

MÉDITERRANÉE

Prévention de la
pollution dans le
secteur du papier

production
PROPRE

Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)
Plan d'action pour la Méditerranée



Centre d'Activités Régionales
pour la Production Propre



Ministère de l'Environnement
Espagne



Gouvernement de la Catalogne
Ministère de l'Environnement
et du Logement

Prévention de la pollution dans le **secteur du papier**

Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)
Plan d'action pour la Méditerranée



 Centre d'Activités Régionales
pour la Production Propre

 Ministère de l'Environnement
Espagne

 Gouvernement de la Catalogne
Ministère de l'Environnement
et du Logement

Remarque : Cette publication peut-être reproduite intégralement ou partiellement, à des fins éducatives et non-lucratives, sans consentement spécifique du Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP), à la stricte condition que l'origine des informations soit mentionnée. Le CAR/PP souhaite recevoir un exemplaire de toute publication pour laquelle ce matériel aurait servi de source.

L'exploitation des ces informations n'est pas autorisée à des fins commerciales ou de vente sans le consentement écrit du CAR/PP.

Si vous considérez qu'un point de l'étude peut faire l'objet d'une amélioration ou si vous détectez des imprécisions, nous vous remercions de bien vouloir nous en faire part.

Étude terminée en avril 2005

Étude publiée en septembre 2005

Si vous souhaitez obtenir des exemplaires supplémentaires de cet ouvrage ou pour toute information complémentaire, veuillez contacter le :

Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)

C/ París, 184 – 3a planta

08036 Barcelona (Espagne)

Tél. : +34 93 415 11 12 – Fax : +34 93 237 02 86

Courrier électronique : cleanpro@cema-sa.org

Site Internet : <http://www.cema-sa.org>

SOMMAIRE

0. RÉSUMÉ	11
1. INTRODUCTION	15
2. PRODUCTION PROPRE / OBJECTIFS ET BÉNÉFICES DE LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION	19
3. SITUATION DES PAYS DU PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE	23
3.1. PAYS DU SUD DE LA MÉDITERRANÉE	23
3.1.1. <i>ALGÉRIE</i>	26
3.1.2. <i>ÉGYPTE</i>	28
3.1.3. <i>LIBAN</i>	31
3.1.4. <i>JAMAHIRIYA ARABE LIBYENNE POPULAIRE ET SOCIALISTE</i>	32
3.1.5. <i>MAROC</i>	34
3.1.6. <i>RÉPUBLIQUE ARABE SYRIENNE</i>	37
3.1.7. <i>TUNISIE</i>	38
3.2. PAYS DU NORD DE LA MÉDITERRANÉE	41
3.2.1. <i>ESPAGNE</i>	42
3.2.2. <i>FRANCE</i>	45
3.2.3. <i>GRÈCE</i>	48
3.2.4. <i>ITALIE</i>	50
3.2.5. <i>MONACO</i>	52
3.3. PAYS DE L'EST DE LA MÉDITERRANÉE	54
3.3.1. <i>ALBANIE</i>	55
3.3.2. <i>BOSNIE-HERZÉGOVINE</i>	56
3.3.3. <i>CHYPRE</i>	58
3.3.4. <i>CROATIE</i>	60
3.3.5. <i>SLOVÉNIE</i>	62
3.3.6. <i>ISRAËL</i>	65
3.3.7. <i>MALTE</i>	66
3.3.8. <i>TURQUIE</i>	68
3.4. SITUATION DE L'INDUSTRIE DE LA PÂTE ET DU PAPIER DANS LES PAYS DU PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE.....	70
4. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS	83
4.1. PRODUITS PAPETIERS.....	83
4.2. MATIÈRES PREMIÈRES.....	87
4.2.1. <i>Matières premières cellulosiques</i>	87
4.2.2. <i>Matières secondaires et auxiliaires</i>	92
4.3. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION	95

4.3.1. Préparation de la matière première	95
4.3.2. Élaboration de la pâte à papier	95
PÂTES MÉCANIQUES	97
PÂTES CHIMIQUES	99
4.3.3. Tamisage et épuration des pâtes	109
4.3.4. Blanchiment.....	110
4.3.5. Pâtes à base de papier de récupération.....	113
4.3.6. Fabrication de papier.....	121
5. PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE EN MATIÈRE DE FABRICATION DE LA PÂTE ET DU PAPIER FLUX DE DÉCHETS ET CONSOMMATIONS	131
5.1. SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ET LEUR CONTRÔLE	136
5.1.1. Préparation de la matière première	136
5.1.2. Élaboration de la pâte à papier	136
5.1.3. Fabrication de papier.....	142
5.1.4. Émissions de dioxydes de carbone	143
5.2. SOURCES DE PRODUCTION DES DÉVERSEMENTS ET CONTRÔLE DE CES DERNIERS.....	146
5.2.1. Préparation de la matière première	147
5.2.2. Élaboration de la pâte à papier	150
5.2.3. Fabrication de papier.....	158
5.3. SOURCES DE PRODUCTION DES DÉCHETS SOLIDES ET LEUR CONTRÔLE	160
5.3.1. Préparation de la matière première.....	161
5.3.2. Élaboration de la pâte à papier	161
5.3.3. Fabrication de papier.....	164
5.4. CONSOMMATION D'EAU	165
5.4.1. Introduction	165
5.4.2. Élaboration de la pâte à papier	166
5.4.3. Fabrication de papier.....	167
5.4.4. Gestion complète de l'eau.....	167
5.5. CONSOMMATION D'ÉNERGIE.....	168
5.5.1. Introduction	168
5.5.2. Élaboration de la pâte à papier	171
5.5.3. Fabrication de papier.....	172
6. OPPORTUNITÉS DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION À LA SOURCE.....	173
6.1. SÉLECTION DES ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES EN FONCTION DU PROCÉDÉ DE PRODUCTION	173
6.2. FICHES RELATIVES AUX ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES POUR LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION À LA SOURCE (APOC) SÉLECTIONNÉES	182
6.2.1. Fiche théorique.....	182
6.2.2. Recirculation des eaux	182
6.2.3. Délignification à l'oxygène	184
6.2.4. Blanchiment ECF.....	186
6.2.5. Blanchiment TCF.....	187

6.2.6.	<i>Fermeture des circuits de l'usine de blanchiment</i>	189
6.2.7.	<i>Clarification des eaux par flottation à air dissous</i>	194
6.2.8.	<i>Clarification des eaux avec système de membranes</i>	197
6.2.9.	<i>Gestion optimale de l'eau. Réduction de la consommation d'eau claire via la séparation des circuits d'eau et un flux à contre-courant</i>	200
6.2.10.	<i>Épuration par lavage des gaz émanant de la chaudière de récupération</i> 201	
6.2.11.	<i>Épuration et réutilisation des condensats les plus pollués de l'usine d'évaporation</i>	203
6.2.12.	<i>Traitement des gaz des chaudières et four au moyen d'un filtre électrostatique</i>	204
6.2.13.	<i>Amélioration de la préparation des pâtes avec une diminution de la consommation d'énergie et des émissions</i>	206
6.2.14.	<i>Application de la cogénération de vapeur et d'énergie</i>	207
6.2.15.	<i>Optimisation de l'égouttage au niveau de la section de pressage de la machine à papier</i>	208
6.3.	AUTRES ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES À PRENDRE EN CONSIDÉRATION :	209
6.3.1.	<i>Écorçage à sec</i>	209
6.3.2.	<i>Utilisation de réservoirs de stockage de volume suffisant pour optimiser la consommation d'eau</i>	210
6.3.3.	<i>Contrôle et récupération des fuites et des échappements</i>	211
6.3.4.	<i>Tamisage de la pâte écrue avec circuit d'eau fermé</i>	213
6.3.5.	<i>Lavage efficace</i>	213
6.3.6.	<i>Cuisson modifiée étendue</i>	214
6.3.7.	<i>Blanchiment à l'ozone</i>	216
6.3.8.	<i>Fermeture des circuits d'eau avec traitement biologique des effluents intégrés dans le processus</i>	217
6.3.9.	<i>Réduction des pertes de fibres et de charges minérales dans la machine à papier</i>	218
6.3.10.	<i>Récupération et recyclage des produits de couchage contenus dans les effluents</i>	219
6.3.11.	<i>Prétraitement indépendant des eaux résiduaires provenant des opérations de couchage</i>	220
6.3.12.	<i>Remplacement des substances potentiellement nocives par des produits alternatifs moins polluants</i>	221
6.3.13.	<i>Contrôle des émissions du parc à bois</i>	221
6.3.14.	<i>Augmentation de la concentration des liqueurs noires</i>	222
6.3.15.	<i>Amélioration du lavage des boues de caustification</i>	223
6.3.16.	<i>Utilisation de combustibles pauvres en soufre ou renouvelables</i>	223
6.3.17.	<i>Minimisation des pertes de rejet dans les fabriques de pâte mécanique</i> 224	
6.3.18.	<i>Collecte séparée des matériaux non-fibreux</i>	225
6.3.19.	<i>Actualisation de l'agencement des installations dans l'objectif de diminuer la consommation d'énergie</i>	225
6.3.20.	<i>Utilisation des technologies efficaces d'un point de vue énergétique</i>	226
6.3.21.	<i>Élimination des déversements accidentels ou occasionnels</i>	229
6.3.22.	<i>Formation, éducation et motivation du personnel</i>	229
6.3.23.	<i>Optimisation du contrôle du fonctionnement et de la maintenance des installations</i>	229
6.3.24.	<i>Gestion environnementale</i>	230

6.4. ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES ÉMERGENTES	232
6.4.1. Nouveaux procédés de fabrication de pâte PTM efficaces d'un point de vue énergétique.....	232
6.4.2. Fermeture des circuits d'eau avec évaporation et incinération des substances concentrées	232
6.4.3. Élimination des agents chélateurs.....	234
6.4.4. Application du procédé de réduction sélective non-catalytique ou « SNCR » (Selective non catalytic reduction)	235
6.4.5. Bioréacteur à membrane.....	236
6.4.6. Récupération des cendres et du CO ₂ issus des chaudières pour réduire les charges minérales utilisées pour la fabrication du papier	237
6.4.7. Systèmes de diagnostic	237
6.5. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES PROPOSÉES.....	238
7. TRAITEMENTS FINAUX POUR LA MINIMISATION DE LA POLLUTION (TFMP).....	247
7.1. SÉLECTION DES TRAITEMENTS FINAUX EN FONCTION DU PROCÉDÉ DE PRODUCTION	247
7.2. FICHES CORRESPONDANT AUX TRAITEMENTS FINAUX POUR LA MINIMISATION DE LA POLLUTION (TFMP) SÉLECTIONNÉS.....	251
7.2.1. FICHE THÉORIQUE	251
7.2.2. TRAITEMENT BIOLOGIQUE DES EAUX RESIDUAIRES.....	251
7.2.3. CAPTAGE ET TRAITEMENT DES GAZ MALODORANTS	254
7.2.4. INSTALLATION DE BRULEURS A BASSE EMISSION DE NO _x	256
7.2.5. DIMINUTION DU BRUIT EXTERIEUR.....	257
7.2.6. MINIMISATION DES DECHETS VERS LES SITES D'ENFOUISSEMENT DES USINES DE PATE MECANIQUE	257
7.2.7. TRAITEMENT IN SITU DES REJETS ET DES BOUES (EGOUTTAGE).....	258
7.2.8. COMBUSTION DES BOUES DE DESENCRAGE	259
7.3. AUTRES TRAITEMENTS POUR LA MINIMISATION DE LA POLLUTION (TMP) À PRENDRE EN CONSIDÉRATION.....	261
7.3.1. Traitement primaire des eaux résiduaires.....	261
7.3.2. Traitement anaérobie comme première étape du traitement aérobie.....	262
7.3.3. Traitement tertiaire des eaux résiduaires avec précipitation chimique... ..	263
7.3.4. Contrôle des inconvénients potentiels de la fermeture du circuit d'eau de la machine à papier	263
7.4. TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES FINAUX ÉMERGENTS	266
7.4.1. Traitement des effluents par un procédé combiné d'ozonisation et biofiltration.....	266
7.5. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TRAITEMENTS FINAUX PROPOSÉS.....	267
8. CAS PRATIQUES	271
8.1. CAS PRATIQUES SUR LES ALTERNATIVES EN MATIÈRE DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION À LA SOURCE	272
8.1.1. Cuisson modifiée étendue.....	272
8.1.2. Cuisson modifiée étendue et blanchiment à l'oxygène	273

8.1.3. Récupération et réutilisation de composés chimiques des liqueurs noires 274	
8.1.4. Obtention de pâte kraft blanchie	275
8.1.5. Gestion optimale de l'eau	280
8.1.6. Récupération des fibres dans le procédé de fabrication du carton.....	281
8.1.7. Réutilisation de l'eau des pompes à vide de la machine à papier	284
8.1.8. Minimisation de la quantité des eaux d'entretien lors du nettoyage des canalisations	284
8.1.9. Traitement interne des eaux de procédé par ultrafiltration	286
8.1.10. Flottation à air dissous.....	288
8.1.11. Récupération et recyclage de produits de coucha	289
8.1.12. Installation de variateurs de fréquence sur le moteur de pompe de la fosse de la machine à papier	292
8.2. CAS PRATIQUES ASSOCIÉS AUX TRAITEMENTS FINAUX.....	293
8.2.1. Installation d'une station de traitement primaire	293
8.2.2. Usine de traitement des eaux résiduaires	294
8.2.3. Traitement des effluents à l'ozone.....	295
8.2.4. Valorisation énergétique des boues	298
8.3. AUTRES EXEMPLES DE BONNE GESTION ENVIRONNEMENTALE	301
8.3.1. Planification systématique pour une gestion de l'eau optimale	301
8.3.2. Mesures de prévention et de réduction des émissions d'une fabrique de papier journal élaboré à partir de papier de récupération.....	303
9. CONCLUSIONS	317
10. BIBLIOGRAPHIE	319

0. RÉSUMÉ

Bien que l'industrie papetière se soit toujours caractérisée par l'intégration de nombreux concepts liés au développement durable, il lui reste encore à réaliser un effort considérable en termes de minimisation de sa consommation des ressources naturelles et de son impact sur l'environnement. Actuellement, le défi consiste à adopter les mesures nécessaires pour permettre un développement durable et garantir la compétitivité des entreprises, notamment celle des PME.

Ce manuel de prévention de la pollution dans l'industrie papetière a pour objectif de fournir les outils et les critères de décision nécessaires à la mise en place d'un processus d'amélioration environnementale progressif, dans les entreprises des pays membres du Plan d'action pour la Méditerranée afin d'atteindre l'objectif d'une production plus propre.

L'objectif de la production plus propre est l'application permanente d'une stratégie environnementale préventive intégrée aux procédés, aux produits et aux services, dans le but d'augmenter l'efficacité et de réduire les risques pour les personnes et l'environnement. Une telle stratégie implique l'évaluation et l'adoption progressive des meilleures techniques disponibles pour minimiser la pollution de l'environnement. Ces techniques doivent être viables d'un point de vue technique et économique, et être en accord avec les caractéristiques spécifiques de chaque procédé de production. Ce manuel souligne en outre le fait que l'adoption d'alternatives de prévention de la pollution permet de réduire la consommation des ressources naturelles (matières premières, eau, énergie, etc.), de diminuer le flux de déchets et d'accroître l'efficacité du procédé de production, ce qui en favorise la rentabilité et contribue également à augmenter la compétitivité des installations industrielles.

Dans la mesure où l'objectif numéro un de la production plus propre est la minimisation des émissions à leur origine, la démarche à appliquer est la suivante : prévenir, réduire et réutiliser. Néanmoins, il convient également d'envisager, de façon complémentaire, le traitement des émissions finales pour minimiser l'impact de ces dernières sur l'environnement.

Comme le souligne le chapitre 3 de ce manuel, l'efficacité de telles actions dépend de la législation en vigueur dans chaque pays. Il existe en effet de grandes différences d'une législation à l'autre, à l'exception des pays de l'Union européenne qui sont soumis à la directive relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (directive IPPC).

Les pays du nord et de l'est de la Méditerranée produisent aujourd'hui environ 95 % de la production totale des produits papetiers de la région méditerranéenne et en consomment près de 90 %. Le niveau de développement industriel atteint dans les différentes régions méditerranéennes varie : 10 pays affichent une consommation de papier inférieure à 50 kg/hab./an (source : the FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)).

Le chapitre 4 décrit les matières premières utilisées et les principaux procédés de production. Le chapitre 5, recense ensuite les principales sources potentielles de pollution et fait état des consommations d'eau et d'énergie les plus courantes pour chaque procédé.

Les principales sources potentielles de pollution atmosphérique sont liées à la production de composants organiques volatiles, de composants malodorants et de particules dans les unités d'obtention de pâte ainsi qu'au CO₂, au NO_x, au SO_x et aux particules en suspension produites dans le cadre des procédés d'obtention d'énergie.

Les déversements ont considérablement diminué au cours des dernières années grâce à la fermeture des circuits d'eau. Par exemple, les pays du nord de la Méditerranée ont diminué leurs déversements de 90 % ces 20 dernières années ; une réduction qui a impliqué le traitement interne des eaux avant

leur réutilisation. Les principaux polluants présents dans les effluents sont des solides en suspension et des solides dissous de nature organique ou inorganique. Après la découverte, dans les années 1980, de la présence de dioxines dans les émissions générées par les usines de pâte à papier, les procédés de blanchiment ont été modifiés, interdisant désormais l'utilisation de chlore élémentaire dans la plupart des pays du Plan d'action pour la Méditerranée. L'adoption de systèmes de blanchiment ECF et TCF a permis de réduire les émissions de composants halogénés de plus de 90 % depuis 1990. Dans la majorité des cas, il est nécessaire de procéder à un traitement primaire et/ou secondaire des eaux de procédé avant de les rejeter, afin de minimiser l'impact de ces déversements sur l'environnement.

Les déchets sont principalement générés dans le cadre des processus de production d'énergie ou de traitement des eaux de procédé, au moment de la récupération de la liqueur noire dans les usines de pâte kraft et lors de la préparation de la pâte dans les usines de papier de récupération.

Le chapitre 6 de ce manuel présente diverses alternatives visant à prévenir la pollution à la source. Étant donné qu'il existe de très nombreuses alternatives et solutions envisageables, les propositions formulées dans ce chapitre ne sont pas exhaustives : elles constituent seulement une sélection qui reflète la variété des techniques disponibles.

Le chapitre 6 est structuré en trois grandes sections réunissant chacune un ensemble d'alternatives ou de techniques aux caractéristiques communes.

Par exemple, la section 6.2. inclut les alternatives pour la prévention de la pollution à la source (*alternatives pour la prévention de la pollution à la source* - APPS), techniques très pertinentes d'un point de vue technologique et relativement complexes pour lesquelles une description détaillée est nécessaire. Ces alternatives sont présentées sous forme de fiches.

Pour chaque APPS sont décrits : le procédé auquel l'alternative s'applique, l'action clé sur laquelle elle repose, l'étape ou l'opération du processus dans laquelle elle s'intègre, la problématique environnementale qui lui est associée, les bénéfices potentiels, la description et la procédure de sa mise en œuvre ainsi que les aspects économiques.

Les alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) présentées dans ce manuel sont les suivantes :

Alternatives en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)

- Recyclage des eaux
- Dégénération à l'oxygène
- Blanchiment ECF
- Blanchiment TCF
- Fermeture des circuits de l'usine de blanchiment
- Clarification des eaux par flottation à air dissous
- Clarification des eaux avec système de membranes
- Gestion optimale de l'eau
- Épuration par lavage des gaz émanant de la chaudière de récupération
- Épuration et réutilisation des condensats les plus pollués de l'usine d'évaporation
- Traitement des gaz des chaudières et four au moyen d'un filtre électrostatique
- Amélioration de la préparation des pâtes avec une diminution de la consommation d'énergie et des émissions
- Application de la cogénération de vapeur et d'énergie
- Optimisation de l'égouttage au niveau de la section de pressage de la machine à papier

Dans la section suivante, la section 6.3., sont présentées d'autres alternatives technologiques à prendre en considération. Bien qu'elles ne requièrent pas une description aussi détaillée que les précédentes, en raison de leur simplicité technologique, de leur caractère plus théorique ou de leur spécificité, ces alternatives sont également considérées comme des techniques viables pour la prévention de la pollution à la source. Ce manuel définit chacune de ces alternatives et en détaille l'applicabilité, les aspects environnementaux ainsi que les aspects économiques.

Les autres alternatives technologiques à prendre en considération et qui sont présentées dans ce manuel sont les suivantes :

Autres alternatives technologiques à prendre en considération :

- Écorçage à sec
- Utilisation de réservoirs de stockage de volume suffisant pour optimiser la consommation d'eau
- Contrôle et récupération des fuites et des échappements
- Tamisage de la pâte écrue avec circuit d'eau fermé
- Lavage efficace
- Cuisson modifiée étendue
- Blanchiment à l'ozone
- Fermeture des circuits d'eau avec traitement biologique des effluents intégrés dans le processus
- Réduction des pertes de fibres et de charges minérales dans la machine à papier
- Récupération et recyclage des produits de couchage contenus dans les effluents
- Prétraitement indépendant des eaux résiduelles provenant des opérations de couchage
- Remplacement des substances potentiellement nocives par des produits alternatifs moins polluants
- Contrôle des émissions du parc à bois
- Augmentation de la concentration des liqueurs noires
- Amélioration du lavage des boues de caustification
- Utilisation de combustibles pauvres en soufre ou renouvelables
- Minimisation des pertes de rejet dans les fabriques de pâte mécanique
- Collecte séparée des matériaux non-fibreux
- Actualisation de l'agencement des installations dans le but de diminuer la consommation d'énergie
- Utilisation des technologies efficaces d'un point de vue énergétique
- Élimination des déversements accidentels ou occasionnels
- Formation, éducation et motivation du personnel
- Optimisation du contrôle du fonctionnement et de la maintenance des installations
- Gestion environnementale

La section 6.4. Alternatives technologiques émergentes, aborde des technologies plus innovantes ayant pour but une production plus propre dans l'industrie de la pâte et du papier. Il définit chacune de ces alternatives et en détaille l'applicabilité, les aspects environnementaux ainsi que les aspects économiques.

Les alternatives technologiques émergentes présentées dans ce manuel sont les suivantes :

Alternatives technologiques émergentes

- Nouveaux procédés de fabrication pâte PTM efficaces d'un point de vue énergétique
- Fermeture des circuits d'eau avec évaporation et incinération des substances concentrées
- Élimination des agents chélateurs
- Application du procédé de réduction sélective non-catalytique ou « SNCR » (Selective non catalytic reduction)
- Bioréacteur à membrane
- Récupération des cendres et du CO₂ issus des chaudières pour réduire les charges minérales utilisées pour la fabrication du papier
- Systèmes de diagnostic

De même, le chapitre 7, présente les traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) qui existent actuellement. Ces derniers visent à diminuer la quantité de déchets émis par l'industrie, et dans certains cas, viennent compléter les alternatives de prévention de la pollution à la source (APPS), afin d'atteindre l'objectif de production plus propre.

La section 7.2. recense, sous forme de fiches, les TFMP qui nécessitent une description plus détaillée, en raison de la complexité de la technologie employée ou de leur cadre d'application.

Il s'agit des traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP)

- Traitement biologique des eaux résiduaires
- Captage et traitement des gaz malodorants
- Installation de brûleurs à basse émission de NO_x
- Réduction du bruit extérieur
- Minimisation des déchets vers les sites d'enfouissement des usines de pâte mécanique
- Traitement in situ des rejets et des boues (égouttage)
- Combustion des boues de désencrage

La section 7.3. inclut d'autres traitements pour la minimisation de la pollution (TMP) étudiés dans le présent manuel. Les caractéristiques de ces traitements permettent d'en faire une description plus simple par rapport aux traitements évoqués dans la section 7.2. Pour chaque TMP, cet ouvrage fournit : description, définition, applicabilité, aspects environnementaux et aspects économiques.

Les traitements pour la minimisation de la pollution (TMP) présentés dans ce manuel sont les suivants :

Autres traitements pour la minimisation de la pollution (TMP) à prendre en considération

- Traitement primaire des eaux résiduaires
- Traitement anaérobie comme première étape du traitement aérobie
- Traitement tertiaire des eaux résiduaires avec précipitation chimique
- Contrôle des inconvénients potentiels de la fermeture du circuit hydraulique associé à la machine à papier

Ensuite, la section 7.4. Traitements technologiques finaux émergents, décrit le traitement des effluents via le procédé mixte d'ozonisation/biofiltration, afin de démontrer l'évolution technologique du traitement des eaux résiduaires.

Enfin, le chapitre 8, inclut une série de cas pratiques dans le but de faciliter la prise de décision par rapport à certains traitements concrets. Notre sélection inclut aussi bien des cas très spécifiques pour lesquels nous indiquons les bénéfices retirés après la mise en œuvre de l'une des alternatives proposées dans une usine donnée, que des cas plus généraux dans lesquels nous mettons en avant les alternatives utilisées dans un groupe d'unités de production ou pour lesquels nous décrivons les différentes étapes suivies pour parvenir à une production plus propre.

La bibliographie de ce manuel, recense une série de publications, institutions et sites web susceptibles de fournir au lecteur des informations supplémentaires ou qui pourraient compléter celles contenues dans le présent ouvrage.

1. INTRODUCTION

Dans la vie moderne, le papier est un produit indispensable, de grande qualité, de faible coût, sûr et recyclable, qui satisfait de nombreux besoins au travail, à la maison, à l'école, dans l'industrie, dans l'économie, etc. Il peut être utilisé comme support d'informations, pour transporter des biens, pour protéger les aliments, comme absorbant ou encore pour l'hygiène personnelle. Il sert également à des fins artistiques, décoratives, récréatives, etc. Le papier présente différentes caractéristiques en fonction de son utilisation ; il peut être conçu pour un usage permanent ou temporaire, il peut être délicat ou résistant, cher ou économique, abondant ou rare. Il peut être conservé dans un musée ou jeté à la poubelle. Actuellement, il existe plus de 500 produits papetiers destinés à plus de 300 applications. Ceux-ci peuvent être produits par milliers de tonnes ou en petites quantités pour des applications spécifiques. Aussi, l'industrie papetière est-elle constituée d'unités de tailles très diverses, allant des grandes usines qui appartiennent, généralement, à des multinationales, jusqu'aux petites entreprises familiales avec un marché très local.

Une fois usagés, la plupart des produits papetiers peuvent être collectés de façon sélective et réutilisés comme source de fibre secondaire (une pratique séculaire) ou, lorsque cela n'est pas possible, ils peuvent servir de biocombustibles. Le papier fait donc partie d'un cycle intégral de carbonisation, qui repose sur la transformation photosynthétique de l'eau, du dioxyde de carbone, de nutriments et de l'énergie solaire sur le bois, une biomasse renouvelable. Ainsi, la fibre vierge et la fibre recyclée sont-elles complémentaires et leur utilisation doit être optimisée conformément aux caractéristiques requises par le produit final.

À l'instar d'autres secteurs industriels, l'industrie du papier s'efforce d'atteindre un développement durable. Depuis des décennies, ce secteur applique à ses caractéristiques spécifiques de nombreux concepts associés au développement durable, si bien qu'il réalise chaque jour de nouveaux efforts en termes de minimisation de la consommation des ressources naturelles et de limitation de l'impact sur l'environnement.

Le développement durable implique une vision à long terme selon laquelle les entreprises doivent se concentrer sur la préservation de la qualité de vie, c'est-à-dire sur le respect des besoins humains et des écosystèmes, tant à l'échelle locale que mondiale. Ce processus dynamique prend en considération non seulement les aspects environnementaux mais aussi les aspects socio-économiques, comme par exemple le bien-être social et l'emploi. Certaines mesures peuvent être mises en œuvre à court terme, mais d'autres requièrent de longs délais de planification et d'adaptation. De nombreuses entreprises ont déjà adopté des mesures concrètes liées à un large éventail de questions environnementales et sociales et ont même bénéficié de nouvelles opportunités en termes de marché. Toutefois, le secteur étant constitué de centaines de petites, moyennes et grandes entreprises, le niveau de développement atteint par les différentes fabriques varie considérablement, même au sein d'une même entreprise. Ce développement dépend essentiellement de la localisation des fabriques, des attentes de ses actionnaires ou propriétaires et de l'identification de nouvelles opportunités de marché.

En outre, il convient de souligner qu'aujourd'hui ces fabriques sont non seulement confrontées au processus de développement durable, avec tous les changements que cela suppose, mais qu'elles doivent aussi, en parallèle, faire face à la mondialisation. En définitive, le développement durable de l'industrie papetière représente des opportunités et des défis tels, que les fabricants de papier ont désormais besoin de s'adapter à tous ces changements pour trouver comment maintenir la rentabilité de leurs usines tout en réduisant l'impact de celles-ci sur l'environnement.

Grâce au développement de la conscientisation écologique, les industries ont aujourd'hui un plus grand intérêt à protéger l'environnement ainsi que de réaliser des économies en terme de consommation électrique ou thermique, en minimisant les rejets de substances polluantes, en diminuant leur consommation totale d'eau et en optimisant leurs besoins énergétiques.

C'est ainsi que s'est progressivement dessinée une stratégie d'optimisation des activités industrielles, tant sur le plan environnemental que du point de vue de la rentabilité et de la compétitivité. Les grandes lignes de cette stratégie peuvent se résumer comme suit :

- Une nouvelle relation entre l'industrie et l'environnement, dans lequel ce dernier est considéré comme un composant inhérent à la production. Dans cette logique, l'industrie admet certains principes comme celui du « pollueur-payeur ». Ces principes ont généré des bénéfices supplémentaires en confrontant les entreprises à certaines formes d'inefficacité et en les forçant à optimiser l'utilisation des matières premières et de l'énergie.
- Modernisation de la réglementation en matière de protection de l'environnement, qui vise à réduire la surcharge bureaucratique et les coûts administratifs liés à cette réglementation, tout en conciliant le développement des normes et des réglementations environnementales avec les critères de productivité, et en essayant d'associer l'efficacité et la rentabilité des entreprises à la protection de l'environnement.
- La nécessité des entreprises de faire face à la concurrence internationale et de se mettre en conformité avec les normes de qualité et autres standards internationaux, comme les normes de type ISO-9000 et ISO-14000.

Ainsi, il est largement admis que la solution la plus efficace aux problèmes de pollution de l'environnement est d'éviter la production des flux de déchets par l'application de technologies propres éliminant les problèmes dès leur origine. Cette solution peut être adoptée aussi bien par les industries nouvelles que par celles qui entreprendraient la modernisation de leurs installations de production.

Les facteurs suivants sont généralement considérés comme essentiels dans ce secteur industriel, en termes d'environnement :

- réduire la consommation des ressources naturelles et optimiser le processus de production ou industriel pour minimiser la production de flux de déchets ;
- augmenter l'efficacité énergétique ;
- minimiser l'impact des procédés et des produits sur l'environnement ;
- favoriser les cycles fermés de procédés et d'opérations auxiliaires ;
- utiliser des ressources renouvelables et favoriser le recyclage ;
- étendre la durée de vie des produits papetiers.

Ce manuel vise à proposer des outils et des critères de décision liés à la mise en œuvre d'une amélioration environnementale progressive dans les entreprises, en mettant à la disposition des pays membres du Plan d'action pour la Méditerranée des informations relatives à la pollution dans l'industrie du papier.

Selon une étude publiée en janvier 2004 par le Centre d'activités régionales pour la production plus propre (CAR/PP) sur « l'État de la production plus propre dans les pays du Plan d'action pour la Méditerranée », et d'après les manifestations des Points focaux nationaux du CAR/PP concernant le concept de production plus propre, la majorité des pays méditerranéens ont adopté la définition du PNUE (Programme d'action stratégique de Nations Unies pour l'environnement), selon laquelle : « La production plus propre consiste en l'application continue d'une stratégie environnementale préventive intégrée aux procédés, aux produits et aux services, en vue d'augmenter l'efficacité et de réduire les risques pour les personnes et l'environnement ». En outre, dans certains cas, la production plus propre est assimilée à des concepts tels que les alternatives de production plus propre (APP) et les technologies plus propres.

Dans le cadre de l'élaboration de ce manuel, nous avons procédé en premier lieu à l'identification des problématiques environnementales potentielles associées aux unités de fabrication de l'industrie papetière, à savoir :

- Déversements
- Déchets solides / Boues
- Émissions atmosphériques
- Consommation excessive d'énergie

Nous avons ensuite étudié les procédés de fabrication associés à ce secteur dans les pays du Plan d'action pour la Méditerranée, en décrivant de façon détaillée les quatre problématiques environnementales exposées antérieurement. Enfin, nous avons proposé un ensemble d'alternatives de prévention de la pollution à la source en spécifiant, à titre d'exemple, des cas pratiques illustrant l'application de certaines de ces alternatives.

Par conséquent, ce document est organisé de la manière suivante :

PARTIE I : Production propre / Objectifs et bénéfices de la prévention de la pollution

Cette partie définit le concept de « prévention de la pollution » et résume les avantages liés à l'application des techniques de prévention en question.

PARTIE II : Prévention de la pollution dans le secteur du papier

Cette partie décrit la situation actuelle de l'industrie papetière dans la région méditerranéenne ainsi que les procédés associés à ce secteur. Elle évoque aussi la production des flux de déchets et les principaux impacts sur l'environnement et offre des alternatives de prévention de la pollution.

PARTIE III : Cas pratiques

Cette section inclut des exemples précis d'entreprises ayant appliqué différentes alternatives de prévention de la pollution. Ces études de cas décrivent la stratégie adoptée ainsi que les avantages, notamment en termes de réduction des coûts, que ces entreprises ont pu retirer.

2. PRODUCTION PROPRE / OBJECTIFS ET BÉNÉFICES DE LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION

La production plus propre dans un milieu industriel se concentre sur l'exécution efficace des procédés de production, de sorte que les sous-produits ou flux de déchets non-exploitable en interne soient générés en quantité minimale et que la consommation des matières premières et des ressources soit réduite au maximum.

La production plus propre repose sur trois axes d'intervention :

- Prévenir
- Réduire
- Réutiliser en interne

La *prévention* s'oriente vers la prise de décisions dans le cadre de la conception de nouvelles usines ou du réagencement d'unités existantes, en vue de « prévenir » la pollution, c'est-à-dire de ne pas générer de flux de déchets. Ainsi, l'objectif est d'encourager la sélection d'alternatives minimisant la génération de flux de déchets, réduisant par la même l'impact sur l'environnement.

La *réduction*, ou minimisation, s'applique à ces procédés qui, bien qu'ils soient déjà intégralement mis en œuvre, disposent d'une marge d'optimisation. Les modifications devront prendre en considération la réduction des flux de déchets et/ou la consommation des matières premières et des ressources naturelles.

La *valorisation* interne implique l'utilisation des flux de déchets comme matière première au sein de l'entreprise et représente l'ultime moyen de limiter l'impact sur l'environnement.

Les répercussions de ces mesures sur l'environnement seront plus ou moins positives en fonction de l'intensité avec laquelle le concept de production plus propre est mis en valeur.

En termes de coûts, il convient de concevoir la production plus propre comme un processus qui génère des bénéfices avec le temps, car la production propre permet de réduire les coûts en améliorant l'efficacité de la production.

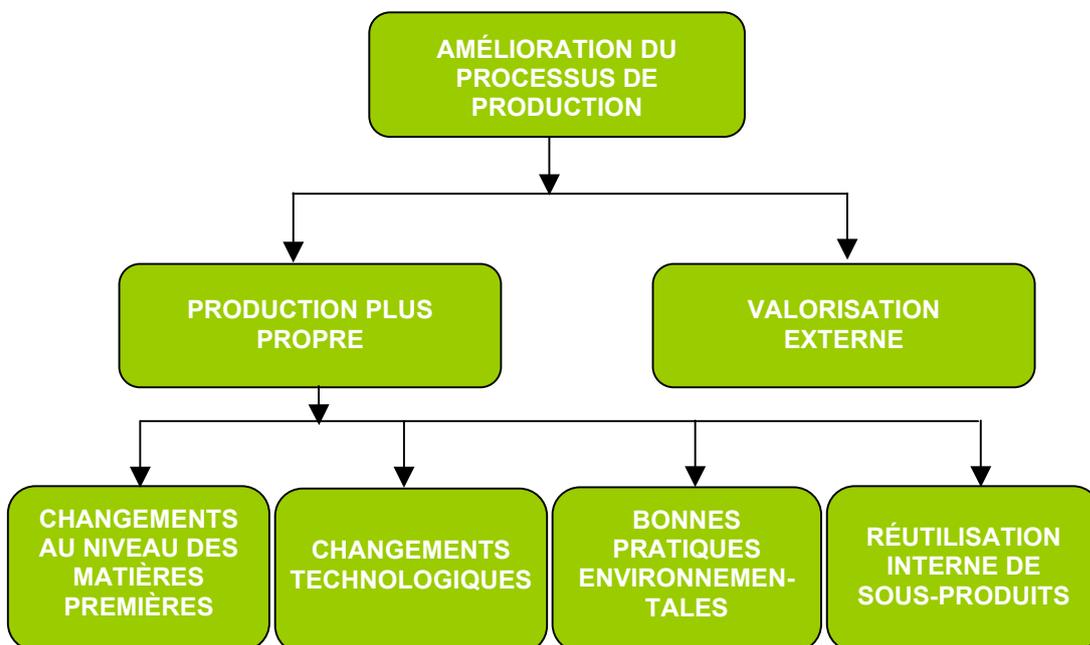
Ainsi, la planification et la conception de processus impliquant des techniques de minimisation de la production de flux de déchets seront, à moyen - long terme, beaucoup plus rentables, sur le plan environnemental et économique, que les processus qui ne prévoient qu'une bonne gestion du traitement des flux de déchets lors de la phase finale.

La production plus propre est de plus en plus présente dans l'industrie de la pâte et du papier. Ce phénomène s'explique notamment par les facteurs suivants :

- Un cadre juridique de plus en plus strict et contrôlé.
- L'augmentation des coûts associés à la gestion externe des flux de déchets.
- L'incorporation dans la gestion financière du produit des dépenses engagées en matière de protection de l'environnement.
- Une sensibilisation grandissante des consommateurs et des clients par rapport à la protection de l'environnement.
- Une amélioration technique appliquant des procédés de production plus propres qui offrent des produits de qualité identique ou supérieure.

Qu'il s'agisse de la fabrication de la pâte ou du papier, les mesures visant à une production plus propre peuvent être regroupées selon les lignes de conduite décrites ci-après :

- Changements au niveau des matières premières : mesures centrées sur l'amélioration par remplacement ou modification des matières premières consommées au cours du processus par d'autres ressources de nocivité inférieure.
- Changements technologiques mesures impliquant des modifications au sein des processus.
- Mesures organisationnelles : mesures visant à un usage approprié des équipements et des systèmes afin d'optimiser le fonctionnement de l'usine.
- Recyclage interne des sous-produits ou des flux de déchets : réutilisation, avec ou sans traitement préalable dans le cadre du processus concerné (en fonction des cas) des flux de déchets, considérant ces derniers comme de nouvelles matières premières.



La prévention de la pollution représente, selon la définition donnée par l'EPA (Agence américaine pour la protection de l'environnement), « ... la réduction maximale de tous les déchets générés sur leur lieu de production. Cela suppose une exploitation adéquate des ressources par le biais d'une réduction en oxygène, l'utilisation efficace de l'énergie, la récupération des matériaux usagés en les incluant dans la production et une diminution de la consommation d'eau. Il existe deux méthodes de réduction à la source applicables dans le cadre d'un programme de prévention de la pollution : l'introduction de changements au niveau des produits et l'introduction de changements au niveau des procédés. Ces deux méthodes permettent de réduire le volume et la toxicité des déchets associés à la production et aux produits finaux pendant leur cycle de vie et leur mise au rebut. »

OBJECTIFS DE LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION

L'objectif du programme pour la prévention de la pollution à la source est d'améliorer la qualité de l'environnement par l'élimination et/ou la diminution de la production des flux de déchets. La prévention de la pollution inclut toute activité initiée par une entreprise pour réduire la quantité de déchets générés par ses procédés de fabrication avant recyclage, traitement ou mise au rebut de ces déchets à l'extérieur du site de production.

BÉNÉFICES D'UN PROGRAMME DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION

Les entreprises qui disposent d'un plan de prévention de la pollution efficace et continu auront un avantage concurrentiel significatif dans leur secteur, puisqu'une telle mesure entraîne une diminution des coûts d'exploitation et de production. Ainsi, un programme de prévention de la pollution peut présenter les avantages suivants :

- **Protéger la santé humaine et la qualité de l'environnement** : la réduction des polluants émis dans l'air ou s'infiltrant dans la terre et l'eau contribuera à protéger l'environnement et la santé humaine.
- **Réduire les coûts d'exploitation** : à long terme, un programme efficace de réduction de la pollution peut entraîner des économies qui permettraient d'amortir les coûts de développement et de mise en œuvre du programme.
- **Motivation des employés** : les employés se sentiront mieux dans leur entreprise s'ils sont convaincus que leur direction s'efforce de leur offrir un environnement de travail plus sûr tout en collaborant en tant que membre responsable de la communauté.
- **Amélioration de l'image de l'entreprise** : la démonstration d'une conscience écologique améliore l'image de l'entreprise. En effet, les entreprises dont la culture se fonde sur le respect de la nature donnent une opinion plus positive d'elles-mêmes. Ceci peut offrir de nouvelles opportunités de marché pour certains produits.
- **Amélioration du respect de la Législation environnementale** : en respectant un plan de prévention de la pollution, l'entreprise augmente ses chances d'éviter les infractions et les amendes liées à la législation environnementale.

3. SITUATION DES PAYS DU PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE

Cette section vise à donner au lecteur une vision générale de la situation actuelle dans les différents pays du Plan d'action pour la Méditerranée. Dans cette optique, cette partie inclut des informations d'ordre socio-économique sur ces pays, aborde des aspects concrets de l'industrie de chaque pays et les principaux impacts environnementaux associés à l'activité industrielle (notamment dans le secteur de la pâte et du papier). Sont également évoqués les lois et les réglementations en vigueur dans le cadre juridique actuel pour prévenir et contrôler la pollution, les agents impliqués dans la promotion de la production plus propre, les programmes et les plans d'action créés en vue d'encourager la production plus propre, ainsi que les activités et les outils de promotion et de diffusion de la production plus propre.

Les informations présentées dans cette section sont issues de sources bibliographiques d'organismes officiels (instituts de statistiques, agences pour l'environnement, agences pour l'énergie, ministères de l'Économie, etc.), ainsi que de la seconde édition de l'étude récemment publiée par le Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP) : « État de la production plus propre dans les pays du Plan d'action pour la méditerranée ». Cette nouvelle édition, qui met à jour et complète l'étude publiée par le Centre en 2001, analyse les principaux progrès effectués par les pays de la région méditerranéenne en matière d'adoption de réglementation, de programmes et de plans d'action relatifs à la prévention de la pollution et à la promotion de la production plus propre.

Nous étudierons ci-après la situation des différents pays méditerranéens regroupés en trois sous-régions (le Sud, le Nord et l'Est). Il convient de noter que, pour des raisons pratiques, les informations qui suivent n'ont été ni révisées ni approuvées par les Points focaux nationaux de chaque pays concerné.

3.1. PAYS DU SUD DE LA MÉDITERRANÉE

Ce groupe réunit l'Algérie, l'Égypte, le Liban, la Libye, le Maroc, la Syrie et la Tunisie, pays membres de la Ligue des pays arabes aux caractéristiques spécifiques communes, en dépit des différences politiques qui peuvent exister. Ces pays partagent tous des principes culturels et des langues similaires ce qui facilite une action commune.

Cette sous-région se caractérise principalement par la modernisation de l'industrie, le développement du droit environnemental et du système législatif, l'adoption de plans d'action environnementale à l'échelle nationale et l'instauration de centres nationaux pour la production plus propre chargés d'appuyer la stratégie adoptée par chaque pays.

Industrie et environnement

Au cours des trois dernières décennies, les pays du sud de la Méditerranée ont connu de nettes améliorations en termes de santé, d'éducation et de bien-être. Toutefois, ce développement a été entravé par une augmentation de la pression populaire, la récession économique et les conflits armés.

L'accroissement rapide de la population des pays du sud de la Méditerranée associé au développement des activités humaines, notamment dans les zones urbaines, a pour effet d'augmenter la pression sur l'environnement ainsi que la production de déchets et la pollution.

Le produit intérieur brut (PIB) des pays du sud de la Méditerranée a augmenté considérablement ces dix dernières années. La plupart de ces pays ont engagé des réformes et des restructurations

économiques, ils plébiscitent l'économie de marché et la décentralisation et sont parvenus à faire baisser leur taux d'inflation.

Le poids de l'industrie dans ces pays est considérable : celle-ci représente plus de 25,5 % du PIB total de la sous-région (sans compter l'extraction de pétrole brut). L'industrialisation représente une source de revenus importante pour l'État grâce au commerce des produits industriels. Elle entraîne par ailleurs la création d'emplois et l'apport de valeur ajoutée sur les marchandises.

La structure industrielle des différents pays du sud de la Méditerranée affiche certaines caractéristiques communes :

- Le développement industriel des pays du sud de la Méditerranée repose principalement sur l'exploitation de sources d'énergie naturelles non-renouvelables. L'extraction de pétrole et de gaz en Libye, en Algérie et en Égypte a pris une importance considérable non seulement en termes d'exportation, mais aussi si l'on considère les industries de grande consommation énergétique et à forte valeur ajoutée qui ont proliféré dans la région.
- Outre la production de pétrole et de gaz, les pays du sud de la Méditerranée ont tendance à se concentrer sur d'autres activités d'extraction ou de transformation des matières premières comme, par exemple, les phosphates et autres minéraux au Maroc ou l'industrie agricole en Syrie.
- L'industrie productrice de biens d'équipement est relativement peu présente malgré l'importance que devrait prendre ce secteur dans certains pays, notamment l'Égypte, le Maroc et la Tunisie.
- Enfin, les exportations de produits fabriqués sont toujours très limitées et le déficit de la balance commerciale demeure très élevé. Néanmoins, cette situation pourrait changer sous l'impulsion de nouvelles politiques d'encouragement des exportations.

Malgré les récentes tentatives de diversification du tissu industriel, accordant une part importante des budgets nationaux à l'industrie et aux infrastructures qu'elle nécessite, le comportement du secteur manufacturier dans les pays du sud de la Méditerranée ne s'est pas avéré satisfaisant. Ceci s'explique notamment par une tendance dominante à importer les biens, la non-application des stratégies de développement industriel, la protection artificielle de l'industrie nationale et le manque de coopération en matière de commerce et d'industrie entre les différents pays de cette région.

L'exploitation minière et la transformation des minéraux et des métaux industriels se sont développées de même que l'extraction de combustibles fossiles.

Des pays comme l'Égypte, la Syrie, la Tunisie et le Maroc, dont l'économie est très diversifiée, continuent à se concentrer sur les industries traditionnelles, telles que la production alimentaire, de ciment ou textile.

Peu de pays ont pu établir des industries compétitives via l'introduction de technologies modernes. En outre, l'industrialisation continue à se renforcer dans nombre de ces pays, à travers des politiques incompatibles avec le concept de durabilité.

Le modèle de développement industriel qui s'est progressivement appliqué dans les pays du sud de la Méditerranée a contribué à l'apparition de « points noirs de pollution » ayant entraîné une détérioration environnementale importante et la surcharge d'infrastructures publiques pour la protection de l'environnement dans les grandes villes.

Dans les pays ayant un niveau d'industrialisation comparativement supérieur (par exemple l'Égypte, le Maroc, la Tunisie ou la Syrie), les problèmes environnementaux sont encore plus sérieux en raison des facteurs suivants :

- inadéquation des traitements en bout de ligne, manipulation et élimination inappropriées des déchets dangereux,

- difficultés à contrôler les effluents et les émissions industrielles dues au manque d'instruments et de personnel qualifié,
- manque de prédisposition de la part de la majorité des entreprises polluées à investir dans des mesures de diminution de la pollution,
- manque de personnel spécialisé et formé pour gérer le fonctionnement des installations de traitement des déchets.

Néanmoins, à l'heure actuelle, l'industrie est en train de reconnaître la nécessité d'éviter ou de réduire la production de déchets à travers les nouvelles technologies de prévention de la pollution. Cette tendance a permis d'améliorer progressivement les modes de production et de consommation.

Cadre politico-légal

La législation environnementale de tous les pays du sud de la Méditerranée a été largement révisée et modifiée ces dernières années. En général, les pays de cette sous-région adoptent une loi environnementale générale (cadre) que des normes sectorielles viennent compléter. Tous ces pays ont approuvé des lois sur le contrôle de la pollution industrielle des eaux visant à protéger directement ou indirectement le milieu marin. La majorité a également approuvé la réglementation sur l'évaluation de l'impact environnemental (EIE) dans les systèmes de concession des autorisations.

Dans la plupart des pays, la modernisation du cadre juridique a favorisé la réglementation légale des aspects relatifs à la PP, principalement grâce aux lois concernant les déchets et à l'introduction de nouvelles exigences environnementales dans la procédure d'obtention des autorisations.

C'est le cas, notamment, de la loi algérienne sur les déchets ou des exigences de minimisation des déchets établies par la législation égyptienne. La PP figure également dans le projet de loi marocain sur les déchets. En outre, la révision du cadre juridique a permis à la Tunisie d'introduire des exigences plus concrètes visant à la réalisation d'économies d'énergie et d'eau. L'Algérie a aussi introduit des mesures de prévention et de réduction de la pollution à la source et, en seconde option, la valorisation des déchets.

Toutefois, il est probable que l'application complète de ces lois demande un certain temps, puisqu'elle nécessite une structure administrative appropriée. Outre le fait que le secteur industriel sera davantage prédisposé à se soumettre à l'application effective de la réglementation si les mesures de contrôle de cette application s'accompagnent d'autres mesures proactives comme, par exemple, des accords volontaires ou des incitations économiques, il existe peu de mesures d'incitation pour l'adoption de la PP, excepté la perspective d'éviter les éventuelles amendes.

Le Liban finance des audits et a augmenté le montant des crédits favorables concédés pour accélérer l'adoption de nouvelles technologies environnementales et, entre autres, la modernisation environnementale.

La Syrie propose également d'autres mesures d'incitation pour les industries plus propres et pour les investisseurs qui investissent dans la modernisation environnementale et dans l'adoption de technologies plus propres.

Dans certains pays, des accords volontaires et des instruments ont été mis en place en vue de favoriser la prise de conscience du secteur industriel et d'accroître la responsabilité de celui-ci en matière d'environnement. En ce sens, le Maroc a mis en œuvre un programme de « Responsable Care », qui a été adopté par certaines industries. De même, l'Algérie encourage et s'efforce de développer de meilleurs systèmes de gestion environnementale et les audits environnementaux.

Dans le cadre international de la protection de l'environnement via la prévention de la pollution, tous les pays de l'est de la Méditerranée ont souscrit, signé ou ratifié la Convention de Bâle sur les déchets dangereux et la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. En ce qui concerne la diminution de la couche d'ozone, tous ces pays ont également signé ou ratifié le protocole de Montréal et ses amendements, à l'exception de celui de Pékin (1999). Enfin, sur la question du réchauffement climatique, seuls le Maroc et la Tunisie ont ratifié le Protocole de Kyoto, lequel a été aussi signé par l'Égypte.

Dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée, et conformément aux protocoles centrés principalement sur les activités situées à terre, tous les pays du sud de la Méditerranée ont ratifié le protocole pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution causée par des sources ou des activités terrestres. Toutefois, seuls le Maroc et la Tunisie ont accepté les amendements de 1995, qui incluent, notamment, les principes de précaution et de « pollueur-payeur », les alternatives de production plus propre (APP), les meilleures pratiques environnementales (MPE) et les technologies plus propres, lesquelles doivent être prises en compte lors de l'élaboration des plans nationaux de lutte contre la pollution. Le protocole sur les substances dangereuses a été ratifié par le Maroc et la Tunisie, et signé par l'Algérie et la Libye.

3.1.1. ALGÉRIE

Introduction

L'Algérie est un pays arabe situé dans le nord de l'Afrique, sur les bords de la Méditerranée. Sa superficie totale est de 2 381 740 km² et sa population avoisine les 31,3 millions d'habitants.

L'économie du pays réside en grande partie sur le secteur des hydrocarbures. L'Algérie possède la cinquième plus grande réserve de gaz naturel du monde, est le second pays exportateur de gaz, et occupe la quatorzième place en termes de réserves de pétrole.

Ces dernières années, l'économie algérienne a enregistré une croissance annuelle d'environ 4 %. Le pays est parvenu à réduire légèrement son important taux de chômage et à améliorer le niveau de vie de la population de manière substantielle. Le gouvernement a l'intention de poursuivre ses efforts pour diversifier l'économie et attirer les capitaux nationaux et étrangers vers des secteurs autres que l'industrie de l'énergie.

Tableau 3.1.1. Indicateurs de la situation socioéconomique de l'Algérie

Superficie	10 ⁶ km ²	2,4
Population	millions	31,3
Accroissement de la population	%	1,62
Espérance de vie	ans	70,7
Analphabétisme total	% âge>15	31,1
Analphabétisme des femmes	% âge>15	40,4
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	956
PIB actuel	10 ⁹ €	47,7
Croissance du PIB	% annuel	4,1
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	143,0
PPA du PIB par habitant	100 €	45,4
Formation brute de capital	% du PIB	25,2
VA dans l'agriculture	% du PIB	12,4
VA dans l'industrie	% du PIB	62,2
VA dans les services	% du PIB	25,4
Exportations	% du PIB	33,5
Importations	% du PIB	23,4
Lignes téléphoniques en fonctionnement (2001)	pour 1 000 hab.	64
Ordinateurs (2001)	pour 1 000 hab.	7,1

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée)

Industrie et environnement

L'Algérie a connu une croissance économique significative au cours des quarante dernières années, marquée par un important développement industriel. Par conséquent, un grand nombre d'industries se sont établies dans le nord du pays, à proximité des grandes régions urbaines sans que la notion de développement durable ne soit pratiquement prise en compte.

Les technologies utilisées ont été uniquement choisies en fonction du critère de productivité et souvent, au détriment de l'environnement, ce qui explique qu'aujourd'hui l'Algérie est confrontée à de graves problèmes de pollution. L'industrie, et plus précisément les secteurs minier, pétrochimique, chimique et métallurgique, sont les principaux responsables de la pollution du pays.

L'industrie se concentre dans les zones littorales (moins de 2 % de la superficie totale du pays), où la densité de population est aussi la plus élevée (autour des grandes régions urbaines industrialisées et des villes, notamment Alger, Oran, Constantine, Annaba et Skikda).

Le secteur industriel privé se compose, dans son immense majorité, de petites et moyennes entreprises (PME), dont le nombre varie entre 25 000 et 35 000. Quarante-trois pour cent d'entre elles sont des microentreprises de moins de 10 employés. Ces PME sont implantées dans tous les secteurs d'activités, notamment : textile et confection, tannerie et chaussures, matériaux de construction, agroalimentaire et industries de transformation. Elles génèrent de grandes quantités de déchets et d'eaux résiduaires.

Les principaux impacts de l'industrie algérienne sur l'environnement sont les suivants :

- la dégradation de la qualité de l'air (émissions polluantes dans l'atmosphère, comme les gaz de combustion, les fumées et la poussière, les vapeurs de métaux lourds, etc.) ;
- la pollution des ressources hydriques (fleuves, aquifères, barrages, eaux côtières, etc.) ;
- la production de déchets industriels ;
- les principales zones d'activité industrielle du pays s'étendent sur le littoral.

Industrie de la pâte et du papier

L'industrie de la pâte et du papier, comme beaucoup d'autres secteurs de l'économie algérienne, s'oriente de plus en plus vers la privatisation. Le pays a défini un cadre juridique et fait beaucoup d'efforts pour attirer les investisseurs potentiels. Il organise par exemple des réunions intensives et des séminaires afin de communiquer tous les détails de sa nouvelle politique et faire part des nombreuses mesures incitatives que celle-ci inclut.

Tableau 3.1.2. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Algérie. Année 2002

Superficie forestière	km ²	41 960
Capacité de production de papier et de carton	t	137 000
Capacité de production de pâte	t	14 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	6,30
Ratio de production de papier et de carton	%	28
Ratio de production de pâte	%	14
Usines de papier et de carton	-	5
Usines de pâte	-	1
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	2 400

Source : Annual Review- Africa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

Le GIPEC (Groupe Industriel des Papiers et de la Cellulose Head Office) est la compagnie semi-privée responsable de la production de la pâte et du papier en Algérie.

Le secteur de la pâte utilise comme matières premières les plantes annuelles comme l'alfa et la paille. Cette industrie a connu un certain déclin ces dernières années, en raison de difficultés liées aux récoltes, à la taxation, aux transports et aux procédés techniques. La production de paille a également connu un recul dû au développement de la pâte fabriquée à base de nouveaux bois, rentables, comme l'eucalyptus. La stratégie mise en œuvre consiste à poursuivre l'utilisation d'alfa pour la fabrication de la pâte en faveur de la fibre secondaire.

La proportion de papier de récupération est actuellement de l'ordre de 10 %. On estime cependant à 400 000 tonnes la quantité totale disponible, favorisée par l'augmentation des emballages des marchandises d'importation.

En Algérie, la consommation de papier et de carton par habitant en 2002, 2001, et 2000 a été d'environ 6,30 kg/hab./an. La consommation annuelle de papier et de carton s'est maintenue ces dernières années aux alentours de 225 000 tonnes, et la production à près de 41 000 tonnes par an.

Selon les données obtenues auprès de l'ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products), la production des années 2003, 2002 et 2000 peut être détaillée comme suit : 7 000 t/an de carton d'emballage, 3 000 t/an de papier à usage sanitaire ou domestique, 32 000 t/an de papier de récupération, 14 000 t/an de papier d'impression, 21 000 t/an de papier et carton d'emballage.

Comme le démontrent les chiffres mentionnés précédemment, l'Algérie consomme davantage de papier et de carton qu'elle n'en produit, ce qui souligne l'importance de ses importations. En 2002, les importations totales de papier et carton ont été 10 % supérieures à celles de l'année précédente (2001). En 2003, l'Algérie a importé, entre autres, 17 000 t de pâte chimique, 32 800 t de papier couché, 1 500 t de papier à usage sanitaire ou domestique, 28 600 t de papier journal et 52 900 t de papier d'impression.

Toutefois, l'Algérie a engagé des programmes de restructuration des fabriques de pâte, de papier et de carton, au travers de projets de modernisation. Grâce à cette restructuration le marché domestique devrait offrir des opportunités importantes, renforçant encore davantage le marché de l'exportation. Les investisseurs privés pensent désormais à investir dans le nouveau potentiel de ce secteur, faisant se profiler de nouveaux espoirs pour ce secteur resté cloisonné depuis un certain temps.

3.1.2. ÉGYPTTE

Introduction

L'Égypte est un pays arabe situé dans le nord de l'Afrique, sur les bords de la Méditerranée. Sa superficie totale est de 1 001 450 km² et sa population avoisine les 66,4 millions d'habitants.

Outre le potentiel agricole de la vallée et du delta du Nil, les ressources naturelles de l'Égypte incluent le pétrole, le gaz naturel, les phosphates et le minerai de fer. Le pays dispose de suffisamment de gaz naturel pour satisfaire la demande interne pendant de nombreuses années.

Le secteur industriel est encore dominé par le domaine public qui contrôle quasiment toute l'industrie lourde. Aussi, un processus de réforme et de privatisation a été mis en œuvre en vue d'augmenter les opportunités du secteur privé. La construction, les services non-financiers et le marché intérieur sont, pour une large partie, privatisés. Ceci a favorisé une augmentation constante du PIB et du taux de croissance annuel.

L'Égypte est la deuxième puissance économique du monde arabe. L'économie est dominée par le secteur des services, qui constitue quasiment la moitié du PIB.

Tableau 3.1.3. Indicateurs de la situation socioéconomique de l'Égypte

Superficie	10 ⁶ km ²	1,0
Population	Millions	66,4
Accroissement de la population	%	1,77
Espérance de vie	Ans	68,9
Analphabétisme total	% âge>15	43,1
Analphabétisme des femmes	% âge>15	54,1
Energie par habitant	équivalent kg de pétrole	726
PIB actuel	10 ⁹ €*	76,9
Croissance du PIB	% annuel	3,0
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	221
PPA du PIB par habitant	100 €	31,7
Formation brute de capital	% du PIB	17,1
VA dans l'agriculture	% du PIB	16,8
VA dans l'industrie	% du PIB	35,0
VA dans les services	% du PIB	48,2
Exportations	% du PIB	18,2
Importations	% du PIB	23,4
Lignes téléphoniques en fonctionnement	pour 1 000 hab.	147
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	15,5

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée)

Industrie et environnement

L'industrie est l'un des principaux secteurs dynamisant l'économie égyptienne. En tenant compte des secteurs manufacturier et minier, l'industrie égyptienne génère environ 20 % du PIB et emploie presque 14 % de la main-d'œuvre disponible. La capacité de fabrication de l'Égypte repose sur un nombre relativement peu élevé de secteurs industriels. En effet, seuls sept secteurs représentent plus de 80 % des établissements. Les trois principaux secteurs sont l'alimentation et les boissons, le textile et l'industrie chimique (il s'agit également des trois plus anciennes industries d'Égypte). Suivent derrière le secteur des minéraux non métalliques, la production de métaux, les produits chimiques et les métaux basiques.

En outre, l'Égypte dépend fortement de ses importations. Elle doit, par exemple, importer la quasi-totalité de sa consommation de bois et de papier.

En Égypte, la répartition géographique de l'industrie est très déséquilibrée. Actuellement, 41 % de la production industrielle se concentrent dans la région du Caire, 17 % dans le delta du Nil, 16,8 % à Alexandrie et 14,2 % dans la zone du Canal de Suez. Les 11 % restants sont localisés en Haute-Égypte. Cette répartition inégale a encouragé le pays à mettre au point un nouveau plan visant à inciter l'investissement industriel dans de nouvelles communautés situées dans les zones non-agricoles du pays.

Le secteur public, dominé par les grandes entreprises, occupe une place prépondérante dans l'industrie chimique et pharmaceutique, l'ingénierie et le secteur électrique. Il détient également des usines de textiles et des raffineries de sucre.

Le secteur privé, dominé par les petites et moyennes entreprises (PME), inclut des entreprises dont l'activité est dédiée aux domaines de l'alimentation et des boissons, aux produits laitiers, à la filature et aux tissus, ainsi qu'à l'artisanat. Les entreprises du secteur privé générant le plus de bénéfices sont celles dédiées à la production d'outillages légers et consommables électriques ainsi qu'à l'impression de tissus et à la confection.

Alexandrie est une zone fortement industrialisée où sont localisées les productions suivantes : papier, métal, produits chimiques, produits pharmaceutiques, plastiques, produits alimentaires, huiles, détergents et pétrole. Dans cette région, la majorité des déchets générés par l'industrie sont déversés dans le lac Mariout, où finissent également les eaux résiduaires traitées par les stations d'épuration d'Alexandrie.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.1.4. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Égypte. Année 2002

Capacité de production de papier et de carton	t	470 000
Capacité de production de pâte	t	140 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	13
Usines de papier et de carton	-	11
Usines de pâte	-	3
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	5 500

Source : Annual Review- Africa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

Ces dernières années, la consommation de papier et de carton par habitant a été de l'ordre de 13 kg/hab./an, avec une consommation totale annuelle de 933 700 tonnes en 2002. La production de papier et de carton s'est maintenue ces dernières années aux alentours de 460 000 t/an, et la production de papier de récupération autour de 380 000 t/an. L'Égypte consomme plus de papier et de carton qu'elle n'en produit, ce qui souligne l'importance de ses importations.

Selon les données obtenues auprès de l'ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products), la production des différents types de pâte et de papier ces dernières années peut être détaillée comme suit : 70 000 t/an de carton d'emballage, 90 000 t/an de papier à usage sanitaire ou domestique, 380 000 t/an de papier de récupération, 100 000 t/an de papier d'impression, 240 000 t/an de papier et carton d'emballage, entre autres.

Les données relatives aux importations enregistrées en 2003 sont les suivantes : 56 100 t de pâte chimique, 56 100 t de pâte au sulfate blanchie, 1 800 t de pâte mécanique, 7 100 t de papier couché, 265 000 t de papier journal, 2 400 t de papier de récupération et 87 000 t de papier d'impression, entre autres.

Comme le démontrent les chiffres mentionnés précédemment, L'Égypte importe la majeure partie du papier qu'elle consomme. Cependant, le pays a engagé un certain nombre de programmes via l'installation de nouvelles usines ou la modernisation des établissements existants afin de remplacer une partie de l'importation par la production domestique.

3.1.3. LIBAN

Introduction

Le Liban est un pays arabe situé dans la région du Moyen-Orient, qui borde la mer Méditerranée. Sa superficie totale est de 10 400 km² et sa population avoisine les 4,4 millions d'habitants.

Le Liban se caractérise par un système compétitif de libre échange et par une forte tradition commerciale de laisser-faire. L'économie libanaise est principalement orientée vers les services ; les principaux secteurs en expansion sont le secteur bancaire et le tourisme.

Tableau 3.1.5. Indicateurs de la situation socioéconomique du Liban

Superficie	10 ³ km ²	10,4
Population	millions	4,44
Accroissement de la population	%	1,26
Espérance de vie	ans	71
Analphabétisme total	% âge>15	13
Analphabétisme des femmes	% âge>15	18
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	1 169
PIB actuel	10 ⁹ €*	14,8
Croissance du PIB	% annuel	1
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	16,2
PPA du PIB par habitant	100 €	46,2
Formation brute de capital	% du PIB	18
VA dans l'agriculture	% du PIB	11,7
VA dans l'industrie	% du PIB	21
VA dans les services	% du PIB	67,3
Exportations	% du PIB	13,9
Importations	% du PIB	41
Téléphones	pour 1 000 hab.	n.d.
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	56

Source : Groupe de la banque mondiale, global EDGE et Arabic News (2001-2002).
(PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée ; n.d. = non disponible)

Industrie et environnement

En 1999, le ministère de l'Industrie recensait plus de 22 000 unités industrielles au Liban (29 282 selon l'Administration centrale de statistiques), chiffre qui représentait une augmentation d'environ 50 % par rapport au début des années 1990. Plus de 90 % de ces unités sont des micro-industries de moins de dix employés.

L'industrie se concentre à Beyrouth et dans la région du Mont Liban. En raison du manque de planification urbaine, la plupart des petites industries et micro-industries sont implantées dans des zones résidentielles, hors des zones industrielles (95,6 % des industries sont à Beyrouth et 75,3 % dans la région du Mont Liban). Toutefois, les grandes entreprises (qui se consacrent à la transformation des aliments, au textile, aux produits chimiques, au ciment et aux matériaux de construction), sont en général situées dans les zones industrielles.

Les données indiquent une surprenante reprise du secteur industriel, malgré les dégâts causés par la guerre. Une croissance du secteur de 8 à 10 % est prévue entre 2001 et 2010.

Environ 89 % des industries appartiennent à sept secteurs principaux : alimentation et boissons (20 %), fabrication des métaux (16 %), minéraux non métalliques (12 %), mobilier (11 %), tissu et finition de textiles (16 %), produits en bois (10 %) et tannage (6 %).

La majorité des installations industrielles ne sont pas dotées d'équipements de contrôle de la pollution et déversent leurs effluents pollués dans les eaux côtières et superficielles, entraînant un risque grave de pollution des eaux superficielles et souterraines. En outre, les déversements incontrôlés de déchets industriels solides et les émissions dans l'atmosphère sont fréquents.

