric Pollution Technical Bulletin N° 34 November.

de l'anhydride sulfureux entre en réaction avec la chaux présente dans le four ou est absorbée dans l'épurateur contrôlant les émissions de particules à partir du four. Cette méthode de réduction des émissions gazeuses comporte deux contraintes majeures.

Premièrement, le volume d'air de combustion du four à chaux limite la quantité des composés non condensables pouvant être traitée et deuxièmement il faut faire très attention d'éviter la formation de mélanges explosifs. Dans un système de digestion discontinue il peut se poser un problème lorsqu'il faut éviter l'arrivée massive de gaz de combustion. Ce problème peut être résolu en installant soit un grand réservoir sphérique, équipé d'un diaphragme mobile non poreux ou des réservoirs de gaz conventionnels (1).

Au Canada, l'incinération dans le four à chaux des gaz rejetés par le digesteur et l'évaporateur est une pratique presque générale, cependant il est également exigé des nouvelles installations qu'elles soient dotées d'un système auxiliaire en cas de fermeture du four à chaux.

Habituellement, l'absorption implique l'épuration des rejets gazeux par une liqueur alcaline, telle que l'hydrate de soude, la boue de chaux, la lessive diluée ou la liqueur blanche. Les types d'équipement utilisés sont en général des tours chargées de corps de remplissage et des filtres à vaporisation pour lutter contre les émissions de gaz, telles que l'hydrogène sulfuré et le méthylmercaptan, à partir de l'évaporateur ou du digesteur.

Le procédé de chloration peut également être appliqué aux gaz contenant du soufre provenant du digesteur, des condenseurs de gaz d'échappement et des événements à effets multiples. Le cas échéant, le chlore pourrait être fourni par l'effluent provenant du laveur lors de la phase de chloration au niveau de l'unité de blanchiment. Le sulfure et le bisulfure de diméthyl sont absorbés et oxydés en sulfones et chlorure de diméthyl sulfonilé respectivement. Ce procédé possède cependant une efficacité limitée.

L'oxydation du sulfure de sodium dans la liqueur noire en thiosulfate de soude peut être réalisée en utilisant de l'oxygène de l'air, ou parfois de l'oxygène moléculaire. Ceci a pour but d'éviter la formation d'hydrogène sulfuré par le dioxyde de carbone et l'anhydride sulfureux présents dans les fumées du four de récupération. La réaction chimique correspondante est la suivante :



(1) Morrison J.H. (1969) "Collection and Combustion of Non-condensable Digester and Evaporator Gases".
Tech. Assoc. Pulp and Paper Industry, v. 52, N° 12, December.

Pour obtenir une efficacité maximum, l'oxydation de la liqueur noire doit réduire les niveaux de sulfure de sodium à 0,1 g/l ou moins dans la liqueur noire entrant dans l'évaporateur de fumée à contact direct. Les systèmes d'oxydation de la liqueur noire qui utilisent l'air sont de 3 types (1). Les tours chargées de corps de remplissage, les tours de fractionnement et les réacteurs à pulvérisation d'air, lesquels peuvent être équipés de dispositifs de mélange mécanique afin de favoriser le transfert d'oxygène.

Le stripping à l'air a été utilisé pour éliminer les gaz malodorants provenant des condensats. Le condensat est aéré dans un réservoir clos et agité, puis les gaz dégagés sont canalisés vers le four à chaux. Des essais effectués avec ce type d'installation ont révélé qu'il était possible d'éliminer respectivement 75 et 85 pour cent du sulfure de diméthyl et du méthyl mercaptan (2).

Le stripping à la vapeur est également employé pour les gaz odorants provenant des condensats. Une efficacité de 98 pour cent peut être obtenue grâce à cette méthode, mais sa consommation énergétique est élevée, à moins qu'elle ne comprenne un dispositif de récupération de la chaleur. Il a été estimé qu'un stripping à la vapeur atteignant 95 pour cent ou plus exigera environ 18 pour cent de vapeur sur condensat.

En général, la technologie relative à la lutte contre les particules est plus avancée que celle concernant la réduction des odeurs. On dispose de peu d'informations sur la lutte contre les émissions provenant des usines de pâte chimique et de pâte au sulfite (3).