Industrie de la pâte et du papier

Ces dernières années, au Liban, la consommation de papier et de carton par habitant a été de l'ordre de 45 kg/hab./an, avec une consommation totale annuelle de 161 900 tonnes. La production de papier et de carton s'est maintenue aux alentours de 42 000 t/an.

Plus concrètement, les données de l'ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) relatives aux productions de papier à usage sanitaire ou domestique et de papier/carton d'emballage indiquent que celles-ci se sont maintenues aux alentours de 6 000 et 36 000 tonnes, respectivement.

Comme nous l'avons démontré, le Liban connaît la même situation que les autres pays du sud de la Méditerranée, où la production de papier et de carton est très faible, d'où l'importance de l'importation de ce type de produit. D'après les données obtenues auprès du FAO, nous pouvons dire que ces dernières années, le Liban a importé 1 000 t/an de pâte mécanique, 200 t/an de pâte mi-chimique, 12 800 t/an de pâte chimique, 10 900 t/an de pâte au sulfate blanchie, 700 t/an de pâte au sulfite blanchie, 1 200 t/an de pâte au sulfate non-blanchie, 22 200 t/an de papier couché, 2 600 t/an de papier à usage sanitaire ou domestique, 12 200 t/an de papier journal, 65 200 t/an de papier d'impression et 4 900 t/an de papier de récupération, entre autres.

Au cours de ses cinq dernières années, l'industrie papetière libanaise a investi, et continue d'investir, dans les technologies visant à améliorer la capacité de production ainsi que la qualité. Le Syndicat des industries du papier et du carton (Syndicate of Paper and Cardboard Industries) pense que le secteur pourrait produire près de 250 000 tonnes de papier par an.

3.1.4. JAMAHIRIYA ARABE LIBYENNE POPULAIRE ET SOCIALISTE

Introduction

La Libye est un pays arabe situé dans le nord de l'Afrique, sur les bords de la Méditerranée. Sa superficie totale est de 1 759 000 km² et sa population avoisine les 5,5 millions d'habitants.

Le gouvernement domine l'économie libyenne à tendance socialiste via le contrôle des ressources pétrolières du pays, qui représentent environ 95 % des revenus d'exportation et 30 % du produit intérieur brut. Grâce aux revenus générés par le pétrole et grâce à une population peu importante, la Libye affiche le PIB et la parité de pouvoir d'achat du PIB les plus élevés d'Afrique. Malgré les efforts réalisés pour diversifier l'économie et encourager la participation du secteur privé, le contrôle généralisé des prix, des crédits, du commerce et des devises constitue un obstacle à la croissance.

Les secteurs de la construction et de la production non-liées au pétrole, qui équivalent à environ 20 % du PIB, ne sont plus quasi-exclusivement représentées par les industries de transformation des produits agricoles mais englobent également la pétrochimie, la sidérurgie et les industries de l'aluminium.

Tableau 3.1.6. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Libye

Superficie	10 ⁶ km ²	1,8
Population	millions	5,53
Accroissement de la population	%	2
Espérance de vie	ans	72
Analphabétisme total	% âge>15	18
Analphabétisme des femmes	% âge>15	29
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	3 107
PIB actuel	10 ⁹ €*	29,24
Croissance du PIB	% annuel	n.d.
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	34,2
PPA du PIB par habitant	100 €	65
Formation brute de capital	% du PIB	13
VA dans l'agriculture	% du PIB	7
VA dans l'industrie	% du PIB	44
VA dans les services	% du PIB	49
Exportations	% du PIB	36
Importations	% du PIB	15
Lignes téléphoniques en fonctionnement	pour 1 000 hab.	118
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	n.d.

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2000-2002) Arabic News et ktuell 2004. Harenberg Lexicon Verlag. (PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée ; n.d. = non disponible)

Industrie et environnement

Comme nous l'avons mentionné antérieurement, le développement industriel de la Libye dépend en grande partie du secteur pétrolier, aussi bien en termes de revenus générés par les investissements qu'en termes d'importation des matières premières. Parmi ses activités industrielles, la Libye compte celles associées au pétrole (exploration, production, transport et commerce de produits dérivés du pétrole), ainsi que les secteurs de la sidérurgie, des engrais, du ciment, des substances chimiques et de la transformation des aliments.

Jusqu'au début des années quatre-vingt, la totalité du secteur industriel était planifiée par le gouvernement qui contrôlait les aspects de la production industrielle considérés sensibles ou dont l'envergure n'était pas accessible au secteur privé du pays. Néanmoins, aujourd'hui, la politique du gouvernement a tendance à libérer l'industrie, y compris l'industrie de transformation, de sa dépendance à la propriété et au contrôle étrangers. Le gouvernement s'emploie à développer les industries pétrochimiques et pétrolifères.

L'industrie de transformation des aliments représente le premier secteur de production, suivie par d'autres industries importantes, comme le textile, la production d'engrais et de matériel de construction mécanique.

Bien que le déversement d'effluents industriels non-traités dans les réseaux d'égouts soit une pratique très répandue parmi les PME implantées dans les villes libyennes, ce phénomène n'est pas considéré

comme étant à l'origine de graves problèmes de pollution. Les grandes installations telles que les raffineries de pétrole, les complexes pétrochimiques, sidérurgiques, chimiques, les industries d'engrais et de finition textile sont principalement localisées le long du littoral et notamment dans le golfe de Surt. Ces industries procèdent régulièrement à des déversements d'effluents non-traités, via des canaux de vidange débouchant directement dans la Méditerranée.

Industrie de la pâte et du papier

En Libye, la consommation de papier et de carton par habitant a été, ces dernières années, de 3,14 kg/hab./an, avec une consommation annuelle de 17 100 tonnes. La production de papier et de carton s'est maintenue ces dernières années autour de 6 000 t/an.

Dans ce cas aussi, la consommation est plus conséquente que la production, d'où l'importance des importations. Les dernières données obtenues auprès de l'ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) indiquent qu'en 2003, les importations se sont réparties comme suit : 1 300 t de pâte chimique, 600 t de pâte au sulfate blanchie, 700 t de pâte au sulfite blanchie, 857 t de pâte mi-chimique, 2 400 t de matériaux pour boîtes, 400 t de papier couché, 1 300 t de papier journal, 3 900 t de papier d'impression et 5 400 t de papier d'emballage, entre autres.

3.1.5. MAROC

Introduction

Le Maroc est un pays arabe situé au nord de l'Afrique, sur les bords de la Méditerranée. Sa superficie totale est de 710 000 km² et sa population avoisine les 29,5 millions d'habitants.

L'économie marocaine se diversifie de plus en plus. Le Maroc dispose d'importantes réserves minérales, d'un secteur agricole (y compris la pêche) diversifié, d'une industrie touristique largement développée et d'un secteur des industries de transformation en pleine expansion (centré principalement sur la confection).

Environ un tiers de l'industrie de transformation est lié aux phosphates et un autre tiers à l'agriculture. Le tiers restant est réparti entre l'industrie textile, la confection et la métallurgie.

Depuis les années quatre-vingt, le gouvernement marocain a entrepris un programme de réformes économiques avec le soutien du Fonds monétaire international et la Banque mondiale. Au cours des dix dernières années, ces réformes ont contribué à augmenter le revenu par habitant, à diminuer l'inflation et réduire les déficits comptables.

Toutefois, l'accroissement de la population, la migration des zones rurales vers les régions urbaines et l'augmentation de la main-d'œuvre active ont favorisé la hausse du chômage en zone urbaine, malgré une forte croissance économique et la création de nouveaux emplois.

Tableau 3.1.7. Indicateurs de la situation socioéconomique du Maroc

Superficie	10 ⁶ km ²	0,7
Population	millions	29,6
Accroissement de la population	%	1,58
Espérance de vie	ans	68,4
Analphabétisme total	% âge>15	49,3
Analphabétisme des femmes	% âge>15	61,7
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	359
PIB actuel	10 ⁹ €*	31,9
Croissance du PIB	% annuel	4,5
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	98,5
PPA du PIB par habitant	100 €	33,4
Formation brute de capital	% du PIB	25,2
VA dans l'agriculture	% du PIB	16,1
VA dans l'industrie	% du PIB	31,1
VA dans les services	% du PIB	52,8
Exportations	% du PIB	29,9
Importations	% du PIB	35,9
Lignes téléphoniques en fonctionnement (2001)	pour 1 000 hab.	204
Ordinateurs (2001)	pour 1 000 hab.	13,7

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée)

Industrie et environnement

Le Maroc possède l'une des plus importantes industries minières d'Afrique et l'industrie pétrolière constitue un sous-secteur essentiel de l'économie du pays. Par ailleurs, l'industrie chimique connaît actuellement un nouvel essor grâce à l'exploitation des phosphates.

Dans le secteur parachimique, l'industrie pharmaceutique occupe une position de choix et le Maroc représente l'un des marchés principaux pour l'industrie africaine des lubrifiants. Les industries textile et du cuir représentent environ un quart de la production industrielle totale. En ce qui concerne les industries de transformation alimentaire, on distingue principalement la production de sucre, la minoterie et les produits laitiers. De nombreuses fabriques de ciments sont également implantées au Maroc.

Les sous-secteurs liés aux activités du secteur de la production peuvent être classés comme suit :

- industrie agroalimentaire (35 %, avec plus de 1 641 entreprises) ;
- industrie chimique et parachimique (33 %, avec 1 963 entreprises) ;
- industrie textile et du cuir (17 %, avec 1 744 entreprises) ;
- industrie mécanique, électrique et électronique (12 % correspondant aux industries électriques et mécaniques, et 3 % aux électroniques ; plus de 1 051 entreprises au total).

Au Maroc, les petites et moyennes entreprises représentent 95 % des activités de fabrication. Plus de 14 000 PME enregistrées sont implantées dans les centres urbains ou les enclaves industrielles du pays, et environ 50 % des grandes installations sont concentrées à Casablanca, dans la région de El Mohammédia. Elles contribuent à 36 % du PIB et représentent 52 % des emplois. L'implantation des PME dans les zones urbaines densément peuplées a des conséquences négatives sur l'environnement comme sur la population.

Les activités industrielles, et notamment celles des secteurs chimiques et parachimiques, agroalimentaire (sucre et huiles végétales), du textile et du cuir, ont un impact négatif sur le milieu, et en particulier sur les ressources hydriques. La pollution des eaux superficielles provoquée par les activités industrielles est importante, en particulier dans les vallées du Sebou et de l'Oum er Rbia.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.1.8. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier au Maroc. Année 2002

Superficie forestière	km ²	85 471
Capacité de production de papier et de carton	t	160 000
Capacité de production de pâte	t	125 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	9
Ratio de production de papier et de carton	%	80
Ratio de production de pâte	%	71
Usines de papier et de carton	-	5
Usines de pâte	-	1
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	2 400

Source : Annual Review- Africa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

La consommation de papier et de carton par habitant ces dernières années a été de 9 kg/hab./an, avec une consommation annuelle totale de 250 000 tonnes. La production de pâte et de papier s'est maintenue ces dernières années à 129 000 t/an, et celle de papier de récupération autour de 30 000 t/an.

D'après les données de ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products), ces dernières années, le Maroc a produit 107 000 t/an de pâte chimique, 107 000 t/an de pâte au sulfate blanchie, 1 000 t/an de papier couché, 1 000 t/an de papier à usage sanitaire ou domestique, 2 000 t/an de papier journal, 30 000 t/an de papier de récupération et 34 000 t/an de papier d'impression, entre autres.

Selon les dernières données obtenues (FAO), les importations de l'année 2003 peuvent être détaillées comme suit : 17 464 t de pâte chimique, 17 060 t de pâte au sulfate blanchie, 404 t de pâte au sulfite blanchie, 1 000 t de pâte au sulfate non blanchie, 400 t de pâte mécanique, 590 t de pâte mi-chimique, 6 293 t de papier couché, 478 t de papier à usage sanitaire ou domestique, 15 327 t de papier journal, 3 118 t de papier de récupération, et 21 495 t de papier d'impression, entre autres.

Quant à l'exportation des produits du secteur de la pâte et du papier, les dernières informations obtenues (FAO) indiquent qu'en 2003 le Maroc a exporté les quantités suivantes : 75 473 t de pâte chimique, 75 473 t de pâte au sulfate blanchie, 25 t de pâte mécanique, 2 529 t de pâte mi-chimique, 149 t de papier couché, 653 t de carton pour boîtes pliables, 34 t de papier à usage sanitaire ou domestique, 42 t de papier de récupération, et 1 507 t de papier d'impression, entre autres.

Au Maroc, l'industrie de la pâte et du papier est totalement privée. L'usine de Sobe dans le royaume de Sidi Yahia du Gharb, sur la côte atlantique, a augmenté sa production de pâte de près de 125 000

t/an alors qu'elle produisait moins de 100 000 t/an auparavant. Cette usine, propriété de CELLUMA (Cellulose of Morocco), produit de la pâte de fibre courte d'eucalyptus pour l'exportation.

La principale fabrique de carton, la CMCP (Compagnie Marocaine des Papiers et Cartons), située à Kenitra, près de Rabat, produit du carton ondulé pour la fabrication de boîtes et d'emballages de diverses catégories.

3.1.6. RÉPUBLIQUE ARABE SYRIENNE

Introduction

La Syrie est un pays arabe situé au Moyen-Orient, qui borde la mer Méditerranée. Sa superficie totale est de 185 180 km² et sa population avoisine les 17,8 millions d'habitants.

Il s'agit d'un pays en voie de développement, aux revenus moyens et dont l'économie diversifiée repose sur l'agriculture, l'industrie et un secteur énergétique en expansion.

Malgré d'importantes réformes et des projets de développement engagés au début des années 1990, l'économie syrienne reste négativement influencée par quelques entreprises publiques de faible rendement, un niveau d'investissement faible et une productivité industrielle et agricole relativement basse. L'industrie du pétrole représente presque les trois quarts des revenus d'exportation.

Le gouvernement a reconduit ses priorités de développement économique, depuis l'expansion industrielle jusqu'aux divers secteurs agricoles, en vue de parvenir à une autosuffisance, d'augmenter les revenus d'exportation et de contenir l'émigration des zones rurales.

Tableau 3.1.9. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Syrie

Superficie	10 ³ km ²	185
Population	millions	17,76
Accroissement de la population	%	2,45
Espérance de vie	ans	70
Analphabétisme total	% âge>15	24
Analphabétisme des femmes	% âge>15	37
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	1 137
PIB actuel	10 ⁹ €*	21,9
Croissance du PIB	% annuel	3
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	59,4
PPA du PIB par habitant	100 €	35
Formation brute de capital	% du PIB	24
VA dans l'agriculture	% du PIB	23
VA dans l'industrie	% du PIB	28
VA dans les services	% du PIB	49
Exportations	% du PIB	36
Importations	% du PIB	30
Téléphones	pour 1 000 hab.	115
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	16,3

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2000-2003) (PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée)

Industrie et environnement

Le tissu industriel syrien est très diversifié : les secteurs les plus importants, contrôlés majoritairement par l'État, sont l'industrie alimentaire, le textile, la chimie, l'ingénierie et le ciment. Néanmoins, le secteur privé a commencé à percer dans l'industrie textile, alimentaire et du ciment.

La Syrie considère que la qualité est un facteur décisif de survie face à la concurrence du commerce industriel mondial. Aussi accorde-t-elle un soin particulier à la diffusion des concepts de gestion totale de la qualité (GTQ) et de production plus propre (PP). Par ailleurs, elle encourage l'obtention des certifications ISO par les industries nationales.

La plupart des industries sont des PME. Les principales zones d'activité se concentrent autour de Damas, Alep et Homs.

Les principaux polluants générés par ces industries sont les eaux résiduaires et les émissions atmosphériques. Les déchets solides ne sont pas considérés comme une priorité car les entreprises les recyclent et les réutilisent, ou les vendent pour d'autres applications.

Le traitement auquel doivent être soumis ces déchets est très onéreux pour ces entreprises qui n'ont pas les moyens de le financer sans aide économique ou sans subvention. Aussi, le traitement des éléments polluants dépend-il de la disponibilité de techniques à faible coût dans le cadre des réglementations et des exigences en vigueur.

Le gouvernement actuel a démontré son engagement à augmenter de manière significative la part des dépenses prévues en matière de protection de l'environnement et des services publics correspondants, dans les budgets des différents ministères et institutions impliqués.

Industrie de la pâte et du papier

En Syrie, ces dernières années, la consommation par habitant de papier et de carton a été de près de 5 kg/hab./an, avec une consommation annuelle d'environ 75 000 tonnes. La production de papier et de carton s'est maintenue aux alentours de 1 000 t/an ces dernières années, les papiers et cartons d'emballage constituant la majeure partie de cette production.

Dans la mesure où la Syrie produit très peu de papier et de carton, elle est contrainte d'importer les quantités nécessaires à sa consommation. Les dernières données obtenues auprès du FAO indiquent qu'en 2003 les importations syriennes ont été les suivantes : 10 857 t de pâte chimique, 10 150 t de pâte au sulfate blanchie, 707 t de pâte au sulfite blanchie, 12 t de pâte mécanique, 100 t de pâte mi-chimique, 2 944 t de papier couché, 5 953 t de papier à usage sanitaire ou domestique, 4 460 t de papier journal, 8 300 t de papier de récupération, et 20 652 t de papier d'impression, entre autres.

3.1.7. TUNISIE

Introduction

La Tunisie est un pays arabe situé au nord de l'Afrique, sur les bords de la mer Méditerranée. Sa superficie totale est de 163 610 km² et sa population avoisine les 9,5 millions d'habitants.

Historiquement, la croissance économique de la Tunisie essentiellement reposait sur le pétrole, les phosphates, l'agriculture et le tourisme. Les politiques économiques engagées par le gouvernement ont remporté peu de succès au cours des premières années d'indépendance. En 1986, l'État a lancé un programme d'ajustement structurel visant à libéraliser les prix, réduire les tarifs et réorienter la Tunisie vers une économie de marché.

Depuis l'application du programme de stabilisation, l'augmentation de la production intérieure, mesurée en fonction de l'augmentation réelle du PIB, est passée de 2,8 % en 1982-1986 à 4,8 %

entre 1991 et 2001. Parallèlement, l'inflation et le déficit du compte courant ont diminué de manière significative.

En 1990, la Tunisie a adhéré à l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT). En outre, jusqu'en 2002, le gouvernement a procédé à la privatisation de 163 entreprises publique.

Le taux de chômage est toujours très élevé pour l'économie du pays (15 % de la population active) et se voit aggravé par l'accroissement rapide de la main d'œuvre.

Tableau 3.1.10. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Tunisie

Superficie	10 ³ km ²	164
Population	millions	9,8
Accroissement de la population	%	1,2
Espérance de vie	ans	72,7
Analphabétisme total	% âge>15	26,8
Analphabétisme des femmes	% âge>15	36,9
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	825
PIB actuel	10 ⁹ €*	18,1
Croissance du PIB	% annuel	1,9
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	55,2
PPA du PIB par habitant	100 €	56,5
Formation brute de capital	% du PIB	26,1
VA dans l'agriculture	% du PIB	10,4
VA dans l'industrie	% du PIB	29,1
VA dans les services	% du PIB	60,5
Exportations	% du PIB	45,5
Importations	% du PIB	50,4
Lignes téléphoniques en fonctionnement	pour 1 000 hab.	149
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	23,7

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée)

Industrie et environnement

Le secteur de la production est devenu l'un des plus dynamiques de l'économie tunisienne, affichant clairement une tendance à la privatisation de l'industrie, conduite dans le cadre des programmes de restructuration économique. Bien que l'économie soit dominée par le secteur des services, l'industrie contribue encore largement à la croissance du PIB (près de 20 % en 1999), à la création d'emplois et au maintien d'une monnaie forte, résultats de l'exportation.

Selon les données dont nous disposons, en 2001, le secteur industriel tunisien comptait 5 262 entreprises (voir le tableau ci-après) de 10 employés ou plus, dont 2 292 étaient entièrement dédiées à l'exportation. Le tableau suivant offre une description de la répartition des secteurs : Plus de 85 % des entreprises industrielles tunisiennes sont des PME.

Tableau 3.1.11. Nombre d'entreprises tunisiennes par secteur

SECTEUR	NOMBRE D'INDUSTRIES	%
Élaboration d'aliments	800	15
Matériaux de construction, céramique et verre	409	8
Mécanique et métallurgie	464	9
Électrique et électronique	262	5
Chimie (hors industries du plastique)	213	4
Textile et confection	2 135	41
Bois, liège et mobilier	207	4
Tannerie et chaussures	308	6
Divers	464	9
Total	5 262	100

Source : Agence pour la promotion de l'industrie

Les principaux problèmes de pollution sont liés à la consommation excessive d'eau et d'énergie et à la production substantielle de déchets solides.

Industrie de la pâte et du papier

En Tunisie, ces dernières années, la consommation par habitant de papier et de carton a été de près de 20 kg, avec une consommation totale annuelle d'environ 200 000 tonnes.

Tableau 3.1.12. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Tunisie. Année 2002

Capacité de production de papier et de carton	t	140 000
Capacité de production de pâte	t	30 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	20
Usines de papier et de carton	-	10
Usines de pâte	-	1
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	2 000

Source : Annual Review- Africa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

L'industrie tunisienne de la pâte et du papier produit des papiers d'imprimerie, du carton ondulé, des conteneurs de carton et de la pâte de fibres courtes (principalement pour l'exportation). Avec un réseau d'usines de moyenne envergure situées surtout au centre du pays et le long de la côte, la Tunisie comptabilise près de 50 % de la production locale requise, pourcentage supérieur à celui de ses voisins, l'Algérie et le Maroc. La production de papier et de carton s'est maintenue ces dernières années autour de 94 000 t/an.

Selon les dernières données obtenues auprès du FAO, ces dernières années, la production de papier à usage sanitaire ou domestique s'est maintenue à 4 000 t/an, la production de papier de récupération a été de 11 000 t/an, la production de papier d'impression est restée de l'ordre de 38 000 t/an, et la production de papier et de carton d'emballage à 52 000 t/an.

Les informations relatives aux produits papetiers pour l'année 2003 sont les suivantes : 33 900 t de pâte chimique, 33 900 t de pâte au sulfate blanchie, 17 000 t de pâte au sulfate non-blanchie, 31 200 t de matériaux pour boîte, 6 400 t de papier couché, 17 500 t de carton pour boîtes pliables, 700 t de

papier à usage sanitaire ou domestique, 17 000 t de papier journal, 4 500 t de papier de récupération et 9 200 t de papier d'impression, entre autres.

3.2. PAYS DU NORD DE LA MÉDITERRANÉE

Les cinq pays du nord de la Méditerranée qui composent ce groupe (à savoir, la Grèce, la France, l'Italie, Monaco et l'Espagne) sont considérés comme des états européens aux revenus élevés et tous, excepté Monaco, sont membres de l'Union européenne (UE). Ces pays sont tous tenus de respecter la réglementation de l'UE dont ils doivent, à court terme, adapter les directives à leur droit national. De même, ces pays sont obligés d'adopter les mesures nécessaires pour satisfaire aux exigences de cette nouvelle réglementation européenne.

Industrie et environnement

L'état de l'environnement dans les pays de l'UE n'a cessé de se détériorer au cours des dernières décennies. Plus de 2 milliards de tonnes de déchets sont produits chaque année et ce chiffre augmente encore. Aussi, la protection de l'environnement représente-t-elle l'un des principaux défis auxquels est confrontée l'Europe.

Comme dans les autres pays membres de l'UE, le secteur industriel de la sous-région nord de la Méditerranée est très hétérogène. Il présente de grandes différences d'une région à l'autre et se concentre souvent près des zones urbaines très peuplées. Pendant de nombreuses années, l'industrie s'est vue contrainte d'investir dans des équipements de traitement pour la protection de l'environnement et d'adopter des technologies écologiques. La production automobile représente l'une des principales activités industrielles, ce qui fait une différence quantitative et qualitative par rapport aux autres régions de la Méditerranée et revêt une importance particulière dans l'analyse des conséquences de la chaîne d'approvisionnement, qui facilite la diffusion de la PP et des systèmes de gestion environnementale. L'état de l'environnement dans les pays de l'UE n'a cessé de se détériorer au cours des dernières décennies. Plus de 2 milliards de tonnes de déchets sont produits chaque année et ce chiffre augmente encore. Aussi, la protection de l'environnement représente-t-elle l'un des principaux défis auxquels est confrontée l'Europe.

Comme dans les autres pays membres de l'UE, le secteur industriel de la sous-région nord de la Méditerranée est très hétérogène. Il présente de grandes différences d'une région à l'autre et se concentre souvent près des zones urbaines très peuplées. Pendant de nombreuses années, l'industrie s'est vue contrainte d'investir dans des équipements de traitement pour la protection de l'environnement et d'adopter des technologies écologiques. La production automobile représente l'une des principales activités industrielles, ce qui fait une différence quantitative et qualitative par rapport aux autres régions de la Méditerranée et revêt une importance particulière dans l'analyse des conséquences de la chaîne d'approvisionnement, qui facilite la diffusion de la PP et des systèmes de gestion environnementale.

Cadre politico-légal

À l'instar des États membres de l'UE, les pays de la sous-région nord de la Méditerranée, à l'exception de Monaco, sont soumis à la réglementation européenne.

Les mesures environnementales sont généralement adoptées par le biais de directives ou de règlements proposés par la Commission européenne et doivent être acceptés par le Conseil européen. Une fois ces mesures adoptées, la Commission est chargée de contrôler leur application. La Direction générale de l'environnement est l'organisme de la Commission chargé des questions relatives à l'environnement, la sécurité nucléaire et la protection civile.

Au cours des années 1970 et 1980, la législation environnementale de l'UE était essentiellement centrée sur l'établissement de limites pour les émissions de certains polluants. Jusque dans les années 1990, des initiatives de plus grande envergure ont été lancées comme la régulation de la

consommation des ressources naturelles ou la prévention de la pollution via des normes « horizontales ».

Nombre de ces normes ont été adoptées dans le cadre du Cinquième programme d'action en matière d'environnement de la Communauté européenne, qui définissait la stratégie environnementale de l'Union pour la période 1992-2000. Ce programme incluait l'établissement intégré de la lutte contre la pollution et des actions visant à réduire les déchets qui dans la directive IPPC, qui coïncide dans une large mesure avec les principes de PP.

Avec la directive IPPC, l'UE a introduit le concept de meilleures techniques disponibles (MTD) et a commencé à publier des documents de référence à ce sujet, les BREF, qui décrivent les solutions de PP adoptées par des secteurs spécifiques et appliquées à des technologies concrètes.

L'objectif de cette directive est de prévenir ou du moins réduire au minimum la pollution atmosphérique, des sols et des eaux, liée aux émissions des installations industrielles des pays membres, en vue d'atteindre un niveau de protection de l'environnement supérieur. La directive IPPC définit les obligations minimales auxquelles sont soumises les installations industrielles concernées, qu'elles soient existantes ou en création. Ces obligations minimales incluent une liste de mesures de prévention de la pollution (atmosphérique, des sols et des eaux) liée aux effluents industriels et autres déchets, et servent de base à la rédaction des permis d'exploitation des installations industrielles.

3.2.1. ESPAGNE

Introduction

L'Espagne est un pays européen industrialisé situé dans la partie occidentale du golfe méditerranéen. Sa superficie totale est de 504 750 km² et sa population avoisine les 41 millions d'habitants.

Tableau 3.2.1. Indicateurs de la situation socioéconomique de l'Espagne

Superficie	10 ³ km ²	505
Population	millions	41,2
Accroissement de la population	%	0,16
Espérance de vie	ans	78
Analphabétisme total	% âge>15	2
Analphabétisme des femmes	% âge>15	3
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	3 084
PIB actuel	10 ⁹ €*	556,7
Croissance du PIB	% annuel	2
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	709,2
PPA du PIB par habitant	100 €	177,3
Formation brute de capital	% du PIB	25
VA dans l'agriculture	% du PIB	4
VA dans l'industrie	% du PIB	30
VA dans les services	% du PIB	66
Exportations	% du PIB	30
Importations	% du PIB	31
Téléphones	pour 1 000 hab.	1 086
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	168

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée)

L'emploi y a connu une augmentation rapide, ce qui a permis une croissance économique supérieure à la moyenne de la zone euro.

Au cours des dernières années, le comportement économique de l'Espagne a fait preuve d'une remarquable vigueur grâce aux réformes structurelles engagées depuis le milieu des années 1990 et à un cadre politique macroéconomique stable.

Industrie et environnement

Le rapide développement qu'a connu l'Espagne au cours du dernier quart de siècle a fait du pays la huitième économie mondiale parmi les pays de l'OCDE. Cette croissance s'est fréquemment accompagnée d'un renforcement de la pression exercée sur l'environnement, qu'il s'agisse de l'utilisation des ressources naturelles (eau, sol, etc.) ou de la pollution.

Les principales industries du pays sont : l'alimentation et les boissons, la métallurgie, les produits chimiques, les chantiers navals, l'automobile, la fabrication d'équipements mécaniques, le textile et la confection ainsi que le tourisme. Parmi les principales exportations de l'Espagne, il convient de noter les équipements mécaniques, les véhicules motorisés et les produits d'alimentation et de consommation.

Les revenus industriels sont répartis comme suit :

Tableau 3.2.2. Recettes par secteurs manufacturiers (2001)

SECTEUR	RECETTES 10⁹€
Alimentation, boissons et tabac	54 259
Textile	13 400
Cuir, chaussures	4 086
Bois, liège	5 451
Papier, arts graphiques	18 331
Raffinerie, produits chimiques	40 108
Plastiques, caoutchouc	12 446
Produits minéraux non métalliques	18 463
Métallurgie	16 876
Produits métalliques	19 854
Mécanique, équipements	23 547
Produits électriques et électroniques	13 684
Automobiles	46 480
Autres	9 835
TOTAL	296 820

Parmi les principales menaces pour l'environnement, certaines sont causées par les transports, la production d'énergie électrique et l'agriculture.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.2.3. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Espagne. Année 2002

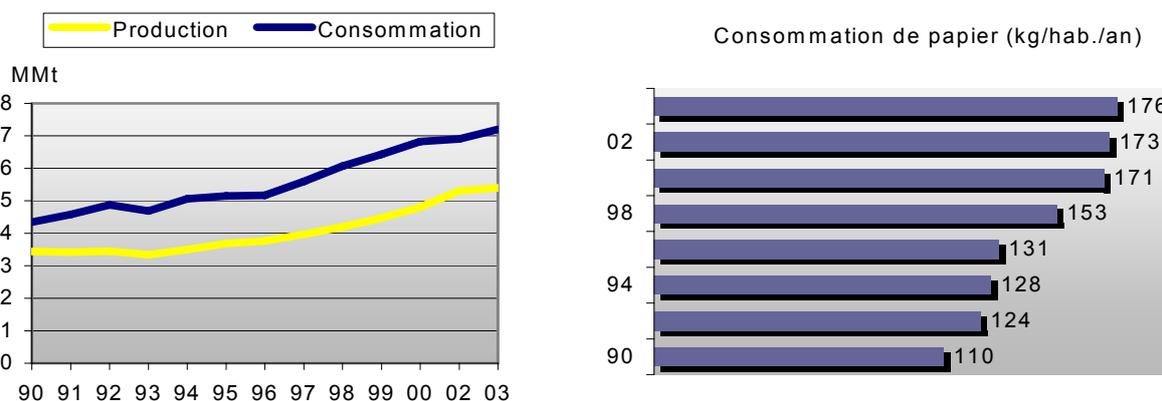
Superficie forestière	km ²	262 732
Capacité de production de papier et de carton	t	5 545 000
Capacité de production de pâte	t	1 968 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	158
Ratio de production de papier et de carton	%	93
Ratio de production de pâte	%	87
Usines de papier et de carton	-	132
Usines de pâte	-	15
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	17 750

Source : Annual Review- Europe. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

Ces dix dernières années, l'industrie papetière espagnole est entrée dans une dynamique de grands projets industriels et d'investissements importants en matière d'augmentation de la capacité, qui a permis à la production de papier et de carton de passer de 3,4 millions de tonnes en 1990 à 5,4 millions de tonnes en 2003, soit une hausse de 58 %.

Ces cinq dernières années, la croissance cumulée en Espagne a multiplié par deux la croissance moyenne de la production de papier en Europe. En 2001, tous les types de papier ont connu une expansion généralisée de 7,4 %. Depuis, cette augmentation a ralenti avec, en 2003, une évolution de seulement 1,4 % par rapport à 2002.

La consommation de papier s'est également caractérisée par une augmentation importante : de l'ordre de 7,2 millions de tonnes en 2003, ce qui équivaut à une hausse de 3,8 % par rapport à 2002 et de 60 % comparativement aux dix dernières années. La consommation par habitant est donc passée de 110 kg en 1990 à 176 kg en 2003. La consommation par habitant est toujours inférieure à celle des États-Unis (347 kg), à celui de l'Union européenne (196 kg), ou à celle de nos voisins, la France (180 kg) et l'Italie (179 kg), ce qui dénote également un potentiel de croissance important. Ces chiffres justifient donc les projets de création de nouvelles usines dans les années à venir, ce qui permettra de couvrir les besoins grandissants du marché national.



Graphique 3.2.1.- Données relatives à la production et à la consommation de papier en Espagne

L'Espagne est aujourd'hui l'un des grands producteurs de l'UE, avec 132 usines de papier et de carton, parmi lesquelles figurent quelques-unes des installations industrielles les plus modernes d'Europe.

Le secteur compte plus de 15 fabriques de pâte de cellulose, dont la production atteignait 1,9 millions de tonnes en 2003, soit une augmentation de 10,2 % par rapport à 2002. La consommation de pâte à papier en 2002 était de 1,7 millions de tonnes, ce qui représente une hausse de 1,4 % par rapport à l'année précédente.

Ces données situent l'Espagne comme troisième producteur de papier et de carton des pays du PAM, derrière la France et l'Italie, septième producteur de papier et de carton de l'Union européenne avec une production totale de 6 %, et cinquième producteur de pâtes de cellulose avec 5 % de la production totale européenne.

Les usines de pâte et de papier sont implantées de façon relativement homogène à travers le pays, même si le Pays basque, la Catalogne et l'Aragon affichent la plus forte production de produits papetiers.

Les exportations de papier et de carton évoluent parallèlement à la production et ont augmenté en 2003 de 1,2 %, atteignant un total 1,8 millions de tonnes, dont 49 % de papier graphique (presse, imprimerie et écriture). De même, il convient de souligner l'exportation d'environ 400 000 tonnes de papier pour carton ondulé (ce qui représente une augmentation de 3,2 % par rapport à l'année précédente), et les exportations de cartonnage qui ont augmenté de 16,1 % (111 200 tonnes).

Les importations en la matière ont augmenté de 6,4 % par rapport à 2002, atteignant 3,6 millions de tonnes, dont presque 2 millions de papier graphique et 0,9 millions de papier pour carton ondulé.

Les importations de pâte ont été de l'ordre de 0,8 millions de tonnes (essentiellement des pâtes de fibres longues), alors que dans le même temps le pays exportait près d'1 million de tonnes de pâte de fibres courtes, soit une augmentation de 17,6 %, parallèlement à une hausse importante de la production de pâte.

L'Espagne se démarque actuellement par un taux d'utilisation de papier de récupération élevé, le plus élevé d'Europe, soit 81,7 % (pourcentage de papier de récupération utilisé comme matière première par rapport au total des matières premières cellulosiques). La quantité de papier de récupération utilisée comme matière première atteint 4,4 millions de tonnes, dont 900 000 tonnes sont importées.

L'industrie papetière a réussi à réduire de manière considérable sa consommation d'énergie. En 1991, 9,9 GJ/t étaient nécessaires en moyenne pour produire une tonne de produit (consommation unitaire thermique + électrique nette), un chiffre qui aujourd'hui a été ramené à 8,6 GJ/t.

L'industrie de la cellulose et du papier compte une puissance installée totale de cogénération d'énergie de 719 MW, qui a été quasiment multipliée par trois ces dix dernières années.

Quatre-vingt cinq pour cent du combustible utilisé par l'industrie papetière espagnole sont constitués par le gaz naturel (41 %) ou l'énergie renouvelable comme la biomasse résultant du processus de fabrication (44 %). La biomasse résultant du processus de production (écorce, lignine...) employée annuellement comme combustible représente 832 000 tonnes équivalent pétrole.

3.2.2. FRANCE

Introduction

La France est un pays européen industrialisé dont la partie méridionale borde la mer Méditerranée. Sa superficie totale est de 550 000 km² et sa population avoisine les 59,4 millions d'habitants.

Tableau 3.2.4. Indicateurs de la situation socioéconomique de la France

Superficie	10 ³ km ²	551
Population	millions	59,4
Accroissement de la population	%	0,4
Espérance de vie	ans	79
Analphabetisme total	% âge>15	n.d.
Analphabetisme des femmes	% âge>15	n.d.
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	4 366
PIB actuel	10 ⁹ €*	1 208
Croissance du PIB	% annuel	1
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	1 319
PPA du PIB par habitant	10 ³ €	24,5
Formation brute de capital	% du PIB	20
VA dans l'agriculture	% du PIB	3
VA dans l'industrie	% du PIB	26
VA dans les services	% du PIB	72
Exportations	% du PIB	28
Importations	% du PIB	26
Téléphones	pour 1 000 hab.	1 178
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	337

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée)

La France est la quatrième puissance économique industrialisée occidentale. Elle dispose d'importantes ressources agricoles, d'une base industrielle étendue et solide ainsi que d'une main d'œuvre hautement qualifiée. Le pays compte, en outre, un secteur des services dynamique dont l'activité économique ne cesse de croître et étant à l'origine de la quasi-totalité des emplois créés ces dernières années.

La France a développé avec succès les secteurs des télécommunications, de l'aérospatial et de l'armement. En ce qui concerne la production d'énergie, le pays s'est essentiellement concentré sur le développement de l'énergie nucléaire, qui représente aujourd'hui près de 80 % de la production électrique française. Les déchets nucléaires sont stockés dans des complexes de retraitement sur le territoire français.

Industrie et environnement

La France est le quatrième producteur industriel mondial. L'industrie manufacturière est extrêmement diversifiée et constitue la source principale de revenus liés aux exportations.

Les principaux secteurs industriels sont les suivants :

- *Industrie de l'alimentation* : actuellement, l'industrie alimentaire est le secteur qui génère le plus grand nombre d'emplois dans le pays. La France est le premier producteur mondial de betterave à sucre et le second producteur de vin et de fromage. Parmi les principaux produits alimentaires, il convient également de mentionner la viande, le pain et les pâtisseries.

- *Fabrication d'automobiles, d'avions, de bateaux et de trains* : la France est le quatrième fabricant mondial d'automobiles et compte, en outre, une importante industrie de construction de bateaux, avions et trains.
- *Industrie électrique et électronique* : la France produit des équipements pour les télécommunications, ordinateurs, téléviseurs, radios et autres.
- *Industrie métallurgique* : la production de fer et d'acier, tout comme l'industrie de l'aluminium, constitue une importante source d'emploi en France.
- *Industrie chimique et pharmaceutique* : l'industrie chimique française produit une large gamme de produits, allant des substances chimiques industrielles aux plastiques, en passant par les engrais, les solvants, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques.
- *Industrie textile* : le pays produit des articles dérivés du coton, de la soie et du bois.

Industrie de la pâte et du papier (*)

Tableau 3.2.5. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en France. Année 2002

Superficie forestière	km ²	146 800
Capacité de production de papier et de carton	t	11 700 000
Capacité de production de pâte	t	3 019 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	182
Ratio de production de papier et de carton	%	82
Ratio de production de pâte	%	98
Usines de papier et de carton	-	129
Usines de pâte	-	18
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	23 785

Source : Annual Review- Europe. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

Ces dix dernières années, la consommation de papier et de carton a augmenté d'environ 2 % par an. La consommation annuelle de papier et de carton par habitant est d'environ 182 kg, avec une consommation totale de près de 11 millions de tonnes en 2003 (environ 3,2 % de la consommation mondiale). La consommation française de papier et de carton est répartie de la façon suivante : 48,9 % de papier à usage graphique, 43,9 % de papier d'emballage et 6,7 % de papier à usage sanitaire ou domestique. La pâte chimique représente 82 % de la pâte à papier consommée en France.

La production annuelle de papier et de carton sur les dix dernières années a été de 9,9 millions de tonnes. Si l'on compare ce chiffre à la production annuelle mondiale de papier et de carton, soit 339 millions de tonnes en 2003, l'industrie papetière française apparaît comme le neuvième producteur mondial et le quatrième européen. Au cours de ces dernières années, la production annuelle de pâte a été de 2,5 millions de tonnes, ce qui représente 62,9 % de la consommation totale de pâte de l'industrie papetière française. Soixante-six pour cent de la pâte produite en France est transformée en papier ou carton dans des fabriques intégrées, tandis que les 34 % restants sont vendus à des entreprises de production de papier et de carton non-intégrées. En ce qui concerne les importations et les exportations, nous pouvons dire que 53,6 % de la production totale de papier et de carton est exporté, tandis que 57,5 % du papier et du carton de consommation est importé.

Vis-à-vis des matières premières employées par l'industrie de la pâte et du papier, il convient de noter que la France a consommé, en 2003, 8,5 millions de tonnes de bois et 5,8 millions de tonnes de papier et de carton de récupération. En France, la production de papier et de pâte à partir de papier de récupération est en pleine augmentation. Le bois utilisé par l'industrie de la pâte et du papier est constitué à 75 % de bois propre et à 25 % de sciure résiduelle. Cinquante-neuf pour cent proviennent de bois résineux. Quatre-vingt quatorze pour cent du bois utilisé est d'origine française.

(*) Les données figurant dans cette section ont été obtenues auprès de la COPACEL (Confédération française de l'Industrie des papiers, cartons et celluloses).

3.2.3. GRÈCE

Introduction

La Grèce est un pays européen industrialisé situé au sud de l'Europe et bordé par la Méditerranée. Sa superficie totale est de 131 940 km² et sa population avoisine les 10,6 millions d'habitants.

Tableau 3.2.6. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Grèce

Superficie	milliers de km ²	132,0
Population	millions	10,63
Accroissement de la population	%	0
Espérance de vie	ans	78
Analphabétisme total	% âge>15	3
Analphabétisme des femmes	% âge>15	4
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	2 635
PIB actuel	10 ⁹ €*	114
Croissance du PIB	% annuel	4
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	172,1
PPA du PIB par habitant	100 €	163
Formation brute de capital	% du PIB	23
VA dans l'agriculture	% du PIB	8,1
VA dans l'industrie	% du PIB	22,3
VA dans les services	% del PIB	69,3
Exportations	% du PIB	25
Importations	% du PIB	33
Téléphones	pour 1 000 hab.	1 281
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	81

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée)

Au cours de ces dernières années, l'économie grecque a connu une croissance soutenue, supérieure à la moyenne prévue pour l'UE. Le secteur des services a connu la croissance la plus importante et la plus rapide. Le tourisme représente l'une des principales sources de revenus en devises du pays ; l'industrie a quant à elle tardé à se développer et souffre de l'insuffisance des infrastructures. L'industrie alimentaire, en revanche, s'est étendue en réponse aux besoins des nouveaux marchés des pays voisins. La production d'équipements de haute technologie, en particulier dans le domaine des télécommunications, constitue l'un des secteurs les plus dynamiques. L'agriculture emploie encore 15 % de la main d'œuvre.

Industrie et environnement

Les activités économiques grecques ayant le plus d'impact sur l'environnement sont détaillées ci-après :

Industrie chimique

Ce secteur a su faire face à la nécessité de conférer aux entreprises qui en font partie un profil environnemental particulier. En ce sens, l'industrie chimique grecque est bien connue pour avoir atteint un niveau suffisant d'adaptation aux développements technologiques internationaux en matière de prévention et de contrôle de la pollution, en donnant la priorité à l'intervention à la source.

Industrie papetière / textile / du cuir

La plupart des usines de papier grecques respectent les recommandations de la directive IPPC (directive relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution), utilisent des techniques de production progressives et adoptent la majorité des meilleures techniques disponibles (MTD) peu après leur apparition. Dans certains cas, néanmoins, la mauvaise manipulation des équipements entame l'efficacité de la technologie.

Dans l'industrie du cuir, une seule usine (la plus importante en taille comme en production) respecte la directive IPPC et a mis en œuvre certaines MTD. Dans les autres entreprises de ce secteur, les MTD et autres mesures visant à réduire la pollution sont inexistantes.

L'industrie textile est également très importante en Grèce. Elle génère un grand nombre d'emplois et contribue significativement aux revenus nationaux, dans la mesure où il s'agit d'un secteur exportateur qui recourt essentiellement à de la matière première produite localement (le coton). Le secteur textile inclut 220 entreprises d'envergures différentes, dont 75 % sont de taille familiale et comptent moins de 10 employés. Malgré tout, la tendance est aujourd'hui à la création d'entreprises plus grandes et les petites affaires disparaissent progressivement.

La plupart des problèmes de pollution des eaux sont causés par les industries de finition textile. Les grandes entreprises qui continuent d'investir dans les MTD montrent une amélioration constante, alors que celles qui restent ancrées sur leurs vieilles pratiques ne cessent de périlcliter. Le traitement des effluents liquides et l'élimination des boues rouges sont une priorité en matière de contrôle de la pollution. Les industries de finition textile sont surtout localisées dans les régions d'Athènes, Béotie et Thessalonique.

Industrie du ciment, du verre et de la céramique

Dans les industries productrices de ciment, le niveau d'implantation des technologies incluses dans les MTD est très élevé ; en revanche, le niveau actuel de protection de l'environnement dans le secteur de la production de chaux est loin d'être satisfaisant. La rigueur des niveaux d'émission proposés dans le document BREF pose problème. Les entreprises grecques qui se consacrent à la production d'amiante et de ses dérivés ont visiblement implanté la plupart des MTD, notamment en ce qui concerne la santé et l'hygiène des employés. Les industries du verre, toutefois, n'ont adopté que quelques mesures de base contre la pollution.

Industrie de transformation des métaux

Dans ce secteur, les petites et moyennes entreprises ont, pour des raisons économiques, des difficultés à mettre en œuvre les technologies émergentes, contrairement aux grandes industries qui, elles, ont atteint un niveau acceptable d'adaptation aux développements technologiques internationaux en matière de prévention et de contrôle de la pollution, en donnant la priorité à l'intervention à la source.

Secteur de l'énergie

Ce secteur est constitué de grands centres de combustion de lignite et de pétrole. Outre les quatre raffineries existantes, les installations incluent de grandes unités de combustion, de traitement du pétrole brut et de gaz naturel et de production d'électricité à partir du lignite ou du pétrole.

Industrie alimentaire

L'industrie alimentaire est l'un des secteurs les plus solides du pays (il représente près d'1/3 des unités industrielles). Il est dominé par un grand nombre d'entreprises dédiées à l'aviculture et à l'élevage porcin, à la transformation de produits agricoles, à la production d'huile, au traitement et au conditionnement de produits de consommation, de produits laitiers, de boissons, etc. Les problèmes de pollution sont essentiellement provoqués par les petites installations ou les entreprises saisonnières.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.2.7. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Grèce. Année 2002

Superficie forestière	km ²	24 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	94,75
Usines de papier et de carton	-	22
Usines de pâte	-	1
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	5 345

Source : Annual Review- Europe. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

L'industrie papetière grecque est importante pour l'économie du pays et significative parmi les pays de la région méditerranéenne.

Ces dernières années (1992-2002), la consommation annuelle de papier et de carton a été de 1 008 441 t, soit une consommation par habitant de 94,75 kg/an. Parmi les pays du PAM, la Grèce est le septième consommateur de papier et de carton en tonnes et affiche la cinquième consommation par habitant la plus forte.

La production de papier et de carton de ces dernières années (1992-2002) a atteint sa valeur maximale entre 1993 et 1996 (750 000 t/an), et a diminué par la suite (495 000 t produites en 2002).

Récemment, la production de papier de récupération a également diminué, passant de 175 000 t en 1999 à seulement 51 940 t en 2002.

Les dernières données obtenues auprès de l'ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) détaillent comme suit la production, l'importation et l'exportation des produits papetiers (classification par produit) :

- En Grèce, la pâte au sulfate non-blanchie, la pâte mécanique et la pâte élaborée à base d'autres fibres sont produites en grandes quantités.
- Ces dernières années (2000-2003), les productions les plus importantes de produits dérivés du papier et du carton ont été le papier à usage domestique ou sanitaire (77 000 t/an), le papier et le carton d'emballage (94 000 t/an), le papier de récupération (52 000 t/an) et les matériaux pour boîtes (48 000 t/an).
- La Grèce importe des produits manufacturés dérivés du papier et du carton. Les produits les plus importés sont le papier d'impression (317 000 t/an), le papier couché (197 000 t/an) ainsi que le papier et le carton d'emballage (195 000 t/an). Les exportations dans ce secteur sont réduites, les produits de pure composition fibreuse sont les plus exportés (111 000 t/an).

3.2.4. ITALIE

Introduction

L'Italie est un pays européen industrialisé situé dans la région méditerranéenne et circonscrit par la mer Méditerranée. Sa superficie totale est de 301 300 km² et sa population avoisine les 58 millions d'habitants.

Tableau 3.2.8. Indicateurs de la situation socioéconomique de l'Italie

Superficie	10 ³ km ²	301,3
Population (juillet 2003)	millions	57,9
Accroissement de la population (juillet 2003)	%	0,11
Espérance de vie	ans	79,4
Analphabétisme total	% âge>15	1,4
Analphabétisme des femmes	% âge>15	1,8
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	2 974
PIB actuel	10 ⁹ €*	1,23
Croissance du PIB (estimation 2002)	% annuel	0,4
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	1,2
PPA du PIB par habitant	10 ³ €	21,4
Formation brute de capital	% du PIB	19,8
VA dans l'agriculture	% du PIB	2,8
VA dans l'industrie	% du PIB	28,9
VA dans les services	% du PIB	68,2
Exportations	% du PIB	28,3
Importations	% du PIB	26,7
Téléphones	pour 1 000 hab.	1 311
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	195

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée)

L'Italie est passée d'une économie essentiellement agricole au rang de cinquième puissance mondiale. Il s'agit de pays aux revenus relativement faibles. Une grande partie de son territoire n'est pas adaptée à la culture, aussi l'Italie est-elle devenue un grand importateur de produits alimentaires.

La majorité des matières premières nécessaires à la fabrication et plus de 80 % des sources d'énergie du pays sont importées. La puissance économique de l'Italie repose sur la transformation et la fabrication de biens, principalement dans de moyennes ou petites entreprises familiales.

Industrie et environnement

Parmi les questions environnementales prioritaires, figurent la pollution atmosphérique dans les villes, la gestion des sols et de l'eau, la gestion des déchets, la conservation de l'environnement et du paysage, le réchauffement climatique, la gestion des transports ainsi que la protection des zones côtières et du milieu marin.

Les principaux secteurs industriels produisant des déchets toxiques et dangereux sont les suivants : l'industrie chimique organique et inorganique, le traitement de surfaces, l'industrie électronique, l'exploitation minière et le transport, le recyclage, l'industrie textile, l'industrie de la pâte et du papier, la production d'énergie, l'industrie agroalimentaire et l'industrie du cuir.

L'industrie applique, dans des procédés et secteurs donnés, des mesures visant à minimiser les conséquences environnementales.

Dans les années 1990, le secteur industriel italien a connu des progrès significatifs en termes d'amélioration de la qualité de l'air. Les émissions de SO_x, NO_x, CO, COV (issus de solvants), dioxines

et furanes ont diminué ; de fait, seule l'industrie italienne a été la seule à réduire ses émissions de CO₂. L'Italie a réalisé des progrès considérables en vue de l'établissement d'infrastructures permettant de gérer la pollution atmosphérique industrielle.

Industrie de la pâte et du papier (*)

Tableau 3.2.9. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Italie. Année 2002

Superficie forestière	km ²	68 475
Capacité de production de papier et de carton	t	10 200 000
Capacité de production de pâte	t	750 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	200
Ratio de production de papier et de carton	%	88
Ratio de production de pâte	%	80
Usines de papier et de carton	-	201
Usines de pâte	-	12
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	24 800

Source : Annual Review- Europe. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

Ces dernières années, la consommation par habitant de papier et de carton avoisine les 200 kg, avec une consommation totale annuelle d'environ 11 millions de tonnes. En 2003, la production de papier et de carton a été de 9,3 millions de tonnes, dont l'essentiel est constitué par le papier graphique (2 744 783 t/an), le papier et le carton d'emballage (2 495 572 t/an), ainsi que le papier à usage sanitaire (543 441 t/an). La production de pâte à bois a été, pour cette même année, de l'ordre de 3,6 millions de tonnes.

Au cours des sept dernières années, l'utilisation de papier de récupération comme matière première a augmenté, passant de 3,7 millions de tonnes en 1998 à 5,1 millions de tonnes en 2003.

En Italie, la consommation totale d'eau a diminué (de 313 000 000 m³ en 2001 à 312 000 000 m³ en 2002), tout comme la consommation d'eau par unité de production de pâte et de papier (de 35 m³/t en 2001 à 34 m³/t en 2002). De même, la quantité d'énergie électrique consommée par ce secteur a baissé (7 600 GWh en 2001 contre 7 200 GWh en 2002). Il convient aussi de noter l'augmentation de l'utilisation du gaz naturel en tant que combustible, qui est passée de 81 500 tJ en 2001 à 81 900 tJ en 2002, ce qui témoigne d'un certain intérêt à améliorer l'environnement à travers la prévention de la pollution.

(*) Les données obtenues proviennent de l'ASSOCARTA (Associazione dell'industria cartaria rappresentante le imprese produttrici di carta, cartoni e paste per carta in Italia).

3.2.5. MONACO

Introduction

Monaco est un pays européen situé sur les bords de la mer Méditerranée. Sa superficie totale est de 1,95 km² et sa population avoisine les 32 149 d'habitants.

Tableau 3.2.10. Indicateurs de la situation socioéconomique de Monaco

Superficie	km ²	1,95
Population (estimation 2003)	milliers	32,15
Accroissement de la population (estimation 2003)	%	0,44
Espérance de vie	ans	79,27
Taux de chômage (1998)	%	3,1
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	n.d.
PIB actuel (estimation 1999)	10 ⁹ €*	745
Croissance du PIB	% annuel	n.d.
PPA du PIB estimée	10 ⁶ €	770
PPA du PIB par habitant (estimation 1999)	10 ³ €	23,6
Téléphones (1995)	par hab.	±1

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat ; VA = valeur ajoutée)

Monaco est un petit pays dont l'économie repose principalement sur les secteurs financier, commercial et touristique. Le tourisme représente environ 25 % des recettes annuelles ; la principauté de Monaco est un grand centre touristique depuis l'inauguration de son célèbre casino en 1856. Monaco se démarque également par ses activités dans le domaine des sciences de la mer.

Industrie et environnement

En moins d'un siècle, le secteur industriel monégasque a connu un développement considérable. Depuis 1906, lorsque l'État a financé la construction du premier polygone à Fontvieille, certaines industries se sont installées, notamment la brasserie de Monaco ou des entreprises du secteur de la minoterie et de la production de chocolat. Au cours des vingt dernières années, plus de 200 000 m² de surface industrielle ont été construits. Le territoire disponible dans la principauté est si limité que les industries se sont installées dans des édifices allant jusqu'à treize étages.

Actuellement, Monaco se caractérise par une industrie diversifiée. Le pays comprend un grand nombre d'entreprises solidement ancrées dans divers secteurs : 23 appartiennent aux industries chimique, pharmaceutique, parapharmaceutique et cosmétique ; 13 à la transformation des matières plastiques ; 21 aux arts graphiques, à l'édition et au cartonnage ; 22 à l'industrie électrique et électronique ainsi qu'à l'énergie mécanique et de précision ; 8 au secteur du textile et de la confection. Pour le reste, notamment les entreprises de construction, on en dénombre environ 200.

Le secteur des produits chimiques, pharmaceutiques et cosmétiques est celui qui exerce le plus de poids ; toutefois les entreprises de transformation de matières plastiques et de fabrication d'équipements électriques et électroniques ont également une importance non négligeable. La performance des autres secteurs, notamment l'ingénierie mécanique, l'emballage, les arts graphiques et la confection est également significative, quoique plus modérée. Le problème environnemental majeur associé à ces secteurs est la pollution des eaux.

Industrie de la pâte et du papier

L'industrie de la pâte et du papier n'est pas significative à Monaco.

3.3. PAYS DE L'EST DE LA MÉDITERRANÉE

Ce groupe inclut des pays qui tendent tous à l'implantation d'une législation environnementale similaire à celle de l'Union européenne. Certains d'entre eux, notamment Chypre, Malte et la Slovaquie, qui ont intégré l'UE cette année, sont en train d'adapter leur réglementation avec celle de l'UE. La Turquie, en tant que pays candidat à l'UE à court ou moyen terme, est également en cours d'adaptation. D'autres pays, comme la Bosnie-Herzégovine, la Croatie et l'Albanie, ont aussi enclenché un processus d'adaptation de leur réglementation environnementale à celle appliquées dans l'UE. Les pays candidats à l'entrée dans l'UE sont entrés dans un processus d'adaptation, avec des programmes différents en fonction de leur date d'intégration, qui inclut l'adéquation de l'industrie interne et des conditions environnementales. Dans ce groupe, nous avons également inclus Israël, car, bien que ne fasse pas partie de l'UE, ce pays entretient de nombreux liens avec celle-ci, en raison notamment de similitudes dans les caractéristiques de leurs industries et dans leur engagement à protéger de la mer Méditerranée.

Industrie et environnement

Les pays regroupés dans cette sous-région diffèrent en ce qui concerne leur passé récent. Certains pays de l'est de la Méditerranée, à savoir l'Albanie, la Bosnie-Herzégovine, la Croatie et la Slovaquie, traversent actuellement des phases de transformation économique consécutives aux réformes engagées après la chute du communisme et la libéralisation progressive du marché. La planification centrale a quasi totalement disparu de leur politique, et tous ces pays ont lancé des programmes indépendants de libéralisation, de stabilisation macroéconomique, de réformes juridiques et institutionnelles et de privatisation. Depuis 1990, ils se sont employés à convertir leur économie au capitalisme et à ouvrir la voie à l'investissement étranger. Pour une grande majorité de ces pays, l'industrie constitue un composant important de l'économie, tandis que le secteur des services prend de plus en plus de poids pour certains d'entre eux.

Cadre politico-légal

Les pays de cette sous-région ont réalisé des progrès incontestables en ce qui concerne l'approbation de la nouvelle législation environnementale. Toutefois, au jour d'aujourd'hui, cette démarche n'a été accompagnée d'une mise en œuvre effective ni des anciennes lois et réglementations, ni de celles récemment approuvées. Concernant le fait de faire respecter cette réglementation et d'encourager l'industrie à adopter les pratiques respectueuses de l'environnement, dans de nombreux cas, les résultats obtenus peuvent être qualifiés de faibles, voire médiocres.

Pour une grande partie des pays de l'est de la Méditerranée, la législation de l'Union européenne constitue une référence incontournable. L'UE a fortement influencé plusieurs de ces pays, non seulement en termes de développement économique, mais aussi sur le plan de la gestion de l'environnement, motivant un mouvement précoce vers l'harmonisation avec les réglementations européennes comme moyen d'accélérer l'adhésion à l'UE.

Dans la plupart de ces pays, divers organismes et agences gouvernementales se partagent l'octroi des permis associés aux activités de production, ce qui entraîne souvent un grand manque de coordination. En ce sens, certains d'entre eux ont résolu la question en appliquant le système IPPC qui propose une vision commune de la concession des permis. Parmi ces pays, la Slovaquie, Chypre et Malte se situent dans la phase la plus avancée.

Dans le cadre international de la protection de l'environnement via la prévention de la pollution, tous les pays de l'est de la Méditerranée ont souscrit, signé ou ratifié la Convention de Bâle sur les déchets dangereux et la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. En ce qui concerne la diminution de la couche d'ozone, ils ont également ratifié le Protocole de Montréal et, à l'exception de l'Albanie, ses premiers amendements. Sur la question du réchauffement climatique, la majorité des pays ont signé ou ratifié le Protocole de Kyoto.

Dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée, et conformément aux protocoles centrés sur les activités basées à terre, tous les pays ont ratifié le Protocole relatif à la protection de la mer

Méditerranée contre la pollution provenant de sources et activités situées à terre. Toutefois seuls certains d'entre eux ont accepté les amendements de 1995. Seules l'Albanie et Malte ont ratifié le Protocole sur les déchets dangereux, lequel a également été signé par la Turquie.

3.3.1. ALBANIE

Introduction

L'Albanie est un pays de l'est de l'Europe situé dans la région méditerranéenne. Sa superficie totale est de 28 750 km² et sa population avoisine les 3,5 millions d'habitants.

Tableau 3.3.1. Indicateurs de la situation socioéconomique de l'Albanie

Superficie	10 ³ km ²	28,8
Population	millions	3,2
Espérance de vie	ans	74,0
Analphabétisme total	% âge>15	14,1
Analphabétisme des femmes	% âge>15	21,3
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	522
PIB actuel	10 ⁹ €*	4,0
Croissance du PIB	% annuel	5,0
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	12
PPA du PIB par habitant	€	3 854
Formation brute de capital	% du PIB	19
VA dans l'agriculture	% du PIB	32,4
VA dans l'industrie	% du PIB	22,7
VA dans les services	% du PIB	44,9
Exportations	% du PIB	19,7
Importations	% du PIB	43,8
Lignes téléphoniques en fonctionnement	pour 1 000 hab.	138
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	7,6

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée)

La conversion de l'Albanie, d'une économie centralisée en un système orienté vers le marché, a commencé début 1992, après que son PIB a chuté de plus de 50 % par rapport à son niveau maximal enregistré en 1989. Le gouvernement élu démocratiquement a alors lancé un ambitieux programme de réformes économiques et placé le pays sur le chemin de l'économie de marché. Les réformes envisagées incluaient la privatisation et la réforme des secteurs entrepreneurial et financier.

Industrie et environnement

L'Albanie affiche un niveau de revenus bas à moyen, comparativement aux autres pays de la région. La disponibilité limitée des ressources restreint les investissements dans la protection de l'environnement. Toutefois, étant donné que la contribution de la production industrielle au PIB a diminué depuis 1990, l'impact de l'activité industrielle sur l'environnement a également

considérablement réduit en conséquence de l'élimination de multiples sources dangereuses de pollution.

Hormis l'agriculture, qui emploie environ la moitié de la population active, l'activité industrielle se compose actuellement des activités suivantes : exploitation minière et enrichissement du cuivre, exploitation minière de minerai de chrome, extraction et raffinage du pétrole, matériaux de construction et production électrique. Les principaux déchets industriels sont générés par ces secteurs industriels.

La plupart des industries d'État ont fermé, posant comme principal problème environnemental les déchets accumulés dans les anciennes usines.

Industrie de la pâte et du papier

L'industrie albanaise de pâte et de papier n'est pas l'une des plus représentatives des pays du PAM. En Albanie, ces dernières années, la consommation par habitant de papier et de carton a été de près de 6,3 kg/hab./an, avec une consommation totale annuelle de papier et de carton d'environ 20 000 tonnes. La production de papier et de carton entre 2000 et 2002, s'est maintenue autour de 2 800 t/an.

Selon les dernières données disponibles concernant la production des différents types de pâtes et autres produits papetiers (source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)), entre 1993 et 1998, l'Albanie a produit : 13 500 tonnes par an de pâte à papier chimique, 13 500 t/an de pâte au sulfate non-blanchie, 2 000 t/an de pâte mécanique, 400 t/an de pâte élaborée à partir d'autres fibres, 8 000 t/an de papier journal, 4 500 t/an de papier d'écriture et d'imprimerie, entre autres.

Entre 2000 et 2003, 2 000 t/an de papier pour boîtes ont été produites. En 1999, l'Albanie a produit 1 000 t de papier/carton d'emballage, tandis qu'à partir de 2000 et jusqu'en 2003, ce chiffre est monté jusqu'à 2 800 t/an.

Les principales importations albanaises de pâte de cellulose se concentrent sur la pâte mi-chimique. Les exportations de papier de récupération ont augmenté depuis 1997, passant 48 t/an à 88 t/an en 2003. L'Albanie exporte également de la pâte de cellulose mécanique.

3.3.2. BOSNIE-HERZÉGOVINE

Introduction

La Bosnie-Herzégovine est un pays de l'Europe de l'Est bordé par l'Adriatique. Sa superficie totale est de 51 233 km² et sa population avoisine les 3,5 millions d'habitants.

Tableau 3.3.2. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Bosnie-Herzégovine

Superficie	10 ³ km ²	51,13
Population	millions	4,12
Accroissement de la population	%	1
Espérance de vie	ans	74
Analphabetisme total	% âge>15	n.d.
Analphabetisme des femmes	% âge>15	n.d.
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	1 096
PIB actuel	10 ⁹ €*	4,5
Croissance du PIB	% annuel	4
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	6
PPA du PIB par habitant	100 €	15,4
Formation brute de capital	% du PIB	21
VA dans l'agriculture	% du PIB	14
VA dans l'industrie	% du PIB	30
VA dans les services	% du PIB	56
Exportations	% du PIB	27
Importations	% du PIB	51
Téléphones	pour 1 000 hab.	168
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	n.d.

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée)

L'économie de la Bosnie-Herzégovine (BiH) porte toujours les marques de la planification centralisée. L'industrie accuse un excès de personnel, ce qui reflète la rigidité de l'économie planifiée. L'économie et les infrastructures ont été détruites par trois années de guerre. Toutefois, le pays a réalisé des progrès considérables depuis qu'il est en paix. L'inflation est restée relativement basse grâce à l'adoption d'un régime strict de caisse de conversion. Malgré tout, la croissance du pays s'avère inégale. La préoccupation la plus urgente est la revitalisation de l'économie. Aussi, est-il impératif d'orienter le pays vers le secteur privé et l'économie de marché.

La construction d'une infrastructure d'assainissement constitue l'une des priorités principales en vue de la protection de la zone méditerranéenne de la BiH. Dans la mesure où la région manque d'un réseau d'assainissement complètement développé, certaines populations et industries déversent leurs eaux résiduaires directement dans des fosses septiques mal structurées où sont souvent produites des boues qui contaminent les eaux souterraines.

Industrie et environnement

La pollution de la vallée fluviale adriatique de la Bosnie-Herzégovine, d'une superficie totale de 12 410 km², provient des foyers d'émission comme de sources diffuses situées principalement dans les zones karstiques qui, compte tenu de leur vulnérabilité, permettent aux polluants de s'infiltrer rapidement dans le sous-sol. Nous ne disposons pas de données précises sur les émissions industrielles totales puisqu'il n'existe aucun registre exhaustif relatif à la pollution ; la législation prévoit seulement le contrôle des eaux résiduaires. Le contrôle des déchets solides et des émissions dans l'atmosphère n'étant pas obligatoire pour les entreprises, il n'existe pas de données quantitatives ou qualitatives à ce sujet.

La grande industrie se compose principalement d'entreprises dédiées aux secteurs suivants : agroalimentaire, aluminium, traitement de surfaces, bois, matériaux de construction, textile et électricité (hydroélectricité et thermoélectricité). En raison de la situation engendrée par la guerre, le rendement de la plupart des industries à grande échelle qui existaient avant est très faible : dans bien des cas, celui-ci n'atteint pas 10 % de la capacité normale habituelle d'avant-guerre. En outre, les systèmes de traitement dont ces industries disposaient sont désormais hors d'usage.

Les effluents étant déversés directement, le principal problème est l'absence de stations de traitement des eaux résiduaires industrielles et municipales.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.3.3. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Bosnie. Année 2002

Superficie forestière	km ²	24 750
Capacité de production de papier et de carton	t	339 000
Capacité de production de pâte	t	165 000
Usines de papier et de carton	-	14
Usines de pâte	-	2
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	1 250

Source : Annual Review- Europa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

L'industrie bosniaque de la pâte et du papier n'est pas l'une des plus représentatives des pays du PAM. Dans ce pays, la consommation de papier et de carton par habitant s'est maintenue aux alentours de 3 kg/an ces dernières années, avec une consommation totale de 10 800 t/an. Nous ne disposons pas de données fiables concernant la production totale de ce pays, toutefois la production est actuellement environ 30 % supérieure à son niveau de 1990.

Comme nous pouvons l'observer dans le tableau précédent, la Bosnie comptait, en 2002, un total de 16 usines de pâte et de papier. Ces dernières années, les importations de produits papetiers sont restées de l'ordre de 4 361 t/an. L'importation de pâte à papier chimique présente une évolution similaire à celle des produits papetiers, en se maintenant à 1 840 t/an, depuis 1999. L'importation de pâte mi-chimique a été de 22 t/an en 2003.

En ce qui concerne les exportations, les dernières données enregistrées montrent qu'en 2003 les produits suivants ont été exportés : 1 140 t/an de produits papetiers dont 44 t/an de pâte chimique et 1 100 t/an de papier de récupération.

3.3.3. CHYPRE

Introduction

Chypre est une île européenne située dans le nord-est du golfe méditerranéen. Sa superficie totale est de 9 250 km² et sa population avoisine les 800 000 d'habitants.

Tableau 3.3.4. Indicateurs de la situation socioéconomique de Chypre

Superficie	km ²	9 250
Population	milliers	765
Accroissement de la population	%	0,6
Espérance de vie	ans	78,1
Analphabétisme total	% âge>15	2,6
Analphabétisme des femmes	% âge>15	4,0
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	3 203
PIB actuel	10 ⁹ €*	7,8
Croissance du PIB	% annuel	2,0
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	8
PPA du PIB par habitant	100 €	128,5
Formation brute de capital	% du PIB	n.d.
VA dans l'agriculture	% du PIB	n.d.
VA dans l'industrie	% du PIB	n.d.
VA dans les services	% du PIB	n.d.
Exportations	% du PIB	n.d.
Importations	% du PIB	n.d.
Téléphones	pour 1 000 hab.	1 087
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	247

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée, n.d. = non disponible)

Chypre se caractérise par un marché de libre échange et par une économie basée sur les services et, en partie, sur l'industrie légère. La population chypriote est l'une des plus prospères de la Méditerranée. Au cours de vingt dernières années, l'économie a délaissé l'agriculture au profit de l'industrie légère et des services. Le secteur des services, qui inclut le tourisme, représente près de 70 % du PIB et emploie 62 % de la population active.

Le secteur commercial est vital pour le pays dans la mesure où l'île ne s'autosuffit pas sur le plan alimentaire et dispose de ressources naturelles limitées. Chypre doit importer son combustible, la majorité de ses matières premières, sa machinerie lourde et ses équipements de transport.

Industrie et environnement

Le tourisme et le secteur des services (y compris les télécommunications), l'industrie navale et le secteur bancaire constituent les bases de l'économie chypriote.

Au fur et à mesure, la population dense des zones côtières, résultat de l'activité touristique, les services et l'émigration considérable en provenance des zones urbaines, ont fini par exercer une pression importante sur l'environnement du littoral, en particulier durant la saison haute. Les activités industrielles contribuent également à cette pression puisque les principales industries (production d'énergie, ciment, vin et raffineries de pétrole) se situent elles aussi sur la côte. Ces activités entraînent des signes de pollution locale à petite échelle. Néanmoins, la qualité de l'eau demeure satisfaisante dans l'ensemble du pays grâce à une série de lois strictes sur le déversement des eaux résiduaires et la protection de l'environnement et de l'habitat naturel.

Industrie de la pâte et du papier

Au cours de ces dernières années (1992-2002), la consommation chypriote de papier et de carton s'est maintenue aux alentours de 52 000 t/an (67 kg/hab./an).

Nous ne disposons pas de données relatives à la production totale de papier et de carton de ces dernières années, bien que les registres existent (source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)) et indiquent qu'entre 1992 et 2002 Chypre a produit 10 000 t/an de papier de récupération.

Entre 1993 et 2003, les importations de produits fibreux ont été les suivantes :

- Les importations de produits papetiers ont augmenté entre 1993, où avait été enregistré un volume de 3 211 t, et 2003 où celui-ci a atteint 4 169 t.
- L'importation de pâte chimique présente une évolution similaire. En 1993, 3 121 t de pâte ont été importées, un volume qui a atteint 4 133 t en 2003.

Les exportations reposent essentiellement sur :

- 86 t de pâte chimique en 2000, dont l'exportation a été quasiment supprimée en 2003.
- En 1993, le pays a exporté 1 181 t de produits papetiers, un volume qui a ensuite augmenté jusqu'en 1997 (6 200 t), puis a connu une nouvelle augmentation en 2000, atteignant près de 11 200 t/an, chiffre qui s'est maintenu jusqu'en 2003.

3.3.4. CROATIE

Introduction

La Croatie est un pays de l'Europe de l'Est bordé par l'Adriatique. Sa superficie totale est de 56 538 km² et sa population avoisine les 4,37 millions d'habitants.

Tableau 3.3.5. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Croatie

Superficie	10 ³ km ²	56,54
Population	millions	4,37
Accroissement de la population	%	-0,2
Espérance de vie	ans	74
Analphabétisme total	% âge>15	1,5
Analphabétisme des femmes	% âge>15	2,4
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	1 775
PIB actuel	10 ⁹ €*	19,2
Croissance du PIB	% annuel	5,2
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	31
PPA du PIB par habitant	100 €	71
Formation brute de capital	% du PIB	24,7
VA dans l'agriculture	% du PIB	9,7
VA dans l'industrie	% du PIB	34,2
VA dans les services	% du PIB	56,1
Exportations	% du PIB	48,5
Importations	% du PIB	54,7
Lignes téléphoniques en fonctionnement	pour 1 000 hab.	742
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	86

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée, n.d. = non disponible)

La Croatie a subi un processus d'industrialisation et de diversification accéléré après la Seconde Guerre Mondiale. La décentralisation a eu lieu en 1965 et a permis le développement de certains secteurs, comme par exemple le tourisme. Les bénéfices générés par l'industrie croate ont servi à développer les régions les plus pauvres de l'ex-Yougoslavie. Cette démarche, conjuguée aux programmes d'austérité et à l'hyperinflation, a suscité un grand mécontentement qui a fini par alimenter le mouvement indépendantiste.

La vague de privatisation lancée par le nouveau gouvernement croate avait à peine débuté quand la guerre d'indépendance a éclaté (1991-1995). Celle-ci ravagera l'infrastructure économique du pays. Après une période où le chômage ne cessait de croître, le gouvernement a commencé à appliquer des réformes incluant notamment un programme d'imposition sur la valeur ajoutée (lequel a remporté un franc succès), la privatisation planifiée des entreprises contrôlées par l'État, ainsi que la révision des budgets afin de limiter les dépenses et le déficit. L'inflation relativement basse et la stabilité monétaire ont représenté les principales réussites économiques. Néanmoins, la réforme structurelle est restée à la traîne.

Industrie et environnement

Les secteurs industriels qui jouent un rôle actif non seulement dans l'économie du pays mais aussi en termes de pollution environnementale, sont les secteurs de l'énergie, du ciment, de l'alimentation, du raffinage du pétrole, de la métallurgie, de la chimie, de la pâte et du papier, du textile et de l'agriculture.

Bien que l'industrie n'ait pas adopté d'accords volontaires, le secteur de la production énergétique, et plus particulièrement les raffineries de pétrole et les centrales d'énergie thermique, et celui qui s'est le plus impliqué dans la promotion de la production plus propre. La situation est inversée dans le secteur des PME dont le niveau d'adéquation avec la législation environnementale est inférieur à celui des grandes entreprises. En outre, les PME manquent d'informations et de formation sur les opportunités associées à la PP.

La Croatie est sortie de la phase de formation de base sur la PP. Le concept de PP est en cours d'introduction dans l'industrie. Toutefois, le pays présente de nombreux « points chauds » (hot spots), ce qui témoigne de la nécessité d'une action plus marquée sur les questions liées à la PP.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.3.6. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Croatie. Année 2002

Superficie forestière	km ²	24 500
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	111,17
Ratio de production de papier et de carton	%	65
Ratio de production de pâte	%	68
Usines de papier et de carton	-	3
Usines de pâte	-	2
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	1 440

Source : Annual Review- Europa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

En Croatie, le secteur de la pâte et du papier représente une industrie significative puisqu'elle est l'une des plus importantes de la sous-région Est des pays du Plan d'action pour la Méditerranée. La consommation par habitant de papier et de carton a augmenté ces dernières années, avec en 2002 une moyenne de 111,17 kg/an, et une consommation totale de 493 500 t.

La production de papier et de carton a également augmenté ces dernières années, avec 467 000 t en 2002, dont 64 000 t de papier de récupération.

Les données les plus pertinentes pour ces dernières années (2000-2003) sont les suivantes (source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)) :

- La production de pâte mécanique a été de l'ordre de 40 000 t/an et celle de pâte mi-chimique de près de 80 000 t/an.
- La Croatie fabrique une grande diversité de produits dérivés du papier et du carton. Les plus importants d'entre eux en termes de volume de production sont les suivants :
 - Papier et carton d'emballage (220 000t/a)
 - Papier d'impression et d'écriture (220 000 t/a)
 - Matériaux pour boîtes (210 000 t/an).
- Les plus grandes importations du secteur concernent la pâte chimique et la pâte au sulfate blanchie, avec 2 000 t/an chacune, le papier de récupération (125 000 t/an), le papier d'impression (84 000 t/an), le papier couché (51 000 t/an), le papier/carton d'emballage (44 000 t/an) et le papier journal (37 000 t/an).
- D'autre part, les principales exportations de ces dernières années ont porté sur la pâte mécanique (40 000 t/an), le papier/carton d'emballage (130 000 t/an) et le papier de récupération (15 000 t/an).

3.3.5. SLOVÉNIE

Introduction

La Slovénie est un pays de l'Europe de l'Est bordé par l'Adriatique. Sa superficie totale est de 20 256 km² et sa population avoisine les 2 millions d'habitants.

Tableau 3.3.7. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Slovénie

Superficie	10 ³ km ²	20,3
Population	millions	2,0
Espérance de vie	ans	75,9
Analphabétisme total	% âge>15	n.d.
Analphabétisme des femmes	% âge>15	n.d.
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	3 288
PIB actuel	10 ⁹ €	21,1
Croissance du PIB	% annuel	2,9
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	26,5
PPA du PIB par habitant	10 ² €	137
Formation brute de capital	% du PIB	25,5
VA dans l'agriculture	% du PIB	3,1
VA dans l'industrie	% du PIB	37,5
VA dans les services	% du PIB	59,3
Exportations	% du PIB	60,1
Importations	% du PIB	60,5
Téléphones	pour 1 000 hab.	1 161
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	276

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée, n.d. = non disponible)

C'est en 1990 que la Slovénie ait devenue indépendante de l'ex-Yougoslavie. Dès lors, le gouvernement a mis en œuvre un programme complet de réformes, incluant la libéralisation des prix et la restructuration de l'industrie et de l'économie en général. Le processus de privatisation s'est déroulé conformément aux plans prévus. Le 1995, 215 grandes entreprises étaient déjà privatisées et 478 l'ont été par la suite. À cette époque, la majorité des PME avaient déjà été privatisées (56 000) et représentaient plus de 90 000 employés.

Actuellement, c'est l'un des pays les plus prospères d'Europe en transition ; la Slovénie occupe une position privilégiée pour s'allier aux principales économies industrielles modernes. Les entreprises slovènes se sont traditionnellement orientées vers une économie de marché et sont cautionnées par une gestion économique relativement satisfaisante. Néanmoins, l'économie slovène dépend énormément du commerce extérieur, dont les deux tiers est réalisé avec d'autres pays de l'UE, principal motif sur lequel le pays s'appuie pour solliciter son adhésion à l'UE. Tous ces paramètres font que la Slovénie est extrêmement sensible au moindre changement dans les relations commerciales avec ses principaux partenaires.

Industrie et environnement

La Slovénie est une petite économie et ses entreprises sont principalement des PME. Elle compte aux alentours de 141 000 entreprises, dont environ 1,3 % correspond à des entreprises de plus de 1 000 employés et 89,7 % à des microentreprises ou petites et moyennes entreprises (PME) de 1 à 99 employés. Il paraît évident que ces PME constituent l'essentiel de l'économie nationale. De même, il est certain que celles-ci ne disposent pas des ressources nécessaires pour investir dans la recherche et le développement. Ces PME sont principalement localisées dans les noyaux urbains. Les PME bénéficient de l'assistance technique et directive d'institutions telles que la Chambre de commerce et d'industrie, le Centre de développement des petites entreprises et quelques parcs technologiques de Maribor, Ljubljana.

Quatre-vingt pour cent des 141 000 entités entrepreneuriales slovènes sont privées. Les secteurs les plus développés sont les industries chimique, pharmaceutique, papetière, textile, le secteur de l'alimentation et des boissons, de la fabrication de meubles, du petit électroménager pour la cuisine, de l'automatisme et de la transformation des métaux.

L'industrie est incontestablement l'un des principaux responsables de la pollution en Slovénie. La pollution atmosphérique provient en grande partie de la transformation du métal, de la production d'électricité, de l'industrie papetière, des industries des arts graphiques et de la fabrication de meubles (poussière, SO₂, NO_x, COT), de l'industrie chimique, (CO, SO₂, NH₃) et de l'industrie du bois (COT).

La pollution des eaux constitue un problème environnemental majeur ; les principaux polluants sont les matières non solubles (provenant de l'industrie papetière, des arts graphiques, de la production d'énergie, du secteur alimentaire et de la transformation des métaux), les problèmes liés à la demande chimique en oxygène (DCO) (générée par l'industrie papetière, des art graphiques et alimentaire), les nitrates et nitrites (issus de l'industrie de transformation du métal), l'azote ammoniacal (issu de l'industrie du cuir et de la chimie) et les métaux (associés à l'industrie de la transformation du métal et à l'industrie chimique). La production de déchets solides connaît actuellement un léger recul.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.3.7. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Slovénie. Année 2002

Superficie forestière	km ²	10 000
Capacités du papier et du carton	t	600 000
Capacités de la pâte	t	230 000
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	150
Ratio de production de papier et de carton	%	93
Ratio de production de pâte	%	93
Usines de papier et de carton	-	9
Usines de pâte	-	3 (1 de pâte au sulfite, 2 de pâte mécanique/désencrée (DIP))
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	5 500

Source : Annual Review- Europa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

La Slovénie affiche la consommation de papier la plus élevée de tous les pays de l'Europe de l'Est. La consommation annuelle de papier par habitant est relativement élevée avec une moyenne supérieure à 150 kg/hab./an en 2003. La consommation totale de papier et de carton est de 0,5 millions de tonnes. En revanche, la Slovénie n'est pas un grand producteur de papier et de carton, puisque sa production était de 590 000 en 2003. Cette production est répartie comme suit : 11 % de papier journal, 23 % de papier d'impression et d'écriture, 12 % de papier à usage sanitaire, 23 % de papier couché et d'emballage et 31 % de cartons.

La production de pâte chimique et mécanique a été de 134 000 tonnes en 2003, soit une baisse de 10 % par rapport à l'année précédente ; la production de papier et de carton, de l'ordre de 600 000 t en 2003, a baissé de 3 % comparé à 2002.

Depuis son indépendance, la Slovénie accuse un déficit en termes de production de pâte à papier car la plupart des usines de cellulose de l'ex-Yougoslavie étaient situées dans la région de Bosnie-Herzégovine, ce qui oblige désormais le pays à importer la pâte.

Actuellement, la Slovénie compte trois usines de pâtes, dont une dédiée à la fabrication de pâte au sulfite et les deux autres à la fabrication de pâte mécanique ; le pays dispose également de 6 usines de papier et de carton. Dernièrement, plusieurs usines ont dû fermer en raison de difficultés rencontrées dans le cadre de la modernisation des installations en vue de leur mise en conformité avec la réglementation environnementale. Ceci a entraîné une chute de 22 % de la production de papier et de carton par rapport à 2001. En outre, 22 grandes entreprises et 40 PME interviennent dans la transformation des produits papetiers, avec une capacité de 80 000 t de carton ondulé, 72 000 t de boîtes et 95 000 t de produits d'emballage et autres produits déjà transformés. Actuellement, le secteur du papier emploie 600 personnes.

Les importations les plus importantes du secteur ont été celles des produits papetiers, dont le volume global atteignait 637 000 t, en 2003. Les exportations les plus importantes concernaient le papier d'impression, le papier/carton d'emballage, le papier couché et le carton pour boîtes pliables. Ces exportations ont été réalisées vers : la Croatie (14 %), l'Italie (13 %), l'Allemagne (10 %), la Bosnie-Herzégovine (6 %), l'Autriche (5 %), la Hongrie (4 %) et vers d'autres pays (44 %).

3.3.6. ISRAËL

Introduction

Israël se caractérise par une économie diversifiée et technologiquement avancée. Le pays dispose d'un secteur public important, bien qu'en régression, et d'un secteur des technologies de dernière génération. Les principaux secteurs industriels sont l'électronique de haute technologie et l'équipement biomédical, les produits métalliques, les produits alimentaires élaborés, l'industrie chimique et l'équipement associé aux transports. En outre, Israël comporte un secteur des services important et est le leader mondial en matière de développement de logiciels.

Tableau 3.3.8. Indicateurs de la situation socioéconomique d'Israël

Superficie	10 ³ km ²	21,06
Population	millions	6,5
Accroissement de la population	%	2,0
Espérance de vie	ans	78,7
Analphabétisme total	% âge>15	4,7
Analphabétisme des femmes	% âge>15	6,6
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	3 123
PIB actuel	10 ⁹ €*	104,5
Croissance du PIB	% annuel	-1,1
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	102
PPA du PIB par habitant	10 ³ €	16,2
Formation brute de capital	% du PIB	20,1
VA dans l'agriculture	% du PIB	3
VA dans l'industrie	% du PIB	30
VA dans les services	% du PIB	67
Exportations	% du PIB	23
Importations	% du PIB	25,2
Lignes téléphoniques en fonctionnement	pour 1 000 hab.	1 285
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	246

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée, n.d. = non disponible)

Israël présente un ensemble cohérent de règlements et de politiques environnementales. La PP se concrétise à travers la législation relative aux substances toxiques et dangereuses et est contrôlée via un système de concession de permis. L'application d'activités préventives est directement ou indirectement effectuée ou par le Centre israélien pour la production plus propre ainsi que des organismes gouvernementaux.

Industrie et environnement

Ces vingt dernières années, des progrès considérables ont été réalisés sur le plan industriel, notamment dans les domaines suivants : l'électronique médicale, l'agrotechnologie, les télécommunications, les produits de chimie fine, les logiciels et le matériel informatique ainsi que dans le secteur de la taille et du polissage des diamants.

Les secteurs de la haute technologie, auxquels sont consacrés capitaux et formation, et qui impliquent des techniques de production sophistiquées ainsi qu'un investissement considérable dans la recherche et développement (R & D), sont ceux qui enregistrent le plus fort taux de croissance. Plus de 90 % du budget public annuel de la R & D est destiné aux industries de pointe.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.3.9. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Israël. Année 2002

Superficie forestière	km ²	1 000
Capacités du papier et du carton	t	320 000
Usines de papier et de carton	-	6
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	2 100

Source : PPI (Pulp and Paper International)

Entre 1992 et 2002, la consommation moyenne de papier et de carton se situait dans les 900 000 t/an, avec une consommation par habitant de 140,74 kg/an en 2002. La production de papier et de carton est restée constante ces dix dernières années (275 000 t/an).

D'après les dernières données disponibles, il convient de noter les éléments suivants (source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)) :

- Les produits dont le volume de production est le plus élevé sont les papiers/cartons d'emballage (130 000 t/an), suivis par le papier d'écriture et d'imprimerie (95 000 t/an) et le papier à usage sanitaire et domestique (50 000 t/an). 110 000 t/an sont du papier de récupération.
- Les importations les plus conséquentes sont celles de produits dérivés du papier/carton d'emballage, et de pâte chimique. En revanche, le volume des exportations est nettement inférieur à celui des importations.

3.3.7. MALTE

Introduction

En raison de la pauvreté de ses ressources en matières premières et d'un marché domestique très limité, Malte a basé son développement économique sur l'expansion du tourisme et les exportations de produits manufacturés. Depuis le milieu des années 1980, l'essor de ces domaines d'activité est devenu le principal moteur de la forte croissance de l'économie maltaise.

Tableau 3.3.10. Indicateurs de la situation socioéconomique de Malte

Superficie	km ²	320
Population	hab.	397 000
Accroissement de la population	%	0,5
Espérance de vie	ans	78,4
Analphabétisme total	% âge>15	3,4
Analphabétisme des femmes	% âge>15	6,6
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	2 089
PIB actuel	10 ⁹ €*	3,1
Croissance du PIB	% annuel	-0,7
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	5,13
PPA du PIB par habitant	100 €	128,5
Formation brute de capital	% du PIB	20,4
VA dans l'agriculture	% du PIB	2,8
VA dans l'industrie	% du PIB	25,5
VA dans les services	% du PIB	71,7
Exportations	% du PIB	87,8
Importations	% du PIB	92,3
Téléphones	pour 1 000 hab.	884
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	230

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée, n.d. = non disponible)

Malte dispose d'une base solide pour la fabrication de produits à forte valeur ajoutée comme les appareils électroniques ou les produits pharmaceutiques. En outre, le secteur manufacturier compte plus de 250 entreprises étrangères orientées vers l'exportation. Le tourisme génère 35 % du PIB.

Industrie et environnement

Le secteur manufacturier représente 26 % du PIB, et sa consommation totale d'énergie produite avoisine les 27 %. Les principales industries qui constituent ce secteur vont de la fabrication de semi-conducteurs et autres pièces d'équipement sophistiquées, à l'élaboration de produits alimentaires et de boissons, en passant par la réparation de navires. Les autres activités clés du pays sont le tourisme et la construction.

Près de 90 % des entreprises sont des PME, auxquelles l'Institut pour la promotion des petites entreprises (IPSE) apporte une aide et une assistance technique. La relation entre les PME vis-à-vis de la technologie et des opportunités liées à la PP est pratiquement inexistante, et l'appui qu'elles reçoivent de la part des grandes industries pour la mise en œuvre de la PP est très faible.

Industrie de la pâte et du papier

La consommation de papier et de carton a augmenté au cours des dernières années, passant de 39,98 kg/hab./an en 1992 à 117,86 kg/hab./an en 2003, avec une consommation totale de 46 320 t ces dernières années.

Nous ne disposons pas de données relatives à la production totale de papier et de carton de ces dernières années, bien que les registres existent (source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)) et indiquent qu'entre 1993 et 2003, Malte a principalement importé deux types de produits :

- L'importation de pâte à papier chimique a diminué entre 1993 (où le pays enregistrait un volume d'importation de 1 100 t) et 2003 (où ce volume était de l'ordre de 350 t).
- Les importations de pâtes ont évolué de la même manière ; en 1993, 1 300 t ont été importées contre 350 t en 2003.

3.3.8. TURQUIE

Introduction

La Turquie est un pays situé entre les continents européen et asiatique, sur les bords de la mer Méditerranée. Sa superficie totale est de 780 580 km² et sa population avoisine les 70 millions d'habitants.

Tableau 3.3.11. Indicateurs de la situation socioéconomique de la Turquie

Superficie	km ²	775
Population	Millions d'habitants	70
Accroissement de la population	%	1,32
Espérance de vie	ans	69,9
Analphabétisme total	% âge>15	14,0
Analphabétisme des femmes	% âge>15	22,1
Énergie par habitant	équivalent pétrole en kg	1 181
PIB actuel	10 ⁹ €*	157
Croissance du PIB	% annuel	7,8
PPA du PIB estimée	10 ⁹ €	379
PPA du PIB par habitant	100 €	57
Formation brute de capital	% du PIB	19,0
VA dans l'agriculture	% du PIB	13,8
VA dans l'industrie	% du PIB	26,6
VA dans les services	% du PIB	59,6
Exportations	% du PIB	28,8
Importations	% du PIB	25,4
Téléphones	pour 1 000 hab.	587
Ordinateurs	pour 1 000 hab.	40,7

Source : Groupe de la banque mondiale et global EDGE (2001-2002) (PPA = parité du pouvoir d'achat; VA = valeur ajoutée, n.d. = non disponible)

La stratégie de développement du pays, fondée sur les exportations et le libre échange, a placé l'économie turque parmi celles qui présentent la croissance la plus rapide au sein de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Toutefois, le programme de réformes lancé au début des années 1980 n'a pas été totalement achevé, entraînant une forte inflation, essentiellement stimulée par le grand déficit du secteur public.

Le déclin du poids de l'agriculture sur l'économie coïncide avec l'expansion rapide des secteurs des services et de l'industrie. Le domaine du textile constitue la principale industrie manufacturière turque et il s'agit du secteur qui exporte le plus. Suite à la création d'un Ministère de l'environnement en 1991, les questions environnementales sont de plus en plus mises en lumière.

Industrie et environnement

Les principaux secteurs industriels turcs sont la manufacture (textile, industrie chimique, métallurgie, industries papetière et alimentaire), l'exploitation minière, l'énergie et la construction. Les autres secteurs clés sont les infrastructures touristiques, l'automobile et l'électronique. La pollution industrielle de la Turquie est principalement due aux activités de production. Le secteur manufacturier est celui qui contribue le plus à la pollution industrielle du pays.

En Turquie, les petites et moyennes entreprises représentent 98,8 % du total des installations de production ; le reste (1,2 %), correspond en grande partie à des entreprises de taille moyenne. La localisation des industries a récemment fait l'objet d'un débat animé en Turquie. Comme en témoignent les investissements réalisés par le gouvernement, la tendance est actuellement à la promotion du développement des zones industrielles déjà existantes et à l'établissement de nouvelles zones, plutôt qu'au renforcement de la croissance des PME situées dans les régions isolées. Aujourd'hui, 14 % des PME sont implantées dans des zones industrielles organisées et 38 % dans de petites zones industrielles ; le reste correspond à des entreprises isolées.

Industrie de la pâte et du papier

Tableau 3.3.12. Données relatives à l'industrie de la pâte et du papier en Turquie. Année 2002

Superficie forestière	km ²	779 452
Capacités du papier et du carton	t	2 155 000
Capacités de la pâte	t	557 700
Consommation de papier et de carton par habitant	kg	35,59
Ratio de production de papier et de carton	%	70
Ratio de production de pâte	%	55
Usines de papier et de carton	-	36
Usines de pâte	-	11 (5 de pâte au sulfate, 3 de pâte mi-chimique, 3 de pâte mécanique, 5 de pâte non-ligneuse)
Nombre d'employés dans l'industrie de la pâte et du papier	-	9 380

Source : Annual Review- Europa. Juillet 2002. PPI (Pulp and Paper International)

La Turquie est le quatrième producteur et consommateur de pâte et de papier parmi les pays du PAM, derrière les plus grosses puissances industrielles que sont la France, l'Italie et l'Espagne. En

revanche, la consommation de papier et de carton par habitant est très élevée avec, ces dernières années, une moyenne de 35,39 kg/an et une consommation totale de 2,5 millions de tonnes.

L'industrie présente aujourd'hui un fort potentiel de développement. Le nombre actuel d'usines en Turquie est encore très faible comparé aux pays de l'Union européenne : 36 fabriques de papier et de carton et 11 fabriques de pâtes dont 5 se consacrent à la fabrication de pâte au sulfate, 3 à l'élaboration de pâte mi-chimique, 3 à la production pâte mécanique et 5 à la fabrication de pâte non-ligneuse.

Dans le secteur privé, le papier de récupération représente près de 75,8 % de la matière première utilisée dont 19 % de pâte. Toutefois, la qualité du papier collecté est souvent inadaptée aux systèmes utilisés par les usines, d'où l'importance du désencrage.

La production de papier de récupération a augmenté entre 1992 et 2002 (1 million de tonnes) ; la production de papier et de carton a également augmenté bien que de façon moins prononcée (en 2002, 1 643 000 tonnes de papier et de carton ont été produites).

Les dernières données disponibles concernant la production, l'importation et l'exportation des produits papetiers (classification par produit) sont détaillées ci-après (source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)) :

- Les plus grandes quantités de pâte produites ces dernières années (2000-2003) ont concerné la pâte chimique (183 000 t/an), la pâte au sulfate non blanchie (148 000 t/an) et les pâtes élaborées à base de plantes annuelles (53 000 t/an).
- La production turque de papier et de carton englobe tous types de produits, parmi lesquels le papier/carton d'emballage dont la production avoisine 1 200 000 t/an, le papier de récupération (1 000 000 t/an) et les matériaux pour boîtes (850 000 t/an).
- En 2002 et 2003, les principales importations ont atteint un total de 600 000 t/an, dont 360 000 t/an de pâte chimique et 230 000 t/an de papier de récupération.
- Le volume des exportations de la Turquie est très inférieur à ses importations. Ces dernières années (2000-2003), les exportations les plus importantes ont représenté 4,6 millions de tonnes par an de produits papetiers dont seulement 3 000 t/an de papier de récupération.

3.4. SITUATION DE L'INDUSTRIE DE LA PÂTE ET DU PAPIER DANS LES PAYS DU PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE

La situation économique de ces dernières années a fait de la réduction des coûts un facteur clé dans tous les secteurs industriels. Dans cette optique, les fabricants de pâte et de papier ont adopté de nombreuses mesures afin de réduire leur consommation de matières premières et d'énergie, en augmentant l'efficacité et le rendement de plusieurs de leurs procédés, ce qui a indirectement contribué à l'amélioration environnementale des usines.

Dans ce contexte, afin de conserver leur compétitivité et tandis qu'elles optimisent leurs technologies de production en adoptant les meilleures pratiques disponibles (viabiles aussi bien sur le plan technique qu'économique), les entreprises de ce secteur devraient trouver de nouveaux marchés pour leurs produits. Le développement de nouveaux produits spécifiques qui se démarqueraient, par exemple, par leur niveau de qualité élevé ou l'application de technologies propres dans leur fabrication, permettrait alors aux entreprises de faire face au marché asiatique qui, grâce à ses faibles coûts de production, a rapidement pénétré les autres marchés. Pour atteindre ces objectifs, l'investissement, le développement et l'innovation constituent des paramètres fondamentaux.

Il est bien connu que la consommation de papier est directement liée à l'activité économique d'un pays et à son statut culturel, celui-ci étant un indicateur du niveau de développement du pays en question.

En 2002, la consommation par habitant et par an de papier dans la région méditerranéenne allait de 2,62 kg en Bosnie-Herzégovine à 204,01 kg pour l'Italie. Le tableau 3.4.1. présente la consommation de papier des différents pays du Plan d'action pour la Méditerranée sur plusieurs années.

Tableau 3.4.1. Consommation de papier et de carton dans les pays du PAM. Unités : kg/hab. an

PAYS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albanie	6,28	6,32	6,34	6,51	17,72	17,13	15,25	13,81	13,67	13,88	13,35
Algérie	7,08	7,42	7,38	8,08	7,75	6,32	6,04	7,65	8,12	8,47	8,44
Bosnie-Herzégovine	2,62	2,66	2,72	2,81	2,93	2,89	0,09	0,09	0,08	0,20	0,06
Chypre	69,48	70,09	68,43	67,85	66,23	64,57	63,26	67,07	66,94	64,85	87,91
Croatie	111,17	103,89	100,09	110,03	107,98	106,37	87,68	79,07	48,74	34,95	19,95
Égypte	13,24	15,09	10,26	19,21	14,67	13,41	9,37	9,39	11,27	11,06	11,03
Espagne	169,60	156,45	165,92	198,18	135,05	141,51	134,24	129,81	127,93	118,22	123,37
France	182,62	183,44	192,15	185,52	182,64	168,45	156,39	165,50	168,83	155,06	157,59
Grèce	85,19	100,37	102,31	100,06	100,34	92,98	92,59	87,70	105,57	106,96	68,27
Israël	104,74	130,83	133,69	123,88	105,36	111,60	107,30	120,77	120,01	117,63	119,39
Italie	204,01	190,94	195,94	183,19	166,82	166,90	142,66	145,22	149,69	132,37	136,50
Liban	45,02	45,77	39,59	51,56	55,98	45,27	35,52	31,52	41,52	44,19	29,64
Libye	3,14	3,20	5,69	5,80	6,19	2,98	3,03	2,52	3,23	7,94	3,95
Malte	117,86	-	91,77	92,25	89,09	58,75	49,34	57,14	58,93	46,09	39,98
Maroc	8,34	9,77	10,58	9,50	9,47	9,51	8,77	10,02	9,82	9,61	8,12
Monaco	n.d.										
Slovénie	141,43	201,96	85,66	106,43	154,89	-	175,70	169,55	137,95	120,22	162,80
Syrie	4,11	9,26	6,16	8,17	8,99	7,53	3,52	2,64	5,76	4,85	3,42
Tunisie	19,18	23,43	20,90	18,87	19,15	20,27	17,01	18,44	18,93	15,93	18,35
Turquie	35,39	29,12	36,72	31,85	31,33	30,82	27,17	24,80	20,49	27,00	21,46

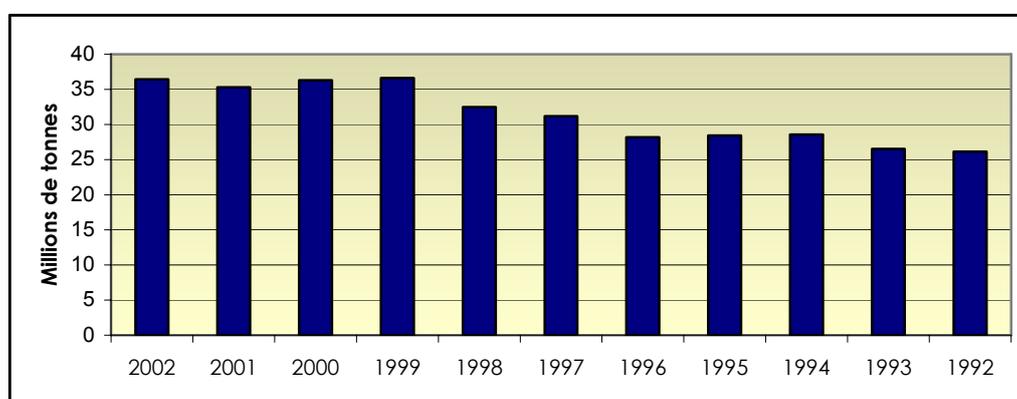
Source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)

Le tableau 3.4.2. décrit la consommation totale de papier et de carton des pays du Plan d'action pour la Méditerranée.

Tableau 3.4.2. Consommation de papier et de carton en tonnes métriques

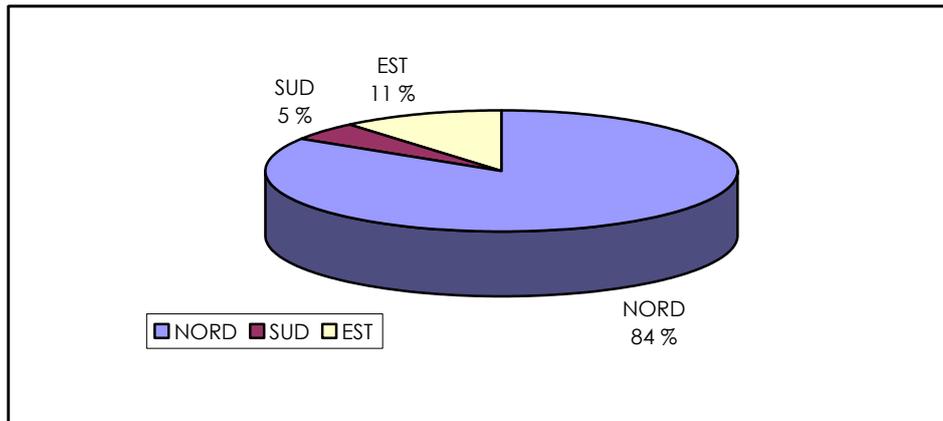
PAYS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albanie	19 725	19 725	19 725	20 256	55 318	53 749	48 177	43 991	43 991	45 138	43 844
Algérie	221 300	228 200	223 300	240 400	227 100	182 200	171 379	213 179	222 200	226 900	221 244
Bosnie-Herzégovine.	10 800	10 800	10 800	10 800	10 800	10 184	298	298	298	747	236
Chypre	55 304	55 304	53 583	52 650	51 000	49 200	47 700	49 900	49 000	46 627	61 975
Croatie	493 500	461 800	445 000	488 300	477 500	469 100	387 300	352 100	220 500	161 626	94 349
Égypte	933 700	1 043 000	695 400	1 277 400	957 300	858 700	588 700	578 500	681 200	655 914	641 283
Espagne	6 949 700	6 395 000	6 761 544	8 047 300	5 461 600	5 697 600	5 382 000	5 183 800	5 091 100	4 690 100	4 879 872
France	10 929 892	10 926 498	11 393 878	10 955 000	10 743 142	9 872 000	9 130 000	9 622 000	9 772 000	8 932 000	9 032 781
Grèce	934 581	1 098 763	1 115 504	1 084 000	1 078 100	989 700	976 200	916 800	1 095 636	1 103 224	700 344
Israël	660 263	807 773	807 774	732 235	609 000	630 100	590 600	646 000	621 762	588 394	575 694
Italie	11 727 000	10 983 001	11 273 317	10 539 000	9 592 900	9 590 000	8 187 000	8 321 000	8 561 000	7 553 114	7 770 894
Liban	161 900	161 900	137 700	176 300	188 100	149 300	114 700	99 300	127 000	130 800	84 810
Libye	17 100	17 100	29 800	29 800	31 196	14 696	14 696	11 996	15 046	36 296	17 728
Malte	46 320	4 867	35 700	35 700	34 300	22 500	18 800	21 600	22 100	17 100	14 672
Maroc	250 886	289 170	308 000	272 000	266 800	263 700	239 400	269 000	259 300	249 497	207 149
Monaco	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Slovénie	280 881	401 498	170 462	212 000	309 000	-	350 700	337 400	273 000	236 232	317 131
Syrie	71 381	157 200	102 000	132 000	141 700	115 746	52 765	38 465	81 853	67 110	46 013
Tunisie	186 550	225 450	198 900	177 600	178 200	186 300	154 330	165 061	166 839	138 152	156 359
Turquie	2 488 373	2 018 000	2 507 540	2 142 000	2 075 000	2 009 000	1 742 600	1 564 000	1 270 100	1 644 907	1 283 441

Les données présentées dans le tableau 3.4.2. décrivent la consommation globale de papier et de carton des pays du PAM (voir graphique 3.4.1). La consommation totale de papier et de carton en 2002 dans la région méditerranéenne a été de 36,5 millions de tonnes, ce qui représente une augmentation de 40 % par rapport à 1992 et une hausse moyenne annuelle de 4 % au cours de 10 dernières années. Entre 1996 et 1999, on observe une augmentation continue d'environ 8 % par an. Toutefois, à partir de 1999, on note une certaine stagnation due au contexte d'instabilité mondiale. Entre 2000 et 2003, seule l'Espagne présente une augmentation importante de sa consommation de papier comme de sa production.



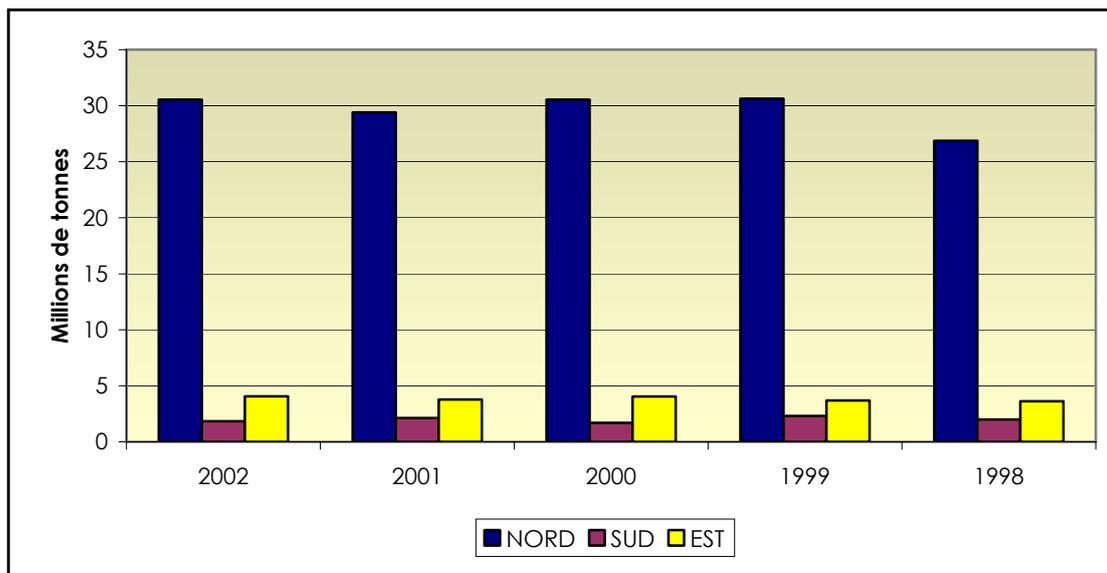
Graphique 3.4.1. Consommation globale de papier et de carton dans les pays du PAM

On observe une différence entre les régions méditerranéennes quant à leur consommation de papier et de carton (voir graphique 3.4.2).



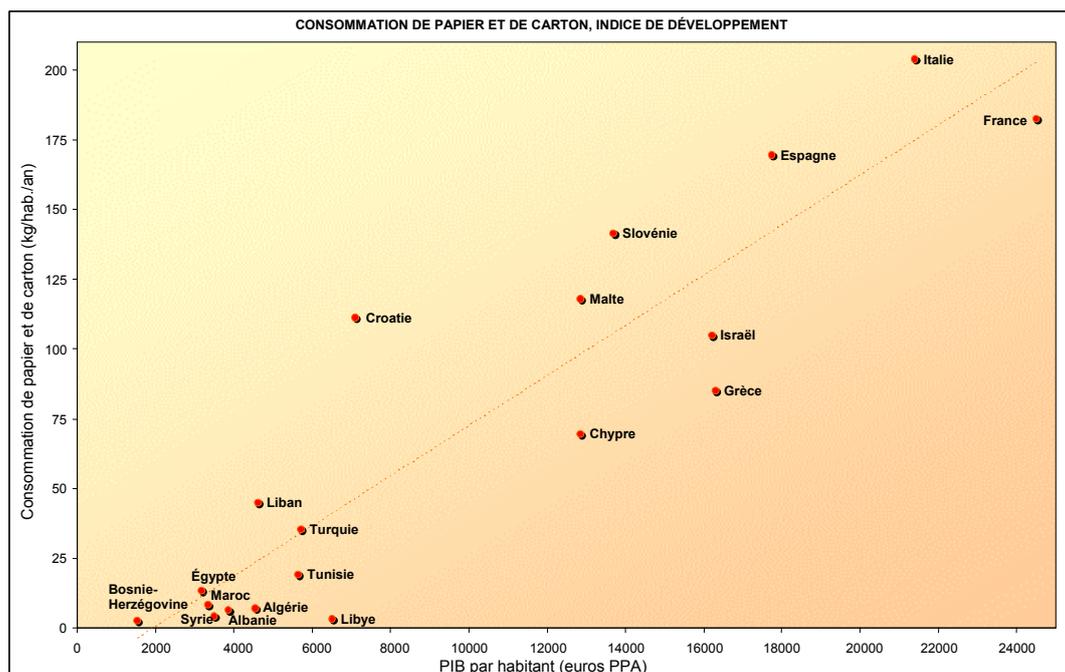
Graphique 3.4.2. Consommation de papier et de carton dans les pays du PAM pendant l'année 2002

Comme nous permet d'en déduire le graphique 3.4.3., cette tendance s'est maintenue au fil des années.



Graphique 3.4.3. Consommation de papier et de carton dans les pays du PAM

Le graphique 3.4.4. montre la relation existant entre la consommation de papier et de carton et le PIB par habitant (kg/hab./an), en 2002 dans les pays du PAM.



Graphique 3.4.4.- Consommation de papier et de carton indice de développement d'un pays

Quant aux statistiques relatives à la production, la production de pâte dans les pays du PAM est restée de l'ordre de 7 millions de tonnes (dont 40 % en France et 30 % en Espagne), ce qui représente 3,78 % de la production mondiale (voir tableau 3.4.3. et graphique 3.4.13).

Tableau 3.4.3. Production de pâte dans les pays du PAM en tonnes

PAYS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996
Albanie	0	0	0	0	29 400	29 400	29 400
Algérie	2 000	2 000	5 000	21 000	21 000	21 000	21 000
Bosnie-Herzégovine.	0	0	0	0	0	0	0
Croatie	122 000	115 000	127 000	95 000	95 000	105 000	129 000
Chypre	0	0	0	0	0	0	0
Égypte	120 000	120 000	75 000	60 000	60 000	60 000	60 000
Espagne	2 125 000	2 032 000	2 014 000	2 006 000	1 990 000	1 975 000	1 958 000
France	2 915 000	3 520 000	3 520 000	3 520 000	3 520 000	3 425 000	3 327 000
Grèce	0	0	5 000	5 000	13 500	13 500	40 500
Israël	15 000	15 000	15 000	15 000	0	0	0
Italie	750 000	635 000	635 000	635 000	635 000	635 000	635 000
Liban	0	0	0	0	0	0	0
Libye	0	0	0	0	0	0	0
Malte	0	0	0	0	0	0	0
Maroc	219 000	219 000	219 000	219 000	231 000	225 000	203 000
Monaco							
Slovénie	274 000	274 000	274 000	273 000	254 000	238 000	178 000
Syrie	0	0	0	0	0	0	0
Tunisie	10 000	10 000	14 000	14 000	14 000	16 000	12 000
Turquie	461 000	458 000	582 000	530 000	601 000	580 000	609 000

Source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)

La fabrication de papier en Méditerranée est entrée, au cours de cette dernière décennie, dans une dynamique de grands projets industriels et d'investissements importants en termes d'augmentation de la capacité de production, grâce à laquelle la production de papier et de carton est passée de 20 millions de tonnes en 1993 à 28 millions de tonnes en 2003 (voir tableau 3.4.4. et graphique 3.4.5.), soit une hausse de 40 %. Bien que la production mondiale de papier ait diminué depuis 2000, la production méditerranéenne s'est maintenue. Il convient de noter en particulier le grand développement de la production en Espagne ainsi qu'en Italie (quoique plus léger).

Tableau 3.4.4. Consommation de papier et de carton dans les pays du PAM en tonnes métriques

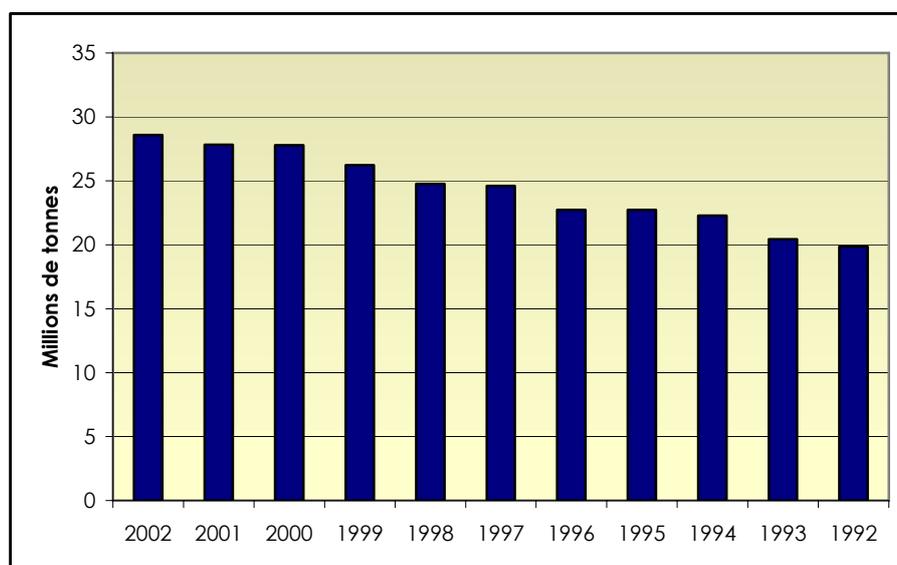
PAYS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albanie	2 800	2 800	2 800	1 000	43 500	43 500	43 500	43 500	43 500	43 500	43 500
Algérie	41 000	41 000	41 000	26 000	55 000	65 000	56 000	78 000	87 000	93 000	91 000
Croatie	467 000	451 000	406 000	417 000	403 000	393 000	304 200	324 800	247 800	114 000	100 000
Chypre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Égypte	460 000	460 000	440 000	343 000	343 000	282 000	221 000	221 000	219 000	220 000	201 000
Espagne	5 364 700	5 131 000	4 765 000	4 435 300	3 544 600	3 968 000	3 768 000	3 684 000	3 503 000	3 348 000	3 449 000
France	9 798 000	9 625 000	10 006 000	9 603 000	9 161 300	9 143 000	8 556 000	8 619 000	8 701 000	7 975 000	7 691 000
Grèce	495 000	495 000	496 000	545 000	622 000	478 000	750 000	750 000	750 000	750 000	387 000
Israël	275 000	275 000	275 000	275 000	242 000	275 000	275 000	275 000	229 000	213 000	215 000
Italie	9 273 000	8 926 000	9 129 317	8 568 000	8 253 900	8 032 000	6 954 000	6 810 000	6 705 000	6 019 000	6 040 000
Liban	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000
Libye	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000
Malte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maroc	129 000	129 000	109 000	109 000	110 000	107 000	106 000	106 000	103 000	99 000	102 000
Monaco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Slovénie	494 000	633 000	411 000	417 000	491 000	430 000	456 000	449 000	460 000	401 000	413 000
Syrie	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Tunisie	94 000	94 000	94 000	94 000	88 000	97 000	90 000	90 000	92 000	80 000	71 000
Turquie	1 643 000	1 513 000	1 567 000	1 349 000	1 357 000	1 246 000	1 105 000	1 240 000	1 102 000	1 032 000	1 012 600

Tableau 3.4.5. Production de papier de récupération. Unités : tonnes métriques

PAYS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albanie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Algérie	32 000	32 000	37 000	30 000	30 000	30 000	40 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Croatie	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000	52 000	52 000	52 000	52 000	58 000	0
Chypre	10 000	10 000	10 000	-	-	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Égypte	380 000	380 000	350 000	32 000	32 000	180 000	180 000	180 000	160 000	140 000	120 000
Espagne	3 616 800	3 496 000	3 319 000	2 963 000	2 635 000	2 117 000	2 117 000	2 117 000	1 823 000	1 736 000	1 777 000
France	5 705 000	5 571 000	5 775 000	5 276 000	4 614 000	4 219 000	3 857 000	3 700 000	4 075 000	2 829 000	3 007 000
Grèce	51 940	51 940	51 940	175 000	175 000	43 000	175 000	175 000	175 000	175 000	180 000
Israël	113 000	113 000	113 000	113 000	113 000	113 000	113 000	113 000	113 000	113 000	113 000
Italie	5 194 000	5 098 000	5 057 241	4 207 000	3 303 900	3 080 000	2 351 000	2 351 000	2 277 000	2 997 000	2 929 000
Malte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maroc	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	55 000
Monaco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Slovénie	65 000	65 000	65 000	65 000	65 000	62 000	62 000	62 000	62 000	65 000	75 000
Tunisie	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000
Turquie	1 016 000	846 000	866 000	707 000	692 000	689 000	555 000	586 000	527 000	536 000	350 000

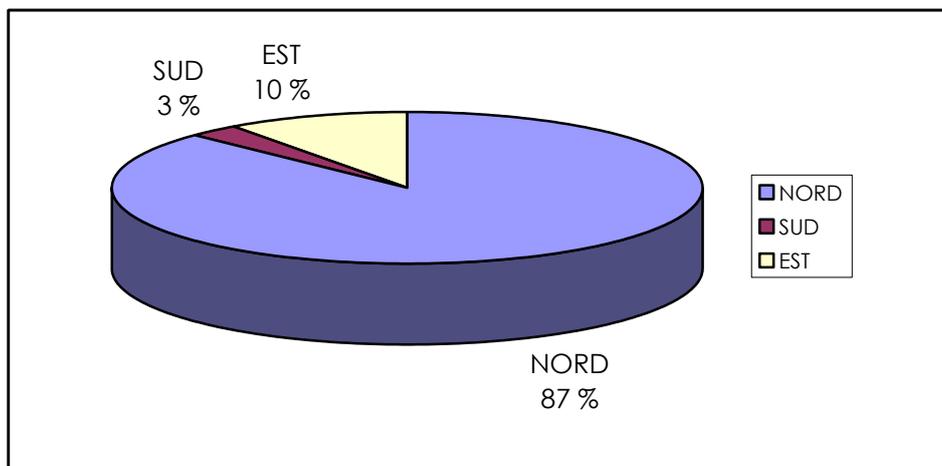
Source : The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)

Le graphique 3.4.5. décrit l'évolution de la production totale des pays du PAM ces dix dernières années.



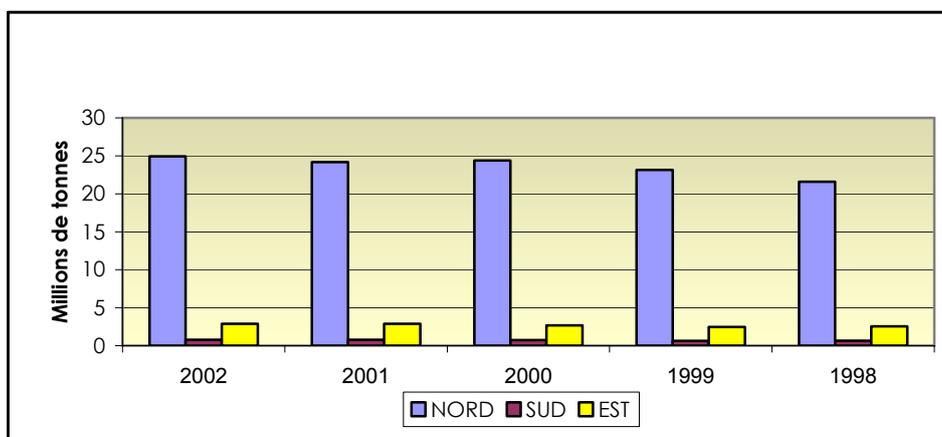
Graphique 3.4.5. Production globale de papier et de carton dans les pays du PAM

En ce qui concerne la production de papier, on observe également une différence significative entre les différentes régions méditerranéennes (voir tableau 3.4.4. et graphique 3.4.6).



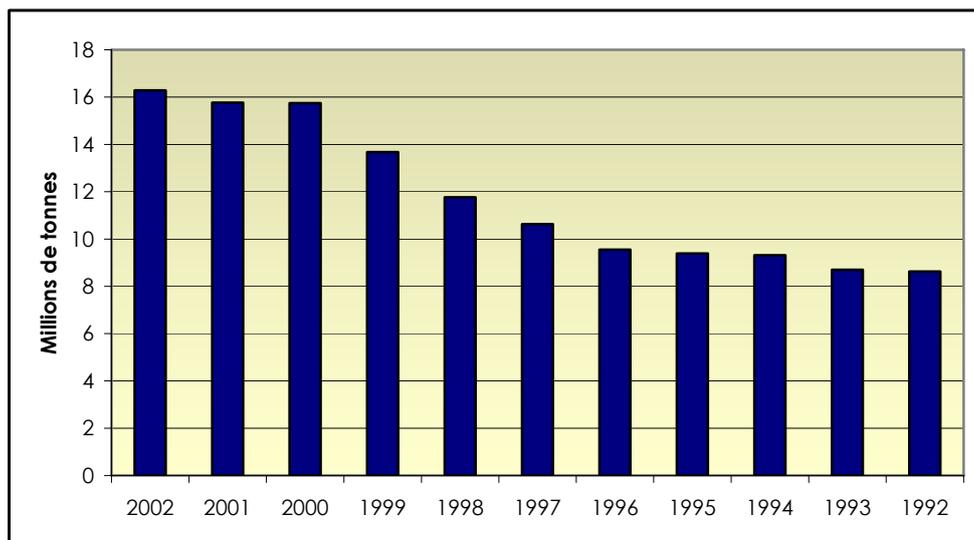
Graphique 3.4.6. Consommation de papier et de carton dans les pays du PAM pendant l'année 2002

Si l'on compare les graphiques 3.4.2. et 3.4.5., on s'aperçoit que les pays du nord et du sud de la Méditerranée consomment plus qu'ils ne produisent, tandis que la consommation des pays de l'Est est inférieure à leur production. Ceci met en relief le marché des importations et des exportations des différentes régions, ainsi que la nécessité ou non d'augmenter la production domestique de pâte et de papier.



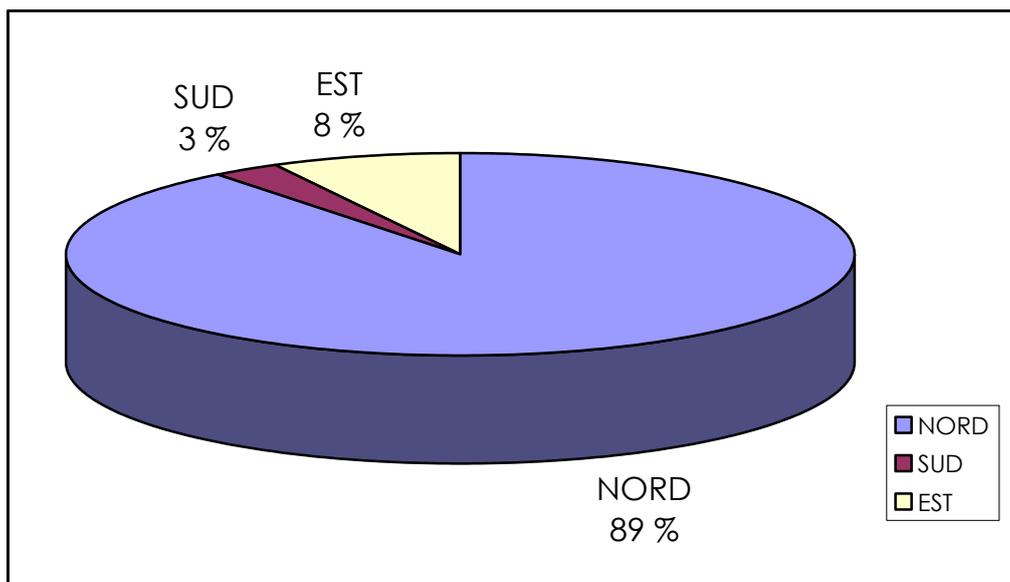
Graphique 3.4.7. Production de papier et de carton dans les pays du PAM

Quant à la production de papier de récupération dans les pays du PAM (graphique 3.4.8.), on note une augmentation de 80 % entre 1993 et 2002, puisque celle-ci passe de 8,7 à 16,3 millions de tonnes. Il convient de souligner que cette hausse débutée en 1996 s'est mise à stagner dernièrement (à partir de 2000), malgré l'augmentation de la production de papier de récupération dans les pays du nord de la région.



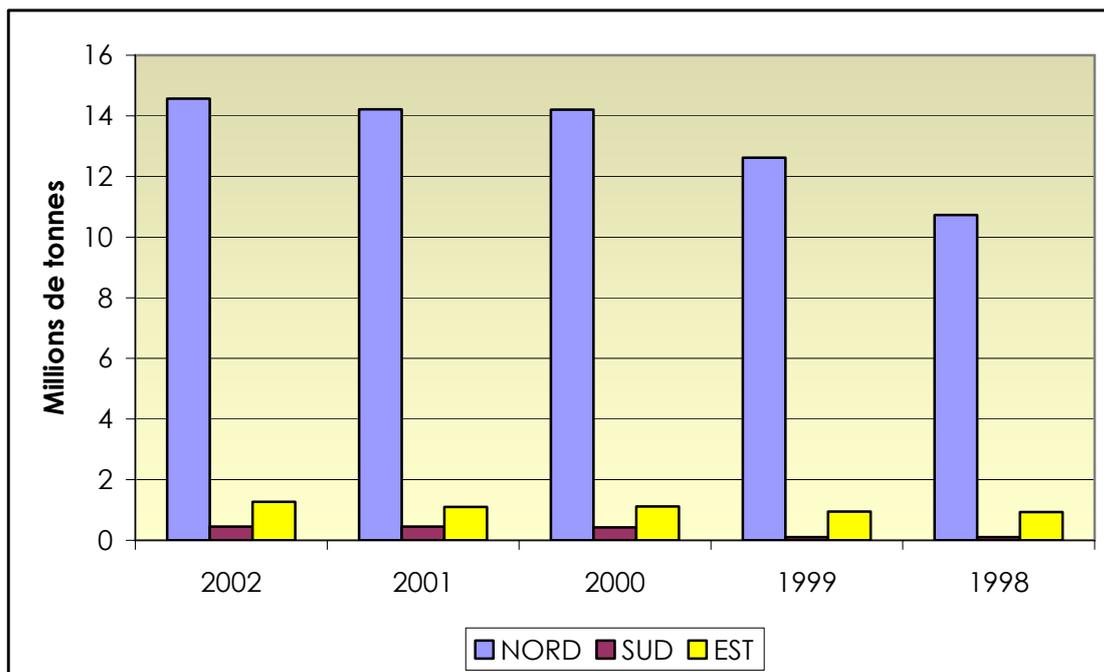
Graphique 3.4.8. Production globale de papier de récupération dans les pays du PAM

D'après les données relatives à la production globale de papier de récupération, on note une différence entre les diverses régions méditerranéennes (graphique 3.4.9.).



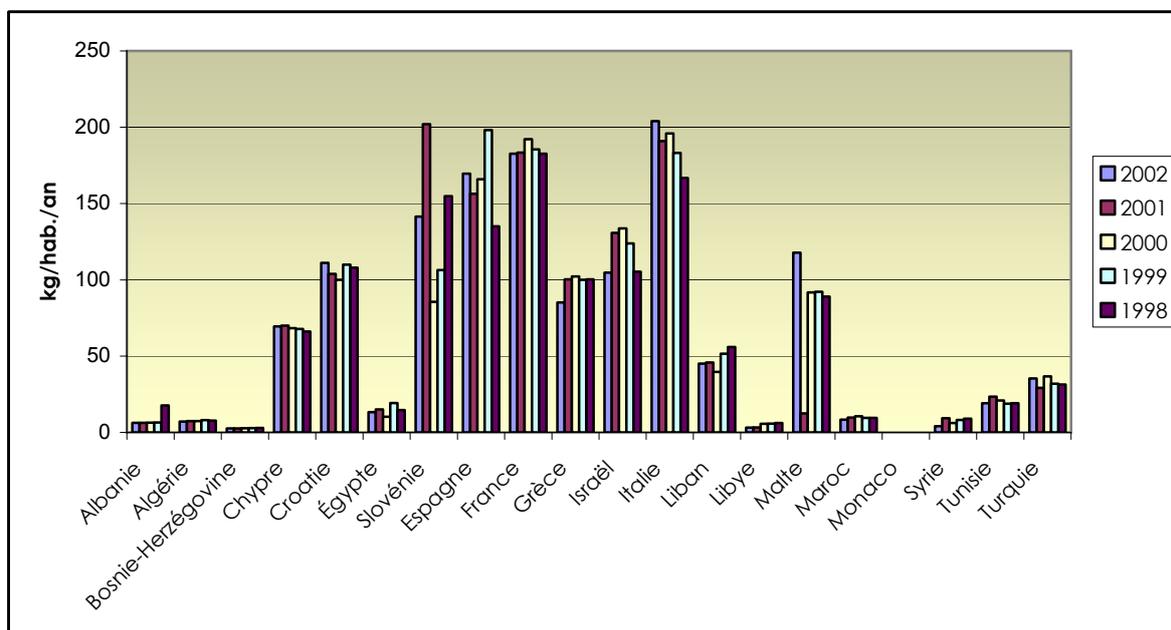
Graphique 3.4.9. Production de papier de récupération dans les pays du PAM pendant l'année 2002

Si l'on analyse l'évolution de la production de papier recyclé, par région, au fil des ans, on observe une augmentation dans toutes les zones. En 1998, la région du sud de la Méditerranée ne fabriquait pratiquement pas de papier recyclé ; en 2002, elle en produisait 453 000 tonnes. Toutefois, l'est de la Méditerranée produisait déjà 934 000 de papier de récupération en 1998, un chiffre qui a atteint 1 268 000 t en 2002.

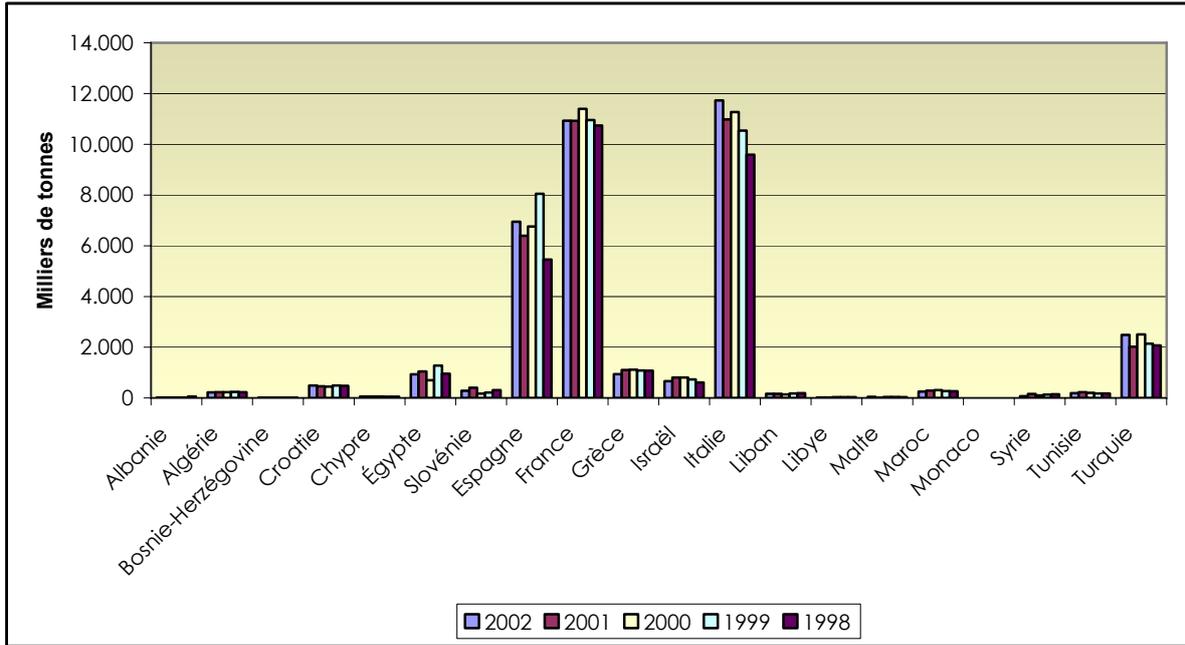


Graphique 3.4.10. Production de papier de récupération dans les pays du PAM

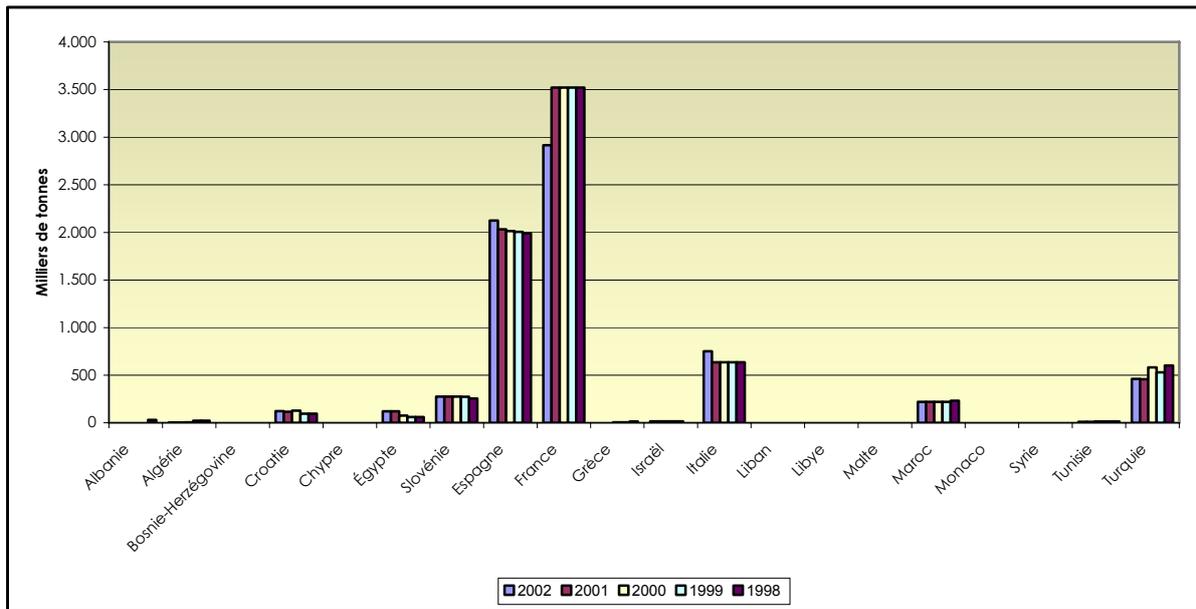
Les graphiques qui suivent présentent l'évolution de la consommation et de la production de pâte, de papier et de carton de chaque pays.