5. NOUVEAUX PROCÉDES DE FABRICATION PERMETTANT DE RÉDUIRE LA POLLUTION

En raison des exigences croissantes en matière de protection de l'environnement et de conservation des ressources, l'industrie a amélioré et mis au point des procédés de fabrication produisant peu de déchets. Lorsqu'il y a production de résidus, on peut également observer que la tendance est au recyclage et à la réutilisation de ces résidus. Dans l'industrie des pâtes et papiers, un certain nombre de procédés de ce type sont actuellement mis au point; la plupart reposent sur des techniques ne faisant appel à aucun produit chimique contenant du soufre ou du chlore (4). Non seulement cette amélioration réduira l'émission de gaz odorants à partir des composés sulfureux, mais

- (1) National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc., - NCASI (1968) "Survey of Current Black Liquor Oxidation Practices in the Kraft Industry". NCASI Technical Bulletin N° 39, December.
- (2) Walter J.E. and H.R. Amberg (1970). A Positive Air Quality Program at a New Kraft Mill". *J. Air Poll. Control Assoc.* v. 20 N° 1, n.9.
- (3) National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc. NCASI (1974) "Atmospheric Emissions from the Pulp and Paper Manufacturing Industry" - Report of NCASI - EPA Cooperative study Project. NCASI Technical Bulletin N° 69, February.
- (4) Cox. L.A. and Worster H.E. (1971) "An Assessment of some Sulphur Free Chemical Pulping Processes". *Tech. Assoc. Pulp and Paper Industry.* v. 54, N° 11.

elle permettra également de recycler l'effluent du blanchiment dans le système de récupération chimique. Ces procédés sont la fabrication de pâte thermo-chimique, la fabrication de pâte à l'acide nitrique (1) basée sur un fonctionnement à cycle rapide, le procédé à l'oxygène en milieu alcalin et le procédé au sulfite-alcalin.

Les procédés pour lesquels l'industrie marque le plus d'intérêt sont le procédé à l'oxygène en milieu alcalin et le procédé Rapson qui devraient permettre de réduire considérablement les principaux problèmes écologiques posés par les usines de kraft (2).

5.1. Procédé à l'oxygène en milieu alcalin

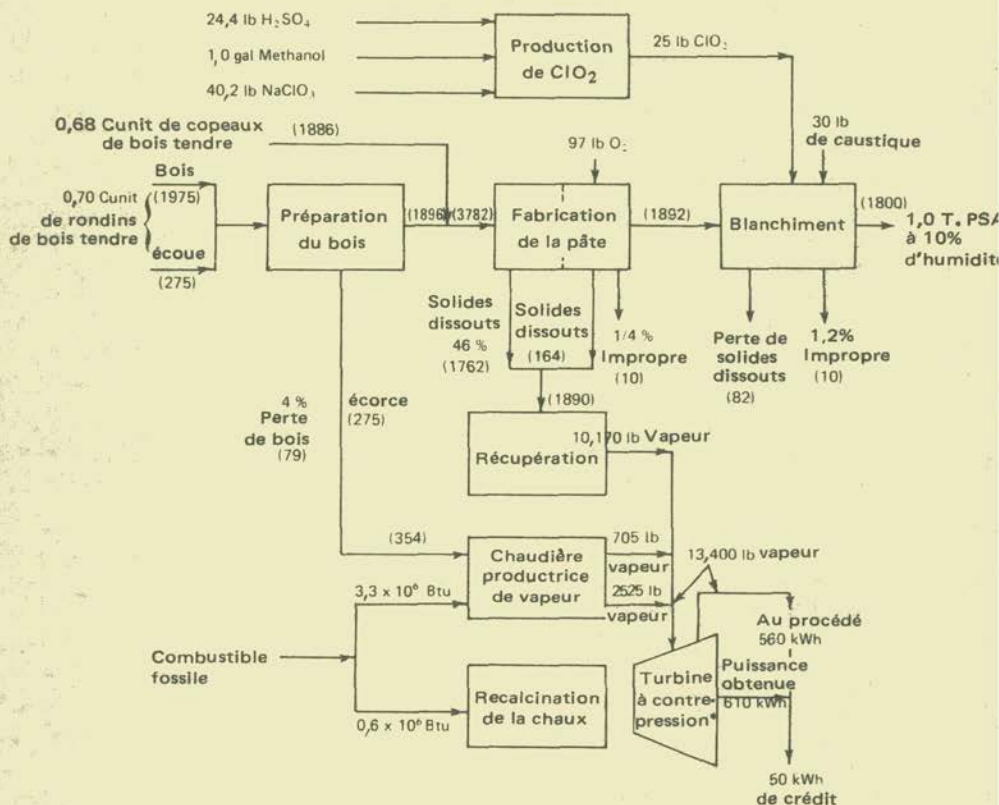
Une large gamme de phases de fabrication pourrait être utilisée, cependant celle qui reçoit la plus grande attention de la part de l'industrie comprend un traitement alcalin ayant pour but de ramollir les copeaux de bois, une désintégration mécanique et un traitement à l'oxygène en milieu alcalin, à environ 250°F (120°C) et à une pression de dix atmosphères, afin d'éliminer la majeure partie de la lignine restante. Des tours de traitement en continu sont utilisées pour que la consommation nette d'oxygène ne dépasse pas 2,5 pour cent par tonne de pâte séchée à l'air, en prenant pour base la quantité de pâte à l'entrée du procédé.