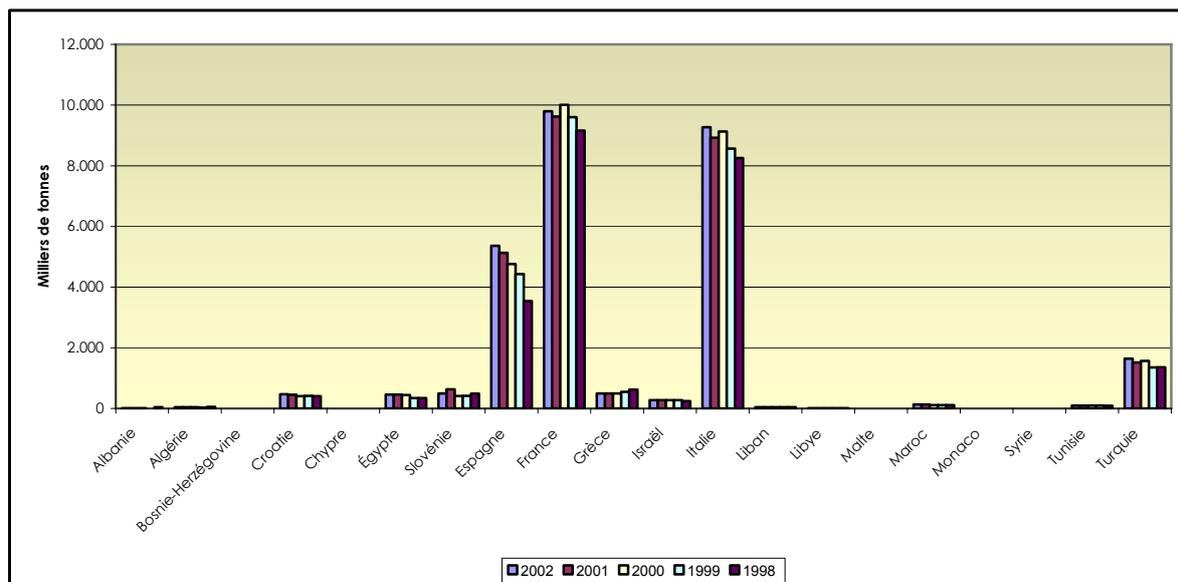
Graphique 3.4.11. Consommation de papier et de carton par habitant dans les pays du PAM



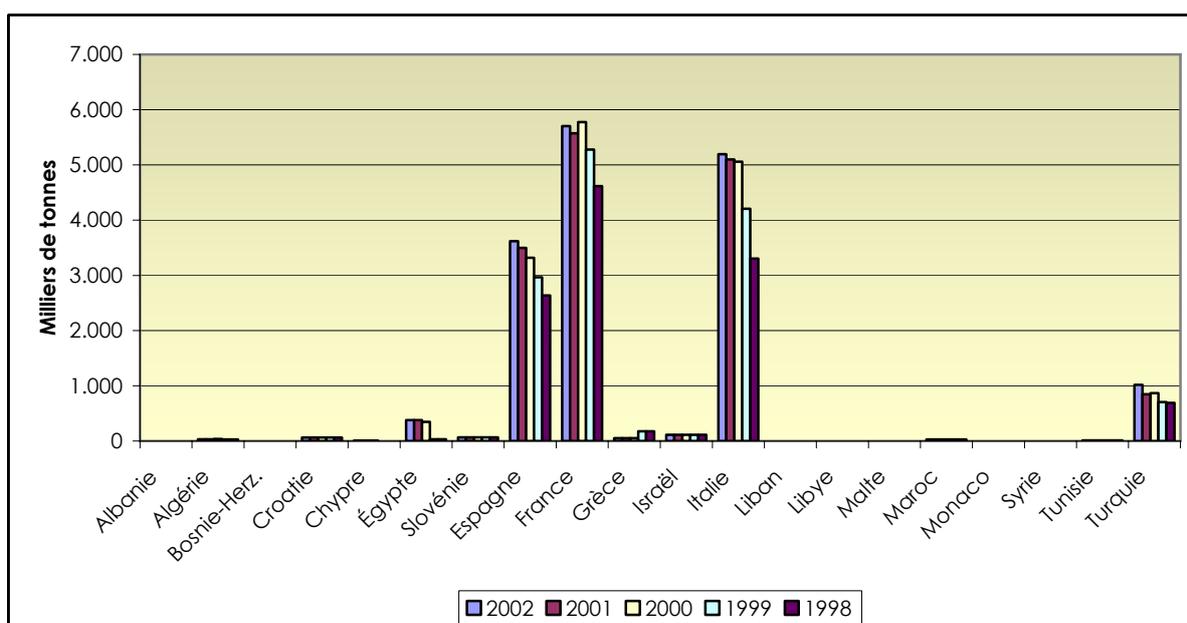
Graphique 3.4.12. Consommation de papier et de carton dans les pays du PAM



Graphique 3.4.13. Production de pâte dans les pays du PAM



Graphique 3.4.14. Production de papier et de carton dans les pays du PAM



Graphique 3.4.15. Production de papier de récupération dans les pays du PAM

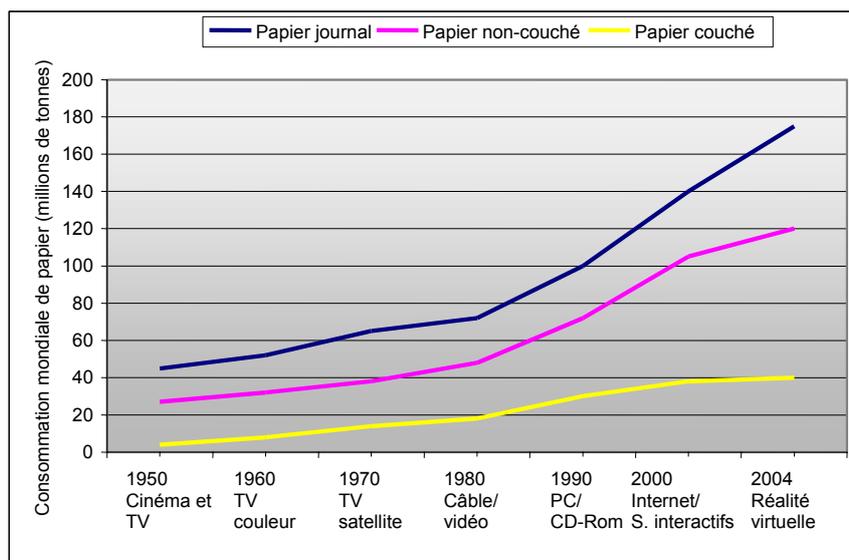
Les fabriques de papier contribuent au développement des petites communautés et des zones rurales. L'engagement des entreprises envers les communautés locales varie d'une fabrique à l'autre en fonction de la situation géographique. Par exemple, dans les pays en voie de développement, les usines peuvent cofinancer les collèges locaux, tandis que dans les pays développés, elles sponsorisent généralement les clubs de sport de la région.

Le développement de nouvelles technologies laissait supposer, dans un premier temps, une diminution de la demande de produits papetiers. Cependant, dans la réalité cet effet n'a pas été observé, bien au contraire. La communication, la culture, l'éducation, le commerce, les transports, etc., sont des domaines où l'application des nouvelles technologies de l'information donnent lieu à un développement spectaculaire. Le couple ordinateur-imprimante a transformé les foyers et les bureaux en petites imprimeries et les internautes reçoivent à domicile, bien emballés dans du papier et du

carton, les articles qu'ils achètent en ligne. Internet s'est révélé un extraordinaire réseau de vente pour les livres et les revues et les dernières technologies offrent de nouvelles opportunités au monde éditorial.

Le web est sans nul doute un moyen extrêmement efficace, rapide et peu coûteux de trouver et échanger des informations. Les ordinateurs permettent de manipuler facilement ces informations, ce qui entraîne une augmentation exponentielle du volume de données disponible, du flux d'information et de la consommation de papier. Or, il est important de faire la distinction entre les différents types de lecture. La lecture-action a pour objectif d'accéder rapidement à des données fiables en vue de prendre une décision. Dans ce cas, il est inutile de préciser que l'usage de papier est déplacé. Dans le cas de la lecture-apprentissage, les études suggèrent que l'apprentissage soit plus efficace si le support sur lequel se trouve l'information a une relation spatiale fixe avec le texte. Ainsi, en dépit d'une forte tendance à préférer la documentation « en ligne », la lecture d'une feuille dactylographiée s'avère plus efficace que la lecture de la même information sur l'écran d'un ordinateur, car en général, cette information est imprimée. Enfin, pour la lecture-détente, il existe une forte tendance à préférer les textes sur papier.

Le graphique 3.4.16. illustre l'évolution de la consommation mondiale de papier en fonction des nouvelles technologies de l'information. L'évolution constante du papier est étroitement liée aux grandes avancées techniques de la civilisation, de l'imprimerie à la bureautique. En presque deux mille ans d'histoire, non seulement le papier a su démontrer sa compatibilité avec les progrès techniques successifs, mais ces derniers ne peuvent pas non plus être dissociés du développement de nouveaux produits papetiers.



Graphique 3.4.16. Influence des avancées technologiques sur la consommation de papier

En résumé, au cours des dix dernières années, nous avons assisté à une augmentation importante de la consommation de papier qui permet aujourd'hui de prévoir un changement dans la demande associée aux différents produits, augmentant principalement le niveau de qualité dans les pays les plus développés et le niveau de nécessité dans les pays les moins avancés.

4. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

4.1. PRODUITS PAPETIERS

L'une des raisons qui expliquent l'importance du papier dans notre vie quotidienne est le nombre impressionnant d'usages qui peuvent être associés à ce produit. De même, le papier peut s'adapter aux différentes utilités que l'on peut lui donner. On peut comptabiliser jusqu'à 500 variétés différentes de papier.

Nous pouvons établir une classification des types de papiers en quatre catégories principales, tenant compte de l'usage auquel le papier est réservé :

Réipients et emballages :

- **Papiers pour carton ondulé** : papiers utilisés pour réaliser les différentes couches des boîtes en carton ondulé. Ceux-ci sont généralement fabriqués à base de papier de récupération et peuvent aussi inclure, dans des proportions différentes, de la pâte vierge.

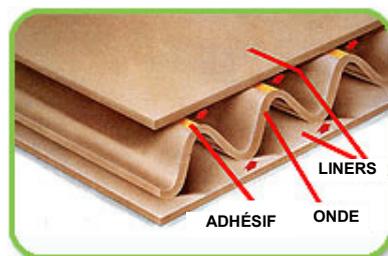


Rouleaux de carton ondulé



Carton ondulé

Le carton ondulé est une structure composée d'une ou plusieurs feuilles de papier ondulé, encollées sur une feuille ou entre plusieurs feuilles de papier ou de carton plat de surface (liners). La résistance de ce matériau repose sur le travail conjoint et vertical des différentes couches de papier. Pour une résistance accrue, l'ondulation du carton doit travailler dans le sens vertical, comme illustré sur le graphique qui suit.



- **Papier kraft pour sacs** : Papier hautement résistant, employé dans la fabrication de sacs de grande taille pour les matériaux de construction, l'alimentation animale, etc.
- **Cartonnette** : Employée dans la fabrication de petites boîtes pliables ou d'emballages. Il s'agit d'un matériau compact résultant de l'association, à l'état humide, de plusieurs couches de papier superposées, identiques ou différentes, de pâte vierge et/ou de papier de récupération, accolées les unes aux autres par compression. La cartonnette est généralement recouverte d'une couche de stuc.

Papier d'impression et d'écriture :

Utilisé pour les revues, les livres, les cahiers, les agendas, les enveloppes, les notices, les affiches, le papier de bureau, etc. Peut être couché ou non, en fonction de l'usage auquel il est réservé.

Papier journal :

Utilisé pour l'impression des journaux, il est majoritairement fabriqué à base de papier de récupération ou de pâte mécanique. Il peut être blanc ou légèrement coloré et son grammage (voir plus loin) varie traditionnellement entre 40 et 52 g/m², même s'il peut parfois atteindre 65 g/m².

Papiers hygiéniques et sanitaires, papier mousseline :

Papier fin, de faible grammage, fabriqué à partir de fibre vierge, de papier de récupération ou d'un mélange des deux. Il est utilisé pour l'hygiène personnelle (papier hygiénique, serviettes hygiéniques, couches, mouchoirs, etc.), ou dans le cadre domestique (essuie-tout, serviettes en papier, nappes, filtres à café, etc.), ou comme matériau sanitaire et de nettoyage industriel. Le crêpage augmente la superficie spécifique du papier et ouvre les fibres, permettant ainsi une capacité d'absorption et une souplesse supérieures par rapport à une feuille de papier conventionnel.



Rouleaux de papier mousseline

Il est important d'étudier les caractéristiques clés de chaque produit, lesquelles dépendent de la finalité de celui-ci. En général, les caractéristiques finales du papier sont déterminées par les

caractéristiques de ses fibres, par le procédé d'obtention de la pâte, par la présence de charges, pigments et adjuvants, et par les différentes étapes du processus de fabrication du papier.

Les propriétés les plus importantes sont les suivantes :

Propriétés structurelles

- **Grammage** : Masse de l'unité de superficie du papier exprimée en grammes par mètre carré. Cette valeur doit être constante pour l'ensemble du produit et dépend des besoins de l'utilisateur.
- **Épaisseur** : Mesure critique de l'uniformité. Ses variations affectent la résistance mécanique ainsi que les propriétés optiques et, de fait, la qualité des rouleaux.
- **Formation** : Une mauvaise formation est une mauvaise distribution des fibres dans la feuille. Ce paramètre influe donc sur la résistance, l'aptitude à supporter le couchage, les caractéristiques d'impression et la qualité du papier d'écriture.
- **Sens de fabrication** : Il s'agit de l'orientation des fibres en direction de la machine. Influe sur les propriétés mécaniques du papier.
- **Porosité** : Pour certaines applications, ce paramètre est particulièrement important : par exemple, un papier de faible porosité va poser des problèmes lors du remplissage de sacs, tandis qu'un papier très poreux va gêner l'alimentation des imprimantes fonctionnant grâce au vide.
- **Lissé** : Ce facteur détermine la qualité et le coût d'impression. Il est fonction de la teneur en fibres courtes. L'humidité représente également un paramètre primordial pour le lissé du papier.

Propriétés mécaniques du papier

- **Résistance à la traction** : Détermine le comportement du papier sous tension. Ce paramètre indique la façon dont le papier résistera aux tractions lors du passage des rouleaux sur les différents équipements, durant le processus d'impression ou lorsqu'il sera introduit dans une photocopieuse. Ce facteur est également crucial pour les papiers de conditionnement et d'emballage. Une faible résistance peut entraîner une déstratification des papiers imprimés, due au jet d'encre. La résistance à l'humidité est également importante pour les papiers hygiéniques et sanitaires.
- **Résistance à l'éclatement** : Indique la résistance à l'impact d'un instrument exerçant une pression ponctuelle sur le papier. Ce paramètre est important pour tous les produits de conditionnement et d'emballage.
- **Résistance à la déchirure** : Paramètre lié aux liaisons interfibres et à l'orientation des fibres au sein de la feuille. Ce facteur est déterminant notamment pour les papiers de conditionnement, d'emballage ou encore les livres.
- **Résistance au pliage** : Caractéristique importante pour les livres, notices, billets de banque, cartes, etc.
- **Rigidité et souplesse** : Facteurs importants permettant d'éviter que les pointes des feuilles ne se plient et gondolent, notamment suite aux jets d'encre lors de l'impression. En revanche, une feuille trop rigide posera des problèmes dans une photocopieuse.

Caractéristiques relatives à l'aspect

- **Blancheur** : Degré de blancheur des fibres utilisées et concentration en charges et en pigments. Les spécifications du papier dépendent de la finalité de ce dernier.
- **Brillance** : Le degré de brillance souhaité est également fonction de la finalité du papier. Par exemple, un niveau de brillance élevé est indiqué pour améliorer la qualité d'impression des annonces dans une revue, tandis que cette pratique est préjudiciable pour un livre.
- **Opacité** : Permet d'évaluer la quantité de lumière retenue par les particules de la feuille traversée. L'opacité peut être modifiée par raffinage ou en fonction de la proportion de charges et de colorants. Il s'agit d'une des spécifications pour papiers d'impression et d'écriture.

Influence sur les propriétés du papier

- **Humidité** : C'est également un paramètre primordial durant le couchage car il influe sur la stabilité dimensionnelle de la feuille. Ainsi, un excès d'humidité entraîne un noircissement au cours du calandrage et produit un papier très sec susceptible de se fendiller.
- **Stabilité dimensionnelle** : dépend de l'humidité et de la capacité des fibres à gonfler et à absorber l'eau.
- **Permanence du papier** : Correspond à la résistance du papier à la détérioration causée par le milieu. Le vieillissement dépend de la teneur en lignine des pâtes qui peut entraîner l'effritement et le jaunissement du papier. Ce paramètre est très important pour les papiers à usage permanent : dossiers, livres, etc.

Le tableau 4.1.1. résume les propriétés clés de chaque type de papier.

Tableau 4.1.1. Propriétés clés du papier

PAPIER DE CONDITIONNEMENT ET D'EMBALLAGE
<p>Économique</p> <p>Haute résistance : longueur de rupture, indice de déchirure et d'éclatement</p> <p>Rigidité</p> <p>Stabilité dimensionnelle</p> <p>Haute protection : faible pénétration de l'humidité, des graisses, etc.</p> <p>Faible quantité d'impuretés pour les papiers en contact avec les aliments</p> <p>Qualité d'impression satisfaisante</p>
PAPIER D'ÉCRITURE
<p>Formation satisfaisante</p> <p>Résistance et rigidité suffisantes</p> <p>Bonne résistance à la pénétration de l'encre</p> <p>Texture adéquate pour écrire et effacer</p> <p>Opacité suffisante pour éviter toute transparence</p> <p>Apparence satisfaisante, blancheur</p> <p>Permanent</p>
PAPIER D'IMPRESSION
<p>Grande uniformité permettant de contrôler le processus d'impression</p> <p>Niveaux satisfaisants d'opacité, blancheur, brillance, formation, etc., car ces propriétés influent sur la qualité d'impression</p> <p>Résistance modérée</p> <p>Stabilité dimensionnelle</p> <p>Souplesse</p>

Chaque type de produit implique des papiers dont les propriétés sont différentes. Ces caractéristiques peuvent être obtenues en optimisant la sélection des matières premières, les concentrations en charges, pigments et adjuvants ainsi que chacune des étapes du processus de fabrication, de la caisse de tête à la calandre. Sur une machine à papier, chaque réglage peut modifier, positivement ou négativement, les caractéristiques du produit. Pour répondre aux exigences de son client, le fabricant est souvent contraint de sacrifier une propriété au profit d'une autre qui lui paraît plus importante. Aussi, est-il indispensable de connaître les caractéristiques les plus importantes pour chaque produit ainsi que la façon dont celles-ci peuvent être obtenues au cours du processus de fabrication, et de comprendre les relations entre ces différentes propriétés.

En général, dans les pays du PAM, la consommation de papier et de carton est supérieure à la production. En outre, celle-ci se situe bien en deçà des consommations moyennes européennes ce qui laisse envisager une expansion de l'industrie papetière ces prochaines années, avec l'installation de nouvelles machines dans la région.

4.2. MATIÈRES PREMIÈRES

Le papier est une structure obtenue à partir de fibres végétales de cellulose. Ces dernières s'entrecroisent pour former une feuille souple et résistante. La production de la pâte est un procédé consistant à séparer les fibres ; la fabrication de papier suppose quant à elle la consolidation des fibres individuelles de la pâte en une structure intégrée sous forme de feuille souple et résistante.

La principale matière première utilisée pour la fabrication de produits papetiers est la fibre de cellulose, vierge ou recyclée (secondaire). D'autres matières premières sont également utilisées pour réduire les coûts (c'est le cas notamment des charges minérales), pour améliorer le processus de fabrication (par exemple, les adjuvants de fabrication) ou encore pour optimiser les propriétés du produit final (pigments, agents de collage, agents de couchage, etc.).

4.2.1. Matières premières cellulosiques

La matière première fondamentale pour l'obtention de fibres de cellulose est le bois. Néanmoins, il existe d'autres sources de cellulose, comme le lin, le chanvre, la ramie, la paille de céréales, la bagasse de canne à sucre, le bambou, l'alfa, le coton, etc. Les fibres agricoles constituent une importante source alternative de cellulose car les plantes dont elles sont issues se caractérisent généralement par un haut rendement et s'adaptent facilement aux différents types de sols. Elles sont en outre utilisées depuis très longtemps.

Aujourd'hui, les pâtes de fibre non-ligneuse représentent 7 %, environ, de la production mondiale de pâte de fibre vierge. Toutefois, dans les pays en développement aux réserves forestières limitées, elles peuvent représenter plus de 30 % de la production totale de pâte (*M. B. Roncero, A. L. Torres, J. F. Colom and T. Vidal, Bioresource Technology, 2003, 87, 3, 315-323; L. Paavilainen, Pulp Pap. Int., 1998, 40, 6, 61-66*). En Turquie, l'utilisation de paille a augmenté ces dernières années, représentant aujourd'hui 9 % de la production de pâte de fibre vierge (*N. S. Sadawarte, Pulp Pap. Int., 1995, 37,6, 84-95*).

D'un point de vue morphologique, les fibres de plantes non-ligneuses sont aussi diversifiées que les plantes qui permettent de les obtenir. Il peut s'agir de fibres très longues, plus longues que celles obtenues à partir de conifères ou même de fibres courtes, similaires aux fibres de feuillus. Les plantes dont l'avenir est le plus prometteur en tant que matières premières alternatives au bois sont la bagasse, la paille et le bambou. D'autres, comme l'alfa, sont utilisées parce qu'elles confèrent des propriétés spécifiques au papier.

Le bénéfice environnemental associé à l'utilisation de ces fibres alternatives n'est pas tout à fait clair pour l'instant et suscite des divergences d'opinion. D'une part, il est possible d'employer les déchets agricoles, tels que la paille, qui s'avèrent particulièrement utiles en tant que source alternative de fibres courtes.

D'autre part, ce type de plante génère des effluents liquides difficiles à traiter. Le principal problème repose sur trois paramètres : la faible capacité de ce type d'installation industrielle, le taux de silice élevé de ces plantes et le faible pouvoir calorifique des liqueurs noires produites. Ces facteurs empêchent la récupération des liqueurs noires par les méthodes traditionnelles, étant donné qu'il n'existe actuellement aucun traitement techniquement et économiquement viable de ce type de déchets.

Le bois comme matière première

Les fibres de cellulose proviennent essentiellement de la partie ligneuse du tronc. La disposition et la forme des divers composants du tronc jouent trois fonctions principales : soutenir la cime, transporter la sève et stocker les nutriments. Le tronc présente trois sections : transversale (x), radiale (r), et tangentielle (t).

L'observation de la section transversale (figure 4.2.1.) d'un tronc nous permet d'identifier facilement les éléments suivants :

- L'écorce, c'est-à-dire la partie la plus externe de la plante, en général de couleur foncée, qui ne présente aucun intérêt pour l'élaboration de la pâte à papier et qui est généralement éliminée avant le processus d'obtention de la pâte.
- Le bois, ou xylème, où l'on distingue les cernes annuels (sur les bois provenant de régions tempérées). Les fibres utilisées comme source principale de cellulose pour la fabrication du papier sont issues de cette partie du tronc.
- Au centre du tronc, se trouve la moelle.

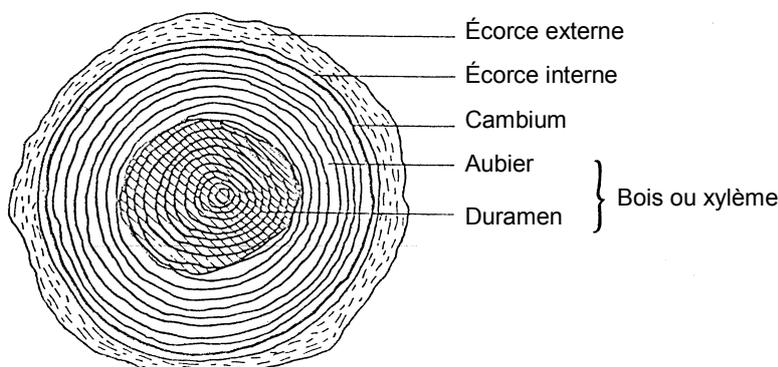


Figure 4.2.1. Section transversale d'un tronc exploitable

Les caractéristiques les plus importantes des fibres sont la longueur et l'épaisseur de la paroi cellulaire. La longueur est associée à la résistance du papier, et plus particulièrement à la longueur de rupture. Ainsi la résistance finale du papier ne dépend-elle pas seulement de la résistance individuelle des fibres mais également de leurs liaisons, optimisées par le raffinage. Le papier de fibre longue se caractérise par une structure ouverte, une perméabilité à l'air et un volume supérieurs, et présente une formation peu satisfaisante. En revanche, lorsque la paroi cellulaire des fibres est moins épaisse, cela favorise le nombre de liaisons interfibrilles.

On a cru pendant longtemps que les meilleurs bois pour la fabrication du papier étaient ceux qui produisaient les fibres les plus longues. Aujourd'hui, il a été démontré que pour certaines catégories de papier, les fibres courtes sont davantage adaptées, puisqu'elles confèrent des propriétés intéressantes telles que l'opacité ou une bonne formation. Le bois blanc des conifères (pins, sapins, cyprès, épicéas, mélèzes, séquoias, pins du Chili, etc.), produit des fibres longues. Le bois dur des feuillus (saules, peupliers blancs, peupliers noirs, noyers, bouleaux, eucalyptus, ormes, chênes

rouvres, chênes verts, chênes-lièges, etc.), donne des fibres courtes. Pour qu'une fibre soit adaptée à la production de papier, celle-ci doit mesurer au minimum 0,5 mm.

La longueur des fibres de conifères varie généralement entre 2 et 5 mm ; la longueur moyenne est de 3 mm. Les fibres longues tendent fortement à former des réseaux tridimensionnels par le biais d'un enchevêtrement mécanique ou de la floculation des fibres lorsque celles-ci se trouvent en suspension dans l'eau. La largeur des fibres varie selon qu'elles sont issues d'un bois d'été ou d'un bois de printemps. Le bois d'été produit des fibres de 20 à 30 μm et le bois de printemps de 50 à 65 μm . Le rapport longueur/largeur est donc de l'ordre de 100/1. D'un point de vue morphologique, les fibres de conifères se présentent sous la forme de rubans plats aux extrémités arrondies ou se terminant en pointe. Les fibres de conifères (appelées également trachéides) se distinguent entre elles par le nombre, la forme et la disposition des ponctuations qu'elles présentent, lesquelles peuvent être simples ou aréolaires.

La longueur des fibres de feuillus varie entre 1 et 2 mm. Leur diamètre peut aller de 10 à 40 μm , soit un rapport longueur/largeur situé entre 100/1 et 50/1. À la différence des fibres de conifères, les fibres de feuillus ont une haute teneur en constituants non fibreux. Parmi ces constituants, nous pouvons citer les vaisseaux, les segments de vaisseaux et les restes de la paroi cellulaire, qui jouent un rôle aussi bien sur la fabrication du papier que sur les propriétés finales de la feuille. Les vaisseaux présentés par les feuillus ont une longueur moyenne de 20 à 500 μm ; ces éléments permettent de différencier les feuillus des résineux. Les différences qui existent entre les vaisseaux permettent de distinguer les feuillus entre eux. Ils présentent également des cellules parenchymateuses dont les dimensions varient entre 20 et 200 μm .

De nombreuses propriétés des fibres et des fines découlent de leur composition chimique. Les pâtes de fibre de bois contiennent de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine : mélange complexe réparti sur la paroi cellulaire. La cellulose est une fibre végétale constituant les parois cellulaires des arbres et autres plantes, et qui représente 50 % de leur constitution physique. La structure chimique de la cellulose est composée de molécules de glucose agglomérées entre elles par de la lignine, substance destinée à renforcer les cellules, ce qui leur confère consistance et rigidité. L'hémicellulose fait partie de la paroi cellulaire de la cellulose : il s'agit d'une chaîne de glucose plus courte que la cellulose. Les quantités relatives de ces composants sont les suivantes : 40-50 % de cellulose, 20-30 % d'hémicellulose, 20-30 % de lignine et 1-10 % de composants extractifs, en fonction de l'essence.

Ainsi, à l'issue du processus de séparation des fibres à partir du bois, il peut rester des composants organiques, tels que l'essence de térébenthine, les résines solubles (notamment les alcalis), les amidons, les sucres, les matériaux gras ou encore les substances extractives, qui n'ont pas été totalement éliminés au cours de la fabrication de la pâte et qui vont considérablement influencer sur le processus de fabrication du papier.

La figure 4.2.2. illustre la coupe transversale d'une fibre et les différentes parois qui la composent. La composition chimique varie entre la surface et le centre de la fibre : la concentration en cellulose passe donc de 0 % à 55 %. La teneur en hémicellulose va de 10 % à 40 %, et le taux de lignine diminue de 90 % à 5 %. Ainsi, les caractéristiques chimiques de la surface d'une fibre dépendent du traitement chimique et/ou mécanique auquel elle est soumise.

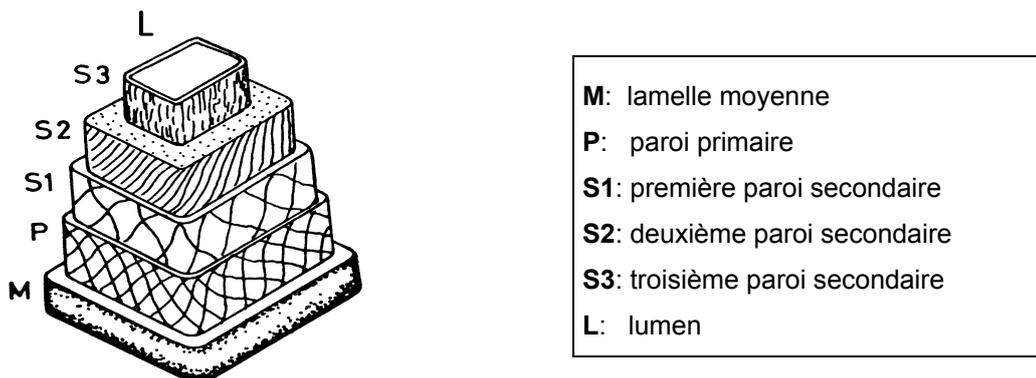


Figure 4.2.2. Coupe transversale schématique d'une fibre

Certains procédés d'obtention de pâte peuvent rompre la structure de la paroi extérieure ; les propriétés chimiques qui prédominent sont celles de la paroi S2. Toutefois, les procédés mécaniques ou chimiques doux laissent une grande partie de la couche primaire intacte, laquelle contrôle les propriétés superficielles des fibres.

Les chaînes de cellulose situées à la surface des fibres contiennent des groupes hydroxyles qui contribuent à la formation de liaisons interfibrilles dans le papier. Les groupes hydroxyles cellulodiques, qu'ils soient situés à la surface des fibres ou à l'intérieur de la paroi cellulaire, interagissent également avec l'eau et influent considérablement sur le phénomène de gonflement des fibres associé au raffinage.

La teneur en hémicellulose affecte également le gonflement des fibres au cours du raffinage en raison de son fort potentiel d'interaction avec l'eau. Ceci favorise la formation de liaisons interfibrilles dans la feuille de papier.

La lignine résiduaire influe négativement sur la capacité des fibres à se lier entre elles, inhibe le gonflement des fibres dans l'eau, brunit les pâtes et le papier, et confère aux produits finaux une forte tendance au vieillissement.

Papier de récupération en tant que matière première

Le papier de récupération constitue une autre source importante de fibres de cellulose. Lorsqu'on parle de l'utilisation du papier de récupération en tant que matière première, il convient de souligner qu'il existe une limite pratique et technique à la récupération du papier : tout d'abord, certains produits ne sont pas récupérables ; deuxièmement, une même fibre ne peut pas être recyclée plus de 4 à 6 fois, selon son état de détérioration à chaque étape du recyclage. Aussi, l'emploi de fibre vierge est, et sera toujours, nécessaire. Même si certains pays utilisent en priorité un certain type de fibre, un équilibre global adéquat est indispensable afin d'éviter la détérioration progressive des produits.



À titre d'exemple, la figure 4.2.3., représente le flux actuel des fibres en Europe ; l'objectif pour 2005 est d'augmenter la récupération et le recyclage jusqu'à (au moins) 56 % des produits élaborés à base de papier et de carton consommés en Europe. Atteindre un taux de recyclage de 56 % implique que le volume de papier usagé recyclé passe des 39 millions de tonnes actuelles à 48 millions de tonnes, soit une augmentation de 25 %.

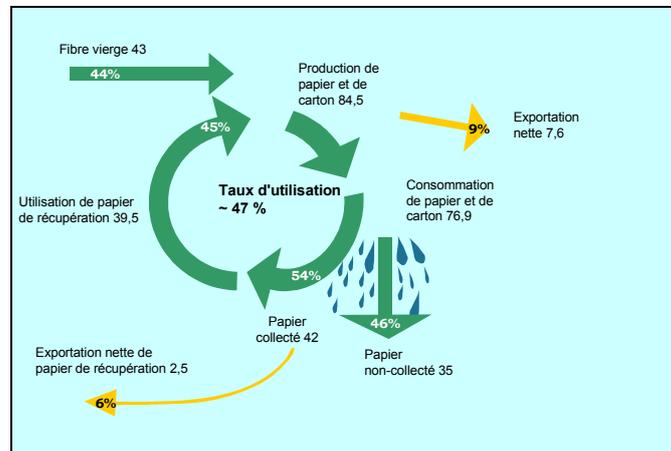


Figure 4.2.3. Flux de fibres en Europe

Le papier peut être récupéré de différentes manières :

- La collecte industrielle dans les entreprises, dans les maisons d'édition et les imprimeries, ainsi que dans les grandes surfaces ;
- Le tri sélectif par le biais de conteneurs spéciaux et la collecte « porte-à-porte » chez les petits commerçants ;
- Les collectes spéciales dans les bureaux, locaux d'organismes et institutions publiques, points propres, etc.



Bien que des efforts importants aient été réalisés ces dernières années en matière de développement du tri sélectif et de mobilisation de la collaboration citoyenne, il est encore nécessaire d'améliorer la dotation de conteneurs, d'augmenter la qualité des services de collecte et d'en promouvoir la bonne utilisation, ainsi que d'optimiser l'organisation et la systématisation de la collecte dans les petits commerces, les centres d'enseignement, les bureaux, etc.

Le niveau de traitement auquel est soumis le papier de récupération en vue d'obtenir la pâte dépend de la qualité initiale de ce papier et de la qualité du produit final. Les usines qui utilisent cette matière

première appliquent un procédé de préparation de la pâte reposant essentiellement sur l'élimination des polluants qui ont été ajoutés au papier au cours de la fabrication du produit final ou lors de son utilisation. Dans certains cas, le papier de récupération contient plus de 35 % de colorants, adhésifs et autres composants de couchage, dont l'élimination peut produire d'importantes quantités de boues pour lesquelles il est indispensable de trouver une solution adéquate afin d'éviter qu'elles ne finissent dans des sites d'enfouissement. Toutefois, même si l'utilisation de papier de récupération de faible qualité pour obtenir un produit de bonne qualité est techniquement envisageable, cette méthode ne s'avère pas toujours viable sur le plan environnemental ou économique. En général, on essaie d'utiliser le papier de récupération pour obtenir un papier de qualité identique ou inférieure.

Les papiers recyclés de basse qualité (mélanges, boîtes, cartons) sont utilisés pour fabriquer des produits d'emballage et des cartons. Les papiers désencrés (journaux, revues, catalogues) permettent d'obtenir du papier journal et du papier à usage sanitaire. Les papiers de haute qualité (chutes d'impression, papier de bureau) peuvent être utilisés pour tous types de produits.

Bien que l'utilisation du papier de récupération soit maximisée, l'emploi de la fibre vierge sera toujours nécessaire. Par conséquent, l'optimisation de l'utilisation de l'une ou l'autre source de cellulose en fonction du produit souhaité s'impose, afin de minimiser l'impact environnemental dans son ensemble. Au moment de sélectionner la matière première la plus adaptée à un produit donné, il convient de connaître la relation existant entre les propriétés de fibres, les propriétés des pâtes et les propriétés des produits.

4.2.2. Matières secondaires et auxiliaires

Même si, comme nous l'avons mentionné précédemment, la matière première fondamentale pour la fabrication du papier est la fibre cellulosique, environ 10 % à 15 % des matières utilisées aujourd'hui dans la fabrication du papier sont non-fibreuses. Parmi ces composants, les plus répandus sont les charges minérales et les pigments.

Charges minérales et pigments

Bien que les charges minérales soient utilisées depuis plus de 200 ans, leur emploi a considérablement augmenté ces dernières années. En Europe, la consommation de charges minérales et de pigments était de 15,5 millions de tonnes en 2003, soit 16 % des matières premières utilisées. En Méditerranée, le pourcentage de charges est légèrement inférieur, avec une consommation actuelle de 4 millions de tonnes, dont approximativement 3,5 millions de tonnes sont consommées dans le nord de la région, 0,4 million dans l'est et 0,1 million de tonnes dans le sud de la Méditerranée.

Les charges naturelles les plus employées incluent : les argiles ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou kaolin, talc ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), le carbonate de calcium (CaCO_3) en poudre ou précipité, qui confère au papier une meilleure résistance au vieillissement, le mica ($3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). L'utilisation de l'une ou l'autre de ces charges dépend du pH associé au procédé de fabrication, de la disponibilité, du prix et des caractéristiques finales du papier. Par exemple, le kaolin est utilisé en milieu acide tandis que le carbonate de calcium est employé dans le cadre de fabrications en milieu alcalin ou neutre, puisqu'il est soluble en milieu acide. L'utilisation de charges minérales a un objectif double :

- réduire les coûts de fabrication ;
- améliorer la qualité du papier le comblement des trous laissés par les fibres permet de diminuer la rugosité du papier, ce qui améliore la formation, l'impression, l'opacité, la stabilité dimensionnelle, la brillance et, dans certains cas, le degré de blancheur. La présence de charges favorise également l'absorption des encres en surface et diminue la pénétration du véhicule qui leur est associé vers la surface opposée.

En revanche, les pigments sont des adjuvants relativement récents, plus chers que les charges, utilisés en petites quantités pour améliorer les propriétés du papier, notamment le degré de blancheur

et la qualité d'impression. Les pigments les plus répandus sont : le kaolin structuré, le silicate synthétique, le dioxyde de titane, l'hydroxyde d'aluminium, etc.

L'efficacité des charges et des pigments durant le processus de fabrication dépend de leur faculté à se disperser en formant une suspension stable, du degré de rétention, et de leur effet sur les propriétés du papier. Cette efficacité est liée aux caractéristiques suivantes :

- **Propriétés optiques** : elles sont associées à la composition chimique, à l'indice de réfraction, à la répartition de la taille des particules et à la forme de ces dernières.
- **Taille et forme des particules** : la taille idéale est comprise entre 0,2 et 0,5 μm , même si celle-ci est généralement supérieure. Les particules poreuses ou agglomérées présentent un meilleur comportement que les grandes particules.
- **Superficie spécifique** : elle est liée à la taille, à la répartition des tailles et à la forme des particules. Influence sur la consommation des additifs pendant la fabrication et sur les caractéristiques d'impression du papier.
- **Abrasivité** : dépend de la dureté, de la taille et de la forme des particules.
- **Solubilité** : en milieu neutre ou alcalin, la plupart des charges présentent une solubilité très faible. Avec un $\text{pH} < 7$, la solubilité du carbonate de calcium augmente de façon considérable.
- **pH** : il dépend des groupes superficiels des particules en suspension et des composants dissous.
- **Énergie superficielle** : elle détermine le degré de pénétration de l'eau.
- **Pureté** : Influence sur l'abrasivité, la solubilité, la blancheur, les propriétés superficielles, etc.
- **Disponibilité et prix.**

Le tableau 4.2.1. indique que les proportions de charges utilisées varient en fonction du type de produit. En règle générale, les charges représentent 20 à 35 % et les pigments 5 à 10 %.

Tableau 4.2.1. Proportions de charges utilisées en fonction du produit

TYPE DE PAPIER	TYPE DE CHARGE	TENEUR (%)
Papier journal		
À base de fibre vierge	--	--
À base de fibre secondaire	kaolin/carbonate	5-15
Papier d'impression	kaolin/talc	15-35
Papier couché	kaolin/carbonate	10-30
Papier fin	carbonate	20-25

L'emploi intensif de charges minérales a pour inconvénient de réduire les liaisons entre les fibres, la résistance du papier et le degré de collage. Cette pratique augmente, en outre, l'abrasion dans la machine. De même, cela entraîne une augmentation de la consommation de produits chimiques et, si la rétention est faible, peut conférer un effet « double face » au papier, si celui-ci est utilisé sur une machine Fourdrinier, comme nous l'expliquerons plus loin. Suite à une augmentation des charges, non seulement la résistance du papier est altérée, mais ce dernier tend également à former de la poussière lors de l'impression, en raison d'un nombre plus restreint de fibres par unité de grammage et de liaisons interfibres moins nombreuses dans la feuille de papier.

Les particules de charge non retenues par la toile de formation posent problème car elles passent dans le circuit des eaux blanches et augmentent donc le pourcentage de particules fines lorsque ces eaux sont recyclées vers la caisse de tête de la machine à papier.

D'autre part, les charges ont tendance à se déposer dans les cuves de stockage et dans les tuyauteries de transvasement de la pâte à papier ; aussi, une bonne agitation des cuves et une vitesse adéquate du flux dans les tuyauteries sont-ils primordiaux pour pouvoir résoudre ce problème.

Additifs

Enfin, divers produits chimiques sont ajoutés aux suspensions de pâte généralement formées par les fibres cellulosiques, charges minérales et pigments. Ces produits chimiques appartiennent à deux grandes familles : les additifs fonctionnels et les adjuvants de fabrication. Les additifs fonctionnels permettent d'améliorer une propriété donnée déjà présentée par le papier, ou de conférer à celui-ci une nouvelle caractéristique. Les adjuvants de fabrication favorisent l'efficacité des additifs fonctionnels, aident à maintenir la machine à papier propre ou améliorent le fonctionnement de cette dernière en diminuant le nombre d'arrêts ou en augmentant la productivité.

Le tableau 4.2.2. recense les principaux additifs fonctionnels et adjuvants de fabrication employés actuellement, et décrit leurs principales applications.

Tableau 4.2.2. Principaux additifs fonctionnels et adjuvants de fabrication

	ADDITIFS	APPLICATION
ADDITIFS FUNCTIONNELS	Agents de collage : colle de résine + $Al_2(SO_4)_3$, anhydride alkényle succinique (ASA), dimères d'alkylcétène (AKD)	Résistance à la pénétration de l'eau à travers le papier.
	Agents de résistance à sec : amidon cationique, polyacrylamides (PAM)	Augmente la résistance.
	Résines de résistance à l'humidité : urée-formaldéhyde, polyamines, polyamides	Augmente la résistance du papier saturé en eau.
	Agents colorants et encres	Restituent la couleur voulue.
ADJUVANTS DE FABRICATION	Agents de contrôle de la poix : talc, aluminium, produits dispersants	Empêchent le dépôt de la poix.
	Agents de drainage : PAM, polyamines, amidon cationique	Optimisent l'égouttage sur la toile de formation.
	Agents de formation : polymères anioniques présentant une masse moléculaire élevée	Améliorent la formation de la feuille en réduisant la floculation mécanique.
	Agents de rétention : C et A –PAM, polyamines, amidon -C	Améliorent la rétention via un processus de floculation chimique.
	Agents antimousses	Réduisent la formation d'écume.
	Fongicides et biocides	Permettent d'éviter la croissance de microorganismes.

Parmi les adjuvants chimiques utilisés, il convient de souligner le rôle déterminant que jouent les floculants dans la partie humide de la machine à papier. Néanmoins, ceux-ci ne sont utilisés qu'à faible dose car ils agissent la productivité de la machine et la qualité du produit final. Comme leur nom l'indique, les floculants permettent de contrôler le niveau de floculation des différentes fractions présentes dans la suspension de pâte. De ce point de vue, il faut distinguer trois applications différentes : la floculation des fibres, la floculation des fines et des charges, ainsi que la floculation de la matière dissoute et colloïdale.

La floculation des fibres influe négativement sur la formation de la feuille et peut être contrôlée par des polyélectrolytes anioniques. La floculation des fines et des charges détermine le degré de rétention et

de drainage atteint dans la partie humide de la machine. Ce phénomène est obtenu par l'adjonction des polyélectrolytes cationiques de masse moléculaire moyenne ou élevée, ou de systèmes duals. En revanche, la fixation de la matière dissoute et colloïdale sur les fibres est obtenue au moyen de coagulants et de floculants cationiques de faible masse moléculaire, ce qui permet d'éviter une accumulation dans les circuits d'eau.

4.3. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION

4.3.1. Préparation de la matière première

Comme nous l'avons indiqué dans les sections précédentes, la principale matière première permettant d'obtenir du papier est la fibre cellulosique issue du bois. Le procédé de production de la pâte de cellulose consiste à séparer les fibres des matériaux non-fibreux du bois, opération réalisée par le biais de méthodes mécaniques, chimiques ou mi-chimiques. De même, les papiers utilisés peuvent être recyclés, entrant dès lors dans la catégorie des pâtes recyclées dont la préparation consiste essentiellement à séparer les éléments polluants associés aux fibres secondaires.

En fonction du procédé utilisé pour obtenir la pâte à papier, il peut être nécessaire de réaliser au préalable certaines opérations de préparation de la matière première afin d'obtenir des rondins ou des copeaux.

Dans la zone de préparation du bois, trois tâches de base sont réalisées : la réception du bois ; la préparation du bois ; la collecte de tous les matériaux rejetés lors des opérations précédentes et leur expédition en vue de leur élimination finale. Indépendamment du procédé d'obtention de la pâte, le bois doit impérativement être nettoyé, écorcé et débité.

Après la réception du bois, la première opération réalisée est le lavage des troncs en vue d'éliminer le sable et les impuretés. On procède ensuite à l'écorçage : l'écorce contient peu de fibres, présente une forte concentration en substances extractives, est de couleur foncée et contient généralement de grandes quantités de terre.

Il existe plusieurs types d'écorceuse. L'une des plus courantes est mécanique ; elle est constituée d'un tambour cylindrique rotatif incliné aux extrémités ouvertes, dans lequel les rondins sont insérés : ils s'entrechoquent et frottent les uns contre les autres jusqu'à séparation de l'écorce. L'écorce tombe alors du tambour puis est collectée en vue d'un traitement ultérieur : elle est généralement utilisée comme combustible. L'écorçage peut également être réalisé hydrauliquement, au moyen de jets d'eau à haute pression. Cette méthode génère des eaux résiduaires qui doivent être soumises à un traitement.

Les troncs, une fois écorcés, sont débités en petits rondins qui constituent la matière première pour l'obtention de la pâte mécanique de meule. Les méthodes mécaniques de raffinage ou d'obtention de pâtes chimiques nécessitent une étape supplémentaire : la production de copeaux.

Les fendeuses à bois peuvent produire des fragments de tailles diverses, mais la préparation de la pâte requiert des copeaux de dimensions spécifiques afin d'assurer la constance du flux à travers les raffineurs et un niveau de réaction uniforme dans les digesteurs. Ainsi, les copeaux passent par une série de cribles qui permettent de les classer par longueur ou diamètre : les fragments suffisamment grands sont envoyés vers les fendeuses à bois tandis que les plus petits sont utilisés comme combustible.

4.3.2. Élaboration de la pâte à papier

L'objectif des procédés d'obtention de la pâte (produit intermédiaire dans la fabrication du papier et du carton) est de séparer les fibres de cellulose du bois.

Les propriétés des produits finis, papiers et cartons, dépendent des propriétés des pâtes utilisées pour leur fabrication. Ces pâtes varient à leur tour en fonction de l'essence utilisée et du procédé employé pour leur obtention.

La séparation des fibres de cellulose du bois peut être réalisée par le biais de méthodes mécaniques, chimiques ou encore mi-chimiques, qui permettent d'obtenir différents types de pâte à papier. De même, comme nous l'expliquerons dans la section 4.3.5 de ce manuel, il est également possible d'obtenir des pâtes recyclées via des procédés de désencrage de pâte (DIP).

Les méthodes mécaniques permettent de mener à bien le défilage par l'action mécanique d'une meule (pierre) (pâtes SGW) ou d'un raffineur à disques (pâtes RMP). Ce procédé ne modifie le bois que physiquement, sans adjonction de produit chimique. La pâte obtenue par le biais de ce type de méthode est plus économique, d'une part en raison de la simplicité du processus de fabrication et, d'autre part, au rendement élevé de ce dernier (autour de 97 %). Néanmoins ces pâtes présentent un inconvénient majeur : leur qualité. Elles sont en effet peu résistantes et jaunissent facilement avec le temps.

Afin de conserver les avantages de ce procédé (notamment son rendement élevé) tout en éliminant ses inconvénients (résistance mécanique), de nouvelles méthodes de fabrication ont été développées, comme celles permettant d'obtenir des pâtes thermomécaniques (PTM), chimico-mécaniques (PCM) ou chimico-thermomécaniques (PCTM), qui impliquent un traitement thermique des copeaux de bois avant et pendant le raffinage et/ou un traitement préalable des fragments via l'adjonction de réactifs chimiques. La production de ce type de pâte augmente progressivement.

La pâte chimique, comme son nom l'indique, se distingue des autres types de pâtes à papier par le fait que la cellulose est séparée du bois au moyen d'un procédé chimique. Dans ce cas, lors de la séparation de la cellulose du reste du composant, les rendements sont largement inférieurs à ceux des pâtes mécaniques, mais la pâte obtenue est de très bonne qualité. Il y a principalement deux procédés permettant d'obtenir la pâte chimique : le procédé à base de sulfite acide ou bisulfite et le procédé kraft (alcalin). Ces deux types de pâtes représentent 71 % des pâtes produites dans le monde et 65 % dans les pays de la Méditerranée, le procédé kraft étant le plus utilisé (plus de 90 % des pâtes chimiques sont des pâtes kraft).

Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes dépend des caractéristiques finales du produit que l'on recherche.

Chacun de ces procédés d'obtention de pâte à papier est décrit de façon détaillée dans la section suivante.



Cellulose kraft écreue



Cellulose kraft blanchie

PÂTES MÉCANIQUES

Comme nous l'avons précisé, la fabrication de pâte mécanique consiste à défibrer le bois via des méthodes mécaniques et un traitement postérieur des fibres libérées. La lignine, qui lie la cellulose et l'hémicellulose, ne se dissout pas mais se ramollit simplement, permettant la libération des fibres à l'extérieur de la structure du bois. Le rendement, qui exprime la proportion de bois initiale qui reste dans la pâte, est généralement supérieur à 95 % dans le cadre de procédés purement mécaniques (pâtes SGW), et de l'ordre de 80 à 95 % en cas d'application de températures élevées et d'adjonction d'agents chimiques en vue de faciliter l'opération (pâtes PTM, PCM ou PCTM).

Les papiers élaborés à base de pâte mécanique se caractérisent par une faible densité, une grande rigidité, une grande opacité, une bonne absorption de l'encre et, en règle générale, une bonne imprimabilité. Ces papiers ne sont pas suffisamment résistants pour être utilisés comme emballages, mais présentent une rigidité satisfaisante en tant que couches intérieures de cartons multicouches. La fabrication de papier journal, de papier de revues et de couches intérieures pour cartonnette sont les applications les plus courantes de ce type de pâte.

L'utilisation de ce type de pâte dans la fabrication du papier a augmenté ces dernières années. Cette tendance devrait se confirmer dans le futur, en raison du haut rendement de ce procédé et des avancées technologiques réalisées en vue d'accroître la pureté et la résistance mécanique.

Les procédés mécaniques peuvent être classés selon deux grands groupes : ceux qui partent de troncs ou de rondins et dans lesquels l'action mécanique est liée à l'effet d'une grande pierre cylindrique ou « meule » qui tourne à une grande vitesse (figure 4.3.1.a), et ceux qui élaborent la pâte à partir de copeaux de bois et dont le défibrage est réalisé dans un raffineur à disques (figure 4.3.1.b).

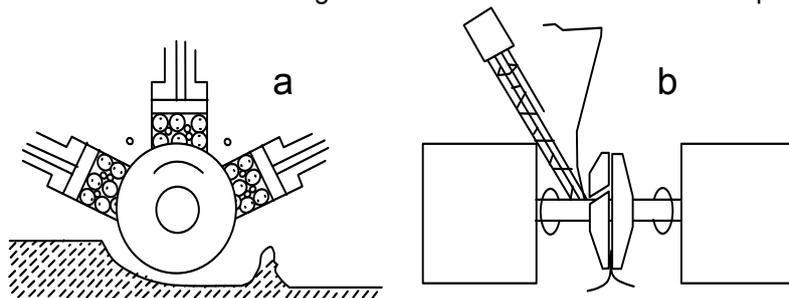


Figure 4.3.1 : Traitement mécanique du bois

Les matières premières les plus adaptées à la fabrication de pâte mécanique sont les bois tendres (le sapin est l'essence la plus utilisée), car leurs fibres sont plus longues que celles des feuillus. Bien que les différentes modifications visant à améliorer la résistance des pâtes mécaniques introduites ces dernières années permettent également d'obtenir des pâtes mécaniques à partir de bois dur, le nombre d'installations industrielles qui se consacre à cette activité est très restreint.

Pâte mécanique de meule (SGW)

La pâte mécanique de meule est obtenue à partir de troncs écorcés. On utilise une meule cylindrique possédant une surface abrasive (céramique, granit, etc.) humidifiée par des asperseurs et qui tourne à grande vitesse. Les troncs sont pressés contre la surface et le frottement de la meule entraîne, après de nombreux cycles de compression-décompression et grâce à l'augmentation de la température, le défibrage du bois.

Le niveau de défibrage peut être ajusté en fonction de la vitesse de rotation et du type de surface, de la pression du bois contre le défibreux, du débit et de la température de l'eau des asperseurs, etc. Il est primordial d'assurer un repiquage et un conditionnement réguliers de la meule afin d'obtenir des pâtes de qualité satisfaisante.

La friction entre le bois et la meule génère de la chaleur, ce qui provoque un ramollissement de la lignine et favorise la séparation des fibres. Au cours du défibrage, on ajoute de l'eau pour adoucir la friction et retirer les fibres individualisées, de façon que la chaleur produite soit absorbée et que le bois ne brûle pas. On incorpore ensuite davantage d'eau pour former une pâte facilement manipulable.

Les pâtes ainsi obtenues présentent une coloration très intense. Pour l'atténuer, les pâtes sont blanchies à l'aide de réactifs chimiques de type oxydant. Cette opération (détaillée dans la section 4.3.4) donne des pâtes suffisamment claires, aptes à la fabrication de papier journal ou de carton, qui représentent les applications les plus courantes.

Les papiers élaborés à base de ces pâtes présentent un grand inconvénient : une résistance relativement faible et une tendance à jaunir avec le temps. Toutefois, la blancheur et la résistance peuvent être augmentées si on les mélange à des pâtes chimiques.

L'avantage principal de ce procédé de fabrication est son rendement élevé, supérieur, dans certains cas, à 97 %.

Afin d'améliorer le procédé, différentes modifications ont été effectuées, telles que la pressurisation, permettant d'obtenir des pâtes de type PGW. En augmentant la pression des rondins sur les meules, la température monte davantage, au-dessus de 100 °C, favorisant ainsi le procédé et permettant l'obtention de pâtes de résistance mécanique supérieure puisque la cellulose est beaucoup moins détériorée au cours du défibrage. Une autre méthode consiste à incorporer une colonne d'eau très chaude, ce qui donne les pâtes TGW.

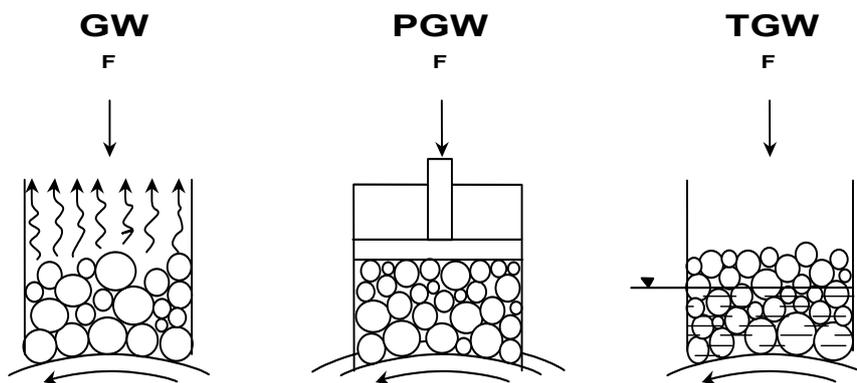


Figure 4.3.2. Procédé d'obtention de pâte mécanique

Pâte mécanique de raffineur (RMP)

Afin d'améliorer les procédés mécaniques traditionnels recourant aux meules et d'augmenter la qualité des pâtes obtenues, les procédés d'obtention de pâte de raffineur ont été suggérés. Ces derniers supposent une alimentation sous forme de copeaux, lesquels sont, dans un premier temps, lavés afin d'éliminer les cailloux, le sable et les impuretés qui pourraient endommager les disques. Les copeaux se désagrègent sous l'action mécanique de disques raffineurs. Le défibrage peut être contrôlé par le biais d'un plus grand nombre de variables. En outre, ce procédé évite de dégrader la cellulose au cours du défibrage, ce qui permet d'obtenir des pâtes plus résistantes.

Le principal équipement de ce procédé est le raffineur. Ce dispositif existe en différents modèles et comprend un ensemble de plateaux qui tournent à grande vitesse et à travers lesquels passent les copeaux en vue de leur défibrage. Parmi les modèles disponibles, quasiment 100 % des installations utilisent à des raffineurs à disques. Deux types sont disponibles : les raffineurs à disque simple ou les raffineurs à disques doubles. Les raffineurs sont très puissants et leur consommation énergétique varie de 1 500 à plus de 3 000 kW/h par tonne.

Les variables de contrôle associées à ce type de procédé sont très nombreuses. Aussi, est-il possible d'élaborer des pâtes de qualité différente en fonction de la force exercée, de la séparation des disques, du débit d'alimentation, de la vitesse de rotation, du type et du modèle des disques, du type d'alimentation et de sortie, etc.

Ce procédé suppose une forte augmentation de la température ce qui dégage de la vapeur qui, dans certains cas, est utilisée pour produire de l'énergie (cogénération).

Pâte thermomécanique (PTM)

Alors que l'on pensait initialement qu'un préchauffage des copeaux favoriserait le défibrage, il est apparu que le plus important était d'atteindre une température élevée dans le raffineur proprement dit. Ceci a permis le développement des pâtes TMP qui représentent de nos jours la principale catégorie de pâtes mécaniques.

L'opération commence, la plupart du temps, par un préchauffage des copeaux avec de la vapeur sous pression atmosphérique afin d'augmenter la température et le taux d'humidité des copeaux. Les copeaux sont ensuite lavés à l'eau chaude pour en éliminer les polluants susceptibles d'endommager les raffineurs ou de contaminer le produit. Les copeaux lavés et chauffés sont pompés vers une presse de drainage sous la forme d'un mélange d'eau et de copeaux d'une consistance de 3-4 %, et passent à l'étape de préchauffage (atmosphérique ou pressurisé) atteignant des températures comprises entre 105 et 120 °C. Enfin, les fragments de bois s'introduisent dans les raffineurs où leurs fibres sont individualisées en une ou plusieurs étapes, selon l'installation industrielle.

Afin de réduire les dépenses d'énergie, les usines modernes sont dotées de systèmes de récupération de la chaleur.

Pâtes chimico-mécaniques (PCM et PCTM)

L'introduction d'un traitement chimique permettant l'imprégnation des copeaux afin de faciliter l'opération, représente un pas supplémentaire vers le développement des pâtes mécaniques. Ces procédés permettent d'obtenir des pâtes chimico-mécaniques (PCM), lorsque le raffinage est réalisé sous pression atmosphérique, ou chimico-thermiques si le raffinage est pressurisé (PCTM).

Ce procédé se différencie par le fait qu'il inclut dans le schéma de production une étape de traitement chimique. Il existe différentes alternatives, toutefois la plus répandue consiste à introduire une étape de prétraitement des copeaux avant le défibrage en vue de faciliter l'opération et d'obtenir des pâtes de résistance mécanique supérieure. Parmi les traitements chimiques disponibles, les plus utilisés sont le sulfite de sodium pour les pâtes de feuillus et le NaOH et/ou sulfite de sodium pour les pâtes dures. Les doses de Na_2SO_3 sur bois sec varient de 1 à 20 % ; les concentrations les plus basses, comprises entre 1 et 3 %, étant les plus courantes.

Dans le cadre des procédés d'obtention des pâtes mécaniques, le traitement intensif auquel sont soumises les fibres entraîne la déformation par enroulement de ces dernières, ce qui empêche leur utilisation ultérieure pour la fabrication de papier. Pour éviter cela, les fibres subissent un traitement. L'opération consiste à maintenir la suspension de fibres à 3 % de consistance et en agitation dans une cuve de décantation à 70-80 °C, pendant environ 20 minutes.

PÂTES CHIMIQUES

La pâte chimique se distingue des autres types de pâtes à papier par le fait que la cellulose est séparée du bois au moyen de procédés chimiques. Les composants du bois qui forment la structure, principalement de la lignine, se dissolvent dans les produits chimiques, formant des liqueurs noires qui se séparent de la cellulose lors du lavage. L'introduction d'un cycle de récupération des liqueurs permet de mener à bien le procédé dans un circuit fermé et le rend viable tant sur le plan économique qu'environnemental.

Les principaux procédés d'obtention de pâte chimique peuvent être classés selon deux grandes catégories :

- **Méthodes alcalines** : la pâte kraft est le groupe le plus représentatif de ce type de pâte.
- **Méthodes acides** : les pâtes au sulfite de sodium ou bisulfite sont les plus représentatives de cette catégorie.

L'importance des pâtes chimiques découle de leur grande capacité de production au niveau mondial (150 milliards de tonnes) et la part importante qu'elles représentent sur le total des pâtes produites (71 %), dont 97 % sont obtenus via le procédé kraft.

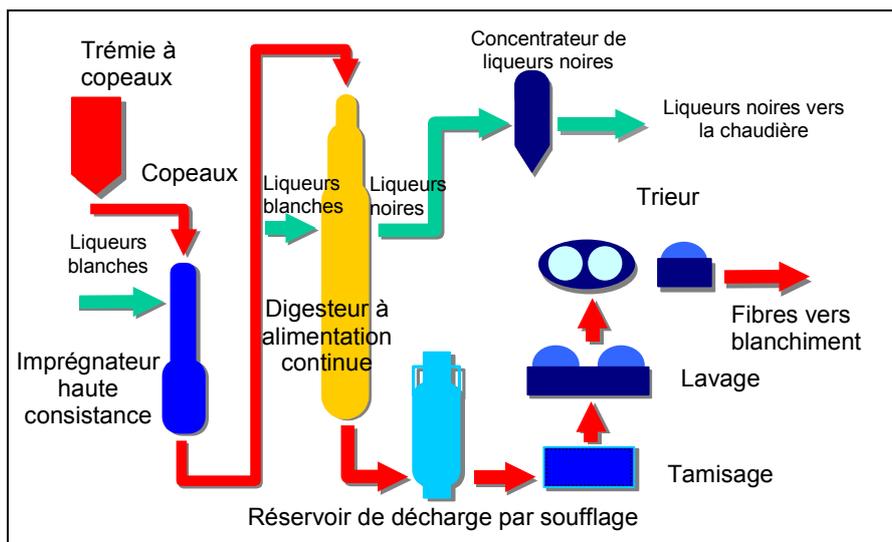


Figure 4.3.3 : Diagramme de cuisson de la pâte chimique Source : www.papelnet.cl

Les produits chimiques actifs agissent sur la lamelle moyenne du bois en dissolvant la lignine, matière permettant de lier les fibres, afin de libérer ces dernières en les gardant intactes, contrairement au procédé mécanique au cours duquel les fibres libérées en forme de torons peuvent être endommagées. Les pâtes chimiques se caractérisent principalement par une excellente résistance mécanique. D'autre part, dans la mesure où une grande partie du contenu en lignine est supprimé, les quantités résiduelles et groupements chromophores peuvent également être épurés par le biais d'opérations de blanchiment, permettant ainsi d'obtenir un niveau de blancheur élevé.

Pour dissoudre la lignine, outre les produits chimiques, on utilise de la vapeur à moyenne pression qui fait monter la température et favorise la dissolution de la lignine par les produits chimiques sélectionnés.

Cette procédure implique la cuisson des copeaux et des réactifs dans une solution aqueuse contenue dans un réacteur (digesteur) qui peut fonctionner par alimentation ponctuelle ou continue.

En cas de cuisson discontinue, le digesteur est chargé de copeaux via une ouverture supérieure, les réactifs chimiques sont ensuite ajoutés et le mélange cuit à température élevée et sous haute pression. Le produit de réaction est déchargé dans un réservoir de décharge par soufflage dans lequel a lieu la séparation des fibres agglomérées consécutive à l'expansion.

Dans le cadre de la digestion continue, les copeaux pré-cuits à la vapeur sont introduits dans le digesteur à un rythme régulier. Les copeaux et les réactifs se mélangent au niveau de la zone d'imprégnation, située dans la partie supérieure du digesteur, et se déplacent de la zone supérieure de cuisson vers la zone inférieure, puis vers la zone de lavage, avant de les alimenter par le biais d'un dispositif pneumatique dans le réservoir de décharge par soufflage.

Comme nous l'avons mentionné, les méthodes chimiques reposent sur des *substances acides ou alcalines*, en fonction du pH de travail. Les premières sont plus énergétiques, entraînent une meilleure séparation de la cellulose et peuvent être appliquées aux fines chimiques ou afin d'obtenir des papiers de haute qualité. Elles présentent cependant l'inconvénient de ne pas être applicables aux bois résineux (à pH bas) : les phénols et les acides des résines se condensent avec la lignine et forment des agrégats insolubles et colorés qui souillent la pâte. Les méthodes alcalines, en revanche, permettent d'éliminer ces substances sous forme de sels ou de phénols solubles dans des liqueurs résiduelles.

Les procédés alcalins sont les plus répandus sur le marché car ils permettent d'obtenir des pâtes plus résistantes et de récupérer les produits chimiques employés.

Les pâtes chimiques peuvent provenir de conifères ou de feuillus et peuvent être écrués (sans blanchiment) ou blanchies.

Étant donné que de nombreux composants non-fibreux du bois sont retirés au cours de ces procédés, le rendement est généralement faible (de 35 à 60 %). En revanche, les fibres autorisent un blanchiment plus efficace, sont plus résistantes et de meilleure qualité.

Les variables les plus importantes de ces procédés sont l'*intensité* du traitement (concentration, pression et température de cuisson) et la *durée* de celui-ci. Ces deux paramètres sont mutuellement liés, la qualité des fibres souhaitée étant le facteur déterminant lors du choix des conditions.

Procédés acides

Le procédé au sulfite est la méthode qui a dominé l'industrie papetière de la fin du XIX^e siècle jusqu'au milieu du XX^e. Néanmoins, celui-ci est limité par la faible variété des bois utilisables et par une plus grande difficulté de traitement des liqueurs résiduelles.

La liqueur de cuisson est formée par une solution d'acide sulfureux (H_2SO_3) et d'un ion bisulfite (HSO_3^-), généralement préparée in situ. Pour cela, on brûle du soufre élémentaire pour produire du dioxyde de soufre (SO_2), celui-ci passe à travers une tour d'absorption contenant de l'eau et une base alcaline ($CaCO_3$ (procédé original au sulfite), Na_2CO_3 , $Mg(OH)_2$, ou NH_4OH), qui produisent l'acide et l'ion et contrôlent leurs proportions.

Les solutions employées pour la digestion contiennent 1 % de SO_2 combiné et 4-6 % de SO_2 libre, de sorte qu'environ 125 à 140 kg de SO_2 soit nécessaire pour une tonne de bois.

L'absorption du gaz est réalisée par le biais d'une technique quelconque de contact solide-gaz. La plus courante recourt à des tours de calcaire -ou dolomite- arrosées d'eau à contre-courant par rapport au gaz (technique employée pour les bisulfites de calcium ou de magnésium).

Normalement la pâte de sulfite est chargée dans des digesteurs à alimentation discontinue à revêtement anticorrosion. Pour éviter toute réaction indésirable, les digesteurs sont chauffés lentement jusqu'à une température maximale de 110 à 145 °C et les copeaux sont cuits durant 6 à 8 heures, à une pression comprise entre 6 et 7 atm. Lorsque la pression du digesteur augmente, le dioxyde de soufre est purifié et se mélange à l'acide de cuisson. Lorsqu'il ne reste plus qu'environ 1,5 heure de cuisson, on interrompt le chauffage et fait baisser la pression ce qui dégage du gaz et de la vapeur d'eau. La pâte est déchargée dans une cuve, puis elle est lavée et tamisée.

Le mélange utilisé pour la digestion, appelé liqueur rouge, échange la chaleur avec l'alimentation pour récupérer de l'énergie. Les produits chimiques intervenant dans tous les procédés sont ensuite récupérés à l'exception de celui à base de bisulfite de sodium.

Pour la pâte au sulfite d'ammonium, la liqueur rouge est d'abord refroidie en vue d'éliminer le SO_2 résiduel ; elle est ensuite concentrée puis brûlée. Le gaz qui se dégage contient du SO_2 , c'est pourquoi il est refroidi ; il passe à travers une tour d'absorption où il est mélangé à une solution ammoniacale afin de régénérer la liqueur de cuisson. Enfin, la liqueur récupérée est filtrée, renforcée

en SO₂ puis stockée. L'ammoniaque ne peut pas être récupéré car il se transforme en azote et en eau dans la chaudière de récupération.

Dans la pâte au sulfite de magnésium, la liqueur concentrée brûlée permet d'obtenir de l'oxyde de magnésium (MgO) et du SO₂, qui peuvent être facilement récupérés. L'épuration des gaz de combustion génère une quantité non-négligeable de MgO. Les cendres de MgO se dispersent dans l'eau pour produire de l'hydroxyde de magnésium (Mg(OH))₂. Le SO₂ est refroidi puis mélangé à l'hydroxyde dans une tour d'absorption afin de reconstituer la liqueur de cuisson. Le bisulfite de magnésium (Mg(HSO₃)₂) est renforcé en SO₂ avant d'être stocké. Dans ce cas, il est possible de récupérer entre 80 et 90 % des réactifs.

En revanche, la récupération de la liqueur de cuisson résiduaire à base de sulfite de sodium est plus compliquée. Celle-ci est concentrée dans des évaporateurs puis la liqueur de cuisson est incinérée ; et environ 50 % du soufre est récupéré par absorption sous forme de SO₂. Le reste du soufre et du sodium est collecté au fond de la chaudière de récupération sous forme de scorie de Na₂S et de Na₂CO₃. Celle-ci est ensuite dissoute pour produire de la liqueur verte ; et après plusieurs étapes on obtient du bisulfite de sodium (NaHSO₃). Le NaHSO₃ est renforcé et stocké. Ce procédé de récupération génère des gaz sulfureux, en particulier du sulfure d'hydrogène (H₂S).

La récupération de la liqueur de cuisson doit être effectuée car son acidité, et la forte DBO qui lui est associée (en raison de sa teneur en sucres provenant de l'hydrolyse de la cellulose), et le caractère tensioactif des lignosulfonates, qui forment l'écume, n'autorisent en aucun cas le déversement de ces liquides résiduaire sans traitement préalable.

Le procédé au sulfite est actuellement supplanté par le procédé kraft pour les raisons suivantes :

- Le potentiel de pollution de ce type de procédé est largement supérieur à celui du procédé kraft en raison de la forte concentration en DBO des effluents, et des déperditions de SO₂ sous forme d'émissions atmosphériques.
- Le procédé au sulfite ne peut pas être appliqué à tous les types de pâtes.
- L'apparition de nouvelles séquences de blanchiment (notamment l'utilisation de dioxyde de chlore) permet un blanchiment très efficace de la pâte kraft offrant des pâtes plus résistantes.

Procédés alcalins

Les deux méthodes les plus courantes sont : la méthode à la soude et la méthode au sulfate, appelé également procédé kraft, ainsi que leurs variantes. Comme nous l'avons déjà précisé, la technique la plus courante est le procédé kraft : il permet d'obtenir la majorité des pâtes chimiques actuelles.

Méthode à la soude

Cette méthode, spécialement indiquée pour le bois de feuillus, constitue l'une des techniques les plus anciennes. Elle produit des fibres faciles à blanchir.

La liqueur de cuisson correspond à une solution de soude caustique à 7-8 % qui, lorsqu'elle est portée à 170 °C, dissout la lignine contenue dans le bois (par formation de lignophénolates de sodium) et une partie de la cellulose (par hydrolyse), produisant, outre la pâte, un liquide foncé appelé « liqueur noire » contenant les produits issus de la dégradation de la lignine et de la cellulose, des sels sodiques d'acides organiques complexes, des lignophénolates et l'excès de soude.

La récupération des liqueurs noires revêt une importance particulière dans cette industrie. Ces liqueurs, mélangées aux eaux du premier lavage de la pâte, sont soumises à une évaporation préalable, jusqu'à une concentration de 50 à 60 % de solides. Le liquide épais (sirop) est brûlé dans un four rotatif et la chaleur qui se dégage lors de la combustion de la matière organique permet de maintenir le régime de combustion et produit la chaleur nécessaire à l'évaporation préalable.

Les cendres et les scories qui sortent du four contiennent le sodium à l'état de carbonate. Ces cendres se dissolvent dans l'eau, et suite à l'ajout de carbonate de soude (produit plus économique que la soude) pour compenser les déperditions (10 % environ), la solution est « caustifiée » ce qui la rend à nouveau apte pour une autre cuisson.

Le procédé à la soude est décrit ci-après sous forme de schéma :

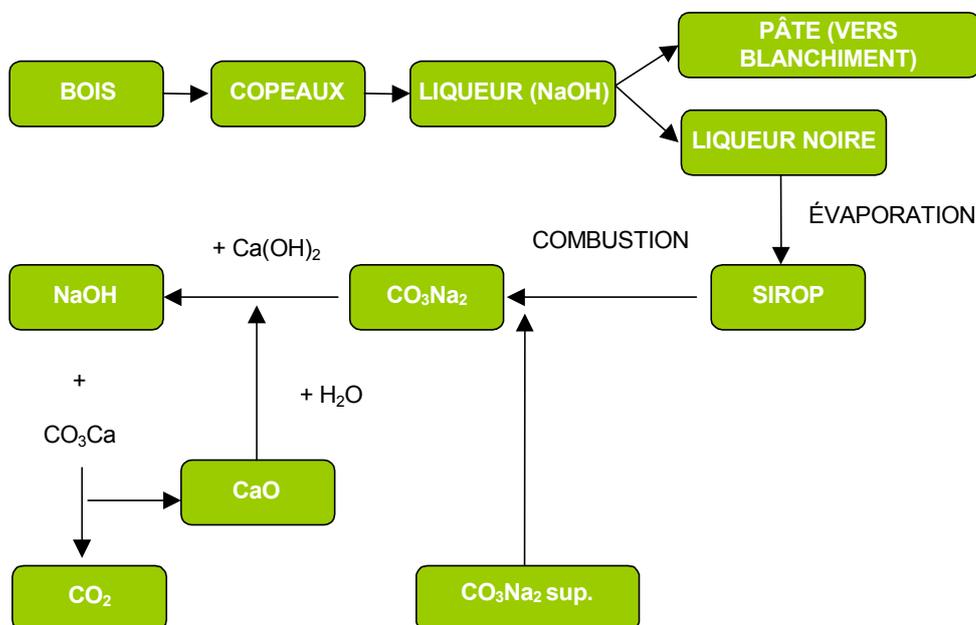


Figure 4.3.4. Schéma du procédé de fabrication de la pâte selon la méthode à la soude
Source : Introduction à la chimie industrielle. Seconde édition

Méthode au sulfate ou kraft

Parmi les procédés alcalins, le procédé au sulfate, appelé également « kraft », est le plus répandu car, comparativement aux autres techniques, il permet de produire des pâtes plus résistantes (« kraft » en allemand signifie « résistance »).

L'agent chimique de mise en pâte ou liqueur de cuisson, appelé également liqueur blanche, est un mélange d'hydroxyde de sodium (NaOH) et de sulfure de sodium (Na₂S).

Le Na₂SO₄, moins cher que le Na₂CO₃, est employé comme réactif pour compenser les pertes de réactif. Par réaction avec le carbone présent dans les produits du four, le Na₂SO₄ est réduit en Na₂S. Après avoir été « caustifiée », la solution contient donc du NaOH et du Na₂S, réactifs solubilisants de la lignine.

Tableau 4.3.1. Composition de la liqueur blanche utilisée pour le procédé de mise en pâte kraft

Composant	Fonction
NaOH	Agent de mise en pâte primaire
Na ₂ S	Accélérateur, augmente le rendement en cellulose et hémicellulose, action protectrice
Na ₂ CO ₃	Présent en conséquence du système chimique de récupération
Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ S ₂ O ₃	Traces

Les liqueurs de cette composition agissent plus efficacement que la soude, car elles constituent une sorte de solution tampon qui fait référence au contenu en OH⁻ car plus les OH⁻ sont consommés lors de l'attaque du bois, plus il en est produit en libérant du NaOH par hydrolyse du sulfure de sodium.



Figure 4.3.5. Réaction hydrolytique du sulfure de sodium

Conditions du procédé : 7-10 atm, 180 °C, 0'5-2 heures, en fonction de la température et des proportions d'alcalis et de sulfure de sodium.

Cette méthode offre une délignification plus rapide que celle au sulfite, et n'entraîne qu'une faible dégradation de la cellulose. L'hémicellulose est retenue en grande partie, agissant comme un agent de liaison, ce qui confère une grande résistance à la fibre.

La cuisson de la pâte kraft peut être réalisée dans des digesteurs à alimentation continue (de type Kamyr) comme dans des digesteurs à alimentation discontinue (Batch).

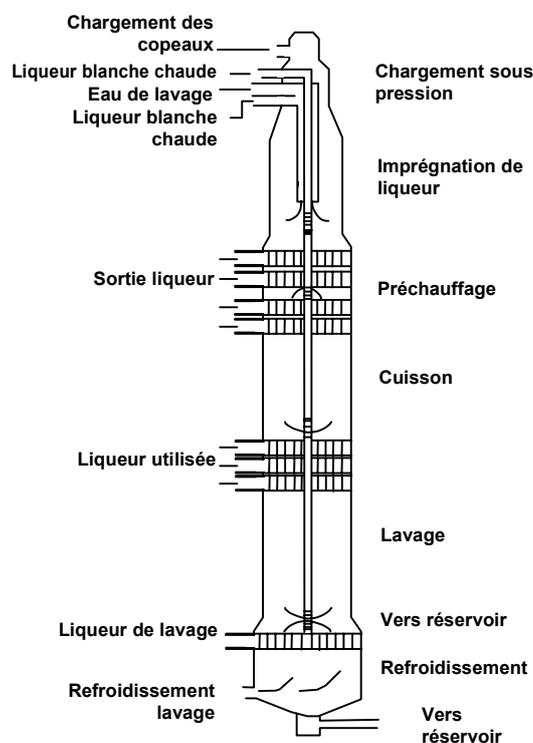


Figure 4.3.6. Digesteur Kamyr. Source : Chimie industrielle

Dans les digesteurs à alimentation discontinue, les copeaux et la liqueur blanche sont chargés à l'endroit où a lieu la cuisson, à une température donnée et sous une pression déterminée, en fonction du degré de délignification souhaité. Une fois la quantité de lignine voulue obtenue (exprimée par un indice Kappa), le contenu est déversé dans un réservoir de décharge et le cycle de cuisson reprend avec une nouvelle alimentation en copeaux. La quantité de lignine qui reste dans la pâte peut être déterminée, de façon approximative, en multipliant l'indice Kappa par 0,165 (Uhlmann, 1991). Ainsi, par exemple, un indice Kappa de 30 équivaut à une teneur en lignine résiduaire de 4,95 %.

Lorsque la cuisson a lieu dans des digesteurs à alimentation continue, la teneur en lignine qui résulte de ce processus est définie par la charge de bois/réactif chimique, par le temps de rétention ainsi que par la température de cuisson. Dans ce cas, les copeaux sont préchauffés à la vapeur avant leur

introduction dans le digesteur, de façon à évacuer l'air susceptible d'interférer dans le processus d'imprégnation. Une fois dans le digesteur, les copeaux sont imprégnés de liqueur de cuisson à une température de 155-175 °C. Le temps de cuisson, à température maximale, est de l'ordre de 1 à 2 heures. Dans les processus de cuisson conventionnels, la délignification du bois de conifères peut atteindre un indice Kappa de 30 à 35, offrant une pâte dont la résistance est acceptable. Pour les bois de feuillus, l'indice Kappa peut être compris entre 14 et 22.

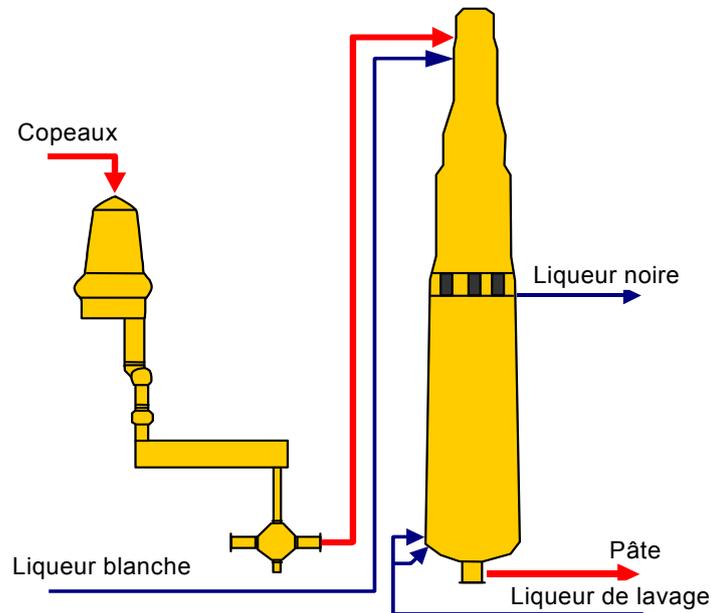


Figure 4.3.7. Digesteur à alimentation continue procédé kraft. Source : BREF

Après la cuisson, la pâte est tamisée afin de séparer les morceaux de bois non-digérés. Elle est lavée en vue de filtrer le mélange de cuisson (liqueurs noires) puis elle subit un blanchiment ou est acheminée vers la machine de production de pâte. Le bois non-digéré retourne dans le digesteur ou dans la chaudière pour être brûlé et produire de l'énergie.

L'un des principaux avantages du procédé kraft est la récupération des liqueurs noires, qui permet non seulement de récupérer les produits chimiques, mais aussi d'exploiter le pouvoir calorifique de ces liqueurs pour produire la vapeur nécessaire à l'opération.

Le système de récupération du procédé kraft présente trois fonctions :

- récupération des réactifs chimiques ;
- destruction de la matière organique dissoute et récupération de l'énergie sous forme de vapeur ou d'énergie électrique ;
- récupération des sous-produits organiques exploitables.

La liqueur noire récupérée dans le digesteur contient des substances organiques dissoutes dont la composition chimique exacte dépend des caractéristiques de l'essence d'origine et des conditions de cuisson. En règle générale, la liqueur noire présente une teneur en solides dissous de 14 à 18 %, qui doit être considérablement concentrée avant la combustion. La liqueur noire est concentrée par évaporation multi-effet jusqu'à obtention d'un volume solide de 65-75 %. Or, à mesure que la teneur en solides augmente, il convient de tenir compte du fait que la viscosité de la liqueur noire augmente aussi et peut s'avérer trop importante pour que le liquide puisse être pompé. Sous pression atmosphérique, la limite se situe aux alentours de 72-74 % de solides. La liqueur noire peut être concentrée jusqu'à une teneur en solides de 80 % via des superconcentrateurs, qui appliquent des températures et des pressions supérieures.

Les condensats provenant de l'évaporation des liqueurs noires présentent un niveau de pollution différent selon leur origine. Ils contiennent généralement des composés de soufre intégralement réduit, du méthanol et d'autres composés volatiles. Avant d'être utilisés comme eau dans le processus ou d'être déversés, on procède à une désorption ou « stripping ». Les vapeurs émanant de cette opération sont incorporées dans la chaudière à écorces, ou à liqueur, afin de les éliminer.

La liqueur noire concentrée, à laquelle on ajoute du sulfate de sodium (Na_2SO_4), est introduite dans la chaudière de récupération en vue de sa combustion ultérieure, afin de récupérer le sodium et le soufre, et de produire de l'énergie à partir des gaz de combustion.

Une augmentation de la teneur en solides des liqueurs noires concentrées de 65-70 % à 80-85 %, modifie les équilibres de matière et d'énergie ainsi que les conditions de combustion de la chaudière de récupération. Moins on introduit d'eau dans la chaudière, plus le flux de gaz de combustion généré est réduit. Plus le contenu en solides dans la liqueur noire est élevé, plus la température de combustion obtenue est importante, ce qui permet de vaporiser une plus grande quantité de sodium, lequel réagit avec le soufre et reste prisonnier des cendres. C'est ainsi que sont réduites les émissions de soufre qui émanent de la chaudière.

La matière fondue provenant de la chaudière de récupération se dissout dans l'eau ou la lessive faible pour produire la liqueur verte, composée principalement de sulfure de sodium (Na_2S) et de carbonate de sodium (Na_2CO_3). La liqueur verte est clarifiée et « caustifiée » à l'hydroxyde de calcium, ce qui transforme le carbonate de sodium en hydroxyde de sodium afin de produire les liqueurs blanches utilisées pour la digestion.



Figure 4.3.8. Caustification

Les cendres et autres impuretés sont éliminées du processus par décantation de la liqueur verte. Les boues de carbonate de calcium issues de la caustification sont séparées par filtration des liqueurs blanches, lavées puis calcinées dans un four à chaux afin de produire de la chaux vive. L'oxyde de calcium réagit avec l'eau, ce qui permet d'obtenir de l'hydroxyde de calcium, employé dans le processus de caustification. La calcination des boues a lieu dans un four rotatif alimenté au combustible (coke, charbon, fuel ou gaz).

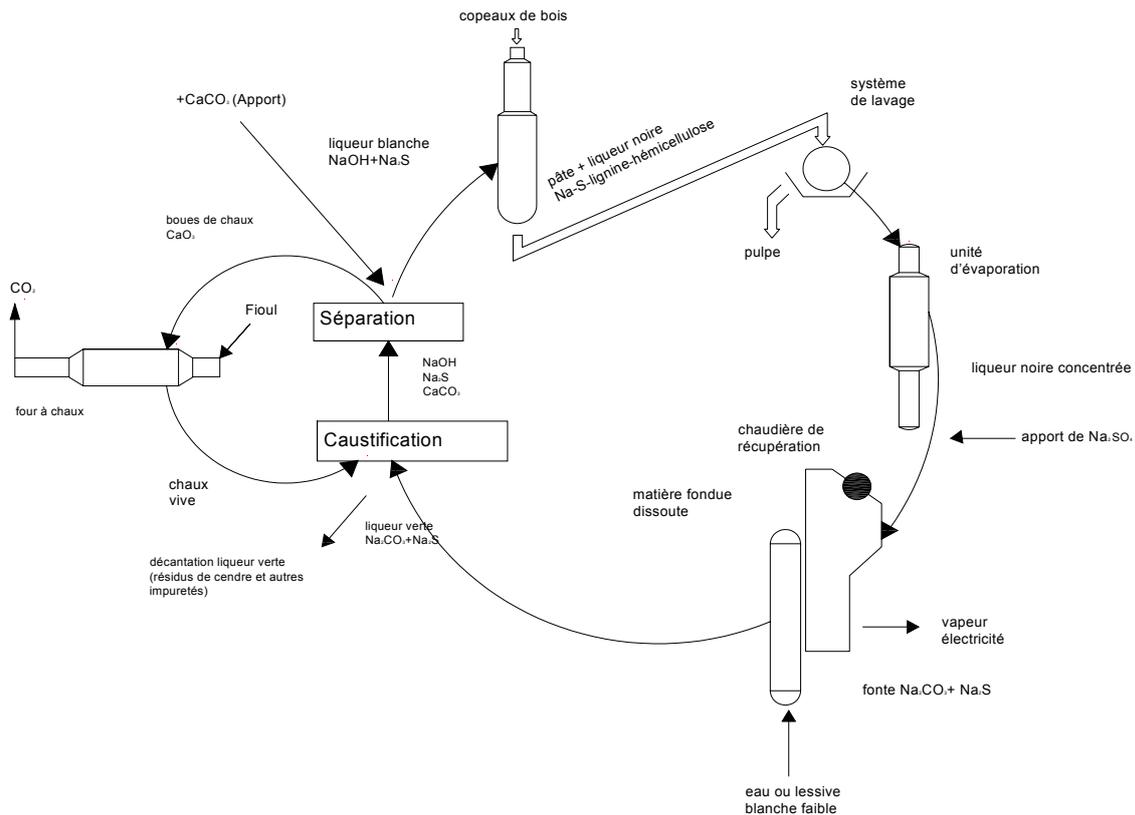


Figure 4.3.9. Procédé kraft

Le degré d'élimination de la lignine (délignification) de chaque cuisson est une variable prédéterminée en fonction de l'essence employée et de la destination finale de la pâte fabriquée (blanchie ou non).

La cuisson kraft génère divers gaz et vapeurs malodorants dérivés du soufre (sulfure d'hydrogène (H₂S), méthylmercaptan (CH₃SH), diméthylsulfure (CH₃SCH₃) et diméthyldisulfure (CH₃SSCH₃)) dont la récupération et l'élimination dans les installations auxiliaires prévues à cet effet sont indispensables afin d'éviter leur émission dans l'atmosphère (cette question fait l'objet d'une section spécifique).

Le procédé kraft présente les avantages suivants :

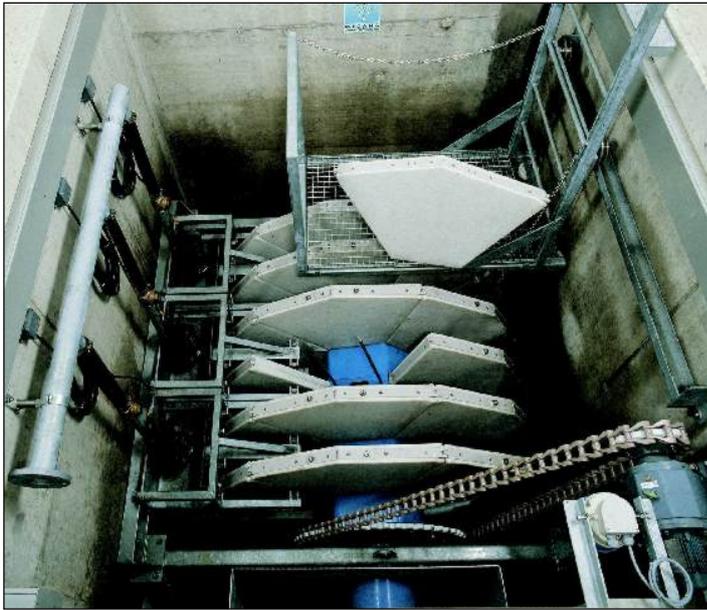
- il permet l'utilisation de tout type de bois, ce qui offre une grande souplesse en termes d'approvisionnement en bois ;
- il permet de tolérer une quantité relative d'écorce sur les copeaux ;
- les temps de cuisson sont courts ;
- la pâte présente une bonne résistance ;
- il rend possible la récupération des liqueurs noires ;
- il permet la fabrication de produits secondaires exploitables.

Lavage de la pâte écrue

À la fin de la cuisson, la pâte se présente sous la forme d'une masse foncée, constituée de pâte proprement dite et de liquide ou liqeur de cuisson résiduaire de couleur foncée également et dont les

principaux composants sont : eau, produits chimiques résultant de la cuisson et matières organiques dissoutes du bois, dont la lignine.

Le lavage consiste à séparer avec de l'eau la majorité des produits chimiques résiduels ainsi que les matières organiques dissoutes au cours de la cuisson du bois afin de les envoyer vers le circuit de récupération des produits chimiques de l'usine. Toutefois, le lavage a un double objectif : filtrer les restes des réactifs associés à la pâte avant de les incorporer dans d'autres étapes du processus, par exemple le blanchiment, et la récupération maximale de réactifs dans le circuit de récupération des liqueurs noires.



Le lavage est réalisé en plusieurs étapes au cours desquelles sont employés divers équipements : filtres rotatifs (parmi les plus utilisés), diffuseurs et/ou presses de lavage. Dans les filtres rotatifs, les fibres de pâte déposées sur la partie extérieure du tambour forment une galette sur laquelle sont successivement pulvérisés des rideaux d'eau chaude au moyen de systèmes d'arrosage disposés tout le long du tambour. Les produits chimiques de la pâte sont éliminés par l'eau de lavage, au moment où celle-ci s'écoule en traversant la galette de pâte pour passer à l'intérieur du tambour grâce au vide exercé de l'intérieur et à la pression de la chambre d'air située au-dessus du tambour. L'eau s'écoule à l'intérieur du tambour emportant avec

elle les produits chimiques, appelés lessive faible, elle circule dans le sens opposé à la pâte, et est finalement évacuée vers les réservoirs de stockage en vue d'être expédiée vers une station de récupération des liqueurs noires.

Les opérations réalisées dans les digesteurs à alimentation continue, outre le lavage supplémentaire à l'aide de filtres rotatifs, utilisent une zone du digesteur comme zone de lavage. Aujourd'hui, dans les processus discontinus comme continus, le lavage commence pratiquement dans les digesteurs, déplaçant la liqueur noire chaude avec la liqueur froide de lavage.

Les presses de lavage sont particulièrement efficaces pour éliminer les substances organiques dissoutes. C'est l'une des raisons pour lesquelles ce type de presse de lavage est de plus en plus utilisé, notamment dans les dernières étapes du lavage avant blanchissage afin d'éviter que ces substances ne viennent avec la pâte.

Un lavage efficace implique la réduction du volume de liqueur noire dans la pâte écrue, ce qui permet une diminution de la consommation d'agents blanchissants chimiques et donc une réduction de leurs déversements.

Délicatification à l'oxygène

Les usines de cellulose modernes, qui produisent des pâtes écrues destinées à être blanchies, incluent cette étape dans le processus complémentaire de délicatification à l'oxygène. Celui-ci consiste à appliquer de fortes doses d'oxygène à la pâte écrue afin de produire une oxydation de la lignine préalablement au blanchiment. Ce procédé permet de réduire considérablement la consommation de réactifs chimiques lors du blanchiment.

Cette étape intermédiaire emploie comme agent actif l'oxygène en milieu alcalin dans un réacteur pressurisé, à une température d'environ 100 °C, auquel sont ajoutées de petites quantités de sulfate de magnésium ($MgSO_4$) en vue de préserver la qualité et la résistance de la pâte produite.

La délignification à l'oxygène peut être réalisée en une ou deux étapes. Généralement, l'intervalle de délignification dans les usines de pâte à blanchir varie entre 30 % et 50 % dans les systèmes à une étape, et peut aller jusqu'à 70 % dans les systèmes à deux étapes.

Suite à une cuisson traditionnelle et une délignification à l'oxygène, l'indice Kappa se situe entre 18 et 22 pour les bois de conifères, et entre 13 et 15 pour les feuillus, en l'absence d'une délignification prolongée. Selon l'essence, la délignification à l'oxygène, associée à une cuisson prolongée, peut permettre d'atteindre un indice Kappa aux alentours de 8-12.

À l'issue de la délignification, la pâte est lavée afin d'éliminer la matière organique et les produits chimiques qu'elle contient avant d'être envoyée vers le processus de blanchiment.

L'utilisation de ce procédé présente les avantages suivants :

- la délignification supplémentaire après la cuisson offre une plus grande sélectivité que la cuisson prolongée ;
- réduction des émissions de l'unité de blanchiment ;
- diminution de la consommation de réactifs de blanchiment ;
- augmentation du niveau de blancheur dans une séquence de blanchiment donnée ;
- plus faible contenu en éléments non-cuits et extractifs, permettant de conserver la résistance de la pâte à papier.

4.3.3. Tamisage et épuration des pâtes

Quelle que soit son origine, la pâte écrue contient inévitablement des composés solides indésirables qui sont éliminés par le biais des opérations de tamisage et d'épuration. Ces composés indésirables sont les nœuds, les torons de fibres ou d'éléments non-cuits, l'écorce, le sable, les pierres, le charbon et les cendres, les extractifs, les métaux, les plastiques, etc. Ces composés peuvent endommager les équipements ou entraîner des problèmes de qualité au niveau du produit final, et doivent donc être exclus du processus. Tous ces polluants sont supprimés au moyen de tamis, pour les éléments de grande taille, ou à l'aide d'épurateurs, pour éliminer les composants dont la densité est différente de celle de la cellulose (plus faible : c'est le cas notamment des plastiques, ou plus élevée : comme pour le sable).

L'objectif global de ces deux opérations est de retirer de la suspension de pâte la plus grande quantité de polluants possible, mais avec le moins de rebus possible. Les rebus, selon leur nature, sont réintroduits dans le processus ou gérés en tant que déchets.

Le principe de fonctionnement des tamis consiste à faire passer la suspension de pâte à travers un tamis dont la taille des trous ou des rainures est suffisante pour laisser passer la cellulose et retenir les polluants les plus gros. Afin d'optimiser ce système, il existe divers types et modèles de tamis et la pâte est travaillée via une batterie d'équipements qui fonctionnent généralement en cascade. Les plus utilisés actuellement sont les tamis pressurisés et les tamis centrifuges.

L'épuration s'effectue sous l'action de la force gravitationnelle dans des hydrocyclones ou des épurateurs centrifuges qui fonctionnent à basse consistance (0,3-1,5 %). En règle générale, l'installation comprend un ensemble de cyclones de 50 à 300 mm de diamètre, disposés en cascade, capables de traiter des débits allant de 1 à 10 l/s.

4.3.4. Blanchiment

Pour produire des pâtes de haute qualité et présentant un niveau de blancheur élevé, il est nécessaire de recourir à des méthodes de blanchiment qui poursuivent la délignification de la pâte, commencée lors de la cuisson, pendant les premières étapes du blanchiment. De même, il convient d'employer des agents permettant de dissiper la couleur résiduaire de ces pâtes. Le blanchiment permet d'éliminer les composés capables d'absorber la lumière visible ou de réduire la capacité du papier à absorber la lumière.

Le blanchiment total de la pâte est réalisé via une série d'étapes. Chaque étape implique l'utilisation de produits chimiques et l'application de conditions de concentration, pH, température, temps de rétention, etc. différents. Toutefois, ces phases tiennent toujours compte du compromis entre l'augmentation du degré de blancheur et la perte de propriétés mécaniques due à la dégradation des fibres de cellulose.

Le processus de blanchiment suppose nécessairement une diminution du rendement puisqu'une grande partie de la lignine qui reste dans la pâte écrue est éliminée et qu'une partie des fibres de cellulose est dégradée par les agents chimiques intervenant dans le processus. Généralement, pour atteindre un degré de blancheur ISO de 87-90 %, les pertes de pâte au cours du blanchiment se situent entre 5 % et 9 %.

La blancheur de la pâte est mesurée en fonction de sa capacité à refléter la lumière monochromatique par rapport à un étalon connu (la valeur 8 correspond au noir de charbon et 100 à l'oxyde de magnésium pur). Une pâte écrue se caractérise par un degré de blancheur d'environ 30 % ISO alors que la pâte blanchie présente des degrés compris entre 88 % ISO et 91 % ISO. Les pâtes au sulfite peuvent donner des valeurs allant jusqu'à 94 % ISO lorsqu'elles sont blanchies, tandis que la pâte kraft écrue atteint tout juste 15 % ISO.

La séquence de blanchiment utilisée dépend du type de pâte :

- **Blanchiment de pâte mécanique ou chimico-mécanique** : comme ces pâtes contiennent quasiment la même quantité de lignine que le bois d'origine (blancheur = 50-60 % ISO), le traitement augmente le niveau de blancheur de 10-12 points seulement, pour ne pas trop solubiliser de lignine. La lignine résiduaire enlève de la blancheur aux produits, qui foncent avec le temps.
- **Blanchiment de pâte chimique** : dans ce cas, une solubilisation partielle est inévitable tout comme la perte de rendement qui en découle.

Comme nous l'avons précisé, le blanchiment est réalisé à travers une série d'étapes (séquence), en utilisant des produits chimiques différents et dans des conditions différentes pour chaque étape. Les traitements chimiques les plus courants et leur abréviation sont énumérés ci-après :

Tableau 4.3.2. Agents de blanchiment

Agent blanchissant	Réaction
Chloration (C)	<p>Réaction avec du chlore élémentaire en milieu acide. Lorsqu'elle se mélange à la lignine, la chloration forme des composés chlorés qui deviennent ensuite solubles dans l'eau.</p> <p>Son utilisation est règlementée dans de nombreux pays.</p>
Extraction alcaline (E)	<p>Dissolution des produits de réaction du NaOH. Transforme les composés chlorés en substances solubles. Cette étape s'accompagne généralement d'une adjonction d'agents chimiques tels que l'oxygène et/ou le peroxyde d'oxygène. Dans ce cas, cette phase est désignée sous l'abréviation Eo/Eop.</p>
Hypochlorite (H)	<p>Réaction avec de l'hypochlorite dans une solution alcaline.</p> <p>L'hypochlorite est un véritable agent blanchissant car il détruit certains groupements chromophores associés à la lignine.</p> <p>Son application est limitée aux pâtes à haut rendement car après avoir attaqué les groupements chromophores, il dissout la lignine et, malheureusement, attaque aussi la cellulose.</p> <p>Afin de garantir que l'hypochlorite ne détruira pas la cellulose, un contrôle optimal du pH s'impose. Généralement, on ajoute un supplément de soude caustique pour s'assurer que le pH final sera supérieur à 9.</p> <p>Son utilisation dans les processus de blanchiment est en cours d'éradication, en raison de l'émission de chloroforme et de son faible potentiel oxydant.</p>
Dioxyde de chlore (D)	<p>Réaction avec du dioxyde de chlore en milieu acide. Son action s'apparente à celle du chlore mais son effet sur les fibres est moins préjudiciable. Sur le plan environnemental, cet agent génère moins de déchets puisque 1 kg de dioxyde de chlore a le même pouvoir oxydant que 2,63 kg de chlore.</p>
Peroxyde (P)	<p>Réaction avec les peroxydes en milieu alcalin. Utilisé dans le cadre d'une étape supplémentaire de blanchiment ou pour renforcer l'étape d'extraction E.</p> <p>Les peroxydes sont employés pour blanchir les pâtes chimiques et les pâtes à haut rendement. Lorsqu'il est appliqué dans des conditions relativement douces (35-55 °C), le peroxyde est un agent blanchissant efficace qui améliore la blancheur des pâtes mécaniques ou à forte teneur en lignine, en préservant cette dernière sans perte de rendement significative.</p> <p>Le pH influe énormément sur ce processus : pour un résultat optimal, un pH 10,5 est recommandé. La concentration en ions perhydroxyle actifs augmente avec le pH en fonction de la réaction : $H_2O_2 + OH^- \rightleftharpoons HOO^- + H_2O$</p> <p>Un pH supérieur à 10,5 entraîne des réactions concurrentes indésirables qui diminuent l'action blanchissante.</p> <p>Le pH peut être contrôlé en ajoutant de l'hydroxyde de sodium et du silicate de sodium (ce mélange agit comme un tampon et stabilise le système de blanchiment au peroxyde). Il est également possible d'utiliser du sulfate de magnésium qui agit aussi comme stabilisateur.</p> <p>Le silicate désactive les concentrations de polluants métalliques.</p>
Oxygène (O)	<p>Réaction avec de l'oxygène élémentaire sous haute pression et du dioxyde de chlore. Également utilisé lors de la délignification ou pour renforcer l'étape d'extraction E. Son pouvoir oxydant est 4,4 fois supérieur à celui du chlore.</p>
Ozone (Z)	<p>Réaction avec l'ozone en milieu acide.</p> <p>L'ozone O_3 est un produit cher mais offre des avantages écologiques lors de l'élimination des composants chlorés.</p>
D _C ou C _D	<p>Mélanges de chlore et de dioxyde de chlore.</p> <p>Les mélanges de chlore élémentaire sont réglementés dans de nombreux pays.</p>

Les conditions d'utilisation des différents agents blanchissants sont décrites ci-après :

Tableau 4.3.3. Agents blanchissants et conditions d'utilisation

Agent blanchissant	Concentration de l'agent (%)	pH	Consistance (%)*	Température (°C)	Temps (h)
Cl ₂ (C)	2,5-8	2	3	20-60	0,5-1,5
Hydroxyde de sodium (NaOH) (E)	1,5-4,2	11	10-12	< 80	1-2
Hypochlorite de sodium (NaOCl) (H)	1-2	9	10-12	30-50	0,5-3
Dioxyde de chlore (ClO ₂) (D)	~1	0-6	10-12	60-75	2-5
Peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂) (P)	0,25	10,5	12	35-80	4
Oxygène (O ₂) (O)	1,2-1,9	7-8	25-33	90-130	0,3-1
Ozone (O ₃) (Z)	0,5-3,5	2-3	35-55	20-40	< 0,1
Dioxyde de soufre (SO ₂) (A)	4-6	1,8-5	1,5	30-50	0,25
Dithiosulfate de sodium (NaS ₂ O ₄) (Y)	1-2	5,5-8	4-8	60-65	1-2

* Concentration de fibre dans une solution aqueuse. Source : Industrie du papier et de la pâte à papier. Encyclopédie de la santé et de la sécurité du travail.

Le grand nombre de séquences de blanchiment conduit à établir une réglementation de la nomenclature.

- Une séquence de « blanchiment total » peut être réalisée en 5 ou 6 étapes via les séquences CEDED (chloration, extraction alcaline, dioxyde de chlore, extraction alcaline et dioxyde de chlore), CEHDED ; OCEDED.
- En cas d'utilisation d'un ou plusieurs agents blanchissants sous forme de mélange ou de façon simultanée, la substance entrant en plus grande proportion est indiquée en premier et la combinaison apparaît entre parenthèses : (C + D)EDED chlore + dioxyde (le chlore est en plus grande proportion, extraction alcaline, etc.).
- En cas d'ajout de deux réactifs à la suite, ceux-ci apparaissent dans l'ordre et entre parenthèses (DC)EDED.
- Pour exprimer la relation entre les deux agents, on indique (D70C30) : ajout consécutif de 70 % de dioxyde de chlore et 30 % de chlore.

Pour de nombreuses qualités de papier ou pour obtenir des niveaux de blancheur inférieurs, il est possible d'appliquer des séquences de blanchiment plus courtes. Les plus courantes sont : CED, DED, OCED, CEHH, CEHD ou CEHP.

En ce qui concerne les séquences de blanchiment, la tendance mondiale, à partir de années 1990, a été le blanchiment exempt de chlore élémentaire (ECF) et le blanchiment totalement exempt de composés chlorés (TCF). Cependant, certains pays n'utilisent pas encore cette séquence de blanchiment. En général, l'évolution des séquences de blanchiment les plus répandues a été la suivante :

- Jusqu'aux années 60 : CEHDED et CEDED.
- À partir des années 70 : (D+C)(E+O)DED et O(D+C)(E+O)D.
- À partir des années 90 : ECF, TCF.

Historiquement, la séquence de blanchiment la plus commune reposait sur les cinq étapes de la procédure CEDED. Celle-ci implique l'emploi de chlore gazeux dans la première étape de traitement

acide, suivie d'une phase d'extraction alcaline à la soude caustique puis d'une troisième phase de traitement acide au dioxyde de chlore, qui peut être suivie d'une quatrième étape d'extraction et d'une cinquième de traitement au dioxyde.

Toutefois, du fait des réglementations environnementales relatives à la présence de substances organochlorées dans les déversements des fabriques de pâte à papier, le Cl_2 est de moins en moins utilisé et remplacé par le dioxyde de chlore (ClO_2) (C_DEDED), dont l'application est précédée d'un traitement à l'oxygène (O_2) au cours de la première extraction alcaline ($\text{C}_D\text{E}_0\text{DED}$). Le blanchiment traditionnel au chlore se fait de plus en plus rare en raison de son fort potentiel polluant lié à la formation de composés organochlorés (AOX). En 1986, les procédés de production de pâte blanchie ont été identifiés comme contribuant aux émissions de dioxines et de dibenzofuranes dans la mesure où la chloration était principalement responsable de ces composés. Dès lors, le chlore a été remplacé par le dioxyde de chlore, ce qui a conduit au développement des pâtes exemptes de chlore élémentaire (pâtes **ECF** (**E**lemental **C**hlorine **F**ree)), puis des pâtes totalement exemptes de composés chlorés (pâtes **TCF** (**T**otally **C**hlorine **F**ree)). La tendance actuelle mondiale s'oriente vers un remplacement total du chlore élémentaire par le ClO_2 (pâtes ECF) ou vers l'élimination des deux produits (pâtes TCF).

Le blanchiment des pâtes TCF consiste à remplacer tous les composants chlorés par d'autres produits tels que l'ozone, le peroxyde d'hydrogène ou une association des deux. De nouvelles séquences de blanchiment sans chlore ont donc été développées : celles-ci recourent à des enzymes O_2 , à l'ozone (O_3), au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), aux peracides et aux agents chélateurs (CH), notamment l'acide éthylène-diamine-tétra-acétate (EDTA). Exemples de séquences : OAZCHP, OCHPZP, où CH = Chélation. Étant donné que ces nouveaux procédés permettent de supprimer les phases acides du blanchiment, il est nécessaire d'inclure un lavage acide afin de rejeter les métaux présents dans la pâte de cellulose.

Les pâtes ECF autorisent le blanchiment de pâtes présentant les indices Kappa les plus élevés. Du fait de la dégradation des fibres durant le blanchiment, la technique TCF exige des pâtes à blanchir dont l'indice Kappa est bas (10-12) afin d'obtenir un niveau de blancheur acceptable doublé d'une résistance satisfaisante. On peut ainsi atteindre des degrés de blancheur de 89 % ISO sans perte de rendement. Une plus grande quantité de lignine résiduelle subsiste dans les pâtes TCF, par rapport aux pâtes ECF. Il reste cependant possible d'obtenir des pâtes TCF de niveau de blancheur identique aux pâtes ECF, quoique le coût en soit plus élevé.

La grande majorité des fabriques utilisent des tours à flux ascendant où demeurent les composants pendant le temps de rétention nécessaire aux réactions blanchissantes. Ensuite, elles utilisent des laveuses dotées de filtres à disques rotatifs qui permettent d'éliminer les produits chimiques résiduels entre les différentes étapes. Grâce à ce système, toutes les étapes du blanchiment peuvent être réalisées simultanément puisque le débordement de la pâte au niveau de la partie supérieure de la tour s'effectue à la même allure que son alimentation par la partie inférieure. Par conséquent, l'alimentation de la première tour définit automatiquement l'allure de la pâte dans toutes les tours suivantes.

En termes d'environnement, la récupération et/ou le traitement des éléments filtrés au cours de différentes étapes du blanchiment constituent l'objectif principal de ces procédés.

4.3.5. Pâtes à base de papier de récupération

L'utilisation de papier de récupération en tant que matière première suppose une importante économie en ressources naturelles (bois, eau et énergie) : son procédé de fabrication implique moins de substances chimiques que le papier fabriqué à partir de fibres vierges.

L'utilisation des fibres recyclées dans l'industrie du papier a augmenté de façon exponentielle dans la seconde moitié du XX^{e} siècle ; celles-ci sont devenues une matière première indispensable au développement durable.

En encourageant l'utilisation des fibres de récupération, on favorise également la récupération des déchets et évite que des milliers de tonnes de déchets de papier ne finissent détruits dans des sites d'enfouissement ou des incinérateurs.

La combinaison des procédés chimiques et mécaniques permet d'obtenir des fibres recyclées en vue de produire du papier et du carton. Ces procédés emploient du papier de récupération de différentes qualités qui contiennent des fibres chimiques ou mécaniques ou, bien souvent, un mélange indéterminé des deux. Certaines qualités de papier et de carton peuvent être fabriquées à base de fibres recyclées exclusivement.

Le tableau suivant illustre les conséquences en termes d'économies en matières premières, diminution des déchets produits et occupation de l'espace dans un site d'enfouissement, que suppose la fabrication de papier à partir de fibres recyclées dérivées de papier de récupération :

Pour fabriquer d'une tonne de papier	Matière première	Consommation d'eau	Consommation d'énergie		Production de déchets
	Kg m ³ bois arbres	litres	Kw/h	Tep	Kg
Papier de fibre vierge, pâte chimique	 3,5 m ³ 14 arbres 2.300 kg	 15 m ³	 9.600 kw/h 0,4 tep		 1.500 kg
Papier recyclé	 1.250-1.400 kg papier usagé	 8 m ³	 3.600 kw/h 0,15 tep		 100 kg

Figure 4.3.10. Consommations typiques liées à la fabrication de papier à partir de pâte vierge ou de récupération
TEP : Tonne équivalent pétrole

Source : Reciclapapel.org. Papelera Peninsular/Equipe Mandrágora

La première étape de la fabrication de papier ou de carton à partir de papier de récupération est le tri de la matière première, souvent réalisé manuellement. Ce tri s'effectue en fonction du produit à fabriquer. Aussi, en fonction du type de fibre contenu dans le déchet ainsi que de la quantité et de l'intensité de l'encre présente dans le papier usagé, nous pouvons distinguer les qualités suivantes :

- **Qualités courantes (groupe A)** : elles incluent les papiers et cartons divers, les chutes de carton, les chutes de carton ondulé, les emballages de centres commerciaux, les revues et imprimés divers, les journaux et autres impressions diverses.
- **Qualités intermédiaires (groupe B)** : journaux lus, journaux invendus, coupures de revues ou autres matériaux similaires, chutes de cartonnets à face blanche, chutes de reliures sans collage.
- **Qualités supérieures (groupe C)** : papier continu d'ordinateur, papier de bureau, cartonnets blancs non-imprimés, chutes de papier blanc et papier d'impression blanc.
- **Qualités kraft (groupe D)** : sacs, carton ondulé réalisé à base de papier kraft et chutes de papier kraft.

Il est important de trier le papier en fonction de ces différentes qualités car il est impératif que la matière première ne contienne pas de papier non recyclable ou tout autre matériau étranger qui porterait préjudice au recyclage.

Une fois la matière première classée en fonction des qualités décrites ci-dessus, la matière impropre (substances indésirables ou polluants) présente dans le papier de récupération est triée en vue d'être retirée.

L'élimination des ces éléments s'effectue par le biais de procédures physiques mécaniques, au moyen d'équipements spécifiques. Il convient de distinguer les éléments indésirables, qui peuvent endommager les machines ou réduire la qualité du produit final, des matières préjudiciables, qui compliquent le processus ou diminuent la qualité du produit. Les éléments indésirables accompagnant la matière première les plus fréquents sont les suivants :

- verres et sable ;
- agrafes et autres pièces métalliques ;
- câbles, toiles, ficelles, papiers plastifiés, sacs en plastique ;
- textiles ;
- fibres colorées ;
- encres d'impression offset.

Principaux éléments préjudiciables :

- carton goudronné ;
- papier carbone ;
- papier oléophobe ;
- papier résistant à l'humidité ;
- papier ciré.

Une fois la matière première sélectionnée et le mélange réalisé dans les conditions voulues, le papier de récupération doit être dispersé dans de grandes quantités d'eau, afin d'obtenir une bonne distribution des tailles de fibres. L'unité de préparation des pâtes est composée d'équipements disposés en série, à travers lesquels passe la pâte diluée et où ont lieu l'élimination des composants indésirables et la préparation des fibres en vue de l'élaboration du produit final.

Les procédés de recyclage peuvent être regroupés en deux catégories :

- **Mise en pâte, nettoyage et décontamination** : pour les pâtes destinées à la fabrication de papiers et cartons d'emballage.
- **Mise en pâte, nettoyage, décontamination et désencrage** : pour les pâtes destinées au papier journal, papier pour revues, papier mousseline et autres papiers d'impression et d'écriture. Il existe également des usines qui se consacrent à la production de pâte commercialisable (pâtes désencrées ou DIP).

Mise en pâte

Une fois la matière première triée, en fonction des qualités décrites précédemment, le papier et l'eau sont déversés dans le pulpeur, ou défibreux, où le mélange est malaxé afin de séparer les fibres de cellulose des particules d'encre qui les accompagnent. Des réactifs peuvent dès lors être ajoutés, comme la soude caustique, le silicate de sodium ou le peroxyde d'hydrogène. En général, lors de la fabrication de carton ou de ses dérivés, aucun réactif n'est ajouté au moment de la mise en pâte. Il est cependant possible d'utiliser du NaOH à l'issue de cette étape pour améliorer le rendement global du procédé.

La désagrégation de la matière première s'effectue dans des pulpeurs qui fonctionnent généralement en continu à basse consistance ou en discontinu à haute consistance.

Les systèmes à basse consistance fonctionnent traditionnellement à une consistance de 3 à 6 % et peuvent être verticaux ou horizontaux. Ils sont néanmoins moins courants dans l'industrie car ils consomment davantage d'énergie. Ces équipements incluent un cycle de nettoyage permettant d'éliminer les déchets qui restent sur la grille du pulpeur.

Les pulpeurs à haute consistance fonctionnent à une consistance comprise entre 5 et 18 %. Cette supériorité de consistance est importante car elle nécessite moins d'eau et une plus grande concentration des agents chimiques utilisés dont l'action est dès lors plus efficace.

Après la mise en pâte, les déchets non fibreux et les pièces métalliques sont exclus à l'aide d'un séparateur. Dans le pulpeur, la dilution est réalisée avec de l'eau de procédé recyclée à partir de ce même procédé de fabrication de la pâte.

Épuration et désencrage

Il est impossible d'épurer complètement la fibre recyclée en une seule étape. Le principe fondamental est d'éliminer les polluants le plus tôt possible, afin de prévenir leur rétrécissement et donc d'éviter toute perte de fibre. En fonction de la qualité voulue, les étapes du processus d'épuration sont plus ou moins nombreuses. Celles-ci s'accompagnent d'opérations de recyclage pour une récupération optimale des fibres. La taille des particules rejetées à chaque étape est indiquée dans le graphique 4.3.11.

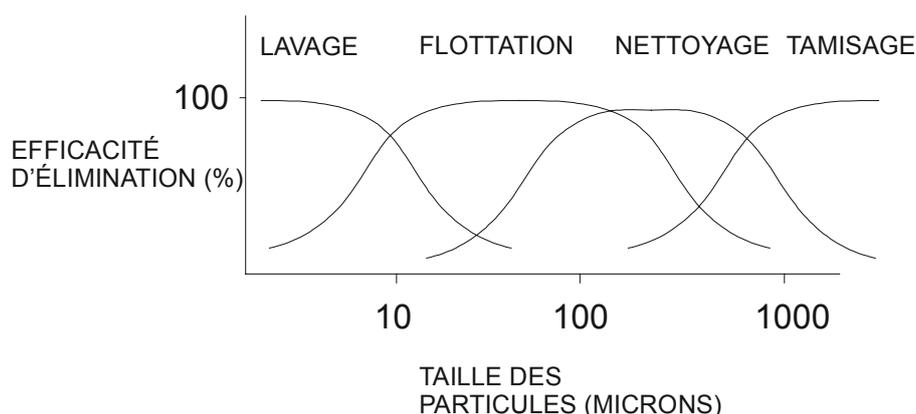


Figure 4.3.11. Efficacité de séparation des systèmes utilisés pour l'épuration des pâtes
Source : B. Carré and G. Galland. Overview of deinking Technology

La pâte désintégrée passe par une première phase d'épuration grossière, réalisée dans des épureurs possédant des trous de 8 à 10 mm de diamètre, où sont éliminés principalement les papiers aluminium, liège blanc d'emballage, papiers imperméables, échantillons de produits, plastiques de grande taille, ficelles, feuillards, fils métalliques, morceaux de bois, etc.

L'étape qui suit est l'épuration tourbillonnaire à haute consistance, au cours de laquelle sont séparés, sous l'action de la force centrifuge, les matériaux plus lourds que les fibres, autrement dit les cailloux, le sable, le verre, les agrafes, les métaux de différentes tailles, etc. Une épuration à haute consistance est ensuite réalisée : les particules de 0,2 à 3 mm, principalement des plastiques, sont séparées par tamisage dans des épureurs rotatifs à trous ou à rainures.

Pour les pâtes désencrées, l'encre est éliminée par flottation. Il s'agit d'une méthode de séparation basée sur les propriétés superficielles des particules. Celles-ci, de nature hydrophobe, se joignent aux bulles d'air et remontent à la surface où elles sont éliminées mécaniquement par débordement ou par extraction sous vide. La flottation supprime une certaine quantité de charges et de pigments, ce qui produit une écume fortement chargée en cendres, et près de 50 % des « stickies », ou polluants

organiques à caractère collant, qui accompagnent le papier de récupération (adhésifs, latex, agents de couchage, etc.).

Enfin, les polluants les plus lourds et de taille inférieure aux fibres qui ont pu passer au travers des épurateurs précédents, sont filtrés par des épurateurs cyclones à basse consistance, par action de la force centrifuge. De même, les polluants de petite taille et de densité inférieure aux fibres (essentiellement des petites particules d'encre, de plastiques et de matériaux collants de type « stickies »), sont tamisés via des épurateurs à basse consistance.

Épaississage

La pâte issue de l'épuration (tri), qui doit être obtenue à basse consistance pour maintenir un niveau d'efficacité élevé, doit être concentrée par dispersion en vue de son traitement ultérieur. Aussi procède-t-on à une étape d'épaississage à haute consistance dans un filtre à disques. Cette phase permet d'évacuer une grande partie de l'eau apportée lors des étapes précédentes, ce qui autorise également l'élimination des polluants non-filtrés et l'exploitation des produits chimiques résiduels. L'eau qui en ressort peut être réutilisée dans le circuit, formant ainsi une boucle. Les lignes actuelles de fabrication des pâtes sont conçues avec des circuits hydrauliques séparés, de façon à permettre en bout de ligne, grâce à l'utilisation de filtres à disques et/ou de presses à vis, l'épaississage de la pâte et la récupération de grandes quantités d'eau. Cette eau est ensuite réutilisée dans les étapes antérieures. Les filtres à disques permettent d'extraire deux qualités d'eau, appelées filtrat trouble et filtrat clair. La figure 4.3.12. schématise le fonctionnement d'un filtre à disques.

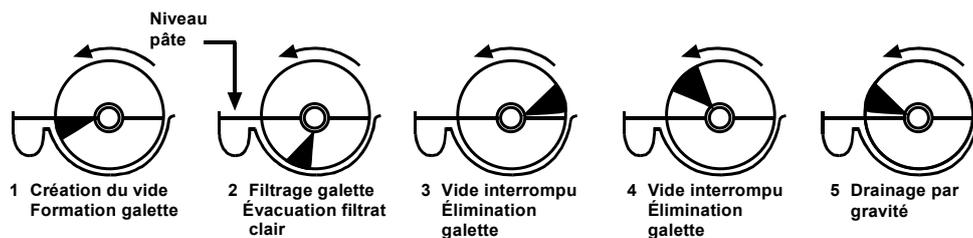


Figure 4.3.12. Schéma de fonctionnement typique d'un filtre à disques

Les presses à vis extraient le filtrat trouble qui est mélangé à celui issu du filtre à disques. Ces deux types d'eau sont ensuite réutilisés dans le procédé, par exemple pour la dilution du papier de récupération employé comme matière première pour la production de pâte. Cette technique, considérée comme MTD dans le BREF, permet d'importantes économies en termes de consommation d'eau de procédé.

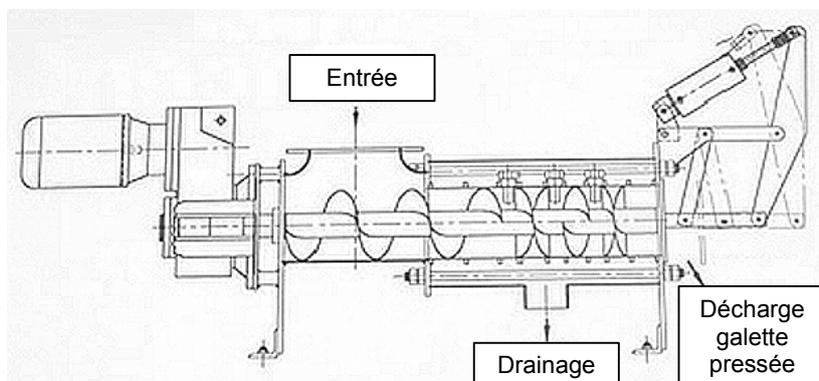


Figure 4.3.13. Schéma de fonctionnement typique d'une presse à vis

Dispersion

Certaines substances associées aux fibres présentes dans le papier fini ne peuvent pas être éliminées par le biais des procédures décrites précédemment. Bien que ce ne soit pas possible, des systèmes permettant l'atomisation et la diffusion de ces substances dans les fibres ont été développés, conférant ainsi une plus grande uniformité au produit fini. Cette opération est réalisée à travers une étape de dispersion, au cours de laquelle la pâte subit un intensif traitement mécanique par friction. Les systèmes de dispersion les plus courants incluent des disques qui tournent à des vitesses très élevées et réduisent la taille des particules polluantes, notamment les « stickies » ou les cires. Cette opération est réalisée à haute température ce qui minimise les pertes en termes de propriétés physiques et favorisent la dispersion des polluants.

Blanchiment

En fonction de la qualité du produit final voulue, la production de pâte de papier de récupération est généralement complétée par une ou plusieurs phases de blanchiment ; c'est le cas notamment des papiers supercalandrés, des papiers de bureau ou hygiéniques. En général, le blanchiment est réalisé dans des réservoirs, dont le temps de latence est relativement long, dans lesquels un réactif de blanchiment est ajouté afin de favoriser l'élimination de l'encre résiduelle. Les traitements blanchissants peuvent être oxydants ou réducteurs. Le plus courant des produits oxydants est le peroxyde d'hydrogène. Nous pouvons également citer l'hydroxyde de sodium, le silicate de sodium et certains agents chélateurs. L'utilisation d'oxygène ou encore d'ozone est également envisageable. Parmi les produits réducteurs, le plus utilisé est l'hydrosulfite de sodium. Le degré de blancheur final obtenu dépend autant de l'origine des papiers employés que du procédé de préparation de pâte choisi et des phases de blanchiment. Il est possible d'atteindre des niveaux de blancheur allant jusqu'à 84 ° ISO.

Traitement des eaux en vue de leur réutilisation

Les eaux récupérées lors des phases précédentes sont chargées de polluants qui peuvent être éliminés au moyen de dispositifs de flottation à air dissous appelés FAD (Disolved Air Flotation-DAF). Ces dispositifs sont des cellules dans lesquelles le flux d'eau résiduaire est mélangé à un flux d'eau saturée en air, de façon à provoquer une formation spontanée de bulles de petit calibre permettant l'élimination des polluants entre 0,1 et 10 µm. Cette réaction est souvent complétée par l'addition d'un agent coagulant ou floculant afin de favoriser la suppression de la matière dissoute et colloïdale. Les écumes formées sont éliminées de façon très simple par la voie mécanique, tandis que l'eau clarifiée se retire par la partie inférieure du FAD pour être de nouveau utilisée dans le processus. Cette technique, considérée comme MTD, permet de réaliser d'importantes économies en termes de consommation d'eau de procédé car elle permet de réutiliser de grandes quantités d'eau.

La figure 4.3.14. représente le diagramme de flux opérationnel d'une unité de flottation à air dissous.

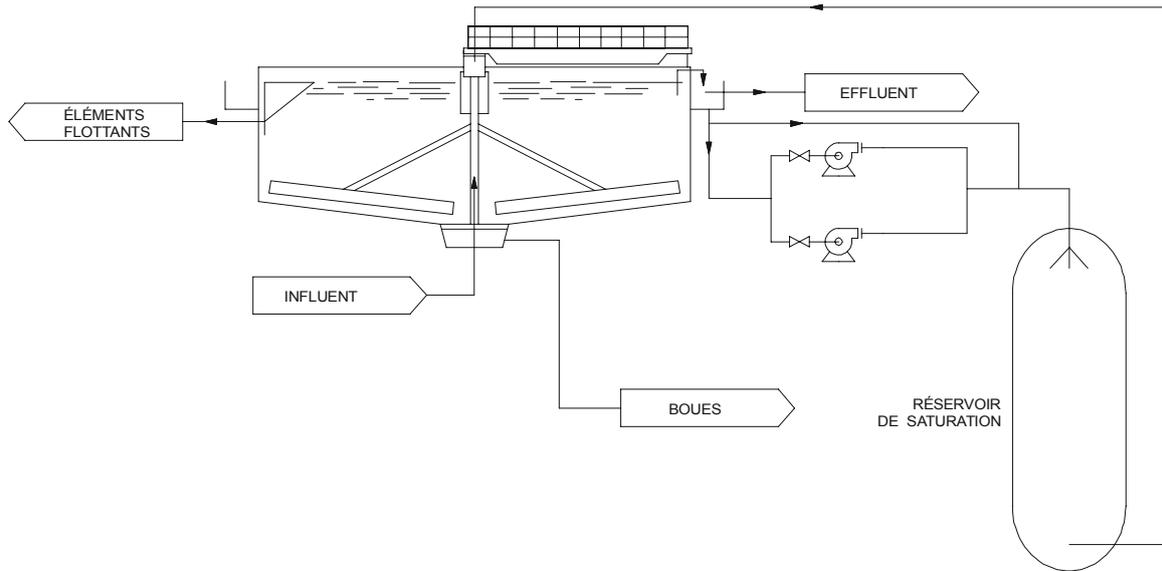


Figure 4.3.14. Diagramme de base d'une unité de flottation à air dissous

Organigramme des procédés de fabrication

La figure 4.3.15. représente l'organigramme d'un procédé de fabrication de pâte désencrée et la figure 4.3.16. schématise l'élaboration de pâte destinée à la fabrication de carton ondulé.