Contrairement à l'unité de blanchiment de l'usine de kraft classique, la liqueur noire provenant du traitement à l'oxygène peut être recyclée par l'unité de récupération, étant donné qu'elle ne contient pas de chlorure. Une partie de celle-ci peut donc être utilisée en tant qu'eau de traitement dans l'installation de fabrication de la pâte et le reste peut être ajouté à l'effluent provenant du traitement à l'oxygène en milieu alcalin, puis évaporé et incinéré dans le four de récupération afin de récupérer la chaleur et le carbonate de sodium. Le carbonate est ensuite traité à la chaux; ce recyclage permet d'obtenir de l'hydroxyde de sodium pour les premières (ramollissage du bois) et deuxièmes (oxygénation) phases de fabrication.

Le rendement global de ce procédé est modérément supérieur à celui du procédé conventionnel de fabrication de kraft blanchi, à savoir 47 pour cent contre 42 pour cent.

-
- (1) Kalish, J.H. (1967) "Nitric Acid Pulping". *Tech. Assoc. Pulp and Paper Industry* v. 50 N° 12.
 - (2) U.S. Environmental Protection Agency, EPA (1976) "Environmental Considerations of Selected Energy Conserving Manufacturing Process Options : Pulp and Paper Industry Report". EPA 600/7-76-034e, December.

Un bilan énergétique et matériel pour les procédés de blanchiment et de fabrication de la pâte à l'oxygène en milieu alcalin est présenté sous forme de schéma à la figure 4.



Base : 1,0 T. PSA de pâte liquide

() indique un poids exprimé en livre sec absolu (DB); 1,0 tonne sec à l'air (T.SA) : 1800 livres (lb) DB.

1 cunit : 100 pieds³ de bois pesant; 1 cunit BD est égal à 2200 lb à 3400 lb, selon le type de bois.

* Sur ce type de turbine, le taux de conversion chaleur-énergie est en général d'environ 4000 Btu/kWh.

FIG. 4. BILAN ENERGETIQUE ET MATERIEL POUR UN PROCEDE A L'OXYGENE EN MILIEU ALCALIN (Réf. EPA 1976)

5.2. Procédé Rapson pour la fabrication de kraft sans effluents

Un certain nombre de modifications sont apportées au procédé conventionnel de fabrication de pâte à kraft afin d'éliminer les polluants présents dans l'effluent. Cependant ce procédé n'affecte pas les rejets de déchets solides ni les émissions atmosphériques. Les principales modifications apportées sont les suivantes :

- Environ 70% du chlore utilisé normalement lors de la phase de chloration est remplacé par du dioxyde de chlore. Cette phase est suivie de l'extraction caustique classique, dioxyde de chlore, etc... L'apport chimique global pour le blanchiment est ajusté de façon à ce que le rapport chlore/dioxyde de chlore soit le même qu'à la sortie d'un générateur de dioxyde de chlore selon le procédé classique et que la quantité de substance caustique soit suffisante pour former du chlorure de sodium avec la totalité du chlore arrivant à l'installation de blanchiment.

- Le lavage à contre-courant dans l'unité de blanchiment, ce qui permet de réduire de 25.000 à 4.000 gallons par tonne, le volume total d'eau fraîche nécessaire à l'installation de fabrication de la pâte. L'eau fraîche du système en circuit fermé est utilisée principalement comme complément à l'eau nécessaire au procédé de lavage à contre-courant de l'unité de blanchiment.

- La réutilisation de tous les effluents de l'unité de blanchiment de l'usine de pâte dans les filtres de lavage à contre-courant de la pâte écrue. Par conséquent, tous les produits chimiques et matières organiques dissoutes de l'unité de blanchiment vont finalement au four de récupération. L'élimination du chlorure de sodium provenant de la liqueur blanche en faisant évaporer la liqueur blanche récupérée et en filtrant le chlorure de sodium cristallisé. Ce dernier peut alors être utilisé comme complément pour la production de dioxyde de chlore et de chlorate. L'utilisation d'un procédé classique pour la production de dioxyde de chlore. Dans ce procédé, le sulfate de sodium produit est cristallisé à partir de l'acide sulfurique utilisé comme support de réaction, et l'acide sulfurique est recyclé pour être utilisé par le générateur de dioxyde de chlore. Par conséquent, le seul sous-produit du générateur de dioxyde de chlore est du sulfate de sodium solide (pain de sel). Une partie de ce pain de sel récupéré peut être utilisée comme complément chimique dans l'unité de fabrication de pâte à kraft, le reste sera vendu ou rejeté, étant donné que la production excèdera la demande interne.

- Le changement de procédé utilisé par l'usine de manière à faciliter la mise en circuit fermé du système de circulation d'eau (stripping du condensat pour éliminer le méthanol, fermeture du système d'épuration, augmentation de la capacité de lavage, installation de réservoirs de déversement, etc...). A la suite de ces modifications, il est nécessaire de prévoir un four de récupération sensiblement plus grand pour recevoir les matières organiques provenant de

l'unité de blanchiment, ainsi que des installations plus importantes d'évaporation de la liqueur noire pour traiter les retours intermittents d'effluents dilués à partir des réservoirs de déversement.

A la figure 5 est présenté un diagramme faisant apparaître le bilan matériel du procédé Rapson.

Une comparaison entre le procédé à l'oxygène en milieu alcalin et le procédé Rapson pour une pâte à kraft standard a été effectuée, sur la base d'une nouvelle installation, par EPA. Les résultats sont présentés ci-après pour une production annuelle de 267.000 T de pâte séchée à l'air.

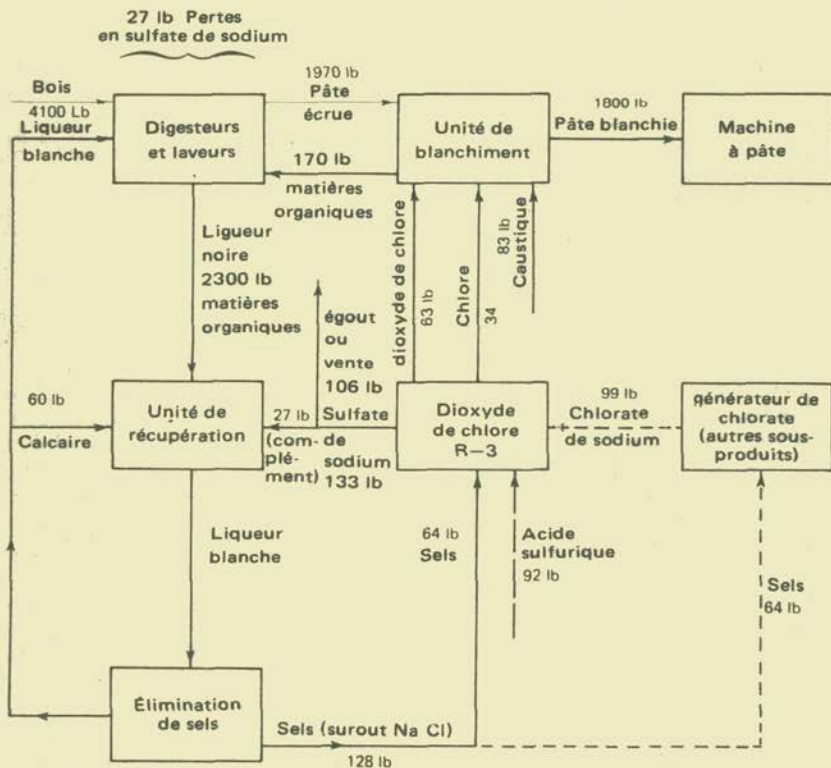


FIG. 5. BILAN MATERIEL POUR LE PROCÉDE RAPSON
(Réf. EPA 1976)

Paramètres	Procédés		
	Oxygène en milieu alcalin	Kraft standard	Rapson
Investissement usine, y compris lutte contre la pollution (10^6 \$)	146	154	140
Coût d'exploitation, y compris lutte contre la pollution (\$/T.PSA)	256	290	259
Énergie achetée 10^6 KCal/T.PSA (10^6 Btu / T.PSA)	1,08 (4,3)	1,86 (7,4)	0,53 (2,1)
Pollution			
Eau 10^3 l/tonne (10^3 gal/tonne)	117,5 (31)	117,5 (31)	75,8 (20)
DBO ₅ Kg/tonne (lb/tonne)	14,9 (33)	29,7 (66)	Néant
Solides en suspension totaux			
Kg/tonne (lb/tonne)	29,7 (66)	29,7 (66)	Néant
Couleur Kg/tonne (lb/tonne)	67,5 (150)	135,0 (300)	Néant
Émissions atmosphériques			
Particules Kg/tonne (lb/tonne)	65,7 (146)	90 (200)	90 (200)
Soufre réducteur en totalité			
Kg/tonne (lb/tonne)	(0)	10,8 (24)	10,8 (24)