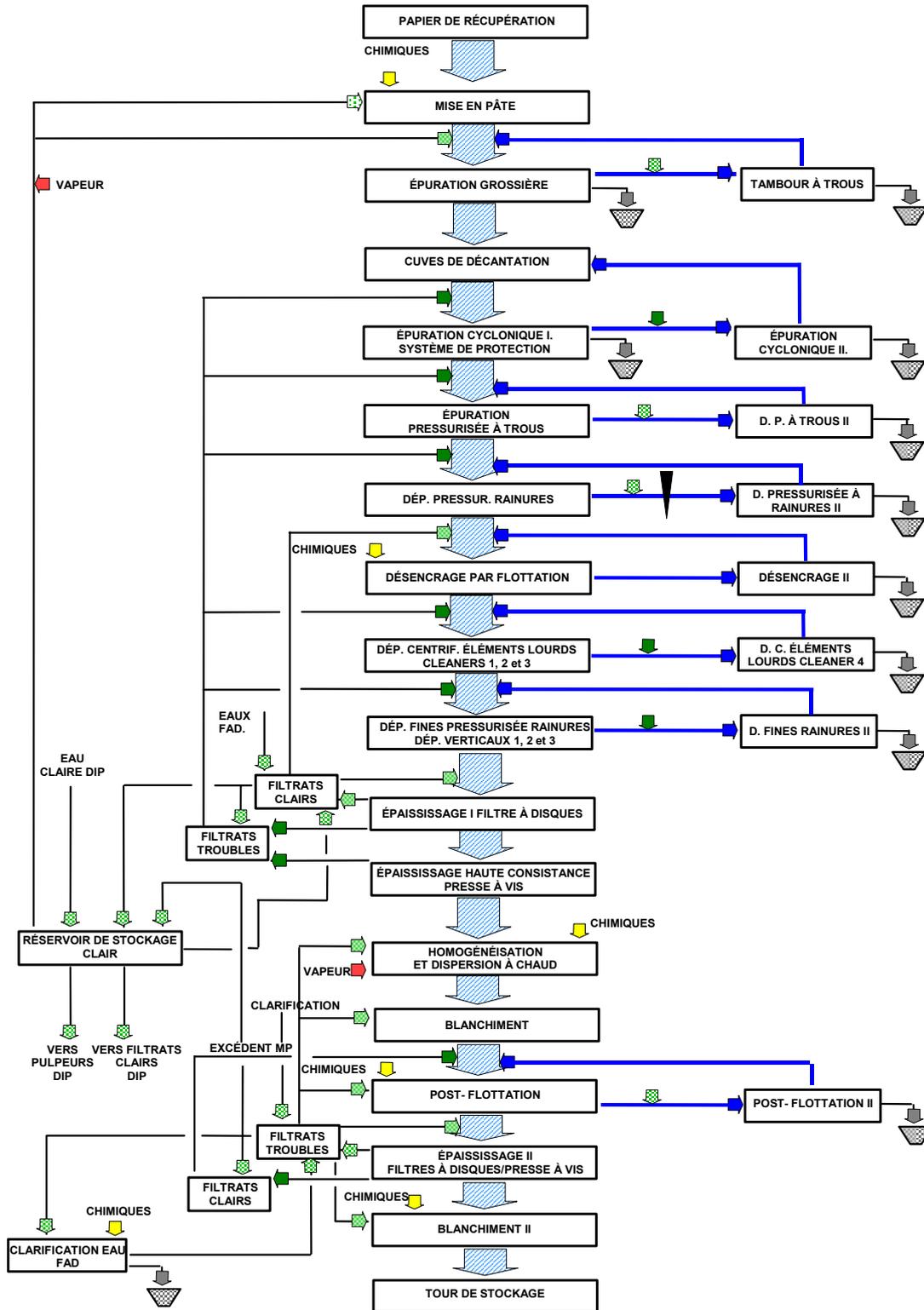


Figure 4.3.15. Organigramme du procédé de fabrication de pâte désencrée

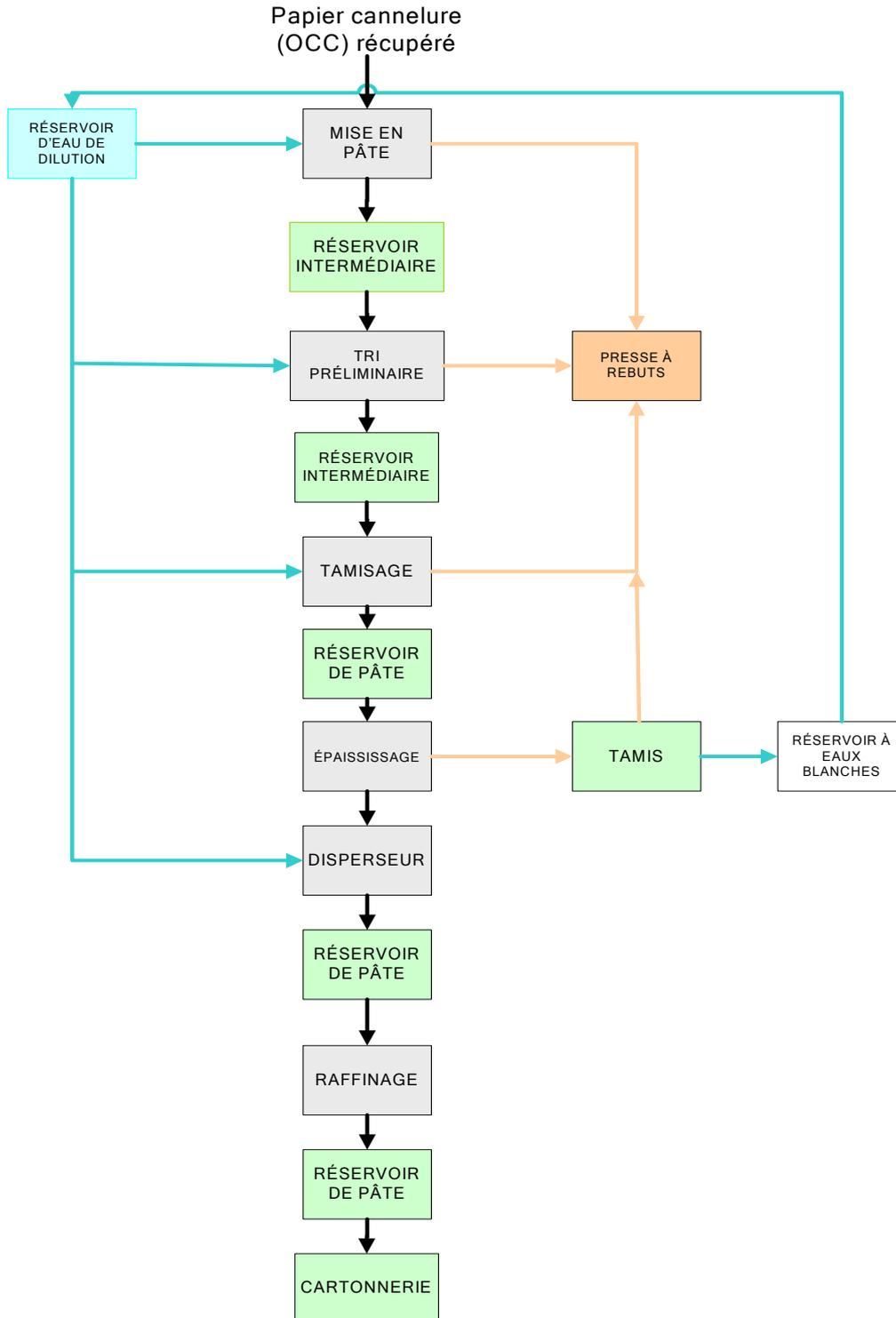


Figure 4.3.16 Organigramme du procédé de fabrication de pâte à carton ondulé

4.3.6. Fabrication de papier

La fabrication du papier, quel que soit le type de machine employé, consiste à former la feuille à partir d'une suspension diluée de pâte à papier. La machine à papier représente la principale et la plus caractéristique unité de ce processus. Elle permet de former, égoutter, presser et sécher la feuille continue de papier qui est ensuite enroulée sur la dernière section que la machine inclut.

Les procédures permettant de produire du papier recyclé ou du papier issu de pâte vierge sont très similaires ; aussi, nous ne présenterons ici qu'une synthèse du procédé commun. Les étapes communes à l'ensemble de la ligne de production de papier ou de carton sont : la préparation de la suspension de pâte, la section de formation, la section de pressage, la section de séchage et de finissage ainsi que la manipulation. L'étape de finissage n'est donc pas nécessaire pour tous les produits et est souvent réalisée de façon indépendante.

Bien qu'il existe différents types de machines, les plus utilisées sont les Fourdrinier, telle que celle illustrée à la figure 4.3.17.

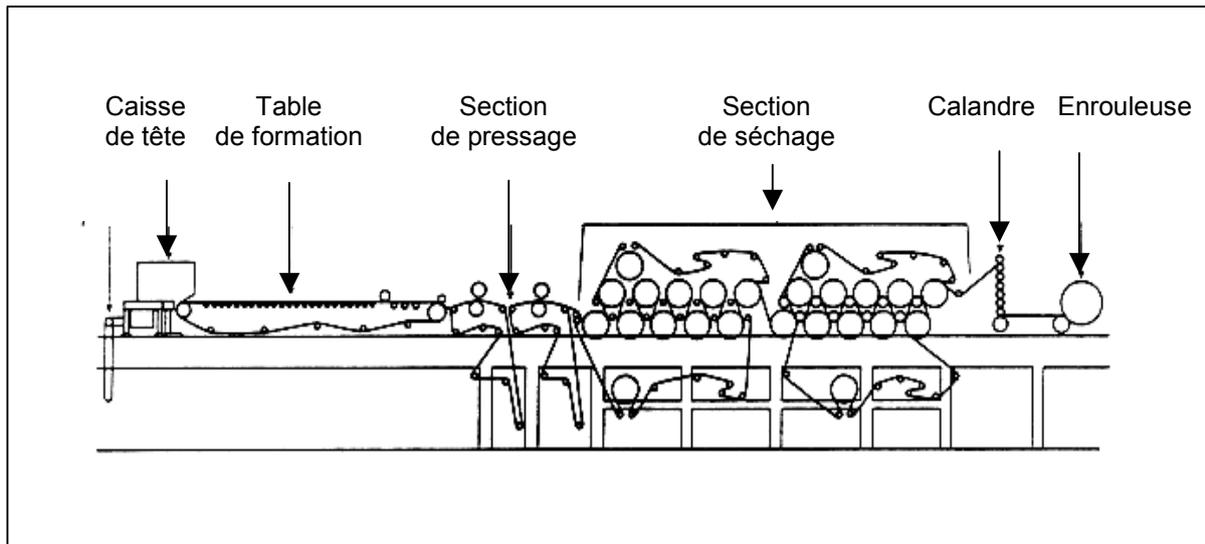


Figure 4.3.17. Ligne de production de papier équipée d'une machine de type Fourdrinier

La pâte, convenablement épurée par le biais des procédés décrits précédemment, entre dans la machine à papier, composée de deux sections principales :

- **Partie humide** : section au niveau de laquelle est formée la feuille et où s'effectue le séchage, d'abord par gravité puis sous vide.
- **Partie sèche** : section où le papier est séché par pressage puis à haute température afin d'éliminer l'eau résiduaire. Au cours de cette opération, la feuille perd environ 70 % de l'eau qu'elle contient.

L'objectif d'un fabricant de papier est double : en premier lieu, il doit obtenir un produit de la meilleure qualité possible au prix le plus bas possible, conformément aux spécifications préalablement établies en fonction de sa finalité. Deuxièmement, il doit atteindre un niveau de productivité maximal, ce qui signifie que la machine doit fonctionner à vitesse maximale et sans interruption.

Pour atteindre ces objectifs, le fabricant doit optimiser le processus de fabrication du papier en fonction de la qualité du produit final qu'il veut obtenir. Il est donc nécessaire de contrôler tous les processus qui interviennent dans la formation de la feuille.

Partie humide de la machine à papier

Indépendamment des différents systèmes disponibles, il convient de prendre en compte les variables de base suivantes : la composition de la matière première (% de fibre vierge, provenant de résineux et de feuillus, % de papier de récupération), le pourcentage de charges minérales et de pigments, la vitesse de la machine, et, le plus important, la chimie de la partie humide de la machine à papier.

L'optimisation de la chimie de la partie humide a pour objet de contrôler l'état de floculation de la suspension de la pâte au cours du processus de formation de la feuille. La floculation, phénomène complexe et difficile à contrôler, est d'une grande importance car le niveau de floculation de la suspension influe sur l'efficacité du processus et sur la qualité du produit final. Bien que la présence de flocules soit importante pour améliorer le degré de rétention et la vitesse de drainage, la vitesse de la machine, la taille et les caractéristiques de ces flocules doivent être contrôlées pour ne pas altérer la qualité finale du produit en termes de formation, de porosité et de résistance.

Lorsque la suspension de pâte est prête, celle-ci est pompée vers la caisse de tête, dont la fonction est de répartir de façon homogène la suspension diluée de fibres et adjuvants (0,05-1 %) sur la table de formation à travers la lèvre. Pour ce faire, des microturbulences sont créées à l'intérieur de la caisse de tête afin de briser les flocules de fibres et d'accélérer la suspension pour ajuster la vitesse de cette dernière à la vitesse de la machine.

Il existe trois principaux types de caisses de tête :

- les caisses de tête à cylindres, ouvertes ou fermées ;
- les caisses de tête hydrauliques conventionnelles ;
- les caisses de tête hydrauliques à dilution ;

La table de formation, qui peut mesurer jusqu'à 10 m de large et 35 m de long, est formée d'une toile plastique sans fin qui agit comme un filtre. Sous la toile, se trouvent différents éléments permettant de favoriser le drainage. Lorsque la suspension est déposée sur la toile, l'eau est drainée à travers, d'abord par gravité puis sous vide, tandis que les solides en suspension sont retenus en grande partie, formant une galette humide sur la toile. Les divers éléments de drainage autorisent différentes vitesses de drainage et leur disposition doit être optimisée afin d'égoutter progressivement la pâte et d'éviter que la feuille ne se scelle. Il convient généralement de distinguer deux sections : une section de filtrage par hydrofoils et vacufoils, et une section de consolidation où interviennent des caisses et un cylindre aspirants. Les eaux de drainage, ou eaux blanches, sont récupérées puis réutilisées dans la section de préparation de la pâte.

Dans le domaine de la papeterie, le terme « formation » renvoie à la répartition des particules en suspension pour former la feuille de papier. La formation de la feuille est le résultat de la combinaison de trois processus hydrodynamiques : le drainage, le flux laminaire et le flux turbulent, qui ont lieu simultanément. Une bonne formation requiert une répartition homogène des fibres, des fines et des charges minérales dans la feuille. De ce point de vue, la tendance des suspensions à former des réseaux tridimensionnels stables via la floculation mécanique des fibres constitue l'un des principaux phénomènes associés à la partie humide de la machine à papier qui affectent négativement la formation.

La rétention des fibres est favorisée par l'enchevêtrement mécanique de ces dernières, tandis que la rétention des fibres et des charges minérales résulte de l'interaction électrostatique des particules en suspension et des adjuvants chimiques. La floculation mécanique influe principalement sur la formation de la feuille ; la floculation chimique affecte davantage la rétention. Enfin, l'adhésion et l'occlusion des fines et des charges minérales à l'intérieur des flocules formés par l'enchevêtrement des fibres affecte surtout le processus de drainage.

La nature de la surface des fibres constitue une autre variable déterminante. Les propriétés de surface des fibres sont définies par la matière première (type de bois, procédé d'obtention de la pâte, degré de digestion, etc.), et par le degré de raffinage. Ce dernier est particulièrement important dans la floculation des fines et des charges minérales pour deux raisons : la première, parce qu'il détermine le degré de fibrillation qui facilite l'occlusion des particules dans le réseau ; la seconde, parce qu'il détermine le nombre, le type et la répartition de groupes chargés à la surface des fibres. Ceux-ci permettent la floculation chimique des particules en suspensions, en présence d'agents de rétention.

En fonction de leur nature chimique, les floculants peuvent être regroupés en trois grandes catégories :

- Substances inorganiques ou électrolytes : elles ont pour objectif de diminuer le potentiel électrocinétique des particules en suspension. Les plus répandues dans l'industrie papetière sont les dérivés d'aluminium.
- Produits naturels et leurs dérivés. Il s'agit de composants organiques constitués de polysaccharides, dont les principaux représentants sont l'amidon et les gommages végétales.
- Polymères organiques synthétiques et polyélectrolytes : il s'agit de floculants synthétiques, solubles dans l'eau, efficaces à très faible concentration. Ils possèdent différents groupes actifs répartis le long de leurs chaînes. Les plus courants sont les substances ioniques telles que les polyacrylamides et les polyéthylèneimines.

L'effet des floculants est déterminé par leur mécanisme d'action. Celui-ci dépend principalement des caractéristiques du floculant lui-même (masse moléculaire et densité de charge), des caractéristiques des particules avec lesquelles le floculant interagit (densité de charge, morphologie de sa surface), et les variables relatives au processus (temps, turbulence, conductivité et pH du milieu, etc.). Pour déstabiliser la suspension, il y a deux possibilités :

- Réduire les forces négatives de façon à permettre le rapprochement des particules jusqu'à ce que les forces de Van der Waals agisse.
- Augmenter les forces d'attraction entre les particules.

Comme nous l'avons déjà indiqué, les adjuvants chimiques produisent des effets liés à la nature même du produit utilisé. Certains favorisent la floculation, d'autres la réduisent ; c'est le cas notamment les adjuvants de formation. Les agents qui améliorent la rétention et le drainage favorisent la floculation et la stabilité des flocules formés grâce à la modification de la charge électrique de la suspension et de la surface des fibres, encourageant également l'établissement de liaisons entre les particules.

En résumé, la floculation dépend des caractéristiques de la matière première, des propriétés physiques et chimiques de la suspension et du degré de turbulence créé dans la machine. Le contrôle de la floculation est complexe car l'optimisation des procédés de formation, rétention et drainage requiert différentes caractéristiques de flocules. Le processus doit donc être optimisé dans son ensemble, afin de trouver une solution de compromis entre tous ces procédés mentionnés.

L'une des caractéristiques inhérentes au processus de fabrication via une machine Fourdrinier consiste à ce que toute l'eau soit éliminée à travers l'une des faces de la feuille (celle qui est en contact avec la toile de formation). Cela entraîne des caractéristiques différentes pour chacune des deux faces ; cet effet est accentué avec la vitesse. Pour éviter ce problème, il existe des machines à double toile ou à toiles multiples (figure 4.3.18).

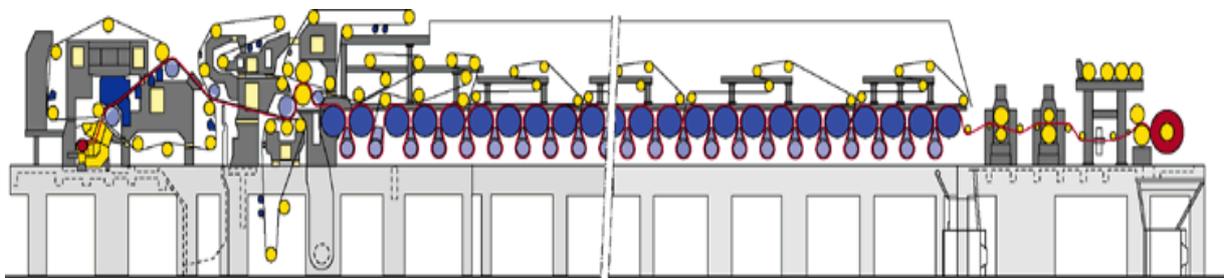


Figure 4.3.18. Machine à double toile

Section de pressage et de séchage

Lorsqu'elle sort de la table de formation, la galette a déjà acquis 20 % de consistance : elle est considérée comme une feuille humide de faible résistance. Dès lors que l'élimination de l'eau par le

vide n'est plus possible, la feuille humide est acheminée vers la section de pressage, dont l'objectif est d'augmenter la consistance jusqu'à 35-45 %, consolider la feuille et diminuer sa rugosité. Bien que la feuille soit apparemment sèche, les fibres conservent une grande quantité d'eau à l'intérieur (eau interstitielle), qui ne peut être évacuée qu'au niveau de la section de séchage. Cette étape favorise les liaisons interfibrilles, permet de modifier les propriétés de surface de la feuille et de sécher la feuille jusqu'à atteindre environ 94-97 % de solides. L'humidité finale de la bobine doit être contrôlée car si le papier est trop sec il devient fragile.

Environ 90 % du coût d'élimination de l'eau est associé aux sections de pressage et de séchage, la plus grosse partie étant liée à la zone de séchage. Toutefois, pour réduire les coûts, il convient d'optimiser le drainage dans les premières étapes de la machine. La capacité de drainage de la pâte dépend du type de pâte et du degré de raffinage. Elle peut parfois permettre de limiter la vitesse de la machine ; l'utilisation d'adjuvants de drainage et l'optimisation du type de flocules formés sont donc primordiales.

La figure 4.3.19. représente le profil de drainage d'une machine Fourdrinier.

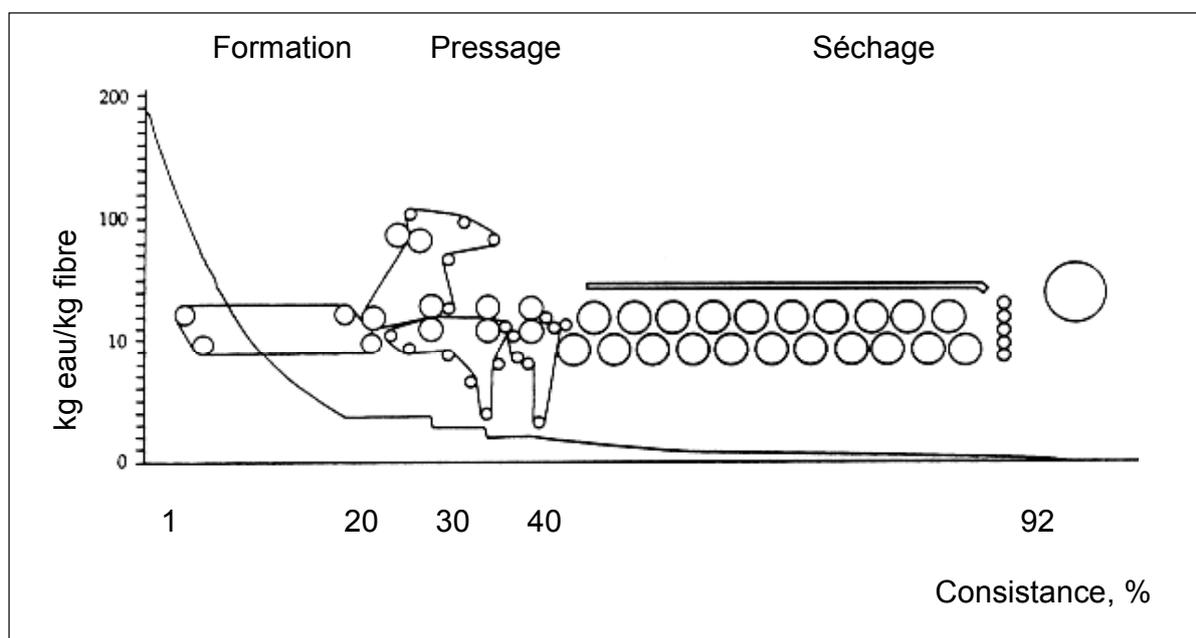


Figure 4.3.19. Profil de drainage d'une machine Fourdrinier

Section de finissage

En fonction de la qualité du produit final, la section de finissage peut intégrer différents processus, notamment le collage, le couchage ou le calandrage.

Lorsque le papier est pratiquement sec, on procède au collage en surface. Cette opération consiste à appliquer une solution d'amidon à la surface du papier afin de contrôler la pénétration du liquide dans la feuille et améliorer les propriétés de surface de celle-ci pendant l'impression. Les agents de collage les plus courants sont le dimère d'alkylcétène et l'anhydride succinique.

L'agent de collage remplit les pores et les capillaires de la feuille, de façon à ce que le papier soit plus résistant aux flux liquides qui la traversent. Il augmente aussi, indirectement, la résistance superficielle car les solutions d'amidon favorisent les liaisons interfibrilles et évitent les défauts d'impression. Le collage est très souvent réalisé « dans la masse » et non en surface. En règle générale, cette étape est supprimée pour les papiers hygiéniques uniquement.

Les variables influant sur le collage en surface sont :

- **Les caractéristiques des feuilles** : humidité, niveau de collage dans la masse, nature de la surface du papier, etc.
- **Variables de la suspension de collage** : teneur en solides, température, viscosité, composition, etc.
- **Variables des modalités de fonctionnement** : vitesse de la machine, configuration des cylindres de collage, pression, etc.

À échelle microscopique, le papier est doté d'une surface rugueuse qui fait que les encres d'impression tendent à se diffuser de façon irrégulière à la surface de la feuille selon la répartition des capillaires et des fibres au sein de celle-ci. Toutefois, le papier d'impression est soumis à un processus de couchage permettant de recouvrir la surface du papier d'une fine couche de pigments (kaolin, carbonate de sodium, dioxyde de titane, etc.). Ces pigments s'unissent à la surface grâce à une substance adhésive (amidons, gommés, latex, acétate de polyvinyle, etc.). Il est ainsi possible d'obtenir des papiers d'impression de haute qualité, puisque le papier devient plus opaque, plus uniforme et plus brillant, bien qu'il existe également des finissages mats.

Le papier est ensuite à nouveau séché et peut éventuellement passer par la section de calandrage (facultatif) en vue d'homogénéiser et de réduire l'épaisseur ou encore d'augmenter la densité de la feuille et d'améliorer l'aspect du papier en surface en accentuant la brillance et la douceur de celui-ci. Cette étape peut également être réalisée sur une ligne indépendante de la machine à papier.

Enfin, dans la section de manipulation du papier, la bobine est déroulée puis ré-enroulée une fois les défauts supprimés conformément aux tailles exigées par les clients. Dans certaines fabriques, c'est dans cette section que s'effectue la manipulation complète des bobines jusqu'à obtention du produit final emballé.

Procédé de fabrication du carton multicouche

Les machines destinées à la fabrication du carton sont particulières : en règle générale, elles comportent plusieurs parties humides qui produisent différentes feuilles de papier. Celles-ci sont ensuite associées dans la section de formation afin de confectionner le produit multicouche. Le grammage du carton peut aller jusqu'à 500 g/m² tandis que les papiers d'écriture et d'impression varient entre 40 et 120 g/m².

Le carton multicouche peut être fabriqué de différentes manières selon le nombre de couches et le matériau utilisé pour le mélange. Les principaux paramètres recherchés dans ce type de matériau sont la rigidité et la résistance à la compression, associées à un grammage relativement peu élevé. En outre, une bonne imprimabilité est souvent exigée.

Généralement, les cartons sont dotés de 3 à 4 couches dont une peut présenter une surface couchée. Par exemple, la composition d'un carton multicouche fabriqué à partir de fibres recyclées peut être la suivante :

- couche superficielle élaborée à partir de pâte blanchie de fibre vierge ou désencrée ;
- autres couches fabriquées à base de fibre recyclée plus ou moins traitée ;
- selon la finalité du produit, la couche inférieure peut faire l'objet du même traitement que la couche de surface.

La figure 4.3.20. représente l'organigramme d'une fabrique de carton multicouche intégrée. Les étapes de dilution et de tamisage de la pâte sont identiques à celles décrites précédemment.

En revanche, dans le cas présent, la formation de la feuille s'effectue par le biais d'un système multicouche doté de différentes caisses de tête (une pour chaque couche). Le feutre passe dans chacune de ces caisses et recueille une des couches ; l'eau s'élimine alors par gravité et au moyen de caisses aspirantes. La feuille est séchée jusqu'à environ 25 %. L'excédent d'eau constitue les eaux

blanches ; celles-ci recirculent vers chacun des réservoirs d'eau blanche associé aux lignes de fabrication de pâte.

La feuille humide passe ensuite par les phases de pressage et de séchage. En outre, des étapes d'ondulation et de surfaçage peuvent être incluses dans le processus en fonction du type de produit final devant être obtenu.

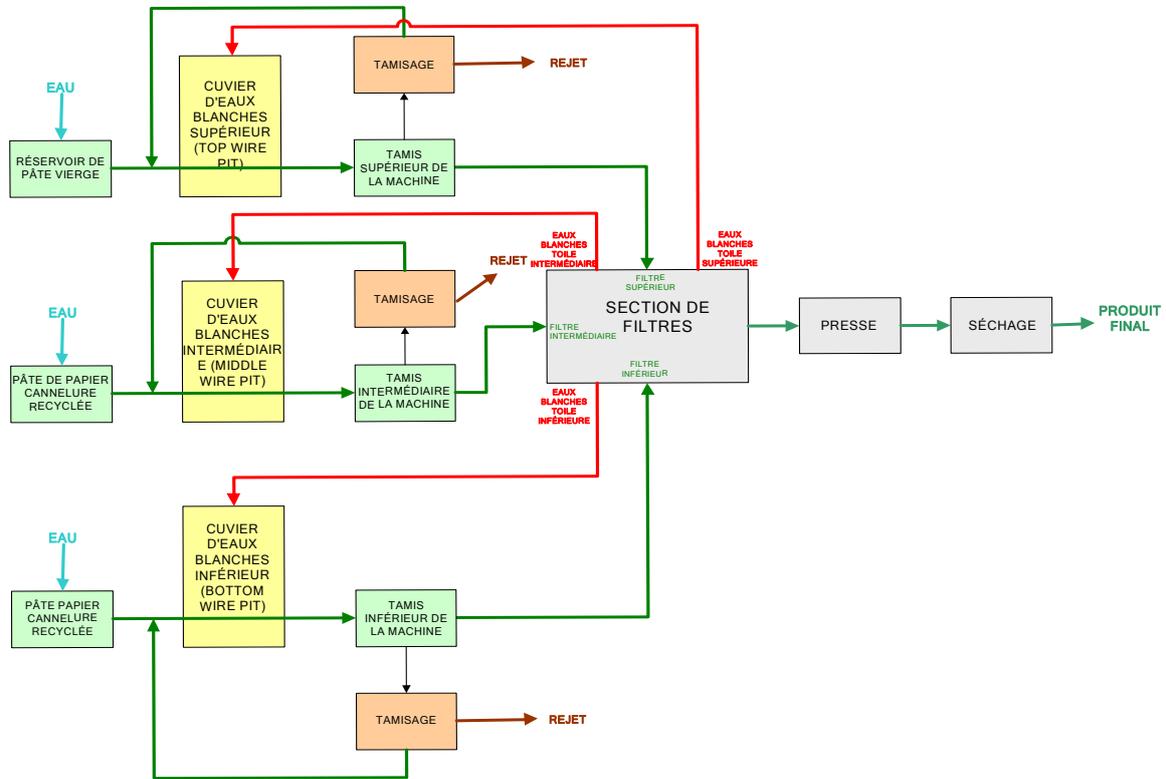


Figure 4.3.20. Organigramme de la fabrication de carton multicouche

Équipements auxiliaires de la machine à papier

Alimentation électrique

Des moteurs électriques à courant alternatif dont la puissance varie entre 5 et 2 000 kW, assurent le mouvement de la machine à papier. Leur vitesse est régulée par variation de fréquence.

L'utilisation de variateurs de fréquence au niveau des équipements, notamment des pompes et des ventilateurs, suppose un ajustement de la demande d'énergie nécessaire au fonctionnement de ces dispositifs à chaque instant. Aussi cette technique est-elle considérée comme MTD en matière d'économie d'énergie.

Système de contrôle

Le contrôle de la machine à papier est totalement automatique, tant pour les variables de processus que pour les variables de qualité. Il s'effectue depuis les salles de supervision qui utilisent les systèmes informatiques et les dispositifs de contrôles les plus modernes.

Systèmes à vide

Ce type de système est constitué de pompes à anneau liquide qui offrent différents niveaux de vide dans chaque section de la machine à papier, afin de faciliter le drainage de l'eau ou le séchage des feutres de la section de presse.

Systèmes à air comprimé

Dotés de compresseurs rotatifs qui génèrent de l'air sous pression, utilisés pour le passage de la feuille et l'alimentation des équipements pneumatiques.

Système à vapeur

Ce système se compose d'un ensemble de réservoirs, pompes, séparateurs et injecteurs qui alimentent les séchoirs de la section de séchage avec de la vapeur à une pression de 2,5 bars. Celle-ci se transforme en condensat et doit être évacuée de la machine à papier afin d'être envoyée vers les chaudières puis à nouveau transformée en vapeur.

Système de ventilation

Ce système est doté de grands ventilateurs et échangeurs de chaleur qui permettent d'extraire de la section de séchage l'air chaud et humide provenant de l'évaporation de l'eau, et de le remplacer par de l'air frais et sec contenu dans l'atmosphère.

L'énergie de l'air extrait est transmise à l'air qui pénètre dans les échangeurs de chaleur. Une partie de cette chaleur est également utilisée pour la climatisation du bâtiment dans lequel se trouve la machine.

Systèmes de lubrification et de graissage

Ils permettent de maintenir lubrifiés et graissés tous les équipements de la machine à papier, automatiquement et en toute sécurité.

Circuit des rebus

En cas de rupture d'une feuille dans la machine à papier, il est nécessaire de désintégrer cette feuille pour en récupérer les fibres. Cette désintégration a lieu dans les pulpeurs situés au-dessous des différentes sections de la machine. Pour ce faire, on utilise l'eau provenant du réservoir d'eau blanche et, après être passée par un système d'épaississage afin d'ajuster sa consistance, la pâte est envoyée vers la cuve de mélange pour être réutilisée.

L'interconnexion entre les équipements s'effectue par le biais de tuyauteries, vannes et dispositifs de contrôle, tous fabriqués en acier inoxydable.

Circuit des eaux blanches

L'eau éliminée de la machine à papier, appelée eau blanche, sert à diluer la pâte qui alimente la caisse de tête. Cette eau, en provenance de la machine, est recueillie dans un réservoir, ou « cuvier », d'où elle est pompée vers les systèmes de désaération et d'épuration au moyen de pompes dont la vitesse est régulée. L'excédent d'eau est envoyé vers un filtre à disques afin de récupérer dans la cuve de mélange, après épaississage, les fibres qu'il contient.

Systèmes d'aspersion d'eau

La machine à papier et ces éléments doivent être lubrifiés et propres en permanence, d'où l'utilisation d'asperseurs d'eau à haute pression. C'est pourquoi le système hydraulique inclut des réservoirs, des pompes, des tuyauteries et des valvules.

Ce système est le principal consommateur d'eau claire de la machine et de toute la fabrique. À ce niveau, l'eau doit présenter un niveau de qualité supérieur afin de satisfaire aux exigences qualité du produit et d'assurer le bon fonctionnement de chaque section.

Une grande partie des mesures de minimisation de la consommation d'eau actuellement implantées ou en phase de recherche et développement, s'orientent vers le remplacement de l'eau claire par de l'eau clarifiée dans les systèmes d'arrosage qui l'autorisent ; ou vers la mise en place de traitements d'épuration (ultrafiltration) permettant d'améliorer les caractéristiques de l'eau clarifiée en vue de sa réutilisation dans les systèmes d'arrosage les plus exigeants.

Systèmes de chauffage des cylindres

Ce type de système fait appel à une chaudière-brûleur qui permet de chauffer de l'huile thermique et par la même les cylindres de la calandre. Cette chaudière utilise le gaz naturel comme combustible.

Systèmes de dosage des produits chimiques et des adjuvants

Comme nous l'avons déjà indiqué, la machine à papier requiert l'utilisation de certains produits chimiques (notamment pour le nettoyage des feutres), d'agents bactéricides permettant d'éviter la formation de colonies de bactéries et de biopellicules ou « slime », d'agents antimousse pour éviter la formation d'écume, d'agents de rétention pour favoriser la formation de floccules de fibres, et de charges minérales comme le carbonate de calcium pour contrôler la porosité, le lissé, la perméabilité (entre autres), de la feuille de papier.

5. PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE EN MATIÈRE DE FABRICATION DE LA PÂTE ET DU PAPIER FLUX DE DÉCHETS ET CONSOMMATIONS

Le processus de fabrication de la pâte et du papier pose diverses problématiques environnementales qui dépendent dans une large mesure des matières premières utilisées, des charges, des adjuvants et des pigments ainsi que des procédés associés à cette industrie.

Ce chapitre décrit les différentes sources de pollution atmosphérique, de déversements et de résidus solides associés aux principaux procédés de fabrication de la pâte et du papier. Nous proposerons parfois des options de gestion parmi lesquelles les solutions obligatoires devront dans tous les cas être particulièrement contrastées avec les obligations de gestion des flux de déchets établies dans chaque pays.

Afin de faciliter la compréhension des différentes sections de ce chapitre, les schémas généraux de la production des flux de déchets associés à chaque procédé décrit dans le chapitre 4 sont présentés ci-après.

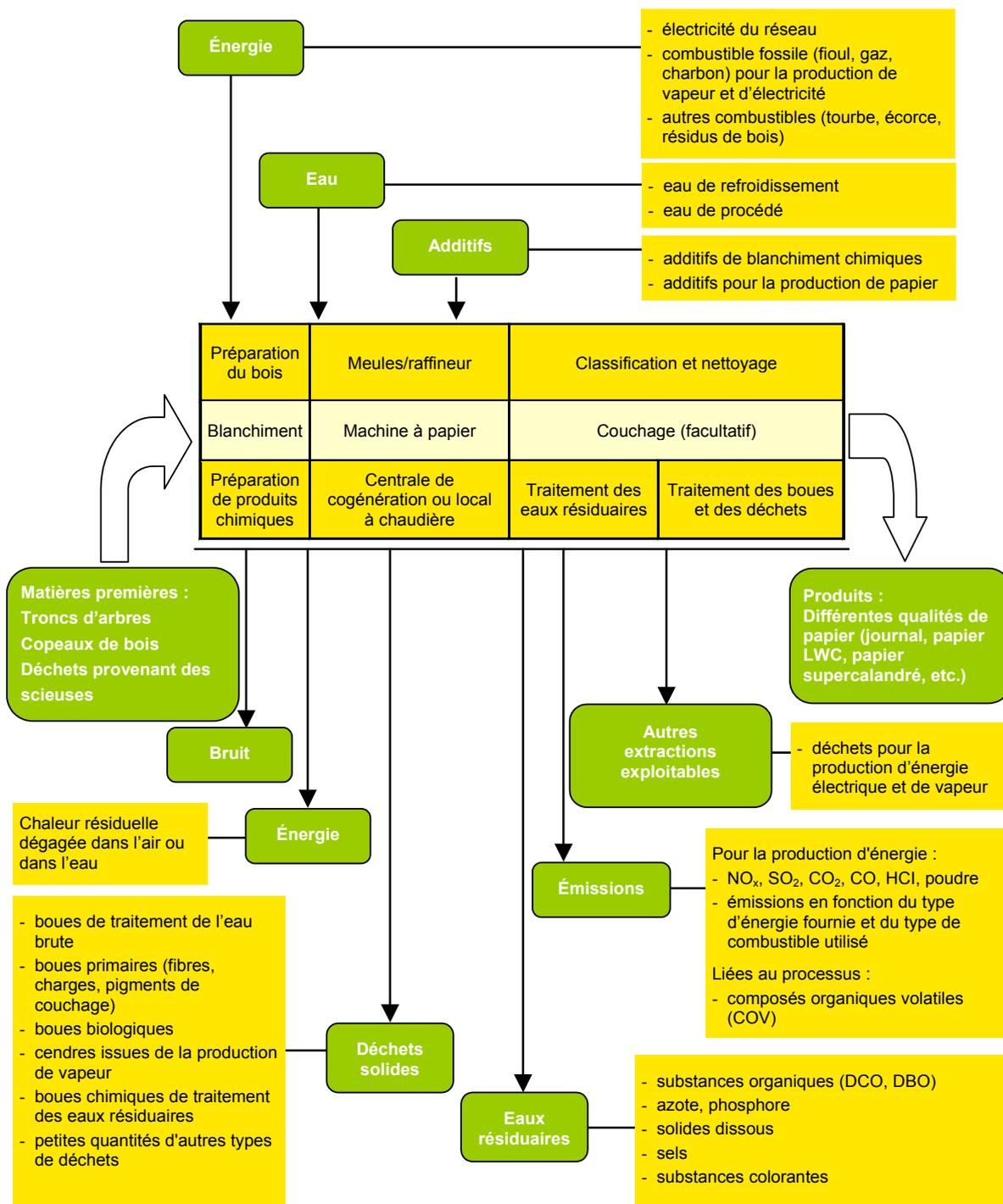


Figure 5.1. Fabrication de pâte mécanique

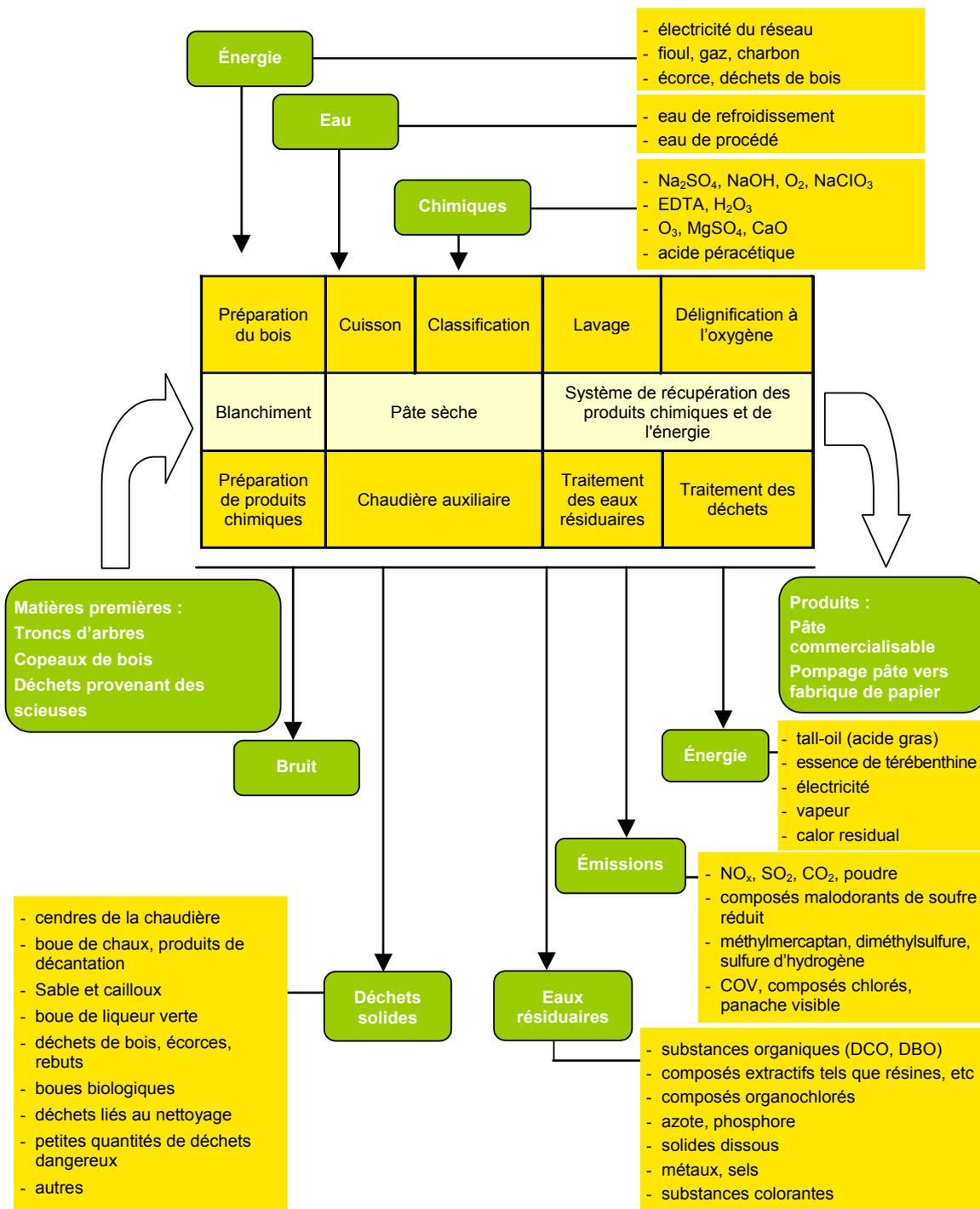


Figure 5.2. Procédé de fabrication de la pâte kraft

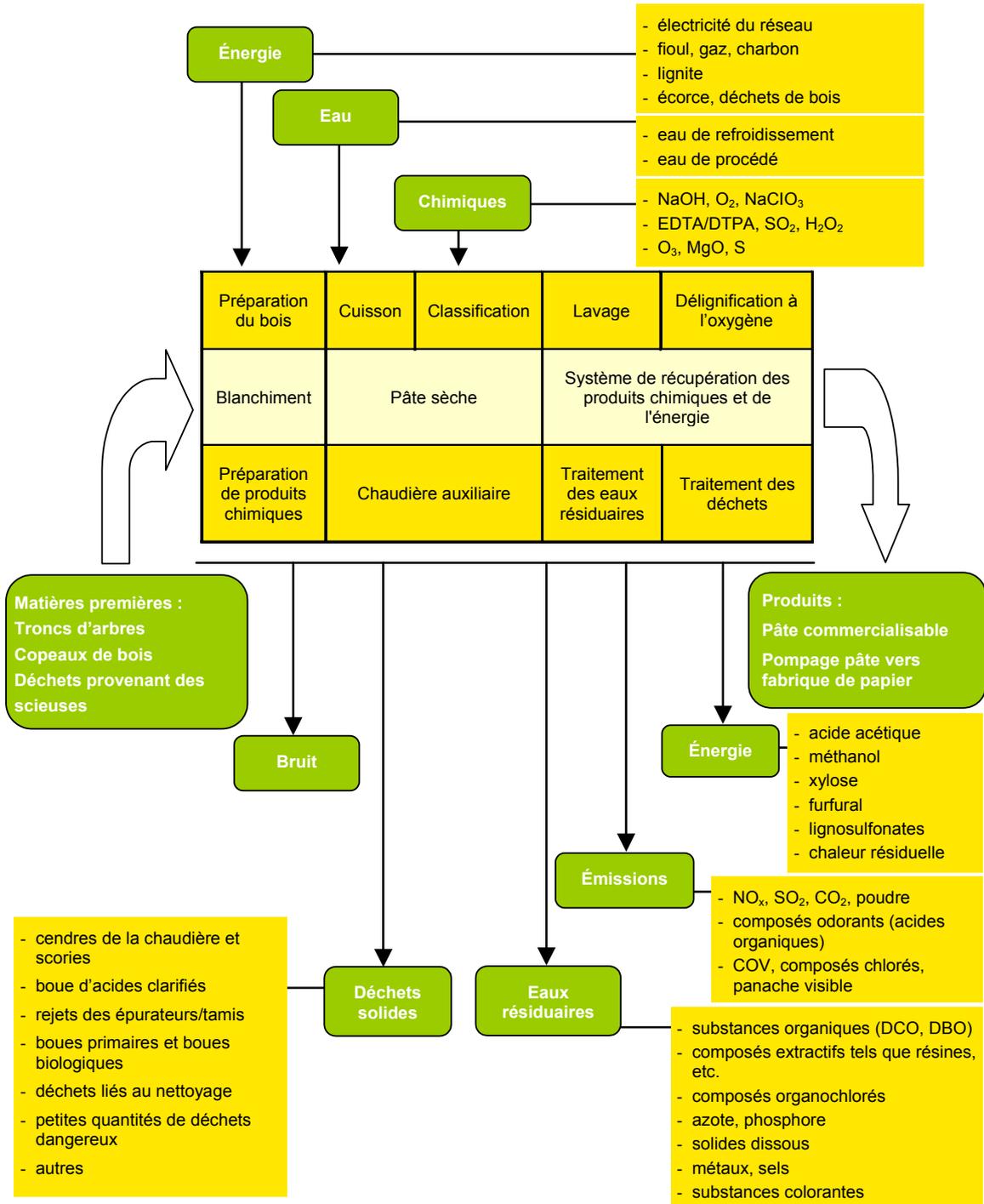


Figure 5.3. Procédé de fabrication de la pâte au sulfite

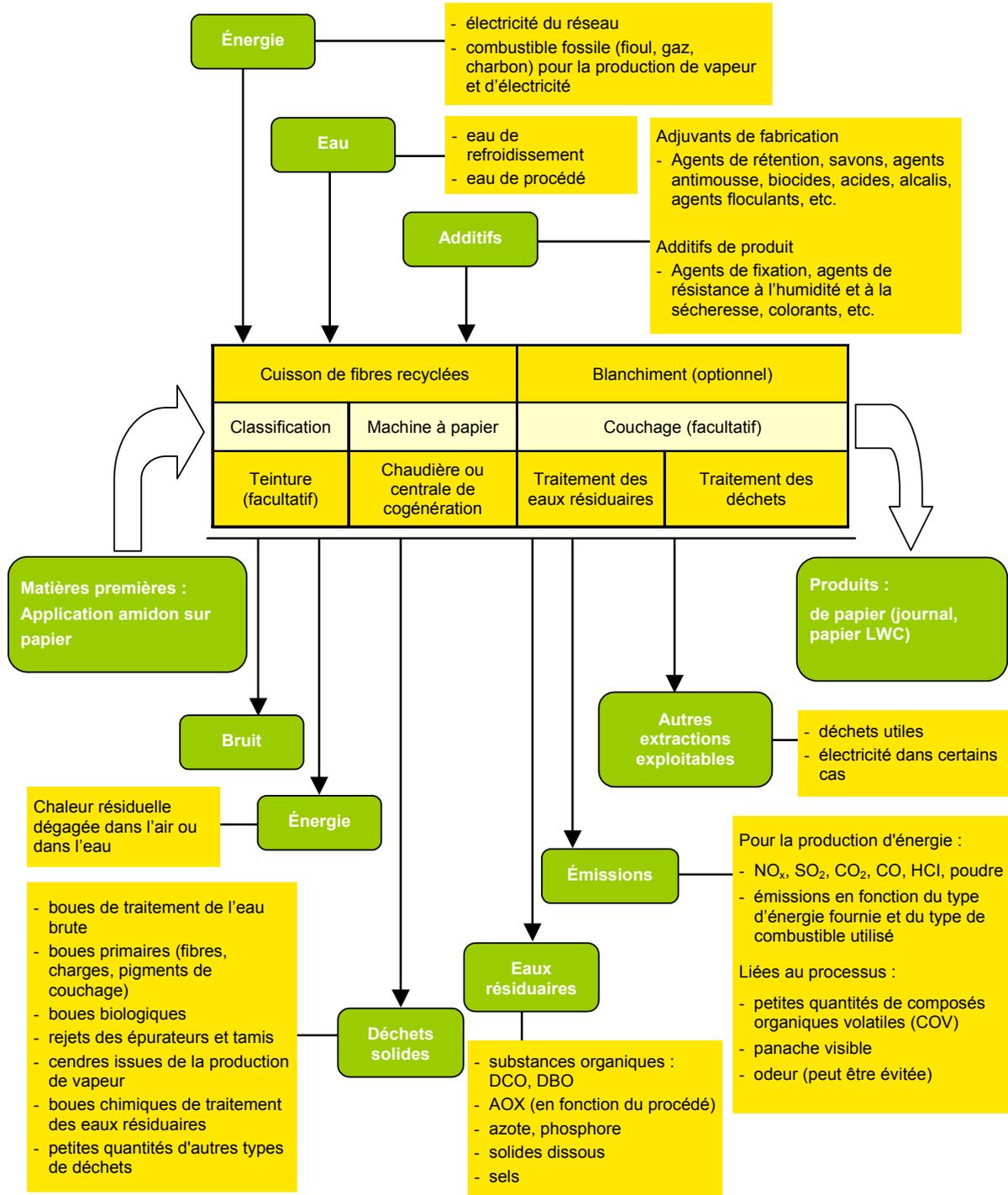


Figure 5.4. Fabrication de papier recyclé

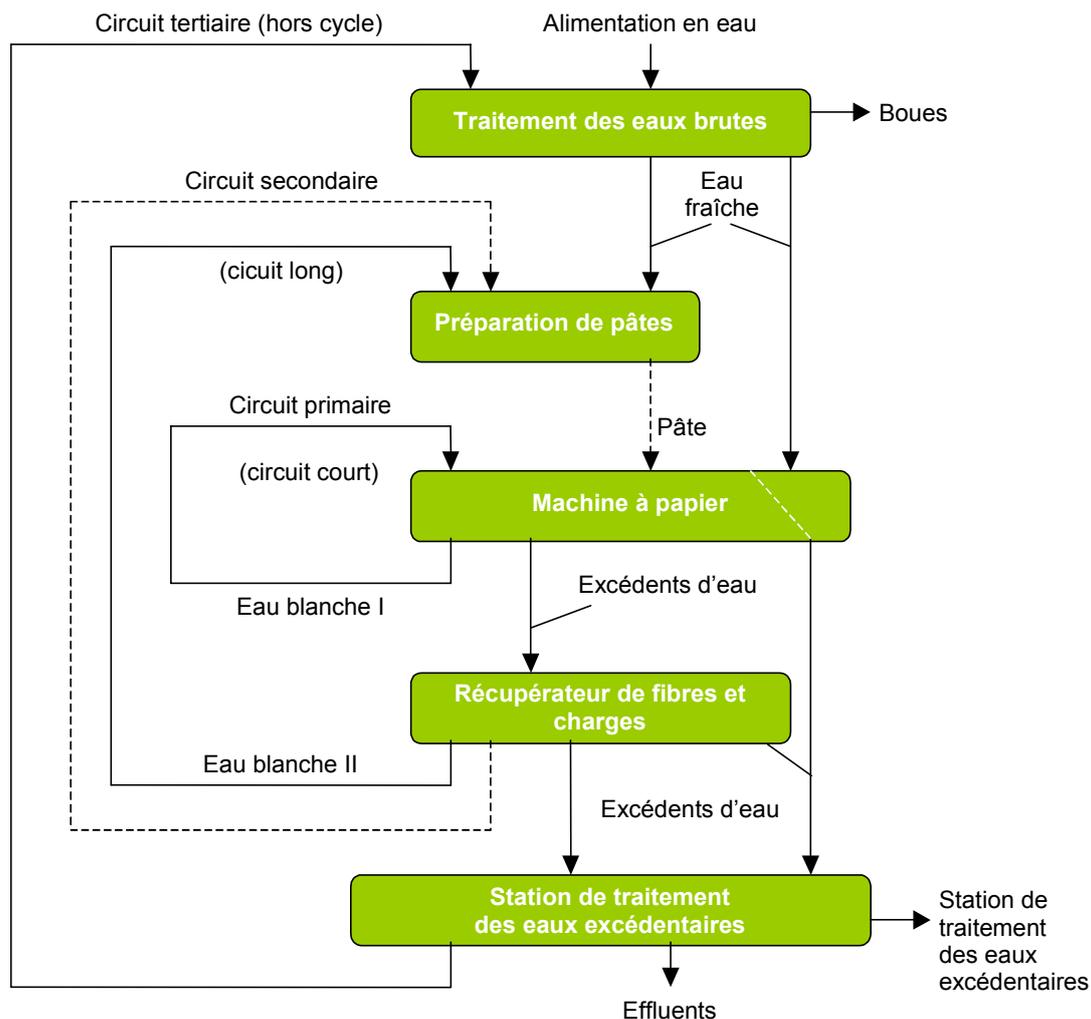


Figure 5.5. Flux de pâte, eau et déchets dans une fabrique de papier

Source : IHOBE

5.1. SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ET LEUR CONTRÔLE

L'une des répercussions de l'industrie de la pâte et du papier sur l'environnement est la pollution atmosphérique due à la production de composés organiques volatils, composés malodorants, particules, etc. Ces émanations dépendent du procédé de production mené à bien.

Les émissions associées à chaque procédé de fabrication de pâte et de papier sont décrites ci-après.

5.1.1. Préparation de la matière première

À ce stade, le volume et la concentration des émissions atmosphériques sont relativement faibles ; ces dernières se limitent uniquement à l'émanation de composés organiques volatils provenant du stockage du bois et des copeaux.

5.1.2. Élaboration de la pâte à papier

Tout au long du processus de production, de pâtes de cellulose des émissions atmosphériques peuvent être générées sous forme de particules et de gaz issus de la phase de cuisson chimique du bois. La composition de ces émissions dépend des procédés appliqués. Les gaz sont générés lors de

la combustion des liqueurs noires et contiennent des particules et des composés volatils de soufre. Ces composés de soufre sont responsables des mauvaises odeurs caractéristiques de cette industrie. Quant à elles, les émissions de particules proviennent des chaudières de récupération des liqueurs noires.

Contrairement aux procédés chimiques, les procédés mécaniques n'émettent aucune substance chimique à base de soufre dans l'atmosphère, et ne s'accompagnent donc pas d'odeurs désagréables. Le volume et la concentration des émissions atmosphériques provenant de la fabrication de pâtes mécaniques sont relativement faibles ; ces émanations se limitent uniquement aux émissions de composés volatils issus du stockage de bois et des copeaux et, en ce qui concerne les pâtes thermomécaniques, de leur traitement à la vapeur.

La préparation de pâte à base de papier de récupération n'est associée à aucune source de pollution atmosphérique importante. Les émissions proviennent essentiellement du combustible utilisé pour la production de la vapeur nécessaire au séchage du papier. Certaines fabriques disposent de sites d'incinération des boues et produisent ainsi de la vapeur qu'elles utilisent dans le processus de séchage du produit final. Cette incinération entraîne des émissions atmosphériques qui sont traitées par le biais de séquences de filtrage et de condensation des gaz.

Le procédé d'obtention de pâte chimique kraft a constitué ces dernières années un exemple de réduction du volume d'effluents produits par tonnes de pâte produite. Ceci, combiné aux économies de réactifs employés et à la récupération des réactifs et de l'énergie a permis de conserver ce procédé depuis un siècle et demi ; un procédé qui aujourd'hui reste encore la principale technique de fabrication des pâtes chimiques. Compte tenu du fait que cette méthode est très répandue, les commentaires qui suivent se réfèrent exclusivement au procédé kraft.

La figure 5.1.1. offre une présentation générale des sources et de la nature des émissions associées au procédé de fabrication de pâte kraft.

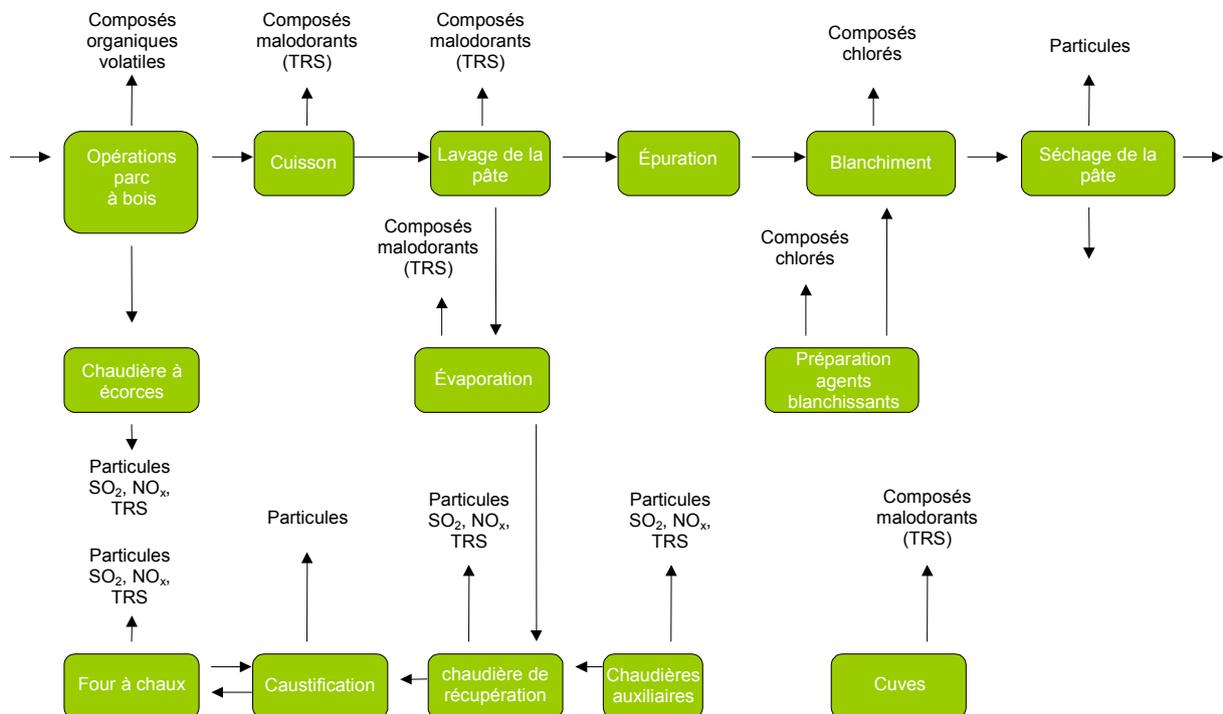


Figure 5.1.1. Émissions atmosphériques d'une fabrique de pâte kraft, source : BREF

La majorité des émissions incluent des composés de soufre, parmi lesquels du dioxyde de soufre et des composés de soufre réduit (TRS), comme le méthylmercaptan, le sulfure de diméthyle, ou encore le sulfure d'hydrogène. Ces composés se caractérisent par leur odeur désagréable, même à de très

faibles concentrations (ppb). Les réactions dérivées du méthylmercaptan et du sulfure de diméthyle sont détaillées ci-après.

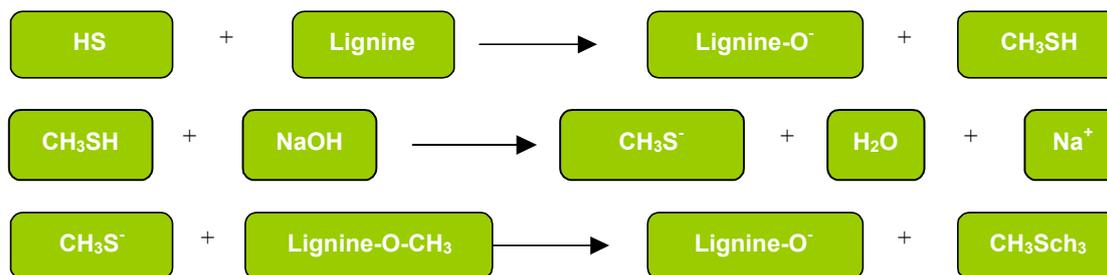


Figure 5.1.2 : Formation de méthylmercaptan et de sulfure de diméthyle

Les cheminées des chaudières à vapeur émettent également des oxydes d'azote, des oxydes de carbone et des particules sous forme de poussière. Des fuites de chlore vers l'atmosphère peuvent également se produire, au niveau de l'usine de blanchiment et des usines de fabrication et de préparation de composés chlorés.

Composés de soufre réduit (TRS)

Les gaz contenant des TRS, produits lors de la fabrication de pâte kraft, se divisent en deux catégories : les gaz de faible volume et forte concentration, appelés généralement LVHC (Low Volume High Concentration), et les gaz de volume élevé et faible concentration ou HVLC (High Volume Low Concentration). Les gaz de forte concentration sont ceux dont la concentration de soufre est supérieure à 0,5 g de S/Nm³ ; en revanche, les gaz de faible concentration sont ceux dont la quantité de soufre est inférieure à cette valeur.

Les gaz concentrés de type LVHC proviennent du processus de cuisson, de l'évaporation et du « stripping » (purification) des condensats. L'ensemble de ces gaz représente un volume approximatif de 25 Nm³/t de pâte. Leur teneur en soufre varie généralement entre 1 et 3 kg de S/t de pâte ; celle-ci est plus importante dans les pâtes fabriquées à base de feuillus que dans les pâtes de conifères en raison de la structure de la lignine contenue dans ces bois.

Ces gaz peuvent être récupérés et brûlés dans le four à chaux ou dans des incinérateurs indépendants installés à cette fin dans des chaudières auxiliaires.

Les gaz de faible concentration (HVLC) sont issus de l'étuvage des copeaux, de l'épuration de la pâte, du lavage, de la chaudière de récupération, de la caustification, du four à chaux et des réservoirs de stockage des liqueurs noires. Ces gaz représentent un volume de 2 000 à 3 000 Nm³/t de pâte avec une concentration de 0,2-0,5 kg de S/t de pâte. Ces gaz diffus peuvent être récupérés et brûlés dans la chaudière de récupération, les chaudières auxiliaires ou le four à chaux, à condition de ne pas les mélanger avec les gaz LVHC, de part le risque élevé d'explosion lié à ce type de mélange. Le traitement des gaz de faible concentration peut également avoir lieu dans des tours d'absorption « scrubber » (épurateur-laveur).

Composés chlorés issus du processus de blanchiment et de préparation des produits chimiques

En raison des problèmes environnementaux liés à l'utilisation de chlore élémentaire dans les processus de blanchiment de pâte, ce réactif a été remplacé par le dioxyde de chlore. Par la suite, ce dernier s'est vu lui aussi supplanté par d'autres produits, tels que le peroxyde d'hydrogène et l'ozone, qui permettent d'atteindre un objectif de blancheur de pâte correspondant à la demande du marché. Ainsi, aujourd'hui, il est possible d'obtenir des pâtes ECF et TCF auxquelles nous avons fait référence précédemment. Étant donné que le passage du blanchiment conventionnel à base de chlore élémentaire au blanchiment ECF a supposé un progrès considérable en termes de protection de l'environnement, le passage du blanchiment ECF au blanchiment TCF suscite aujourd'hui un débat

permanent. En ce qui concerne les pâtes ECF, les émissions de composés organo-halogénés adsorbables (AOX) sont $< 0,4$ kg/t de pâte, si la première étape de lavage est supprimée après le blanchiment au chlore ; pour les pâtes TCF, les émissions d'AOX sont $< 0,25$ kg/t de pâte. La polémique enfle car les blanchiments TCF génèrent moins d'émissions mais offrent des pâtes plus chères, tandis que les pâtes ECF présentent une teneur en AOX légèrement supérieure mais dont la concentration est si faible que les agents polluants sont biodégradables et peuvent être épurés par traitement biologique.

Les fabriques de pâte kraft qui emploient du dioxyde de chlore comme agent blanchissant émettent dans l'atmosphère une certaine quantité de composés chlorés issus de l'usine de blanchiment et de la section de préparation du dioxyde de chlore.

Éléments non-condensés de purge de digesteurs

Les vapeurs de purge de digesteurs contiennent des substances volatiles qui n'ont pas été retenues par les condensateurs : dioxyde de soufre, sulfure d'hydrogène, méthylmercaptans, sulfure de diméthyle, disulfure de diméthyle. À ces substances, viennent s'ajouter, à des concentrations moindres, des vapeurs de certains composés organiques légers tels que l'éthanol ou l'acétone.

Émissions de la chaudière de récupération

Dans une fabrique de pâte kraft, la chaudière de récupération constitue l'une des plus importantes sources d'émissions gazeuses (figure 5.1.3).

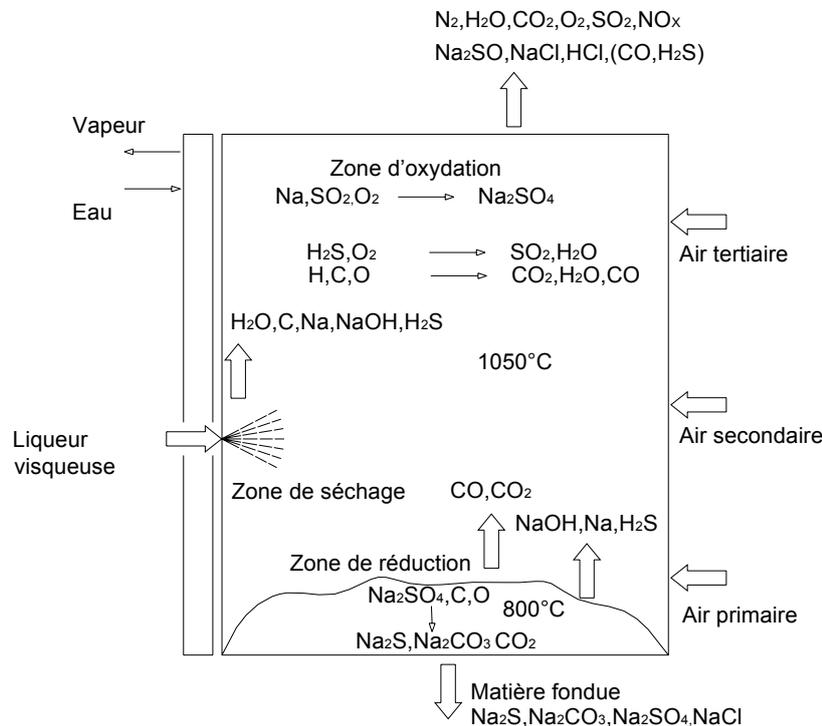


Figure 5.1.3. Chaudière de récupération

La chaudière de récupération, alimentée par les liqueurs noires concentrées, a une triple fonction :

- éliminer par combustion les liqueurs noires, principale source potentielle de pollution ;
- récupérer les réactifs et transformer le sulfate de sodium d'appoint (d'où le nom de « procédé au sulfate », lorsqu'on utilise de la soude et du sulfure de sodium comme réactifs) ;
- récupérer l'énergie sous forme de vapeur pour alimenter la turbine de production électrique ou pour l'utiliser comme vapeur de procédé.