5.3. Blanchiment à l'oxygène

Une autre méthode susceptible de prendre une importance considérable dans un proche avenir est le blanchiment à l'oxygène. Ce procédé consiste à remplacer partiellement ou totalement les deux premières phases du blanchiment conventionnel (chloration et extraction caustique) par un traitement à l'oxygène sous pression (5 à 10 bars) en milieu alcalin (2 à 8 pour cent de Na OH sur la pâte). Environ 40% de la DBO provenant du blanchiment de la pâte au sulfate peut être éliminée, en outre la couleur de l'effluent considérablement améliorée. La conversion d'une unité conventionnelle de blanchiment du kraft traitant 500 tonnes de pâte/jour à partir de bois feuillus en une unité de blanchiment à l'oxygène, principalement pour éliminer la couleur, a entraîné une augmentation nette des coûts totaux de production (y compris les dépenses en capital) d'environ 3 à 3,50 dollars U.S. par tonne de produit (1).

6. CONCLUSIONS

Les principaux problèmes d'environnement qui se posent à l'industrie des pâtes et papiers concernent les effluents liquides et les composés malodorants.

(1) Organisation de Coopération et de Développement Économiques, OCDE (1973) "La Pollution due à l'Industrie des Pâtes et Papiers" OCDE Paris.

Il existe de nombreuses techniques permettant de réduire et lutter contre les substances avides d'oxygène, la coloration et les solides en suspension présents dans les eaux résiduaires. Différentes opérations telles que l'épuration, la filtration, la flottaison et la sédimentation sont utilisées pour minimiser la teneur en solides des effluents. Divers procédés comprenant la précipitation chimique et l'oxydation biologique sont communément appliqués pour réduire l'effet polluant des eaux de rejet. D'autres techniques avancées de traitement comprenant l'emploi de charbon actif, d'amines et l'échange d'ions sont également mises au point actuellement. Grâce à la mise en œuvre des techniques internes actuelles de réduction des déchets associées à un système externe de traitement des effluents, les caractéristiques polluantes des eaux de rejet peuvent être considérablement modifiées.

Les émissions gazeuses sont considérées comme ayant un caractère plus local et une moindre incidence que les rejets d'eaux résiduaires. Il existe des techniques de captage, de précipitation et d'épuration efficaces et reconnues permettant de réduire les émissions de particules et d'oxydes de soufre dans les gaz rejetés. Cependant, à ce jour, il n'existe pas de méthode satisfaisante pour résoudre le problème des mauvaises odeurs causées par les composés réducteurs du soufre dans les usines de pâtes et papiers anciennes et conventionnelles.

En raison de l'intérêt croissant porté à la protection de l'environnement et à la conservation des ressources, des efforts particuliers sont réalisés pour mettre au point des procédés de fabrication produisant peu, voire aucun déchet. Le procédé de fabrication de la pâte à l'oxygène en milieu alcalin, le procédé Rapson et le procédé de blanchiment à l'oxygène offrent des possibilités intéressantes en ce qui concerne la lutte contre un nombre important de problèmes écologiques relatifs à l'air, à l'eau et aux déchets solides dans l'industrie des pâtes et papiers.

Des techniques et des technologies comprenant la réduction interne des déchets, la modification des procédés, les équipements complémentaires externes anti-pollution et les nouveaux procédés de production permettent de diminuer jusqu'à des niveaux acceptables les incidences sur l'environnement dues à l'industrie des pâtes et papiers. Le problème fondamental est de définir les critères qui seront considérées comme acceptables, de manière à pouvoir élaborer et installer dans une usine le système optimal. Les généralisations doivent être envisagées avec prudence, car chaque implantation exige une évaluation spécifique des facteurs écologiques, économiques, sociaux et politiques prédominants dans la région concernée et intéressant cette industrie.

Si les coûts supplémentaires dus à la lutte contre la pollution peuvent être augmentés, il ne se trouve aucune raison technique majeure pour laquelle les usines de pâtes et papiers ne pourraient être conçues et exploitées qu'avec une incidence minimum sur l'environnement.

Création : EUROPUBLICA, 7, place Vendôme, 75001 Paris – France
Réalisation : Imprimerie AUGUSTIN, 41, rue Godot-de-Mauroy, 75009 Paris - 073.02.66
Cette publication est imprimée sur un papier de recyclage