Ce type d'émission contient majoritairement du dioxyde de soufre, agent polluant résultant de la réduction partielle du sulfate incorporé dans les processus pour compenser les pertes en sodium et en soufre, et la formation par oxydation partielle des sulfures contenus dans les liqueurs noires concentrées. Outre ce polluant, des particules de constituants inorganiques (oxydes d'azote et autres gaz malodorants dérivés du soufre, sulfure d'hydrogène et traces de mercaptans) sont dégagées. Lorsqu'ils arrivent dans l'atmosphère, ces gaz véhiculent à leur tour des particules solides de carbonate et de sulfate de sodium que les électrofiltres n'ont pas pu capter.

Le régime thermique de la combustion dans la chaudière est déterminé par le pouvoir calorifique du combustible, c'est-à-dire, des liqueurs noires concentrées. Les liqueurs sur base sèche sont composées d'un tiers de matière inorganique et deux tiers de matière organique. Plus la concentration de matière organique est forte, plus la température atteinte est élevée dans le foyer de la chaudière : on obtient ainsi des conditions plus favorables à la réduction des émissions de composés de soufre. Néanmoins, plus la température est élevée, plus la concentration d'oxydes d'azote dans les gaz de combustion est importante.

Les émissions de dioxyde de soufre dans la chaudière de récupération sont réduites de 80 % lorsque la concentration en solides des liqueurs noires passe de 65 % à 78 %, dû à une température plus élevée dans le foyer de la chaudière.

Les réactions dans le foyer de la chaudière sont complexes. Trois zones caractérisées par des concentrations en oxygène et des températures différentes apparaissent : dans la zone inférieure de la chaudière, nous sommes en présence d'une atmosphère réductrice et d'une température d'environ 800 °C ; les sulfates y sont transformés en sulfures. Dans la zone intermédiaire, où la température se situe autour de 1 050 °C, se produit la réduction en sulfites et SO₂. Enfin, dans la zone supérieure à milieu oxydant, les particules contenues dans les effluents gazeux forment les sulfates.

Le rendement de production de vapeur d'une chaudière de récupération avancée pour substances à haute teneur en solides est de 75 %. Les liqueurs noires superconcentrées ont un pouvoir calorifique de 21,0 GJ/t.

Les gaz de la chaudière sont épurés des particules qu'ils contiennent dans un précipitateur électrostatique. Les particules volantes, principalement constituées de sulfate de sodium, sont incorporées dans les liqueurs avant l'introduction de ces dernières dans la chaudière.

En outre, les chaudières de récupération peuvent être équipées d'un épurateur de gaz visant à réduire les émissions de soufre. Le pH de la solution d'épuration est maintenu entre 6 et 7 par incorporation contrôlée de soude.

Le tableau 5.1.1. présente les valeurs types des concentrations et des émissions les plus courantes associées à la chaudière de récupération des liqueurs noires.

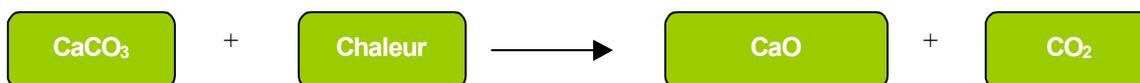
Tableau 5.1.1. Valeurs types des émissions d'une chaudière de récupération

Dioxyde de soufre	
Sans épurateur-laveur (absorption de gaz) et 63-65 % DS de liqueur noire	100-800 mg/Nm ³
Avec épurateur-laveur et 63-65 % de DS de liqueur noire	20-80 mg/Nm ³
Sans épurateur-laveur et 72-80 % de DS de liqueur noire	10-100 mg/Nm ³
Sulfure d'hydrogène	
90 % du temps	< 10 mg/Nm ³
Oxydes d'azote	
Comme NO ₂	100-260 mg/Nm ³
Particules	
Après le précipitateur électrostatique	10-200 mg/Nm ³

DS (solides dissous) Source : IHOBE

Émissions du four à chaux

Les boues de carbonate de calcium produites lors du processus de caustification sont calcinées dans le four à chaux à température élevée de façon à permettre la régénération de l'oxyde de calcium conformément à la réaction :



Régénération de l'oxyde de calcium dans le four à chaux

Comme nous l'avons déjà mentionné, les émissions du four à chaux sont composées principalement de dioxyde de carbone, dioxyde de soufre, oxydes d'azote et composés de soufre réduit.

Tableau 5.1.2. Valeurs types des émissions d'un four à chaux

Dioxyde de soufre	
En faisant brûler du fioul dépourvu de gaz incondensable	5-30 mg/Nm ³
En faisant brûler du fioul avec gaz incondensables	150-900 mg/Nm ³
Sulfure d'hydrogène	
Normalement	< 50 mg/Nm ³
Oxydes d'azote (comme de NO₂)	
En faisant brûler du fioul	240-380 mg/Nm ³
En faisant brûler du gaz	380-600 mg/Nm ³
Particules	
Après le précipitateur électrostatique	20-150 mg/Nm ³
Après absorption des gaz dans l'épurateur-laveur	200-600 mg/Nm ³

Source : IHOBE

Les émissions de dioxyde de soufre du four à chaux proviennent essentiellement du fioul employé comme combustible, et des HVLC en cas d'utilisation de la chaudière pour l'incinération de ces gaz.

Le soufre qui entre dans le four à chaux avec les boues de carbonate de calcium n'a donc qu'une importance secondaire.

Les émissions de composés de soufre réduit malodorants (TRS) du four à chaux comprennent principalement du sulfure d'hydrogène.

Les émissions d'oxydes d'azote dépendent de la teneur en azote du fioul et de la température de combustion. Lorsque les gaz HVLC sont brûlés, du biogaz et du méthanol viennent se joindre aux émissions d'oxydes d'azote.

Émissions des chaudières auxiliaires

L'écorce provenant de l'écorçage du bois peut être utilisée comme combustible afin de produire de l'énergie. Le rendement thermique des chaudières à écorces sont liés au taux d'humidité du combustible. L'écorçage à sec et le pressage des écorces peuvent réduire significativement cette humidité. De même, le stockage dans les zones climatiques sèches, où l'humidité relative de l'air permet un séchage à l'air, offre un combustible présentant 45 % d'humidité et un pouvoir calorifique situé entre 7 et 8 GJ/t.

Les émissions de la chaudière à écorces sont exemptes, ou du moins contiennent d'infimes quantités, d'oxyde de soufre, puisque l'écorce ne contient quasiment pas de soufre. La faiblesse des émissions d'oxyde de soufre s'explique également par une température de combustion relativement basse par rapport aux températures observées avec d'autres combustibles.

Tableau 5.1.3. Émissions atmosphériques de chaudières à écorce

Unité	S	NO _x	Particules
kg/t	0,1-0,2	0,3-0,7	0,1-0,6
mg/MJ	5-15	40-100	20-200

Source : IHOBE

Les émissions de particules en cas d'utilisation de précipitateurs électrostatiques sont de l'ordre de 20-40 mg/Nm³, et d'environ 200 mg/Nm³, en cas d'utilisation de cyclones. Les petites installations recourent généralement à des multicyclones, plus efficaces que les cyclones, mais toujours inférieurs aux électrofiltres.

Initialement, dans les chaudières auxiliaires, les fabriques utilisaient comme combustible le charbon, lequel a été progressivement remplacé par le fioul ou le gaz. Actuellement, le fioul ou le gaz est employé pour compléter un approvisionnement insuffisant en écorce.

Les valeurs des émissions types associées aux chaudières auxiliaires fonctionnant au fioul sont détaillées ci-après.

Tableau 5.1.4. Émissions atmosphériques de chaudières à écorce

Type de combustible	mg NO _x /MJ	mg S/MJ	Particules (mg/m ³)
Fioul	60-250	25-250	20-200

Source : IHOBE

5.1.3. Fabrication de papier

Les émissions atmosphériques associées aux processus de fabrication du papier et du carton proviennent quasi-exclusivement de la génération de vapeur/énergie électrique dans l'usine même, si bien que le niveau des émissions dans l'atmosphère est directement lié à la production de vapeur et

d'électricité. Les seules émissions à prendre en compte sont celles dues aux fumées formées par la production de vapeur et aux buées d'évaporation expulsées par les hottes de séchage de la machine à papier. Il a été constaté que ces buées ne présentaient qu'un faible niveau d'émission de composés organiques volatils (COV) et que les autres agents polluants y étaient quasi-absents.

L'utilisation du gaz naturel comme combustible dans les centrales à cycle combiné permet une exploitation très efficace de l'énergie : elle autorise la production d'énergie électrique dans une turbine à gaz et la récupération de la chaleur des gaz d'échappement des turbines pour produire de la vapeur, laquelle est utilisée à son tour pour générer de l'électricité dans les turbines à vapeur. La vapeur de contre-pression des turbines permet, en outre, de satisfaire les besoins en chaleur de la section de séchage de la machine à papier. Ce procédé se caractérise par un niveau de pollution émise par unité d'énergie produite (électricité et vapeur) beaucoup plus bas que celui des systèmes conventionnels de production d'énergie électrique et thermique.

La combustion du gaz naturel, présentant une teneur en soufre très faible, évite les problèmes d'émissions de SO₂ et de particules provenant d'éléments non-brûlés. La concentration d'oxydes d'azote dans les gaz de combustion peut être réduite en agissant sur la conception même de la chambre de combustion de la turbine à gaz, de façon à éviter l'apparition de zones de flamme oxydante de température élevée, nécessaires à la combinaison chimique des gaz de l'air, et/ou en recourant à des systèmes de réduction catalytique des oxydes d'azote dans les gaz d'échappement des turbines.

5.1.4. Émissions de dioxydes de carbone

Le protocole de Kyoto (1997), qui développe la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (1992), suppose un défi international important afin de stabiliser la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère en vue de prévenir les perturbations climatiques.

L'industrie papetière est à l'origine de certaines émissions de gaz à effet de serre (CO₂). Toutefois, le recours aux énergies renouvelables, à l'efficacité énergétique et à la cogénération, contribue à réduire les chiffres des émissions de gaz à effet de serre liées à cette activité.

La source la plus significative d'émissions de CO₂ associée à l'industrie de la pâte et du papier est liée à l'utilisation de l'énergie sous ces trois variantes principales : production d'énergie (électricité et chaleur) sur le site même ou dans des centrales de cogénération interconnectées, achat d'énergie (électricité) à des fournisseurs externes et utilisation des combustibles pour la production de chaleur dans le cadre du processus.

Le schéma suivant décrit l'intégration de la production de pâte-papier-énergie et les sources d'émission de CO₂. Il convient de souligner que les usines de production d'énergie dans l'industrie papetière reposent sur le principe de cogénération :

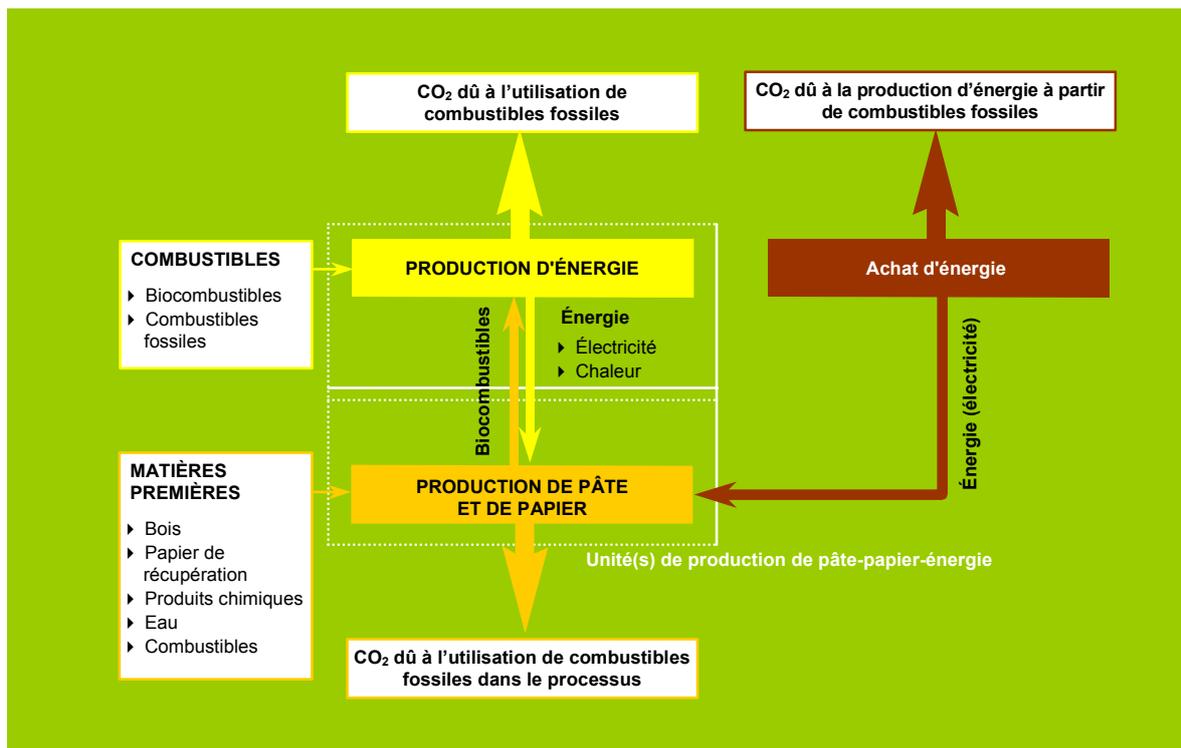


Figure 5.1.4. Intégration de la production de pâte-papier-énergie et sources d'émission de CO₂
Source : ASPAPEL

Les usines de production d'énergie au sein de l'industrie de la pâte et du papier comprennent les installations suivantes (voir description au chapitre 5.5) :

- chaudières de combustion des écorces et résidus de bois ;
- chaudières de récupération qui utilisent les liqueurs noires comme combustible principal ;
- four à chaux ;
- centrales de cogénération dans leurs différentes combinaisons (cycles combinés, cycles simples, moteurs, etc.) ;
- chaudières de production de vapeur.

Une grande partie de l'énergie produite dans l'industrie de fabrication est issue de la biomasse : chaudières à écorces, fines, rebus de tamis et chaudières à liqueurs noires. Le dioxyde de carbone (CO₂) résulte de l'oxydation de la matière.

Néanmoins, l'industrie de la pâte et du papier, dont la demande en termes d'électricité et énergie thermique sous forme de vapeur est intensive, a largement intégré les technologies de cogénération dans ses processus de production. Les centrales de cogénération associées à ce secteur peuvent présenter différentes combinaisons, toutes liées à la production conjointe d'électricité et de vapeur, en fonction de la typologie de chaque centrale : turbines à gaz à cycle simple avec chaudières de récupération de chaleur, cycles combinés avec turbines à gaz et vapeur, moteurs à combustion interne avec récupération de chaleur, etc.

Les chaudières conventionnelles dédiées à la production de vapeur d'eau seront utilisées dans les processus de séchage de la pâte et du papier faisant appel à des combustibles fossiles ; toutefois, dans les centres qui disposent de centrales de cogénération, leur fonction principale consistera à servir d'appui, en tant que chaudières auxiliaires, aux installations de cogénération.

Le choix du type de combustible utilisé dépend dans une large mesure de l'internalisation des coûts de protection de l'environnement associés au prix du combustible en question et de la disponibilité de ce dernier. L'évolution de l'industrie papetière au cours des dix dernières années, caractérisée par un usage extensif des combustibles renouvelables, de la biomasse et du gaz naturel, laisse peu de place à la substitution du combustible en vue de réduire les émissions de CO₂.

Certaines des mesures pouvant être mises en œuvre par l'industrie papetière afin de limiter les changements climatiques sont détaillées ci-après :

- Protocole pour l'imputation des émissions directes et indirectes (associées aux activités électriques) applicable à l'industrie papetière.
- Encouragement de la cogénération dans le secteur de la pâte et du papier.
- Plan sectoriel d'efficacité énergétique dans le secteur de la pâte et du papier.
- Plan de substitution des combustibles dans le secteur de la pâte et du papier.
- Augmenter le taux de récupération et de recyclage du papier.
- Encouragement des peuplements forestiers durables à croissance rapide ou « puits de carbone » liés à l'industrie papetière.

Ces mesures contribueront à la réduction des émissions associées à l'activité papetière dans les installations mêmes (directes) ou aux alentours (indirectes). Dans certains cas, il s'agit d'éventualités qui se concrétiseront dans la mesure où les incitations et instruments nécessaires seront mis en place.

À titre d'exemple, nous vous présentons ci-après l'évaluation de la diminution des émissions de gaz à effet de serre en Espagne, associées à la mise en œuvre de certaines mesures évoquées précédemment :

Tableau 5.1.5. Réduction des émissions en Espagne (en kt de CO₂/an)

Mesures	Réductions
Encouragement de la cogénération sectorielle	630-885
Plan efficacité énergétique	60-80
Plan de substitution des combustibles	191-250
Augmenter le taux de récupération	134-173
TOTAL MESURES ENVISAGÉES	1 015-1 388 kt CO₂/an

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

Comme nous pouvons l'observer, la cogénération a une forte répercussion sur la diminution des émissions. Le tableau 5.1.6. montre les proportions annuelles dans lesquelles l'application du principe de cogénération a permis de réduire les émissions de CO₂.

Tableau 5.1.6. Réduction des émissions en Espagne (en kt de CO₂/an)

Mesures	Effet
Implantation de la cogénération dans le secteur	-1 600 kt CO ₂ /an

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

Le ratio de réduction des émissions de CO₂ dû à la cogénération peut être déterminé par le rendement thermique. Une augmentation du rendement thermique de 12 % pour une même production, entraîne une réduction de 12 % des émissions de gaz à effet de serre.

De même, il est possible de diminuer significativement l'émission de CO₂ en appliquant des mesures présentant une efficacité énergétique telles que : le remplacement de l'éclairage extérieur de la fabrique, la rénovation et le contrôle des points d'éclairage, la substitution des lampes incandescentes par des lampes fluorescentes, le remplacement des transformateurs et des câblages, l'installation d'économiseurs dans les chaudières, le changement et le réglage des brûleurs des chaudières, l'amélioration de l'isolation des lignes de vapeur et de condensation, etc.

Le remplacement de combustibles comme le charbon, le fioul et le gasoil par le gaz contribue aussi largement à la réduction des émissions de CO₂.

Enfin, les espèces à croissance rapide utilisées pour la fabrication du papier et issues d'exploitations forestières gérées selon les critères de développement durable, se comportent comme des puits à CO₂. Un hectare de ce type d'essence peut absorber jusqu'à 40 tonnes de CO₂ par an, soit quatre fois plus que les arbres à croissance lente (hêtres, chênes, etc.). Des études récentes démontrent qu'il n'y a plus de fixation une fois le peuplement forestier arrivé à maturité, ce qui fait des plantations réunissant ces essences une véritable opportunité environnementale.

Ainsi, nous pouvons établir un ratio approximatif du potentiel de réduction des émissions de CO₂ lié à une gestion forestière durable des exploitations sylvicoles.

Tableau 5.1.7. Réduction des émissions en Espagne (en kt de CO₂/an)

Mesures	Réductions
Expansion des plantations forestières durables à croissance rapide liées à l'industrie de la pâte et du papier	4 000 kt CO ₂ /an

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

Enfin, on estime que chaque tonne de papier qui finit dans un site d'enfouissement produit, de par sa décomposition, des émissions directes de gaz à effet de serre de l'ordre d'environ 200 kg CO₂/t de papier. Le recyclage du papier constitue, néanmoins, la plus forte réduction de gaz à effet de serre : l'émission de ces derniers est en effet évitée par le recyclage des déchets urbains. L'augmentation du taux de récupération et de recyclage du papier permet donc d'éviter les émissions de gaz à effet de serre produites dans les sites d'enfouissement par les déchets papetiers non-récupérés.

5.2. SOURCES DE PRODUCTION DES DÉVERSEMENTS ET CONTRÔLE DE CES DERNIERS

Une fabrique de pâte et de papier génère une grande quantité de déversements dont le volume correspond approximativement au volume d'eau consommée, auquel il faut soustraire l'eau émise sous forme de buées de séchage, l'eau perdue lors de la vaporisation et des purges de vapeur ou encore celle contenue sous forme d'humidité dans la feuille de papier finale.

La diminution de la consommation d'eau via la mise en place de circuits fermés internes combinée à la réutilisation échelonnée des courants d'eau provenant de certaines étapes du processus par d'autres étapes requérant des eaux de qualité inférieure, permet de diminuer le volume des déversements d'eaux résiduelles. Ceci entraîne en outre des économies importantes en cas de projet de réalisation d'installations pour le traitement final des eaux résiduelles.

La pollution des eaux dépend principalement des matières premières employées, des critères de réduction de la consommation d'eau appliqués dans le projet de l'installation, des conditions de fonctionnement des étapes du processus de fabrication qui génèrent les plus gros volumes de

déversements et le plus de charges polluantes, ainsi que du niveau d'intégration des circuits des eaux de procédé afin d'assurer un fonctionnement en circuit fermé dans le but d'atteindre l'émission zéro.

Les paramètres les plus utilisés pour mesurer le niveau de pollution des effluents sont : la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO), le carbone total (CT), le carbone organique total (COT), la salinité, comme conducteur électrique (CE), total des solides en suspension (TSS), les nutriments, comme l'azote total et le phosphore total. En outre, dans le cas particulier de l'industrie de la pâte, les composants halogénés organiques adsorbables (AOX) sont également mesurés.

DBO (demande biologique en oxygène) : mesure la consommation d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie aérobie de la matière organique présente dans l'eau. La DBO des déversements détermine la consommation d'oxygène dans le lit récepteur. Lorsque la consommation d'oxygène est supérieure à la capacité de renouvellement du lit, cela peut créer des conditions anoxiques qui empêchent la vie aquatique. Cet essai dure généralement 5 jours (DBO₅). Les résultats sont exprimés en mg/l ou ppm.

DCO (demande chimique en oxygène) : il s'agit de la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l ou ppm) consommée au cours de l'oxydation chimique totale de la matière présente dans les eaux résiduaires. La DCO détermine la capacité des déversements à consommer l'oxygène lorsqu'ils sont jetés dans les eaux réceptrices. Une consommation d'oxygène excessive porte préjudice à l'environnement puisqu'elle réduit la concentration d'oxygène dissous dans l'eau, si bien que le développement de la vie aquatique s'en trouve compromis.

TSS (total des solides en suspension) : mesure la quantité de particules en suspension dans l'eau. Une charge trop élevée de SS entraîne la disparition de la vie aquatique car cela obstrue les ouïes des poissons ou supprime les fonctions photosynthétiques des végétaux en empêchant le passage des rayons du soleil.

AOX Composés organiques halogénés adsorbables : renvoie à la quantité totale de chlore contenu dans les composés organiques des eaux résiduaires. Ces composés sont d'origine naturelle mais sont également formés au cours du blanchiment de la pâte chimique. Tout excès d'AOX doit se limiter à des niveaux non-préjudiciables pour l'environnement, dans la mesure où les composés AOX, tels que les dioxines, le chloroforme et les composés chlorophénoliques (dont les chlorophénols, les chlorocatécols et les chloroguaiacols), sont très dangereux car ils sont liposolubles, c'est-à-dire cumulables par les tissus gras des animaux, hautement toxiques et difficilement dégradables.

5.2.1. Préparation de la matière première

Réception et stockage

Les eaux de pluie en contact avec le bois situé dans le parc de stockage, outre le fait de dissoudre certains composants du bois, peuvent contenir des particules solides.

Les composés lixiviés par l'eau durant le stockage du bois dépendent de nombreux facteurs : précipitations, température, type de bois, temps de stockage et action des saprophytes.

Le tableau 5.2.1. détaille la composition des polluants solubles de trois échantillons provenant d'un parc où est transformé le bois de conifère ; celui-ci met en valeur la grande variabilité des paramètres de pollution.

Tableau 5.2.1. Paramètres associés aux effluents liquides d'un parc à bois dédié au traitement des conifères

Paramètre	Écoulement 1	Écoulement 2	Écoulement 3
DBO ₅ mg/l	150	310	740
DCO mg/l	765	3150	3250
Toxicité (% v/v) Microtox	20	10	8

Source : Industrial Environmental Control. Pulp and Paper ; M. Springer. Ed. Tappi, 3^e édition, 2002

Les écoulements du parc à bois sont recueillis dans le bassin d'orage puis incorporés dans le système général de traitement des eaux résiduaires de l'usine, en réalisant au préalable un traitement dont le but est d'éliminer les solides (sable, terre, fragments d'écorce et copeaux). Le débit qui afflue vers le bassin d'orage est déterminé à partir des précipitations. Pour donner un ordre d'idée, on estime qu'un volume de 300 m³ correspond à un parc à bois de 1 ha et une précipitation moyenne de 30 mm.

$$\text{Débit (m}^3/\text{h)} = \text{précipitation (mm/heure)} \times 10^{-3} \times \text{surface coefficient d'écoulement}$$

Le coefficient d'écoulement étant égal à 1 sur les surfaces sur lesquelles ne se trouve aucun tronc, pavées, et dont la pente est orientée vers les collecteurs. Ce critère de conservation peut s'appliquer à l'ensemble du parc, sans tenir compte de l'absorption et de l'évaporation de l'eau dans les piles de troncs.

À partir d'un certain volume de précipitation horaire, estimé à partir des valeurs maximales de précipitation, l'excédent d'eau est directement acheminé vers le bassin, ce type d'effluent étant constitué d'eaux pluviales propres.

Les plantes annuelles sont plus sensibles à la détérioration due à l'action combinée des agents atmosphériques et des micro-organismes ; aussi ces matières premières sont généralement stockées en les empilant dans des hangars couverts.

Déchargement et transport interne

Le déchargement des troncs, des piles jusqu'au système d'alimentation des installations de lavage et d'écorçage, s'effectue par le biais d'autochargeurs à pinces ou à tenailles qui déchargent les troncs via des plans inclinés, depuis lesquels les troncs se déplacent vers des convoyeurs transversaux qui, à leur tour, alimentent le canal de transport ou les convoyeurs mécaniques linéaires.

En cas d'utilisation de canaux de transport, l'eau de circulation qui parcourt le canal en circuit fermé, impulsée par des pompes qui créent un courant, acquiert au fil du temps une charge polluante similaire à celle des écoulements. Ces eaux présentent des extractifs de bois et sont aussi fortement chargées de solides en suspension (terre, fragments d'écorce, copeaux, etc.), ce qui justifie un traitement des eaux purgées du canal avant tout déversement.

Écorçage

L'écorce influe énormément sur la blancheur et, en général, sur la qualité du papier. Aussi, il convient de procéder à l'écorçage du bois avant sa transformation pour la fabrication de pâtes cellulosiques. L'usine d'écorçage représente l'une des plus importantes zones de pollution liée aux opérations préalables de préparation de la matière première. Cette usine consomme de l'eau et produit des effluents toxiques pour la vie aquatique car ceux-ci présentent de fortes teneurs en nutriments, fibres et composés organiques consommateurs d'oxygène, notamment des acides résiniques, des acides gras, etc.

Différentes techniques d'écorçage sont disponibles ; celles-ci peuvent être classées en fonction de la consommation d'eau qu'elles impliquent :

- **Écorçage humide** : les tambours et cylindres rotatifs sont partiellement immergés dans l'eau. L'eau est recyclée en partie et purgée dans une certaine proportion afin de filtrer les écorces et éviter une forte concentration de solides en suspension et de matière organique dans le circuit. La consommation d'eau dépend du niveau de circulation appliqué ; les valeurs varient entre 0,6 et 2 m³ d'eau par stère de bois (1 m³ de volume apparent de bois) ou de 3 à 10 m³ d'eau par tonne de pâte produite.
- **Écorçage semi-humide** : recourt à des douches et des systèmes d'aspersion internes. L'eau entraîne les écorces et les impuretés qui sortent des rainures du tambour.
- **Écorçage à sec** : on utilise uniquement de l'eau chaude, à une température d'environ 40 °C, pour dégivrer les troncs dans les régions froides. Cette eau est ensuite recyclée avec une production d'eaux résiduaires et une pollution hydrique minimales. Cette technique produit des écorces présentant un taux d'humidité plus faible, mais un pouvoir calorifique plus important lorsque celles-ci sont utilisées dans la chaudière.

De la même manière que l'écorçage, le pressage des écorces (dont l'objectif est d'éliminer l'eau en vue d'une combustion ultérieure des écorces dans la chaudière) produit des effluents toxiques pour la vie aquatique. Le tableau 5.2.2. montre le degré de toxicité des effluents en fonction de la technique d'écorçage choisie.

Tableau 5.2.2. Écotoxicité des effluents provenant de l'écorçage humide

Paramètre	Écorçage humide et pressage des écorces	Écorçage à sec et pressage des écorces
DBO ₅ mg/l	3 500	250
DCO mg/l	6 500	600
Toxicité (% v/v) Microtox	4	10
Toxicité (unité de toxicité aiguë - UTa) Microtox	25	10

Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

Parmi les mesures proposées en vue de la réduction de la consommation d'eau et des déversements hydriques, figure le remplacement de l'écorçage humide par l'écorçage à sec, une méthode déjà adoptée par de nombreuses usines de papier de l'UE. L'écorçage humide utilise environ 0,6 à 2 m³ d'eau par m³ de bois, contre 0,1 à 0,5 m³ pour l'écorçage à sec.

Il a été démontré que les traitements biologiques sont très efficaces pour éliminer la toxicité des effluents en question.

Les taux de pollution typiques associés aux effluents d'une usine d'écorçage, avant traitement biologique, sont résumés dans le tableau 5.2.3.

Tableau 5.2.3. Taux de pollution associés aux effluents d'une usine d'écorçage sans traitement biologique préliminaire

Technique d'écorçage	Volume de l'effluent (m ³ / m ³ de bois) (m ³ / t de pâte)	DBO ₅ (kg / m ³ de bois) (kg/t de pâte)	DCO (kg / m ³ de bois) (kg/t pâte)	Phosphore total (g/m ³ de bois) (g/t de pâte)
Écorçage humide et pressage des écorces	0,6-2 3-10	0,9-2,6 5-15	4-6 20-30	5-7 25-35
Écorçage à sec et pressage des écorces	0,1-0,5 0,5-2,5	0,1-0,4 0,5-2,5	0,2-2 1-10	2-4 10-20

Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

5.2.2. Élaboration de la pâte à papier

Pâtes mécaniques

L'eau intervient dans les processus de fabrication de pâtes mécaniques et thermomécaniques par le biais d'un circuit fermé qui permet de maintenir sa température. Pour ces processus, les principales opérations productrices d'effluents sont la préparation de la matière première, le lavage et le blanchiment.

Le taux de pollution typique associé à ces déversements, exprimé en termes de DBO₅ et DCO, est présenté ci-après :

Tableau 5.2.4. Échelle de valeurs de DCO et DBO₅ des déversements associés à la fabrication de pâtes mécaniques

Type de pâte	DCO (kg/t AD)	DBO ₅ (kg/t AD)
Pâte mécanique traditionnelle (SGW)	20 - 30	8 - 10
Pâte mécanique de raffineur (RMP)	40 - 60	10 - 15
Pâte thermomécanique (PTM)	50 - 80	13 - 22

Source : Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gouvernement basque

Pâte chimique

La consommation d'eau et les caractéristiques des déversements des fabriques de pâtes chimiques constituent un problème environnemental qui prend chaque jour plus d'importance.

Comme nous l'avons fait pour le cas précédent, nous décrivons ci-après la production des déversements d'une fabrique de pâte kraft (ce procédé étant la méthode de fabrication de pâte chimique la plus répandue).

La figure 5.2.1. présente les sources d'émission des déversements provenant d'une fabrique de pâte kraft blanchie, y compris les déversements accidentels.

La problématique posée par les déversements de ce type d'usine est dominée par la consommation d'oxygène des substances organiques dissoutes, mesurée en termes de DCO et DBO. Les effluents

des usines de blanchiment qui emploient des produits chimiques dérivés du chlore, contiennent davantage de composés organochlorés identifiés comme AOX.

Ce type d'effluent contient également des extractifs et des acides résiniques, voire de faibles concentrations de métaux provenant du bois stocké, des composés azotés ou phosphorés et, parfois, des substances colorées.

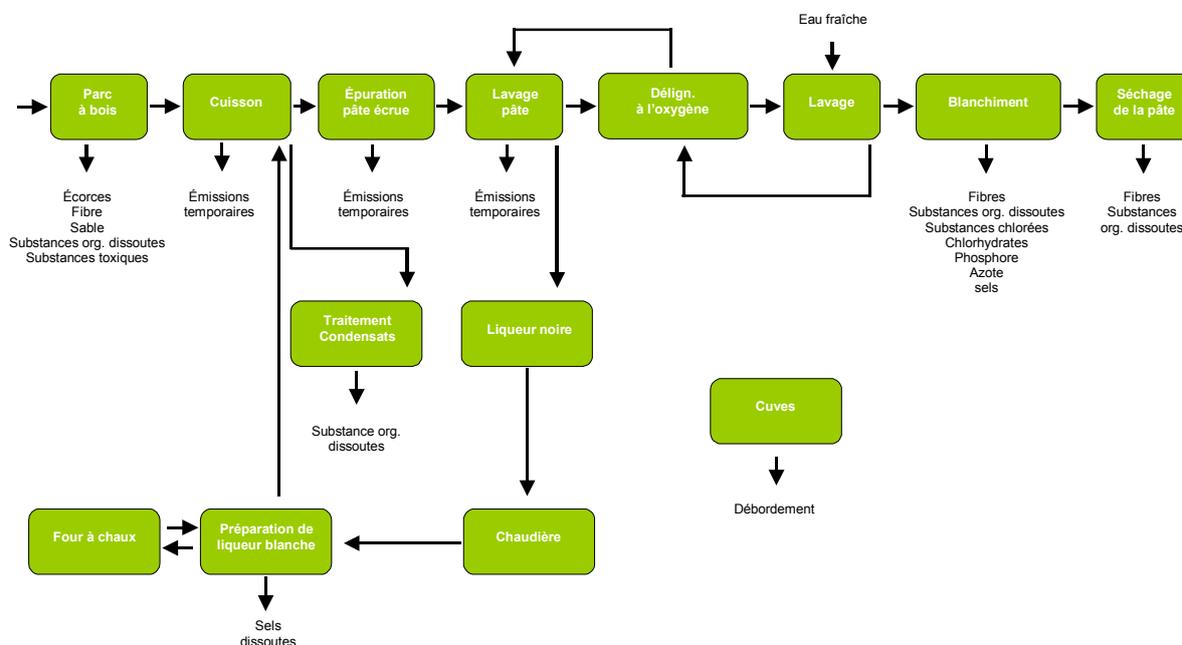


Figure 5.2.1. Organigramme de la production de déversements d'une fabrique de papier kraft

Si l'on respecte l'ordre dans lequel se déroule le processus d'élaboration de la pâte kraft, les principaux effluents générés sont les suivants :

- fuites et débordements liés au processus et eaux d'entretien des équipements ainsi que des installations ;
- liqueurs diluées issues du lavage de la pâte écrue ;
- condensats ;
- rejets de l'usine de blanchiment.

Fuites et débordements liés au processus et eaux d'entretien des équipements ainsi que des installations.

Entre un tiers et la moitié de la DBO et du TSS présents dans les déversements leur sont imputables.

Ces déperditions sont causées par une grande diversité de facteurs, notamment les pannes, la maintenance quotidienne, les arrêts et démarrages programmés, les pannes d'alimentation et les changements associés au processus ou au type de pâte.

Les fuites et les débordements liés au processus se produisent de façon accidentelle et sont difficilement évaluables. Certains peuvent se caractériser par une charge polluante très élevée, bien que leur volume soit généralement peu important, et peuvent donc contribuer significativement à l'augmentation de la concentration de polluants dans les effluents de l'usine.

Les déperditions dues à des fuites de fibres et de liqueurs noires peuvent intervenir au niveau des digesteurs, des tamis et au cours du lavage. Les déperditions de liqueurs blanches, vertes et diluées

se produisent dans l'usine de caustification. Les déperditions par fuite représentent entre 2 et 10 kg de DCO par tonne de pâte.

L'installation d'un système de récupération des fuites, leur stockage, leur caractérisation et leur réintégration à différents points du processus, en fonction de leur composition ou du degré auquel ces écoulements se sont mutuellement mélangés/contaminés, constituent une pratique contribuant à la réduction de la pollution des flux envoyés vers la station de traitement des eaux.

La réduction des déperditions, via l'optimisation du contrôle et de la maintenance des installations, et la réintégration des pertes qui auront inévitablement lieu améliorent les rendements en fibres et réactifs, diminuent les coûts de traitement des eaux résiduelles et améliorent la qualité des effluents de la fabrique.

Parmi les techniques disponibles, il convient de citer :

- Le nettoyage régulier des évaporateurs afin d'éviter la formation d'incrustations. Ce procédé consiste à faire circuler de l'eau claire chaude. À l'issue du nettoyage, celle-ci est récupérée dans un bassin d'accumulation afin de l'incorporer progressivement dans les évaporateurs.
- Le stockage de régulation des liqueurs noires concentrées et diluées couplé à une station de récupération des produits chimiques en vue d'éviter les débordements.
- Compartimenter les différentes unités, afin d'éviter tout débordement si ces derniers ne peuvent être évités d'une autre façon.
- Installer des capteurs de déversement de type conducteur afin de surveiller certaines zones critiques.
- Entraînement du personnel en vue d'éviter les déversements et adoption de plans d'action au cas où cela se produirait.
- Installation d'un réservoir de sécurité afin de recueillir les déversements accidentels, avant le traitement biologique.
- Actualisation du contrôle des processus afin d'augmenter l'opérativité de l'usine et éviter les « surflux ».

Pour minimiser les déperditions, la fabrique doit impérativement développer un système de récupération sélective des déversements par fuite. Les déversements industriels des usines de pâte kraft peuvent être classés selon trois catégories : les déversements à faible teneur en solides en suspension (tels que les eaux de refroidissement, les eaux de blanchiment et les effluents condensés des évaporateurs) qui ne requièrent aucune clarification ; les déversements à forte teneur en solides en suspension (comme les effluents des filtres de lavage ou de la machine à papier dans les usines intégrées, ou encore les effluents du parc à bois) qui nécessitent une clarification ; et enfin les déversements concentrés (tels que les débordements de liqueurs noires concentrées qui doivent être accumulés dans un réservoir afin de les intégrer progressivement dans le processus).

Liqueurs diluées issues du lavage de la pâte écrue :

Le lavage de la pâte à pour objectif de récupérer la plus grande quantité possible de produits chimiques et substances organiques dissoutes dans la liqueur résiduelle de cuisson.

Les eaux de lavage de la pâte constituent l'un des principaux flux de procédé et sont la cause d'importants déversements polluants lorsque les effluents provenant des dernières étapes de lavage ne peuvent être intégrés dans le système de concentration via les évaporateurs multiples et les concentrateurs de liqueur noire. La concentration par évaporation des eaux de lavage est limitée par la consommation excessive d'énergie et l'investissement important que cela implique. Ainsi, compte tenu du fait que le lavage n'offre pas un rendement de 100 %, une certaine quantité de produits chimiques et de composés polluants est finalement déversée.

L'utilisation d'eau chaude (50-60 °C) améliore l'efficacité du lavage dans les tamis rotatifs et les presses car elle permet de réduire la viscosité du filtrat et d'augmenter la solubilité des composés éliminés dans

l'eau. Toutefois, une température supérieure augmente excessivement la pression de la vapeur d'eau et engendre des problèmes d'obtention de vide dans les systèmes de drainage de la pâte.

Le lavage s'effectue par la mise en contact de la pâte et de l'eau à contre-courant, en incorporant de l'eau claire lors de la dernière étape. L'eau utilisée pour la première étape se mélange aux liqueurs noires issues du processus de digestion et passe dans leur système de récupération.

L'efficacité du lavage est définie par le facteur de déplacement de chaque étape :

$$DR = (Sv - Se) / (Sv - Sw)$$

Où :

DR : facteur de déplacement

Sv : fraction de solides dissous dans les liqueurs qui entrent avec la pâte à chaque étape

Se : fraction de solides dissous dans les liqueurs qui sortent avec la pâte à la dernière étape

Sw : fraction de solides dissous dans les eaux de lavage qui entrent avec la pâte à chaque étape

Évidemment, le facteur de déplacement est égal à 1 lorsque la concentration de solides dans l'eau contenue par la pâte lavée est égale à la concentration de l'eau de lavage.

Le facteur d'efficacité Norden permet de comparer les différents schémas de lavage : il compare le nombre d'étapes de mélange pouvant offrir le même résultat que la séquence de lavage ou le système de lavage pris en compte. Pour comparer l'efficacité du lavage, on considère que la consistance de la pâte est de 10 %.

Tableau 5.2.5. Facteur d'efficacité Norden associé à divers systèmes de lavage

Équipement	Facteur d'efficacité Norden
Système de lavage à tambour simple	2,5-4
Systèmes de lavage à tambour filtrant	2-2,5
Diffuseurs en une étape	3-5
Diffuseurs en deux étapes	6-10
Zone de lavage des digesteurs à alimentation continue Kamyr :	
1 heure 30 minutes	4-6
3 heures	7-11
4 heures	9-14
Diffusion / extraction	1,5-2

Source : Water management in Paper Mills, F. Zippel, Voith Paper 1999

Le lavage influe de façon décisive sur la qualité de la pâte finale non-blanchie et sur l'aptitude au blanchiment de la pâte. Un lavage adéquat réduit la consommation de réactifs blanchissants et améliore la qualité des effluents de l'usine de blanchiment.

Condensats

Des condensats de vapeur sont obtenus au niveau des différentes parties du processus de fabrication de la pâte kraft ; les plus importants sont recensés ci-après :

- Condensats de vapeurs de purge dans les digesteurs du processus kraft : ces vapeurs se condensent en donnant lieu à une phase organique et à une phase aqueuse fortement polluée par les matières volatilisées dans le digesteur, solubles dans l'eau ou émulsionnées.
- Condensats des vapeurs issues du processus de concentration des liqueurs noires : des vapeurs de substances organiques et une phase aqueuse polluée par les matières solubles ou émulsionnées sont générées.
- Condensats des vapeurs dégagées par le dépôt de décharge (réservoir de décharge par soufflage), par les pâtes et les liqueurs de cuisson dans les digesteurs à alimentation continue, qui créent un flux d'eaux résiduelles contenant la matière volatile en dissolution et une phase organique constituée essentiellement de terpènes et de térébenthine (pour les conifères).
- Condensats des vapeurs générées lors de la décharge des digesteurs, lorsque la matière en cours de digestion passe de la pression de fonctionnement du système à la pression atmosphérique de décharge.

Ces condensats sont fondamentalement constitués de méthanol, d'éthanol, d'acides organiques dérivés du soufre (TRS), et de térébenthine (uniquement lorsque le bois de conifère est utilisé comme matière première), et, en moindre quantité, de terpènes, phénols, acides résiniques et acides gras, ainsi que de composés azotés.

Le tableau suivant indique la composition typique de chaque type de condensat :

Tableau 5.2.6. Composition typique des condensats

Polluant	Condensat du vannage du digesteur	Condensat du réservoir de décharge par soufflage	Condensat du Flash du digesteur à alimentation continue	Condensat des évaporateurs de liqueurs noires
H ₂ S (ppm)	30-270	10-250	250	1-90
CH ₃ SH (ppm)	20-5 300	40-340	70	1-30
(CH ₃) ₂ S (ppm)	15-7 400	40-190		1-10
(CH ₃) ₂ S ₂ (ppm)	5-4 100	2-210		1-50
Méthanol (ppm)	1 300-12 000	250-9 100	670-8 900	180-700
Etanol (ppm)	90-3 200	20-900		1-190
Acétone (ppm)	8-420	5-95		1-15
Méthyléthylcétone (ppm)	27			1-3
Terpènes (ppm)	0,1-5 500	0,1-1 100	100-25 000	0,1-150
Phénols (ppm)	12			
Guaiacols (ppm)				1-10
Acides résinique (ppm)				28-230
DBO ₅ (ppm)	800-11 500	720-9 200	9.2-9.6	6-1 100
pH	9,5			
Solides en suspension (ppm)				30-70
Sodio (ppm)				4-20

Source : Water management in Paper Mills, F. Zippel, Voith Paper 1999

Ce tableau souligne la grande variabilité des valeurs. Les extractifs organiques dépendent dans une large mesure du type de bois employé (puissants pour les conifères, plus faibles pour les feuillus).

Rejets de l'usine de blanchiment

L'usine de blanchiment correspond à la zone qui génère la plus forte charge polluante dans une fabrique de pâte. Le volume et la concentration de cette charge dépendent de plusieurs facteurs, notamment le type de bois, l'indice Kappa de la pâte (teneur en lignine), les déperditions liées au lavage de blanchiment, l'ordre d'utilisation et les doses de produits chimiques, le degré final de blancheur souhaité et la fermeture des circuits de l'usine.

Le volume d'eau consommé dans les usines de blanchiment varie entre 20 et 40 m³/t.

Le blanchiment ECF (dépourvu de chlore élémentaire) et le blanchiment TCF (exempt de tout composé chloré) permet de tirer le meilleur parti des filtrages réalisés au niveau de l'usine de blanchiment grâce à la réduction de la consommation d'eau à la fermeture des circuits, ce qui est techniquement déconseillé en cas d'utilisation de chlore élémentaire en raison de la forte corrosivité de ce dernier.

D'autre part, étant donné qu'une usine Kappa représente 2 kg de DCO/t de pâte, les techniques modernes de délignification étendue à la cuisson et de délignification ou blanchiment à l'oxygène, qui font considérablement baisser l'indice Kappa de la pâte, représentent une avancée importante en termes de diminution de la charge DCO à l'entrée de l'usine de blanchiment, ce qui permet des économies de produits chimiques blanchissants et réduit le volume d'AOX produits.

Les valeurs typiques relatives aux rejets des usines de blanchiment exprimées en DCO, varient entre 15 et 65 kg de DCO/t de pâte.

Tableau 5.2.7. Évaluation des déversements après traitement biologique

Méthode de cuisson	Délign. Oxygène / Blanchiment à l'ozone	Pâte de feuillus		Pâte de conifères	
		Kappa	DCO (kg/ t AD)	Kappa	DCO (kg/ t AD)
Cuisson conventionnelle	---	15-18	30-38	28-30	60-63
Cuisson conventionnelle	Délign. Oxygène	8-10	20-25	14-15	30-32
Cuisson modifiée	---	14-16	30-34	20-24	42-48
Cuisson modifiée	Délign. Oxygène	9-10	13-15	12-13	25-28
Délignification étendue	---	12-13	23-26	15-16	30-32
Délignification étendue	Délign. Oxygène	8-10	12-15	10-12	15-18
Cuisson conventionnelle	Délign. Oxygène + Blanchiment à l'ozone	n.d.	3	n.d.	6

n.d. Information non disponible Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

Les valeurs associées aux AOX pour les usines ne consommant pas de chlore élémentaire pour le blanchiment peuvent varier entre 0 et 2 kg d'AOX/t de pâte.

Les tableaux suivants montrent des exemples de rejet de substances organiques chlorées, mesurées en termes d'AOX, pour différentes séquences de blanchiment selon que la matière première utilisée est du bois de conifères (tableau 5.2.8) ou de feuillus (tableau 5.2.9).

Tableau 5.2.8. Exemples de différentes séquences de blanchiment de pâtes de conifères et rejet de substances organiques chlorées correspondantes mesurées en termes d'AOX

Méthode de cuisson	Séquences de blanchiment	Kappa	ClO ₂ (kg/t)	AOX (kg/t)
Cuisson conventionnelle	D(EOP)DED	30	95	2
Cuisson conv. + Délign. oxygène	D(EOP)DED	15	60	0,8
Cuisson modif. + Délign. oxygène	D(EOP)D(EP)D	12	30	0,3
Cuisson conv. + Délign. oxygène	ZD	n.d.	10	0,1
Cuisson modif. + Délign. oxygène	ZP	n.d.	0	0

n.d. Information non disponible Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

Remarque : « D » Dioxyde de chlore ; « E » Extraction ; « O » Oxygène ; « P » Peroxyde ; « Z » Ozone

Tableau 5.2.9. Exemples de différentes séquences de blanchiment de pâtes de feuillus et rejet de substances organiques chlorées correspondantes, mesurées en termes d'AOX

Méthode de cuisson	Séquences de blanchiment	Kappa	ClO ₂ (kg/t)	AOX (kg/t)
Cuisson conv. + Délign. oxygène	D(EO)DED	13	40	0,5
Cuisson modif. + Délign. oxygène	D(EO)DED	10	30	0,3
Cuisson conv. + Délign. oxygène	ZD	n.d.	5	0,1
Cuisson modif. + Délign. oxygène	ZP	n.d.	0	0

n.d. Information non disponible Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

Remarque : « D » Dioxyde de chlore ; « E » Extraction ; « O » Oxygène ; « P » Peroxyde ; « Z » Ozone

Pâtes à base de papier de récupération

Le volume de déversements associés aux pâtes élaborées à base de papier de récupération est fortement lié au type de papier ou de carton utilisé, aux exigences du produit final (catégorie et qualité du papier), à la technologie appliquée et aux conditions de l'installation. Les adjuvants utilisés et le contrôle du processus ont également une certaine influence.

La pollution de l'eau intervient au niveau des opérations d'épuration, de désencrage-flottation (le cas échéant) et de récupération des fibres. Les eaux de déversement proviennent toutefois des sources suivantes :

- rejets associés aux opérations d'épuration ;
- filtrats issus du lavage et de l'épaississage ;
- excédents d'eaux blanches.

Ces eaux polluées, une fois sédimentées et clarifiées au sein même de la fabrique, seront déversées dans le lit de la rivière après un traitement préalable (primaire et biologique) ou via une station d'épuration publique.

La charge polluante de ces effluents est mesurée selon les paramètres suivants :

- **DCO** (demande chimique en oxygène) : émise par les matières premières et les adjuvants. Le désencrage et le blanchiment sont à l'origine d'une partie substantielle de la DCO.

- **DBO₅** (demande biologique en oxygène) de même origine que la demande chimique.
- **Nutriments** : l'ajout de nutriments sous forme d'azote et de phosphate est nécessaire pour garantir une efficacité optimale du traitement biologique, ce qui explique la présence de résidus de ces nutriments dans les eaux déversées.
- **Métaux lourds** : leur concentration est minime. La présence éventuelle de cuivre et de zinc est liée aux encres d'impression.

Les tableaux ci-après présentent les mesures relatives aux déversements d'une fabrique de pâte élaborée à base de papier de récupération suite à un traitement préliminaire et un traitement biologique.

Tableau 5.2.10. Mesures relatives aux déversements après traitement primaire

Paramètre de contrôle	Pâte de récupération Sans désencrage		Pâte de récupération Avec désencrage	
	mg/l	Min/max	mg/l	Min/max
DBO ₅	1 900		550	
DCO	3 800	(570/9 000)	1100	(440-1 900)
Kj-N	16	(10/40)	20	(13-25)
Débit	3,6 m ³ /t	(0,4-6,6)m ³ /t	15 m ³ /t	(9-39) m ³ /t

* Kj-N correspond à la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. Source : Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gouvernement basque

Tableau 5.2.11. Mesures relatives aux déversements après traitement biologique

Paramètre de contrôle	Pâte de récupération Sans désencrage		Pâte de récupération Avec désencrage	
	mg/l	Min/max	mg/l	Min/max
DBO ₅ avant traitement*	1800		770	
DBO ₅ après traitement	10	(3-28)	9	
DCO avant traitement*	3200		1900	
DCO après traitement	150	(60-270)	290	
Kj-N	5.6	(3-13)	7.8	
TSS	25	(17-40)		
Débit	5,7 m ³ /t	(3,1-11) m ³ /t		11 m ³ /t

*Les données relatives à l'effluent d'entrée de DBO et DCO ne sont pas disponibles. Néanmoins, les données associées à l'effluent sont calculées à partir des valeurs de charge des eaux résiduaires d'une fabrique sans désencrage et d'une autre avec désencrage. Source : IHOBE

Contrôle de la pollution des eaux dans le cadre de l'élaboration des pâtes

Outre la diminution des eaux de lavage de la pâte dans le procédé kraft et des fuites liées aux différentes opérations, dont nous venons d'exposer les principaux aspects, il convient également de considérer d'autres courants dont la réutilisation contribue à la réduction des effluents finaux.

Le tableau qui suit recense les effluents pouvant être réintégrés dans le processus de fabrication, ainsi que les fourchettes correspondant au volume d'eau récupéré par tonne de pâte. Les chiffres figurant ci-après sont purement indicatifs ; l'incorporation de chacun des courants requiert une étude analytique préalable ainsi que l'étude de son influence tout au long du processus, afin de détecter les problèmes, en particulier ceux liés à l'accumulation à long terme, dans les circuits d'eaux de procédé.

Tableau 5.2.12. Réutilisation des effluents de différentes unités impliquées dans le procédé kraft

Type d'effluent	m ³ /t	Lieu d'utilisation
Condensat de la vapeur de soufflage, direct	3,7-22,4 Moyenne 8,6	Lavage de la pâte écru Tamis et tambours de lavage Alimentation d'eau chaude Lavage des boues Dissolution des additifs
Condensat de la vapeur de soufflage, indirect	1,3-1,5	Non utilisable
Eau de refroidissement du condensateur de vapeurs de soufflage	3,7-22,4 Moyenne 8,6	Lavage de la pâte écru Lavage de la pâte blanchie Tamis et tambours de lavage Alimentation d'eau chaude Lavage des boues Dissolution des additifs
Décanteur de térébenthine	0,04-0,65 Moyenne 0,2	Douches sur tamis de séparation de nœuds Douches sur systèmes de lavage de pâte écru
Eau de refroidissement du condensateur de térébenthine	2,5-9	Alimentation d'eau chaude- Lavage des tamis
Condensat évaporateurs	2,5-100 Moyenne entre 5-7,5	Lavage de la pâte écru Épurateur de gaz du four à chaux Préparation des liqueurs Nettoyage du parc à bois
Effluent du condenseur barométrique	30-57	Transport des cendres volantes de la chaudière à écorces Recyclage via la tour de refroidissement
Fermeture de l'évaporateur, évacuation à partir des condensateurs de surface	1,5-5,5	Lavage de la pâte écru

Source : Handbook on pollution prevention opportunities for bleached kraft pulp and paper mills, U.S. Environmental Protection Agency

5.2.3. Fabrication de papier

Dans les fabriques de papier, les déversements proviennent principalement de l'épuration de la pâte et de la purge des eaux blanches de procédé.

La pâte à papier est épurée avant d'atteindre la caisse de tête de la machine à papier. Les effluents provenant des opérations d'épuration, qui contiennent généralement du sable, des charges minérales,

des éléments non-cuits et même des fibres, sont acheminés vers la zone de traitement des effluents ou sont déchargés à l'aide de boues non-déshydratées.

La suspension fibreuse qui arrive à la machine à papier est drainée sur la table et dans la section de pressage. À cette eau blanche drainée, s'ajoute l'eau (claire ou clarifiée) des systèmes d'arrosage de la toile et des feutres. Cet apport engendre un excédent d'eau blanche qui est évacué dans les effluents par l'intermédiaire d'un récupérateur de fibres.

La quantité excédentaire dépend du degré de fermeture du circuit et contient de la matière colloïdale et dissoute. Cette matière est essentiellement constituée de solides en suspension, de matière organique dissoute, de sels de calcium et autres sels.

En ce qui concerne la fixation des limites relatives aux déversements, il existe actuellement une certaine tendance à préférer la charge massique de polluant par unité de production aux concentrations maximales de polluant ; c'est la raison pour laquelle les installations caractérisées par une consommation spécifique d'eau inférieure sont préférées.

Tableau 5.2.13. Limites relatives au déversement final des fabriques de papier en France Valeurs maximales des moyennes mensuelles en kg/TSA

Produit final	Nouvelles usines			Usines existantes		
	TSS	DBO ₅	DQO	TSS	DBO ₅	DQO
Usines de capacité inférieure à 60 TSA/jour				2,0	4,0	8,0
Papier sans charge, contenant plus de 90 % de fibre vierge	0,7	0,7	2,5	1,5	1,0	4
Papier avec charges ou couché, contenant plus de 90 % de fibre vierge	0,7	0,7	3,0	1,5	2,0	8,0
Papier sans charge, contenant plus de 90 % de papier recyclé	0,7	0,7	3,0	1,5	1,5	6,0
Papier avec charges ou couché, contenant plus de 90 % de papier recyclé	0,7	0,7	4,0	1,5	2,0	8,0
Ondulation				1,9	1,9	8,0

Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

Contrôle de la pollution des eaux dans le cadre de la fabrication du papier

La tendance à fermer les circuits d'eau pose des problèmes différents en fonction des matières premières employées, des caractéristiques de l'installation et de la qualité des produits requise. Dans la pratique, on note un niveau de pollution des circuits d'eau qui reste acceptable pour chaque machine, sans causer de défaut rédhibitoire. Lorsque ce niveau de pollution est excessif, un dysfonctionnement est détecté et l'introduction d'une procédure supplémentaire s'impose afin de traiter l'eau et de faire baisser le niveau de pollution pour atteindre des valeurs acceptables.

La fermeture des circuits ou la diminution du débit de purge de ces derniers entraîne l'accumulation des polluants, notamment de la matière dissoute et colloïdale, dans les eaux de procédé.

Dans les produits de basse qualité, le problème est l'augmentation de la salinité qui peut atteindre des valeurs élevées. Pour les produits de très haute qualité, l'accumulation des agents polluants engendre des problèmes de dépôt de matière adhérente, des trous, des tâches ou de la saleté.

Le cas échéant, il est nécessaire de retirer du circuit une quantité d'eau équivalente au volume introduit, via un déversement ou un traitement interne, agissant comme un rein, en éliminant du flux traité les matières qui atteignent un niveau inacceptable, en relation avec le processus ou avec le produit.

Les méthodes appliquées en traitements internes sont la filtration, la sédimentation et la flottation à air dissous (FAD), couplées à l'utilisation d'agents chimiques de traitement.

L'incorporation, généralement en tant qu'étape finale, du traitement des flux de procédé dans les déversements, la technologie des membranes depuis la microfiltration jusqu'à l'osmose inverse en vue d'atteindre des réductions maximales lors de l'élimination de la matière dissoute et colloïdale dans ces flux, représentent un pas supplémentaire vers l'encouragement des économies d'eau.

Gestion complète de l'eau

La gestion intégrée de l'eau a pour objectif un recyclage maximal au niveau des circuits d'eau, ce qui ne signifie pas une fermeture complète, mais simplement la recherche d'un équilibre entre la qualité du produit, le bon fonctionnement des machines et la qualité de l'eau de procédé grâce à la meilleure technologie possible. Le but est de recycler toute la matière susceptible d'être réutilisée dans le processus de fabrication, de réutiliser l'eau dans la recirculation des eaux de procédé et de limiter les conséquences sur l'environnement.

Parallèlement, cette méthode entraîne des économies à différents niveaux : diminution de la consommation et du coût de l'eau brute, diminution des coûts d'investissement et de maintenance opérationnelle associés au traitement des effluents, optimisation du fonctionnement de la machine à papier/carton et problèmes de qualité moins importants au niveau du produit final.

5.3. SOURCES DE PRODUCTION DES DÉCHETS SOLIDES ET LEUR CONTRÔLE

La majorité des opérations réalisées dans l'industrie de la fabrication de la pâte et du papier produisent des déchets solides. Ainsi, par exemple, des déchets solides sont créés lors de la préparation de la matière première (résidus de bois et écorces provenant du parc de stockage, écorçage et production de copeaux) ; au cours de l'élaboration de la pâte (fibres du processus, boues de désencrage, cendres issues de la combustion, etc.), lors de la fabrication du papier, et dans le cadre des traitements biologiques de la station d'épuration de eaux (boues organiques).

Les caractéristiques des déchets solides dérivés de l'élaboration de la pâte et du papier varient considérablement d'une fabrique à l'autre. Pour la grande majorité des usines, la production totale de déchets solides se répartirait de la façon suivante :

- | | |
|------------------------------|------|
| • Boues des eaux résiduaires | 45 % |
| • Cendres | 25 % |
| • Écorces, résidus de bois | 15 % |
| • Papier, poubelle | 10 % |
| • Divers (mélange) | 5 % |

Les déchets solides produits par chacun des processus impliqués par la fabrication de la pâte et du papier sont décrits ci-après.

5.3.1. Préparation de la matière première

Comme nous l'avons mentionné dans les sections précédentes, quel que soit le procédé de fabrication de pâte cellulosique à partir d'essences forestières, les opérations préliminaires réalisées au niveau du parc à bois s'organisent comme suit : réception de la matière première, stockage, écorçage et production des copeaux.

Ces opérations produisent des résidus de bois et d'écorces. Ces résidus peuvent être incorporés dans la chaudière à écorces, sauf si leur teneur en sable est un facteur limitant. Dans ce cas, il est possible de recourir à un tamis à vibration pour séparer les fragments d'écorce et les copeaux dont la taille est supérieure à celle des grains de sable. La quantité de déchets produits est variable ; elle varie entre 1 et 20 kg/t de pâte fabriquée.

5.3.2. Élaboration de la pâte à papier

Pâtes mécaniques

Les déchets liés à la fabrication de pâte mécanique, outre les écorces et les résidus de bois, comprennent des fibres issues du processus, des cendres dérivées de la combustion du fioul ou encore des déchets solides organiques et des boues organiques provenant des traitements biologiques de la station d'épuration des eaux de la fabrique.

Pâtes chimiques

Une fois encore, cette section offre une description des déchets produits par le procédé kraft, celui-ci représentant la technique d'élaboration de pâte chimique la plus répandue.

Outre les rejets d'écorces et de bois liés aux opérations de préparation de la matière première, la production de pâte kraft produit plusieurs sortes de déchets solides, comme les boues inorganiques provenant de la récupération des produits chimiques, les boues résultant du traitement des effluents liquides industriels (matière inorganique, fibres et boues biologiques) et la poussière des chaudières et des fours. De nombreuses substances inorganiques, considérées comme déchets solides, sont exploitées pour récupérer de l'énergie. Celles-ci incluent généralement les écorces et les résidus de bois ainsi que les boues provenant de la station d'épuration des eaux.

Ces dernières constituent l'une des principales catégories de déchets potentiels. De grandes quantités de boues sont produites lors du traitement primaire et du traitement biologique via la méthode des boues actives. Les lagunes d'aération ne génèrent que de petites quantités d'excédent de boues et les quantités de boues provenant du traitement anaérobie sont également modérées. Enfin, la floculation chimique produit un volume considérable de boues.

Les boues biologiques et chimiques présentent des propriétés qui ne favorisent pas leur élimination dans l'eau ; aussi utilise-t-on des composés chimiques ou organiques pour former les flocules et améliorer ces propriétés.

Si la concentration en solides des boues est inférieure à 40 %, ou si celle-ci présente une grande quantité de matière inorganique, la production d'énergie nette est égale à zéro ou négative. Afin de maintenir des conditions de combustion satisfaisantes, il convient d'ajouter davantage de combustible dans les cas où les écorces ou autres résidus de bois ne sont pas utilisés. La combustion réduit le volume de déchets et la teneur en matière inorganique est conservée sous forme de cendres, lesquelles sont généralement transportées vers un site d'enfouissement contrôlé.

Les boues issues de la précipitation chimique ne peuvent pas être brûlées sans combustible auxiliaire en raison de leur forte teneur en matière inorganique et en eau. Aussi sont-elles généralement acheminées vers des sites d'enfouissement contrôlés. Les boues dérivées de la floculation contenant uniquement des polyélectrolytes peuvent être incinérées.

La décantation des liqueurs vertes (dissolution de la matière fondue provenant de la chaudière de récupération) produit des déchets solides sous forme de cendres et autres impuretés, dont la quantité et la composition dépend du type de gestion appliquée et de la concentration en composés de silice insolubles et autres sels associés aux liqueurs noires.

Les déchets de liqueurs vertes se mêlent généralement aux boues résultant de la préparation du lait de chaux (boues de chaux), dans laquelle l'hydroxyde de calcium (chaux éteinte) forme une suspension et produit un résidu contenant des nodules de plus grande taille que les particules en suspension retenues par le tamis.

Les tableaux suivants présentent la composition de certains mélanges de boues de lixiviation de liqueurs vertes par des boues de chaux.

Tableau 5.3.1. Composition des boues de lixiviation des liqueurs vertes par des boues de chaux

Boues de chaux %	Solides %	Cendres %	matière organique %	N total g/kg matière sèche	P total g/kg matière sèche	S total g/kg matière sèche
< 2	45	62	20	0,4	0,6	23
75	59	62	6,5	< 0,4	2,8	6,3

Source : Industrial Environmental Control. Pulp and Paper ; A.M. Springer. Éd. Tappi 3e edición, 2002

Tableau 5.3.2. Teneur en métaux des boues de lixiviation des liqueurs vertes

Boues de chaux %	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Zn
< 2	430	16	9.2	75	90	0.07	60	18	330	2300
75	310	11	5.3	85	96	< 0.1	29	11	290	1000

Source : Industrial Environmental Control. Pulp and Paper ; A.M. Springer. Ed. Tappi 3ª edición, 2002

Pâte de papier de récupération

En ce qui concerne la fabrication de pâte à partir de papier de récupération, il convient de préciser que la plupart des impuretés et agents polluants provenant de la transformation du papier de récupération finissent sous forme de déchets. Il s'agit de rejets émis lors de la préparation de la pâte et de boues produites aussi bien au niveau de la clarification des eaux blanches que du traitement des excédents de ces dernières. En outre, si l'incinération des déchets a lieu également in situ, cette opération produit des cendres. Les déchets doivent être épaissis et déshydratés pour obtenir une forte concentration en solides secs.

En fonction des différents types de papier de récupération employés et de la catégorie de papier à obtenir, des quantités bien définies de déchets sont produites.

Tableau 5.3.3. Quantités de déchets par rapport à l'apport en matières premières (%), en fonction de la qualité du papier recyclé utilisé et du papier à produire

Produit	Catégorie de papier de récupération	% total pertes	Rejets		Boues	
			grossiers/lourds	fins/légers	désencré	Clarification des eaux blanches
Graphiques (I/E + journal)	Journaux, revues, meilleures qualités	15-20	1-2	3-5	8-13	2-5
		10-20	< 1	< 3	7-16	1-5
Mousseline	Bureau, dossiers, qualité moyenne	28-40	1-2	3-5	8-13	15-25
Pâte désencrée (commerciale)	Fascicules et bureau	32-40	< 1	4-5	12-15	15-25
Emballage	Boîte c.o., sacs, entrepôts, magasins, domestiques	4-9	1-2	3-6	--	0-1
		3-6	< 1	2-4	--	0-1

Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

Les rejets représentent environ 6,5 % de la quantité totale de papier de récupération incorporé, et ne présentent aucun potentiel de recyclage. Aussi, ils sont envoyés vers des sites d'enfouissement ou sont incinérés ce qui produit des cendres.

Tableau 5.3.4. Analyse (en %) d'un rejet type d'une fabrique d'emballage

Paramètre de contrôle	%
Teneur en eau	45
Plastiques	25,9
Papier	27
Verres - pierres	0,1
Métaux	0,9
Substances organiques	1,1

Source : Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gouvernement basque

Les boues produites lors de la récupération des fibres à partir des eaux blanches et dans le cadre du traitement mécanique des excédents de ces dernières, sont constituées de fibres courtes (fines) et de charges, chacun de ces deux types de substances représentant environ 50 % de la composition selon la catégorie de papier utilisé. Ces boues ne peuvent pas être recyclées pour être utilisées dans des papiers de haute qualité ; le cas échéant, elles sont incinérées ou acheminées vers des sites d'enfouissement. La récupération des fibres contribue à minimiser la quantité de déchets.

Les boues de désencrage contiennent également des fines, des charges, des liants, ainsi que d'autres additifs et encres. Ces derniers peuvent entraîner de faibles concentrations de métaux lourds (principalement Cr et Zn) dans les boues, qui peuvent alors être incinérées, utilisées pour la fabrication de matériaux de construction ou envoyées dans un site d'enfouissement (toutefois, cette pratique est interdite dans certains pays).

Les boues provenant du traitement biologique des eaux excédentaires sont parfois recyclées dans le produit même (c'est le cas notamment de certains papiers d'emballage) ou épaissies, déshydratées puis incinérées ou envoyées dans des sites d'enfouissement.

5.3.3. Fabrication de papier

Les fabriques de papier produisent plusieurs types de déchets solides au cours du processus de fabrication.

Rejets issus de l'épuration de la pâte

L'épuration tourbillonnaire et par centrifugation produisent des rejets dont le contenu en solides peut varier. Ceux-ci sont généralement acheminés vers la zone de traitement des effluents afin de les mélanger aux boues non-déshydratées.

Boues résultant du traitement des eaux d'alimentation et du déversement des eaux blanches excédentaires

Ces boues sont issues des systèmes suivants :

- le traitement de l'eau d'alimentation du complexe industriel par précipitation/floculation afin d'obtenir de l'eau de procédé ;
- la clarification primaire des déversements ;
- le traitement biologique (les boues dérivées de ce processus contiennent une forte proportion de matière organique) ;
- le traitement chimique (floculation) du traitement tertiaire.

Les boues obtenues à partir des traitements biologiques et chimiques sont difficiles à déshydrater et sont généralement mélangées aux boues primaires avant leur déshydratation.

Résidus d'amidon provenant des installations de préparation des dispersions

La plupart du temps, des suspensions d'amidon présentant des concentrations en solides variables (ne dépassant généralement pas 10 %) sont utilisées au niveau de ces installations ; les fuites ou les déperditions vont directement dans les effluents. L'amidon est le composant principal de ces effluents qui entraînent une augmentation de la DBO et de la DCO.

Effluents des stations de couchage

À ce niveau les pertes se produisent au cours de la préparation des sauces de couchage ou en conséquence du filtrage continu auquel celles-ci sont soumises. L'évacuation de ces effluents se fait directement vers la station de traitement. L'eau de lavage des réservoirs et des tuyauteries est parfois à l'origine de problèmes au niveau du traitement biologique en raison de la forte concentration ponctuelle des déversements. Le cas échéant, il est possible de procéder à un traitement de récupération des produits contenus dans la sauce par le biais de membranes de filtration, ou de recueillir un dépôt qui sera intégré progressivement au cours du traitement des déversements.

Les additifs chimiques

En moyenne 1 % des matières utilisées pour produire du papier sont des produits chimiques considérés comme additifs. Hormis leurs effets positifs sur l'efficacité de la production et l'amélioration de la qualité, certains de ces agents peuvent exceptionnellement polluer les déversements.

5.4. CONSOMMATION D'EAU

5.4.1. Introduction

Dans le cadre de la fabrication du papier, l'eau est principalement employée comme moyen de dispersion et de transport des matières premières fibreuses et additifs, à travers les différentes étapes du processus de production, de la mise en pâte à la formation. L'eau est également utilisée comme fluide d'échange de chaleur pour l'étanchéité des systèmes à vide, pour la production vapeur ou encore comme agent lubrifiant, etc. Le tableau suivant résume les principaux usages de l'eau dans l'industrie de la pâte et du papier.

Tableau 5.4.1. Usages, fonctions et exemples de consommation d'eau

Usages	Función	Exemples
Eaux de procédé	Transport	Transport de fibres, additifs, charges, etc.
	Dilution	Ajustement de la consistance, préparation des additifs
Eaux pour asperseurs et tuyères	Mouillage	Mouillage de la toile de formation
	Lubrifiant	Cylindres de tête, retour de la toile, tenseur, conducteur, etc.
	Coupe	Coupe des bords de la bande de papier
	Nettoyage	Nettoyage de la toile de formation, des cylindres, etc.
	Dilution	Caisse de tête
	Refroidissement	Cylindres-guides, cylindre supérieur, pièces mécaniques
	Agent antimousse	Cellules de flottation, caisse de tête, etc.
Eau de refroidissement	Refroidissement	Systèmes de pompage, système d'actionnement des machines, fluides de lubrification, etc.
Eau de chaudière	Production de vapeur	Cylindres de séchage
Eau d'étanchéité	Étanchéité	Caisses aspirantes, pompes, etc.
Eau de nettoyage	Transport	Nettoyage des machines, tuyauteries, réservoirs, etc.

Étant donné la forte consommation d'eau nécessaire à la fabrication, l'admission des eaux se fait en fonction d'un large éventail de spécifications, qui dépend des ressources et du coût de traitement. En général, les eaux superficielles ont des propriétés variables et dépendent de la localisation des fabriques tandis que les eaux de puits présentent une composition plus stable et contiennent une grande quantité de sels minéraux.

La qualité de l'eau qui entre dans le circuit de la machine à papier est de première importance car elle peut définir la majorité des processus chimiques associés à la fabrication du papier, influant ainsi sur l'efficacité du système chimique de rétention et de drainage, en déterminant le niveau de recirculation des eaux blanches et le niveau de rétention de la toile des matières premières et additifs utilisés.

Le pH de l'eau d'alimentation a davantage d'importance dans les opérations de fabrication de papier en milieu neutre ou alcalin que dans le cadre de la fabrication en milieu acide. Le pH du milieu détermine de degré de ionisation des groupes fonctionnels en dissolution et affecte l'équilibre des ions dissous ainsi que l'équilibre entre ces derniers et les charges de la suspension.

Dans les procédés acides, la dureté de l'eau détermine la dose d'aluminium et d'acide sulfurique nécessaires pour conditionner cette eau, ce qui augmente sa conductivité. Dans les autres procédés, c'est la conductivité de l'eau apportée qui influe directement sur la floculation. La présence de sels a

une influence sur la chimie de la partie humide de la machine à papier en raison de la présence de polymères et de l'interaction avec les groupes chargés de la surface des particules en suspension.

Enfin, la présence de composés organiques dans les eaux d'alimentation a beaucoup moins d'importance que la présence de sels inorganiques. Ceci est dû à la faible concentration en matière organique des eaux d'alimentation par rapport à la quantité de matière organique contenue dans les eaux de procédé.

Le volume d'eau consommée dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels il convient de mentionner : le type de fibre utilisé comme matière première, le produit fabriqué et la technologie du processus de production.

5.4.2. Élaboration de la pâte à papier

Pâtes mécaniques

Les volumes de consommation typiques relatifs à la fabrication de pâte mécanique sont indiqués ci-après :

Tableau 5.4.2. Volumes de consommation typique associés à la fabrication de pâte mécanique

Type de pâte	Consommation d'eau (m ³ /t AD)
Pâte mécanique traditionnelle (SGW)	10-15
Pâte thermomécanique (PTM)	4-10

Source : Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gouvernement basque

Pâtes chimiques

La consommation d'eau liée à l'élaboration de la pâte chimique varie énormément d'une fabrique à l'autre. Des valeurs supérieures à 50 m³ d'eau/t de pâte sont normales si la fabrique inclut des installations comportant des tours de refroidissement de l'eau.

Pâtes de papier de récupération

Les consommations spécifiques d'eau associées à différents processus de fabrication de pâte et de papier à partir de papier de récupération sont indiquées dans le tableau qui suit :

Tableau 5.4.3. Consommations spécifiques d'eau de différents processus de fabrication de pâte et de papier à partir de papier de récupération

Procédé		Consommation m ³ /t
Fabrication et traitement de la pâte de récupération	Sans désencrage	1,5 – 10
	Avec désencrage	5 – 20
Fabrication de papier avec de la pâte récupérée	Emballage	1,5 – 10
	Presse	10 – 20
	Mousseline	5 – 100
	Impression/écriture	7 – 20

Source : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry

5.4.3. Fabrication de papier

Selon le produit fabriqué, la consommation d'eau des fabriques appliquant les technologies modernes se situe dans les fourchettes suivantes :

- Carton et cartonnage : 1-20 m³/t de produit.
- Papier journal : 6-20 m³/t de produit.
- Papier mousseline : 10-50 m³/t de produit.
- Papier d'impression et d'écriture : 5-50 m³/t de produit.
- Papiers spéciaux : 10-300 m³/t de produit.

Certaines fabriques affichent des consommations supérieures, notamment en raison de l'utilisation de machines anciennes, de l'absence de processus de clarification des eaux, ou d'un faible degré de fermeture du système des eaux, etc. Les volumes consommés peuvent parfois atteindre les valeurs suivantes :

- Carton : 35 m³/t de produit.
- Papier journal : 30 m³/t de produit.
- Papier mousseline : 60 m³/t de produit.
- Papier d'impression et d'écriture : 200 m³/t de produit.

5.4.4. Gestion complète de l'eau

Si l'eau employée pour la fabrication du papier n'était utilisée que par le biais de circuits intégralement ouverts, la consommation d'eau serait, à l'heure actuelle, inadmissible d'un point de vue technique, économique et écologique. Aussi, toutes les fabriques procèdent, en plus ou moins large mesure, au recyclage des eaux dans le processus de fabrication. Les alternatives les plus fréquemment adoptées dans l'industrie papetière en vue de réduire la consommation d'eau sont :

- la réutilisation des eaux blanches comme eaux de procédé ;
- la réutilisation pour différentes applications de l'eau clarifiée ;
- l'utilisation de l'eau dans des systèmes en cascade en fonction des exigences qualité ou de la finalité ;
- l'utilisation de l'eau à des fins techniques dans des systèmes fermés ;
- la réutilisation en tant qu'eau d'alimentation des effluents après traitement.

La gestion intégrée de l'eau a pour objectif un recyclage maximal au niveau des circuits d'eau (comme nous pouvons l'observer sur le schéma ci-après), ce qui ne signifie pas une fermeture complète, mais simplement la recherche d'un équilibre entre la qualité du produit, le bon fonctionnement des machines et la qualité de l'eau de procédé grâce à la meilleure technologie possible. Le but est de recycler toute la matière susceptible d'être réutilisée dans le processus de fabrication, de réutiliser l'eau dans la recirculation des eaux de procédé et de limiter les conséquences sur l'environnement.

Parallèlement, cette méthode entraîne des économies à différents niveaux : diminution de la consommation et du coût de l'eau brute, diminution des coûts d'investissement et de maintenance opérationnelle associés au traitement des effluents, optimisation du fonctionnement de la machine à papier/carton et problèmes de qualité moins importants au niveau du produit final.

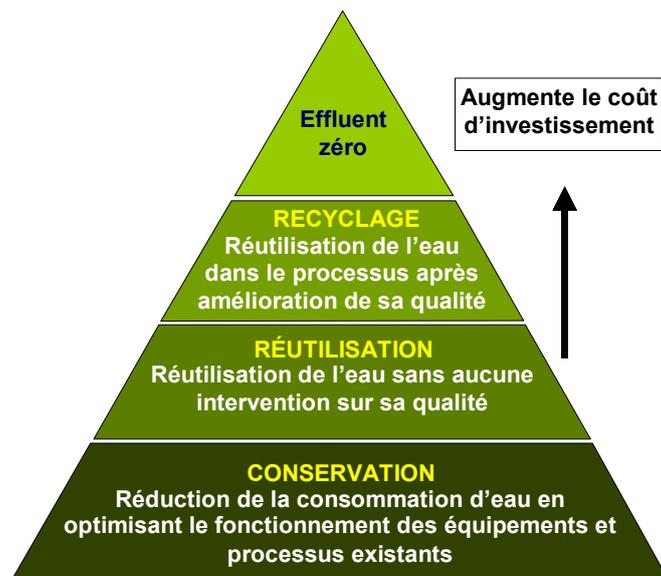


Figura 5.4.1. Gestion complète de l'eau

5.5. CONSOMMATION D'ÉNERGIE

5.5.1. Introduction

L'industrie papetière comporte différents pôles de consommation d'énergie :

- Énergie électrique :
 - actionnement des machines (écorceuses, fendeuses à bois, raffineurs, convoyeurs, etc.) ;
 - actionnement de la machine à papier ;
 - systèmes mécaniques de désintégration, dispersion, agitation et mélange ;
 - pompage et transport des fluides ;
 - services généraux et auxiliaires.

- Vapeur :
 - chauffage des digesteurs ;
 - Séchage de la pâte ;
 - Séchage du papier.

Ces besoins énergétiques sont couverts de la façon suivante : l'électricité est générée dans l'usine même ou est achetée à des fournisseurs externes, tandis que la vapeur est toujours produite sur place via un processus de cogénération ou dans des chaudières conventionnelles. La cogénération correspond à la production conjointe d'électricité et de chaleur via un même procédé. La chaleur résiduaire émise lors de la production d'électricité est exploitée dans le cadre d'un processus industriel : celui-ci la consomme en tant qu'énergie thermique utile sous forme de vapeur. Aussi, l'installation d'une centrale de cogénération est intrinsèquement associée à l'existence d'une industrie requérant de la chaleur utile comme c'est le cas de l'industrie de la pâte et du papier.

Les usines de production d'énergie au sein de ce secteur comprennent les installations suivantes :

- Chaudières de combustion à écorces : Lors du traitement du bois en vue de l'élaboration de la cellulose, les écorces, copeaux et autres boues au contenu fibreux, qui constituent une biomasse renouvelable, sont exploités dans ces chaudières sous forme d'énergie.
- Chaudières de récupération des liqueurs noires : La liqueur noire est un biocombustible produit lors de l'élaboration de la pâte chimique. Elle correspond à un mélange de produits chimiques inorganiques utilisés lors de la cuisson du bois, contenant de la lignine et d'autres composés organiques. Ces liqueurs sont concentrées et brûlées dans ces chaudières de récupération afin de produire de la vapeur d'eau qui est ensuite cogénérée en vue de son utilisation dans le processus de production et pour produire, en outre, de l'électricité. Les déchets qui en résultent sont utilisés pour récupérer les réactifs chimiques qui seront à nouveau employés dans le processus d'obtention de la pâte.
- chaudières de production de vapeur: Ces chaudières, alimentées par des combustibles fossiles, produisent de la vapeur d'eau qui est ensuite utilisée dans le cadre du séchage de la pâte et du papier. Dans les usines disposant de systèmes de cogénération, ces chaudières ne servent que de chaudières d'appui.
- Centrales de cogénération : L'industrie de la pâte et du papier présentant des besoins intenses en électricité et énergie thermique sous forme de vapeur, les technologies de cogénération ont été massivement intégrées dans les processus de production qui lui sont associés.

Dans le schéma qui suit, nous pouvons observer les différents systèmes qui permettent de couvrir les besoins en énergie d'une usine de production de pâte et de papier.

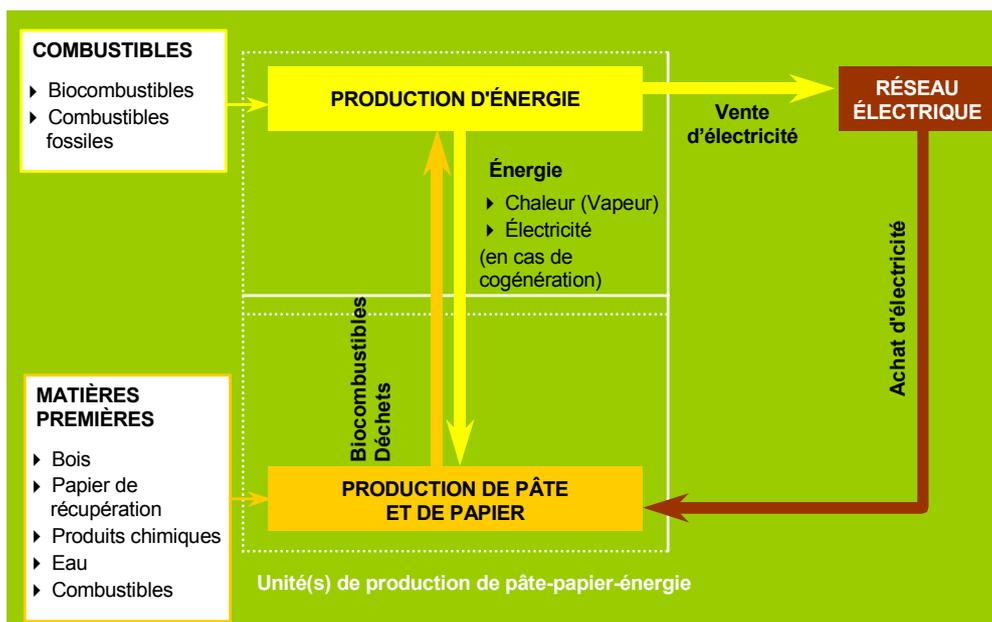


Figure 5.5.1. Système permettant de couvrir les besoins énergétiques d'une usine de production de pâte et de papier

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

Les besoins énergétiques sont liés au type de produit, au volume de production et à la taille des centres de production.

L'optimisation des coûts énergétiques constitue un élément clé de la compétitivité de l'industrie de la pâte et du papier. Trois facteurs sont déterminants en la matière : l'efficacité énergétique, la cogénération et le mélange de combustibles y compris la valorisation énergétique des déchets de recyclage.

Clés de l'efficacité énergétique

Efficacité énergétique

Cogénération

Mélange de combustibles et valorisation énergétique des déchets de procédé

Le concept d'efficacité énergétique fait référence aux processus qui permettent la même production de biens et de services en consommant moins d'énergie.

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

Au cours de ces dernières années, l'industrie papetière a identifié et appliqué progressivement toute une série de mesures d'efficacité énergétique, au niveau des technologies horizontales (technologies non-spécifiques à un secteur) comme des technologies de procédé (spécifiques à un procédé). Ces mesures vont de l'éclairage extérieur des fabriques au fonctionnement des divers éléments de la machinerie et confèrent un avantage compétitif.

La cogénération permet également de réaliser des économies d'énergie primaire et contribue à améliorer l'efficacité énergétique, l'énergie thermique étant la plus efficace pour produire de l'électricité et de la chaleur. En outre, puisqu'elle implique une production électrique décentralisée, située à proximité des centres de consommation, cette technique évite les pertes et les investissements dans les réseaux de transport et de distribution de l'électricité, améliorant ainsi la qualité du système. La cogénération contribue également à l'efficacité énergétique, à la productivité et à la qualité de l'alimentation électrique des industries associées, dans la mesure où elle permet d'éviter les arrêts dus aux coupures ou microcoupures.

Le diagramme qui suit décrit les économies d'énergie réalisées dans une usine de production de pâte et de papier par le biais de ce type d'installation.

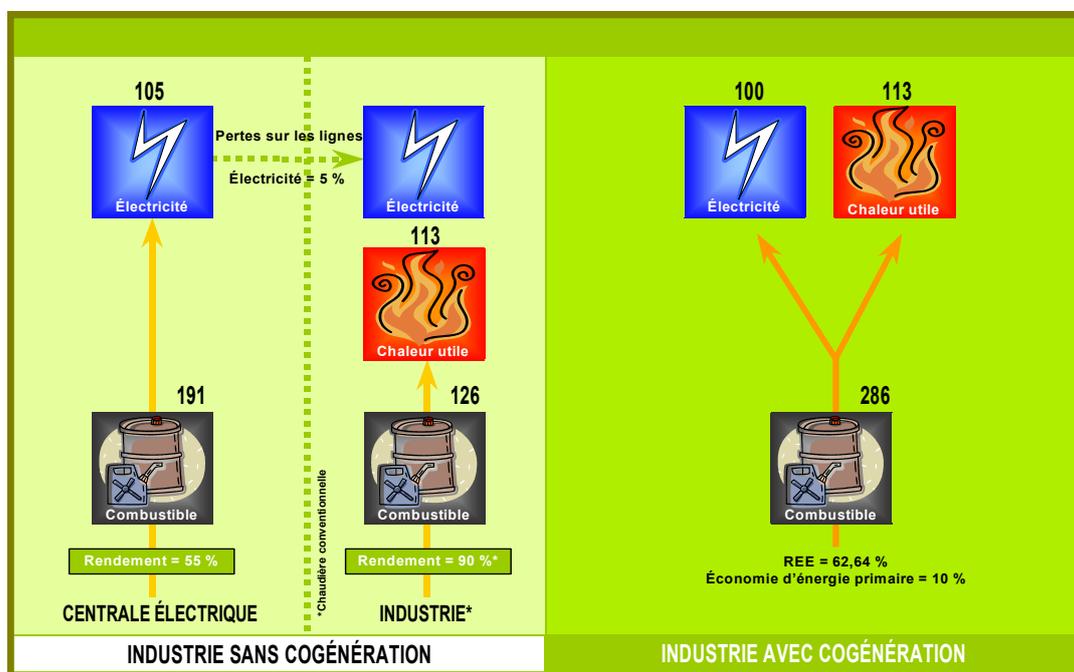


Figure 5.5.2. Économies d'énergie réalisées dans une usine de production de pâte et de papier grâce à un système de cogénération

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

La technologie de la cogénération dans le secteur de la production de la pâte, du papier et du carton est considérée comme faisant partie des meilleures techniques disponibles (MTD) selon la définition

de la directive européenne 96/61/CE du Conseil relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (IPPC). À travers la communication 2003/830 de la Commission en relation avec l'échange des droits, cette technologie bénéficie d'un appui incontestable puisque la cogénération constitue une technologie énergétiquement efficace et propre.

La réglementation environnementale vient définitivement ratifier le rôle important que la cogénération est amenée à jouer dans l'industrie papetière. Ainsi, par exemple, les pays de l'Union européenne ont récemment adopté la directive 2004/8/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la promotion de la cogénération sur la base de la demande de chaleur utile dans le marché intérieur de l'énergie. Dans d'autres pays, comme l'Égypte, la cogénération est ratifiée dans le cadre de la « National Strategy for Improving Energy Efficiency » (Stratégie nationale pour l'amélioration de l'efficacité énergétique) comme une technique importante en matière de protection de l'environnement ; son développement bénéficiera en outre de l'appui économique du gouvernement et des agences internationales dans le cadre du « United Nations Development Programme » (Programme de développement des Nations Unies).

En ce qui concerne les combustibles, l'évolution de l'utilisation des combustibles dans le secteur du papier s'est orientée ces dix dernières années vers le remplacement du fioul et du charbon par le gaz naturel, couplé à une exploitation extensive de la biomasse.

Dans le cadre de la stratégie d'optimisation énergétique développée par l'industrie papetière espagnole, la valorisation énergétique des déchets de recyclage se profile comme une opportunité clé pour l'amélioration de la structure des combustibles utilisés dans ce secteur.

La gestion des déchets de procédé implique en premier lieu leur minimisation, via le contrôle de la qualité de la matière première et l'amélioration des processus de fabrication, et suppose en second lieu le recyclage ou la valorisation énergétique de ces déchets. La valorisation énergétique adéquate des déchets de recyclage est expressément définie par la directive 96/61 IPPC comme figurant parmi les meilleures techniques disponibles dans le secteur papetier.

Le papier de récupération, même après avoir été trié au niveau du récupérateur de papier, arrive dans les fabriques de papier, mélangé à environ 10 % de matières impropres : plastiques, sacs, agrafes, sable, substances organiques, etc. Ces matières sont rejetées lors du recyclage du papier, produisant des déchets non dangereux généralement destinés à un site d'enfouissement.

Toutefois, ces déchets possèdent un potentiel élevé de valorisation et d'exploitation de leur énergie dans le processus papetier, qui permet d'éviter leur mise au rebus à 90 %.

5.5.2. Élaboration de la pâte à papier

Pâtes mécaniques

La consommation spécifique d'énergie associée à la fabrication de pâte mécanique varie en fonction du procédé de fabrication utilisé et du degré de raffinage final de la pâte.

Tableau 5.5.1. Consommations énergétiques spécifiques associées à la fabrication de pâte mécanique

Type de pâte	kWh/t AD	Degré de raffinage
Pâte mécanique traditionnelle (SGW)	1 100-2 000	350-40
Pâte mécanique de raffineur (RMP)	1 500-3 000	350-30
Pâte thermomécanique (PTM)	1 800-3 000	400-30

Source : Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gouvernement basque

La consommation énergétique calorifique est nettement inférieure à la consommation énergétique électrique et dépend principalement du procédé employé et du niveau d'intégration de la fabrique.

Pâtes chimiques

Dans le cadre de la fabrication de pâtes chimiques, la plus grande partie de l'énergie consommée permet de chauffer les différents fluides et de faire évaporer l'eau. L'énergie calorifique permet également d'accélérer et de contrôler les réactions chimiques. L'énergie électrique est principalement consommée pour le transport des matériaux.

La fabrication de pâte blanchie consomme environ 10-14 GJ/TSA d'énergie calorifique (vapeur de production de l'énergie électrique non incluse). La consommation d'énergie électrique est de 600-800 kWh/t, séchage de la pâte inclus. La consommation d'énergie associée au séchage de la pâte correspond à environ 25 % de l'énergie calorifique et entre 15 et 20 % de l'énergie électrique. Approximativement 50 % de l'énergie électrique est employée pour le pompage.

La consommation d'énergie dépend de la configuration des processus de production, des équipements et du contrôle du processus. Ainsi, par exemple, la consommation électrique d'une fabrique de pâte kraft écrue intégrée représente environ 50 % de celle d'une fabrique de pâte kraft blanchie non-intégrée.

L'autosuffisance énergétique d'une fabrique dépend principalement de l'efficacité de son système de récupération de l'énergie (lorsque la matière organique issue du bois dissous dans les liqueurs de cuisson est brûlée dans la chaudière à liqueurs noires), l'optimisation du système de cuisson, la récupération de l'eau chaude d'évaporation et le refroidissement des gaz, etc. L'énergie secondaire peut également être récupérée lors de l'incinération des déchets solides organiques.

Pâtes de papier de récupération

En ce qui concerne l'énergie thermique, la consommation de base correspond à l'opération de dispersion à chaud, qui n'est pas toujours intégrée aux installations.

Quant à l'énergie électrique, le tableau suivant fournit des exemples de consommation électrique :

Tableau 5.5.2. Consommation d'énergie électrique dans différentes usines de fabrication de pâte à partir de papier de récupération

Type d'usine	Consommation d'électricité
Désencrage Mousseline Production de 40 000 t/an	400 kWh/t
Désencrage Presse Production de 90 000 t/an	250 kWh/t

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

5.5.3. Fabrication de papier

L'industrie du papier peut être définie comme fortement consommatrice d'énergie, cette dernière occupant un poste de dépense important.

Tableau 5.5.3. Énergie consommée en chaleur et électricité par une fabrique non-intégrée de papier fin

Type d'usine	Chaleur (GJ/t)	Électricité (kWh/t)
Préparation de pâtes	--	202
Machine à papier	8	350
Traitement des effluents	--	4
TOTAL	8	556

Source : ASPAPEL, Association nationale des fabricants de pâte, papier et carton (Espagne)

6. OPPORTUNITÉS DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION À LA SOURCE

L'objectif de ce chapitre est de fournir aux techniciens et dirigeants des industries du secteur papetier un élément de réflexion sur leurs propres processus et des alternatives technologiques plus respectueuses de l'environnement. Ce chapitre vise également à offrir aux autorités compétentes un guide pour l'établissement de politiques concrètes encourageant les améliorations environnementales. C'est pourquoi ce chapitre décrit les différentes alternatives permettant de réduire l'impact des fabriques de pâte et de papier sur l'environnement en considérant deux objectifs complémentaires :

1. Minimiser la production de polluants, les flux résiduaux et la consommation des ressources au cours du processus de production
2. Réduire l'impact de ceux-ci sur l'environnement

Les alternatives technologiques proposées vont de modifications à apporter aux systèmes traditionnels de production en suggérant, dans certains cas, des systèmes alternatifs à certains procédés de production ou opérations individuelles, à des alternatives de contrôle des émissions finales de ces installations. De même, les alternatives technologiques proposées sont complétées par d'autres mesures d'ordre général reposant sur les bonnes pratiques et sur la motivation du personnel qui permettent, lorsqu'elles sont associées, l'optimisation de chaque installation industrielle.

La méthode adoptée pour le développement du présent chapitre consiste à présenter un tableau correspondant à chacun des procédés décrits dans le chapitre 4, dans lequel sont mentionnées les alternatives technologiques de prévention de la pollution appropriées.

Toutes ces alternatives sont définies ci-après. Les alternatives qui nécessitent une description plus détaillée du fait de leur pertinence technologique ou parce que leur niveau de complexité requiert une description plus spécifique de la procédure, sont présentées sous forme de fiche. Les alternatives ne nécessitant pas de description détaillée, du fait de leur simplicité technologique, de leur caractère plus théorique, de leur facilité d'application ou parce qu'elles sont très spécifiques, n'apparaissent pas sous forme de fiche.

Les alternatives présentées ci-après ne sont ni les seules possibles, ni des solutions exclusives mais, en général, les fabriques adoptent plusieurs mesures simultanément, comme nous le décrivons dans les cas pratiques.

Les données économiques présentées sont issues du document de référence BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Celles-ci sont purement indicatives et sont présentées à des fins de référence afin d'évaluer l'envergure des différentes alternatives, généralement exprimées en millions d'euros (M euros).

6.1. SÉLECTION DES ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES EN FONCTION DU PROCÉDÉ DE PRODUCTION

Les tableaux ci-après offrent une vue générale des alternatives technologiques préconisées en vue de réduire les émissions, les déchets, les déversements ainsi que la consommation d'eau et d'énergie. Dans cette section, la présentation des différentes alternatives repose sur les processus de production les plus significatifs du secteur de la pâte et du papier ; cinq tableaux ont donc été réalisés, à savoir :

- Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la production de pâte mécanique et leur impact sur l'environnement (tableau 6.1.1).
- Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la production de pâte mécanique et leur impact sur l'environnement (tableau 6.1.2).
- Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la production de pâte kraft et leur impact sur l'environnement (tableau 6.1.3).
- Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la production de pâte élaborée à partir de papier de récupération et leur impact sur l'environnement (tableau 6.1.4).
- Alternatives en matière de prévention de la pollution à la source (APPS) pour la production de papier et son impact sur l'environnement (tableau 6.1.5).

Les lignes identifient les techniques disponibles, pour chacune desquelles les effets en termes de consommation des ressources et de niveau d'émission sont identifiés (colonnes). Les répercussions de chaque alternative sont décrites qualitativement au moyen de flèches (↑ ou ↓). Les flèches pointant vers le bas indiquent une diminution de la consommation de produits chimiques, d'eau ou d'énergie, ainsi qu'une réduction de la charge polluante des émissions, déchets et/ou déversements. En revanche, les flèches pointant vers le haut indiquent une augmentation de la production de polluants, de la consommation des ressources ou une amélioration du processus de production.

Les informations fournies dans ces tableaux sont extraites du document de référence BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Les conséquences d'une alternative donnée sur les volumes de consommation et d'émissions ne doivent pas être considérées comme une information impérative, ni comme un point de départ pour identifier une éventuelle source de pollution. En outre, ces effets dépendent des conditions spécifiques de chaque fabrique.

Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la fabrication de pâte mécanique

Tableau 6.1.1. APPS dans le cadre de la production de pâte mécanique et leur impact sur l'environnement

APPS	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
6.3.1. Écorçage à sec	s.e.	↑ Eau niveau de l'écorçage ↓ A	↓ DCO ↓ TSS ↓ débit	s.e.	s.e.	--
6.3.2. Utilisation de réservoirs de stockage de volume suffisant pour optimiser la consommation d'eau	s.e.	s.e.	↓ Débit ↓ Charge polluante	s.e.	s.e.	--
6.2.2. Recirculation de l'eau	s.e.	↓ A	↓ Débit	s.e.	s.e.	--
6.3.5. Lavage efficace	↓ blanchiment ↓ cuisson	↑ E lavage (électrique) ↓ A	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX ↓ Débit	s.e.	s.e.	↓ blanchiment
6.4.1. Nouveaux procédés de fabrication de pâte efficaces d'un point de vue énergétique	s.e.	↓ E	s.e.	s.e.	s.e.	--
6.4.2. Fermeture des circuits d'eau avec évaporation et incinération des substances concentrées	s.e.	↓ A ↑ E	↓ Débit ↓ Charge polluante	↑	↓	MTD pour PCTM
6.4.5. Bioréacteur à membrane	s.e.	s.e.	↓ Charge polluante	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
6.3.13. Contrôle des émissions du parc à bois	s.e.	s.e.	↓	s.e.	s.e.	Récupération de fibres
6.2.14. Application de la cogénération de vapeur et d'énergie	s.e.	↓ E	↓ solides en suspension	↓	s.e.	--
6.3.17. Minimisation des pertes dues aux rejets	s.e.	↓ E	↓	s.e.	↓	--

↑ = augmentation; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions ; PCTM : Pâtes chimico-thermomécaniques ; MTD : Meilleure technique disponible

Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la fabrication de pâte au sulfite

Tableau 6.1.2. APPS dans le cadre de la production de pâte au sulfite et leur impact sur l'environnement

APPS	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
6.3.1. Écorçage à sec	s.e.	↑ E au niveau de l'écorçage ↓ A	↓ DCO ↓ TSS ↓ débit	s.e.	s.e.	↑ production d'énergie dans la chaudière à écorces
6.3.2. Utilisation de réservoirs de stockage de volume suffisant pour optimiser la consommation d'eau	s.e.	s.e.	↓ Débit ↓ Charge polluante	s.e.	s.e.	Permet d'éviter des altérations de l'usine de traitement des eaux usées
6.3.3. Contrôle et récupération des fuites et des échappements	s.e.	↑ E évapor.	↓ Débit ↓ DCO ↓ DBO	s.e.	s.e.	s.e.
6.3.4. Tamisage de la pâte écrue avec circuit d'eau fermé	s.e.	↓ A ↑ E évapor.	↓ Débit ↓ DCO	s.e.	s.e.	Récupération de matière organique plus importante. La capacité de récupération de l'usine doit être prise en compte
6.3.5. Lavage efficace	↓ blanchiment ↓ cuisson	↑ E lavage (électrique) ↓ A	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX ↓ Débit	s.e.	s.e.	↑ Qualité
6.3.6. Cuisson modifiée étendue	↓ blanchiment	(↑/↓) E cuisson ↑ E évapor.	↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	s.e.	↑ Meilleure blancheur (↑/↓) rendement final de la pâte Récupération de matière organique plus importante
6.2.3. Délignification à l'oxygène	↑ oxygène ↓ blanchiment	↑ E étape d'oxygénation ↑ E oxygénation de liqueurs blanches ↑ E four de récupération et chaud	↓ DCO ↓ AOX	↑ NO _x dans la chaudière de récupération	↑ boues de décantation	↑ production d'énergie ↓ coût du blanchiment
6.2.5. Blanchiment TCF	(↑/↓)	(↑/↓)	↓↓ AOX ↑ N (agents chélateurs)	s.e.	s.e.	↑ coût du blanchiment ↑ Problèmes d'incrustations
6.4.3. Élimination des agents chélateurs	↓	s.e.	↓ DBO ↓ DCO ↓ EDTA	s.e.	s.e.	Pour éliminer les chélateurs, il convient de changer le système de blanchiment, sans peroxyde ni ozone, ou de filtrer les métaux par précipitation.

Tableau 6.1.2. APPS dans le cadre de la production de pâte au sulfite et leur impact sur l'environnement

APPS	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
6.2.6. Fermeture du circuit de l'usine de blanchiment	↑ blanchiment	↑ E évaporation	↓ DBO ↓ DCO ↓ Débit	s.e.	↓ boues de décantation	↓ consommation d'eau
6.2.8. clarification des eaux avec système de membranes	↑	↑	↓ solides en suspension ↓ Matière colloïdale dissoute ↓ Nutriments eaux	s.e.	↑ boues	Rejets de perméation Traitement des boues
6.4.5. Bioréacteur à membrane	s.e.	s.e.	↓ Charge polluante	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
6.2.10. Épuration par lavage des gaz émanant de la chaudière de récupération	s.e.	↑	s.e.	↓ SO ₂	s.e.	(↑/↓) bilan énergétique
6.2.11. Épuration et réutilisation des condensats de l'usine d'évaporation	↓ blanchiment ↓ en matière de traitement des eaux résiduaires	↓ E Aération ↓ A ↑ vapeur	↓ DCO ↓ Débit ↓ TRS	↓ odeur	s.e.	Amélioration de l'efficacité de l'usine de traitement des eaux résiduaires
6.3.14. Augmentation de la concentration des liqueurs noires	s.e.	↑ E évaporation	s.e.	↓ SO ₂ ↑ NO _x ↑ particules	s.e.	↑ capacité d'évaporation nécessaire ↑ prod. éner. chaudière ↑ capacité de production Précipitateurs électrostatiques nécessaires
6.2.12. Traitement des gaz des chaudières et four au moyen d'un filtre électrostatique	s.e.	↑ électricité	s.e.	↓ SO ₂ particules	s.e.	--
6.4.4. Réduction sélective non-catalytique	↑ urée/NH ₃	↑ système de manipulation	s.e.	↓ NO _x ↑ NH ₃	s.e.	--
6.2.13. Amélioration de la préparation de la pâte avec une diminution de la consommation d'énergie et des émissions	s.e.	↓ E	s.e.	↓	s.e.	--

↑ = augmentation; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions.

Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la fabrication de pâte kraft

Tableau 6.1.3. APPS dans le cadre de la production de pâte kraft et leur impact sur l'environnement

APPS	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduelles	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
6.3.1. Écorçage à sec	s.e.	↑ E au niveau de l'écorçage ↓ A	↓ DCO ↓ TSS ↓ débit	s.e.	s.e.	↑ production d'énergie dans la chaudière à écorces
6.3.2. Utilisation de réservoirs de stockage de volume suffisant pour optimiser la consommation d'eau	s.e.	s.e.	↓ Débit ↓ Charge polluante	s.e.	s.e.	Permet d'éviter des altérations de l'usine de traitement des eaux usées
6.3.3. Contrôle et récupération des fuites et des échappements	s.e.	↑ évapor.	↓ Débit ↓ DCO ↓ DBO	s.e.	s.e.	--
6.3.4. Tamisage de la pâte écrue avec circuit d'eau fermé	s.e.	↓ A ↑ évapor.	↓ Débit ↓ DCO	s.e.	s.e.	Récupération de matière organique plus importante. La capacité de récupération de l'usine doit être prise en compte
6.3.5. Lavage efficace	↓ blanchiment ↓ cuisson	↑ E lavage (électrique) ↓ A	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX ↓ Débit	s.e.	s.e.	↑ Qualité
6.3.6. Cuisson modifiée étendue	↓ blanchiment	(↑/↓) E cuisson ↑ E évapor.	↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	s.e.	↑ Meilleure blancheur (↑/↓) rendement final de la pâte Récupération de matière organique plus importante
6.2.3. Délignification à l'oxygène	↑ oxygénation ↓ blanchiment	↑ E étape d'oxygénation ↑ E oxygénation de liqueurs blanches ↑ E four de récupération et chaud	↓ DCO ↓ AOX	↑ NO _x dans la chaudière de récupération	↑ boues de décantation	↑ production d'énergie ↓ coût du blanchiment
6.3.7. Blanchiment à l'ozone	↑ oxygénation ↓ blanchiment	↑ E oxygénation ↓ E blanchiment	↓ AOX	s.e.	s.e.	↑ Coût
6.2.4. Blanchiment ECF	(↑/↓)	(↑/↓)	↓ AOX ↓ Dioxines ↓ ClO ₃ ⁻	s.e.	s.e.	Facilite la fermeture des circuits
6.2.5. Blanchiment TCF	(↑/↓)	(↑/↓)	↓ ↓ AOX ↑ N (agents chélateurs)	s.e.	s.e.	↑ coût du blanchiment ↑ Problèmes d'incrustations

Tableau 6.1.3. APPS dans le cadre de la production de pâte kraft et leur impact sur l'environnement

APPS	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
6.4.3. Élimination des agents chélateurs	↓	s.e.	↓ DBO ↓ DCO ↓ EDTA	s.e.	s.e.	--
6.2.6. Fermeture du circuit de l'usine de blanchiment	↑ blanchiment	↑ E évaporation	↓ DBO ↓ DCO ↓ Débit	s.e.	↓ boues de décantation	↓ consommation d'eau
6.2.8. clarification des eaux avec système de membranes	s.e.	↑	↓ solides en suspension ↓ Matière colloïdale dissoute ↓ Nutriments eaux	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
6.4.5. Bioréacteur à membrane	s.e.	s.e.	↓ Charge polluante	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
6.3.14. Augmentation de la concentration des liqueurs noires	s.e.	↑ évaporation	s.e.	↓ SO ₂ ↑ NO _x ↑ particules	s.e.	↑ capacité d'évaporation nécessaire ↑ prod. éner. chaudière ↑ capacité de production Précipitateurs électrostatiques nécessaires
6.2.10. Épuration par lavage des gaz émanant de la chaudière de récupération	s.e.	↑	s.e.	↓ SO ₂	s.e.	(↑/↓) bilan énergétique
6.2.11. Épuration et réutilisation des condensats de l'usine d'évaporation	↓ blanchiment ↓ en matière de traitement des eaux résiduaires	↓ E Aération ↓ A ↑ vapeur	↓ DCO ↓ Débit ↓ TRS	↓ odeur	s.e.	Amélioration de l'efficacité de traitement des eaux résiduaires
6.4.4. Réduction sélective non-catalytique	↑ urée/NH ₃	↑ système de manipulation	s.e.	↓ NO _x ↑ NH ₃	s.e.	--
6.3.15. Amélioration du lavage des déchets de calcination	s.e.	s.e.	s.e.	↓ TRS	s.e.	--
6.2.12. Traitement des gaz des chaudières et four au moyen d'un filtre électrostatique	s.e.	↑ électricité	s.e.	↓ particules	s.e.	--

↑ = augmentation ; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions.

Alternatives pour la prévention de la pollution à la source (APPS) dans le cadre de la fabrication de pâte élaborée à partir de papier de récupération

Tableau 6.1.4. APPS dans le cadre de la production de pâte élaborée à partir de papier de récupération et leur impact sur l'environnement

APPS	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Applicabilité
6.2.9. Gestion optimale de l'eau. Réduction de la consommation d'eau claire via la séparation des circuits d'eau et un flux à contre-courant	↓	↓ E ↓ A	↓ Débit ↓ Charge polluante	s.e.	s.e.	↓ Consommation d'eau fraîche
6.3.8. Fermeture du circuit d'eau avec traitement biologique des effluents intégrés dans le processus	s.e.	↓ A	↓ DBO ↓ DCO ↓ Débit	↓ odeur	↑ boues	MTD relative aux qualités de marrons Fermeture totale des circuits
6.2.7. Clarification des eaux par flottation à air dissous dans les usines de désencrage	↑ flocculants	↑ E ↓ A	↓ MDC ↓ DCO ↓ Débit	s.e.	↑ boues	MTD relative aux degrés de désencrage Permet de fermer le circuit
6.2.8. clarification des eaux avec système de membranes	s.e.	↑	↓ solides en suspension ↓ Matière colloïdale dissoute ↓ Nutriments eaux	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
6.2.13. Amélioration de la préparation de la pâte afin de diminuer la consommation d'énergie et les émissions	s.e.	↓ E	s.e.	↓ Émissions atmosphériques ↓ Consommation de E	(↑/↓)	MTD relative aux qualités de marrons Amélioration de la qualité
6.2.14. Application de la cogénération de vapeur et d'énergie	s.e.	↓ E	↓ solides en suspension	↓	s.e.	--
6.3.17. collecte séparée des matériaux non-fibreux	s.e.	↑/↓	s.e.	s.e.	↓	--
6.3.23. Actualisation de la conception des installations	s.e.	↓ E	s.e.	s.e.	s.e.	Augmente le rendement

↑ = augmentation; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions ; **MTD** : Meilleure technique disponible

Alternatives en matière de prévention de la pollution à la source (APPS) pour la fabrication de papier

Tableau 6.1.5. APPS dans le cadre de la production de papier et leur impact sur l'environnement

APPS	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Applicabilité
6.2.8. Clarification des eaux avec système de membranes	s.e.	↑ E ↓ A	↓ Débit ↓ Charge polluante	s.e.	↑	À tous les degrés de pollution
6.2.9. Gestion optimale de l'eau. Réduction de la consommation d'eau claire via la séparation des circuits d'eau et un flux à contre-courant	s.e.	↓ E ↓ A	↓	s.e.	s.e.	À tous les degrés de pollution
6.3.9. Réduction des pertes de fibres et de charges minérales	↓	↓ A	↓ solides en suspension	s.e.	s.e.	↓ Coût
6.3.10. Récupération et recyclage des produits de couchage contenus dans les effluents	↓	↓ A	↓ Débit ↓ Charge polluante	s.e.	↓	Améliore le traitement des eaux de satinage ou de couchage au niveau de la station de traitement des eaux résiduaires
6.3.11. Prétraitement indépendant des eaux résiduaires provenant des opérations de couchage	↑	s.e.	↓ Débit ↓ solides en suspension	s.e.	↑	Eaux de satinage et de couchage. ↓ Altérations de l'usine de traitement des eaux usées
6.3.21. Élimination des déversements accidentels ou occasionnels	s.e.	s.e.	↓ Déversements ponctuels	s.e.	s.e.	À tous les degrés de pollution. ↓ Altérations de l'usine de traitement des eaux usées
6.3.12. Remplacement des substances potentiellement nocives par des produits alternatifs moins polluants	s.e.	s.e.	↓ toxicité	s.e.	↓ toxicité	À tous les degrés de pollution. Amélioration du traitement biologique.
6.2.14. Application de la cogénération de vapeur et d'énergie	s.e.	↓ E	↓ solides en suspension	↓	s.e.	--
6.3.16. utilisation de combustibles pauvres en soufre ou renouvelables	↓	↓ E	s.e.	↓ SO ₂ ↓ CO ₂	s.e.	--
6.3.20. utilisation des technologies efficaces d'un point de vue énergétique	s.e.	↓ E	s.e.	s.e.	s.e.	À tous les degrés.
6.2.15 Optimisation de l'égouttage au niveau de la section de pressage de la machine à papier	s.e.	↓ E	s.e.	s.e.	s.e.	À tous les degrés.

↑ = augmentation ; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions.

6.2. FICHES RELATIVES AUX ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES POUR LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION À LA SOURCE (APPS) SÉLECTIONNÉES

Cette section regroupe les alternatives de prévention de la pollution à la source les plus pertinentes d'un point de vue technologique. Les alternatives correspondant aux principaux procédés de production du secteur et à toutes les catégories de déchets (eaux résiduaires, pollution atmosphérique et déchets solides) y sont présentées.

La fiche théorique (6.2.1) constitue un outil qui vous permettra d'interpréter correctement les autres fiches : elle inclut la description et détaille les objectifs de chacune des sections comprises dans ces fiches.

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.1. Fiche théorique
Procédé et action	- <u>Procédé</u> de production auquel s'applique l'APPS. - <u>Action</u> clé sur laquelle repose l'APPS (remplacement des matières premières, recyclage à la source, modifications technologiques ou bonnes pratiques environnementales).
Étape / Opération	Étape ou opération modifiée, incluse ou supprimée afin de pouvoir mettre en œuvre l'APPS.
Problématique environnementale	Répercussions les plus importantes sur l'environnement du procédé de production original, limitées ou diminuées par l'application de l'APPS.
Bénéfices potentiels de l'APPS	Principaux avantages liés à l'application de l'APPS.
Description	Bases scientifiques et technologiques sur lesquelles se fonde l'APPS et description de leur principe de fonctionnement.
Procédure	Description des alternatives les plus répandues pour l'intégration de l'APPS dans le procédé de production.
Commentaires	Informations complémentaires sur les sections précédentes.
Aspects économiques	Dans la mesure du possible, nous fournissons une estimation des coûts d'implantation et d'exploitation de ces APPS. Les données fournies sont extraites du document de référence : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry (2001).

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.2. Recirculation des eaux
Procédé et action	Procédé : Production de pâte et de papier (exemple d'une usine de production de pâte mécanique). Action : Changements technologiques, recyclage à la source.
Étape / Opération	Minimisation et réutilisation des eaux de procédé.
Problématique environnementale	Consommation d'eau élevée, coûts de traitement des eaux résiduaires élevés. Mauvaise gestion de l'eau dans l'industrie.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	Les principaux avantages de l'application de cette alternative sont : <ul style="list-style-type: none"> • la réduction des dépenses en eau claire ; • la réduction des coûts de traitement de l'eau claire ; • le débit d'eaux résiduaires à traiter moins important ; • la diminution des pertes de matières premières ; • la consommation d'énergie moins importante ; • l'augmentation de la vitesse de drainage de la machine à papier.
Description	Une fois la consommation d'eau nécessaire pour chaque étape et la qualité de l'eau et des effluents associés aux différentes opérations connues, il est possible d'optimiser l'usage de l'eau en utilisant à nouveau les courants dont la qualité autorise leur réutilisation dans d'autres processus.

Actuellement, toutes les fabriques appliquent, dans une mesure plus ou moins large, le principe de recirculation des eaux. Le degré de recirculation dépend du volume de polluants pouvant être accumulés dans le circuit sans affecter la qualité du produit ni le processus de fabrication. Dans tous les cas, un apport en eau claire est nécessaire, y compris dans les systèmes totalement fermés, en raison notamment des pertes par évaporation. Dans les fabriques non-intégrées, dont le produit final est généralement la pâte à papier, les apports en eau sont faits à l'eau claire. En revanche, dans les fabriques intégrées, dont le produit final est le papier, il est possible d'utiliser l'eau claire pour la machine à papier et les eaux blanches au niveau de l'usine de fabrication de la pâte.

En tout état de cause, il est impératif d'identifier les agents polluants les plus importants pour chaque procédé. Par exemple, dans les usines de pâte, les volumes d'extractifs et de corps étrangers au processus, tels que les chlorures, les métaux, le Ca, etc., ont une importance capitale. Dans les usines de papier recyclé, les concentrations en sels, déchets anioniques (c'est-à-dire la matière dissoute et colloïdale de nature anionique) ou de « stickies », ou dépôts collants, sont plus critiques. Enfin, dans les fabriques qui produisent du papier de couleur, la couleur de l'eau peut influencer sur le degré de fermeture du système.

Les effets les plus immédiats de la fermeture des circuits sur la qualité de l'eau sont : l'augmentation des solides en suspension, de la matière dissoute et colloïdale et de la température. Ces altérations peuvent entraîner de nombreux problèmes, au niveau du processus de fabrication comme de la qualité des produits finaux, qui peuvent affecter la productivité de l'usine. Par exemple, il convient de mentionner la diminution de l'efficacité des produits chimiques ainsi que les problèmes de corrosion et d'abrasion, de formation de dépôts et d'incrustations, de bouchage des douches, des toiles et des feutres, etc.

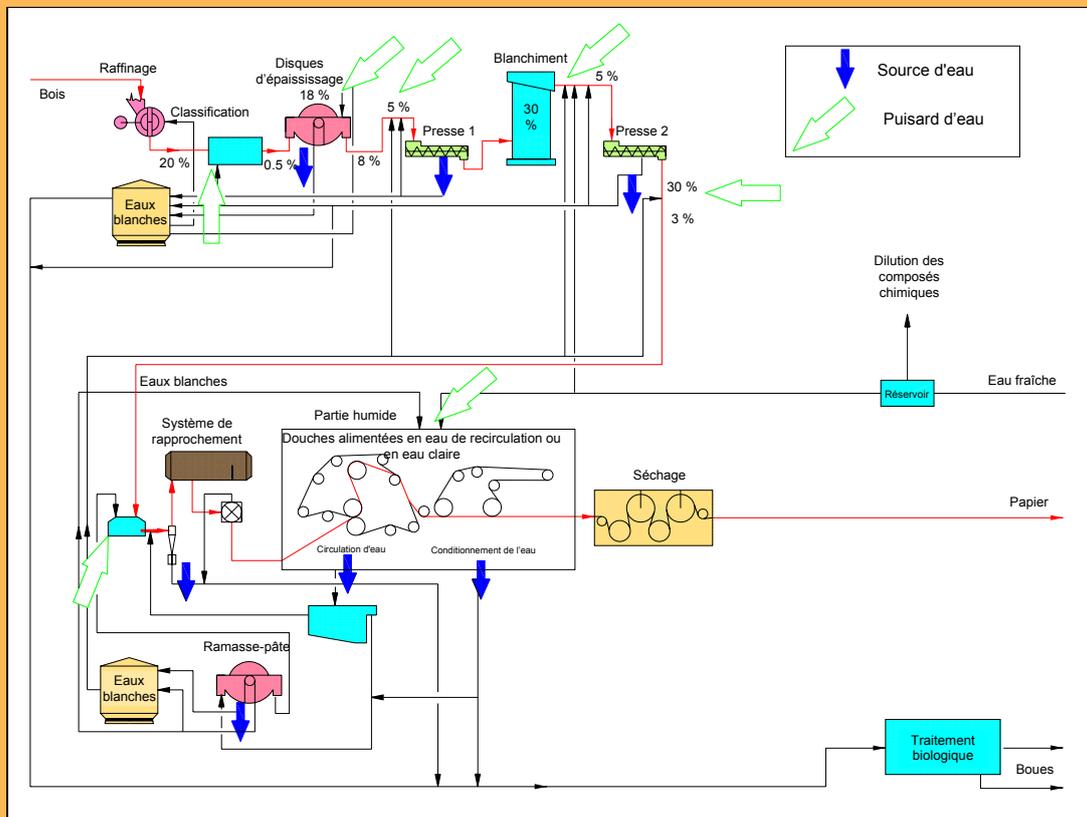


Figure 6.2.1. Principales sources et principaux puisards d'eau d'une fabrique intégrée de pâte mécanique et de papier

Procédure

Il existe diverses alternatives de fermeture des circuits. Les plus utilisées sont les suivantes :

- La séparation des circuits d'eau en fonction de leur charge polluante.
- L'utilisation de l'eau dans des systèmes en cascade et à contre-courant en fonction des exigences qualité ou d'usage. Le lavage de la pâte constitue un exemple d'utilisation du système en cascade.
- L'utilisation de l'eau à des fins techniques dans des systèmes fermés: eaux d'étanchéité, eaux de refroidissement, eaux des systèmes à vide, etc.
- Une capacité de stockage des eaux suffisante pour faire face aux fluctuations du processus.
- L'épaississement de la pâte avant que celle-ci ne soit envoyée vers l'usine de papier.
- La réduction de la consommation d'eau claire au moyen de la recirculation des eaux blanches, en fonction de la qualité d'eau requise pour les différentes opérations.

	<ul style="list-style-type: none"> • La réutilisation des eaux blanches dans les systèmes d'aspersion d'eau, le cas échéant. • La production d'eau clarifiée à partir des eaux blanches et la réutilisation de celles-ci. • La réutilisation des effluents finaux de l'usine sous forme d'eau d'alimentation via leur filtrage. • Des mesures pour limiter les effets négatifs de la recirculation des eaux de procédé. <p>La fermeture de circuits d'eau à usage technique permet d'atteindre une réduction de l'eau de refroidissement de 10 à 15 m³/t de produit ; la consommation d'eau d'étanchéité peut être ramenée à moins de 1 m³/t. En cas d'utilisation d'échangeurs de chaleur, il est possible de récupérer l'énergie simultanément. En général, une gestion adéquate de l'eau, sans traitement spécifique, permet de réduire de 20 % la consommation d'eau claire (5-8 m³/t) (ces valeurs dépendent de la situation initiale).</p>
Commentaires	Cette mesure peut être appliquée aux nouvelles fabriques comme aux installations existantes. Le bilan des eaux et le bilan énergétique doivent être réalisés conjointement.
Aspects économiques	<p>Les coûts d'investissement pour une fabrique intégrée produisant 700 t/an couplés à une réduction de la consommation d'eau de 20 m³/t à 10 m³/t, sont estimés entre 10 et 12 M euros. Ce résultat peut largement varier en fonction de la qualité du produit final.</p> <p>La recirculation de l'eau de refroidissement et d'étanchéité requiert des investissements supplémentaires au niveau des tuyauteries et des systèmes de pompage et de filtration de l'eau. L'augmentation de la capacité de stockage de l'eau implique l'installation de réservoirs supplémentaires. Nous ne disposons d'aucune donnée relative aux dépenses spécifiques. Cette technique permet de réduire les coûts de matières premières et la consommation d'énergie.</p>

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.3. Délignification à l'oxygène																											
Procédé / Action	Procédé : Production de pâte chimique. Action : Changements technologiques, recyclage à la source.																											
Étape / Opération	Délignification comme étape préalable au blanchiment.																											
Problématique environnementale	Déversement des eaux à forte teneur en matière organique.																											
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la charge polluante dans les effluents de blanchiment : DCO et AOX (en cas d'utilisation de composés chlorés). • Consommation d'agents de blanchiment moins importante. • Coût du blanchiment moins élevé. <p>Tableau 6.2.1. Caractéristiques des technologies de délignification</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Technologies de délignification</th> <th rowspan="2">Indice Kappa du bois de feuillus</th> <th rowspan="2">Indice Kappa du bois de conifères</th> <th colspan="2">Charge DCO des effluents de blanchiment (kg/t)</th> </tr> <tr> <th>Bois de feuillus</th> <th>Bois de conifères</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisson conventionnelle</td> <td>14 – 22</td> <td>30 – 35</td> <td>28 – 44</td> <td>60 – 70</td> </tr> <tr> <td>Cuisson conventionnelle + délignification à l'oxygène</td> <td>13 – 15</td> <td>18 – 20</td> <td>26 – 30</td> <td>36 – 40</td> </tr> <tr> <td>Cuisson modifiée / étendue</td> <td>14 – 16</td> <td>18 – 22</td> <td>28 – 32</td> <td>36 – 44</td> </tr> <tr> <td>Cuisson étendue + délignification à l'oxygène</td> <td>8 – 10</td> <td>8 – 12</td> <td>16 – 20</td> <td>16 – 24</td> </tr> </tbody> </table>	Technologies de délignification	Indice Kappa du bois de feuillus	Indice Kappa du bois de conifères	Charge DCO des effluents de blanchiment (kg/t)		Bois de feuillus	Bois de conifères	Cuisson conventionnelle	14 – 22	30 – 35	28 – 44	60 – 70	Cuisson conventionnelle + délignification à l'oxygène	13 – 15	18 – 20	26 – 30	36 – 40	Cuisson modifiée / étendue	14 – 16	18 – 22	28 – 32	36 – 44	Cuisson étendue + délignification à l'oxygène	8 – 10	8 – 12	16 – 20	16 – 24
Technologies de délignification	Indice Kappa du bois de feuillus				Indice Kappa du bois de conifères	Charge DCO des effluents de blanchiment (kg/t)																						
		Bois de feuillus	Bois de conifères																									
Cuisson conventionnelle	14 – 22	30 – 35	28 – 44	60 – 70																								
Cuisson conventionnelle + délignification à l'oxygène	13 – 15	18 – 20	26 – 30	36 – 40																								
Cuisson modifiée / étendue	14 – 16	18 – 22	28 – 32	36 – 44																								
Cuisson étendue + délignification à l'oxygène	8 – 10	8 – 12	16 – 20	16 – 24																								
Description	<p>Traitement à l'oxygène de la pâte en milieu alcalin, à une pression de 4-5 atm et une température de 100 °C afin d'éliminer entre 40 et 60 % de la lignine résiduelle présente dans la pâte écrue, selon que le procédé est réalisé en une ou deux étapes.</p> <p>La délignification à l'oxygène peut être effectuée à moyenne consistance (10-15 %) ou à haute consistance (25-30 %).</p> <p>Les liqueurs résiduelles sont utilisées à contre-courant comme eaux de lavage de la pâte écrue et sont finalement envoyées vers la chaudière de récupération.</p>																											

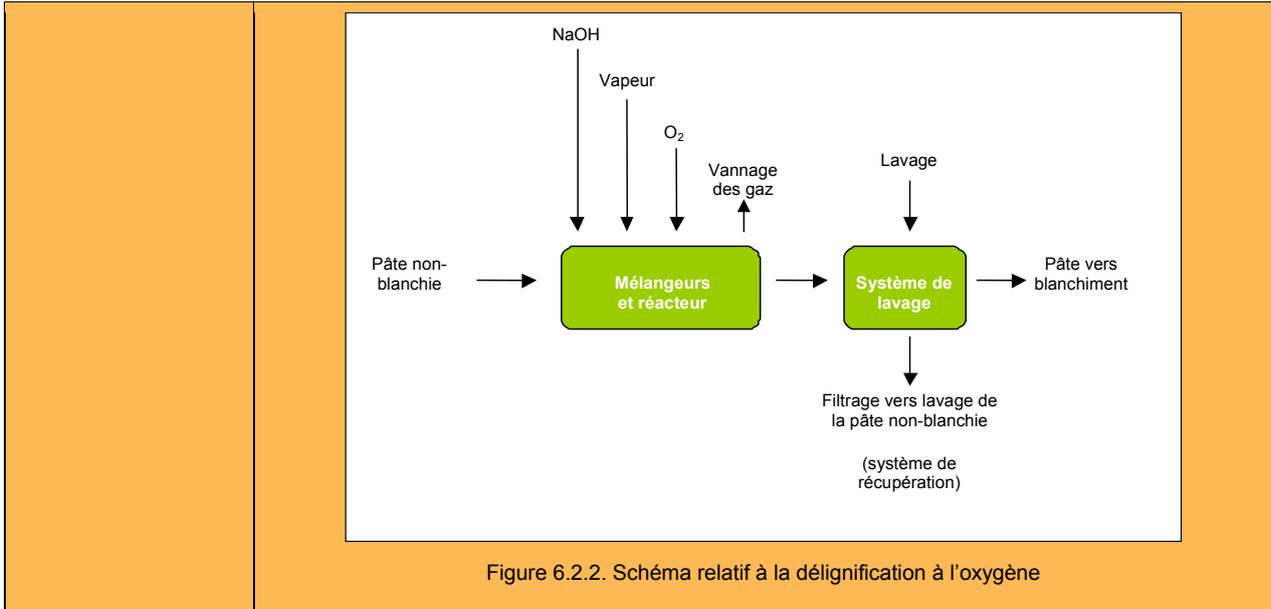
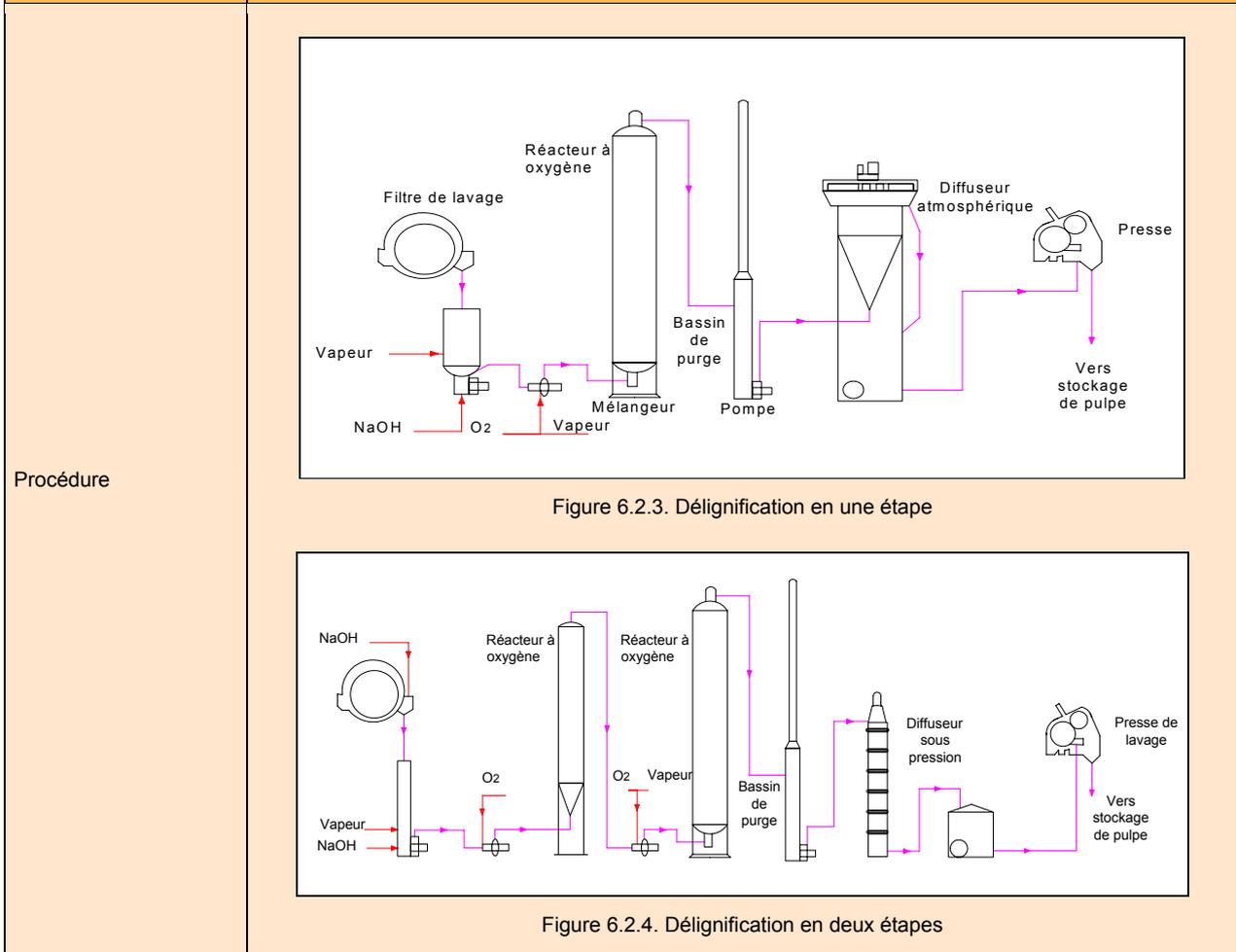


Figure 6.2.2. Schéma relatif à la délignification à l'oxygène



Commentaires / Exemples d'application

Les fabriques les plus modernes combinent la cuisson modifiée et la délignification à l'oxygène. Les avantages mentionnés ne peuvent être obtenus qu'à l'aide d'un système de lavage de la pâte efficace.

L'intégration d'une étape de délignification au sein d'une structure existante suppose un risque de perte de production si la capacité du système de récupération est insuffisante pour traiter la charge supplémentaire de matière organique produite (70 kg/t pour les bois de conifères et 45 kg/t pour les bois de feuillus, soit 4 à 6 %). De même, les systèmes à haute consistance requièrent une capacité additionnelle au niveau de l'étape d'évaporation de 0 à 4 %, et les systèmes à moyenne consistance de 4 à 10 %.

	<p>Cette mesure engendre une augmentation de la récupération d'énergie à partir des matières organiques dissoutes, mais également une diminution du pouvoir calorifique des liqueurs noires à forte teneur en composés inorganiques.</p> <p>La viscosité d'une pâte délignifiée à l'oxygène est inférieure à celle de la pâte obtenue via un traitement de blanchiment conventionnel. Toutefois, on observe des différences notables dans les propriétés finales de résistance de la pâte.</p>
Aspects économiques	<p>Cette technique est très répandue et peut être adoptée par une fabrique neuve comme par une structure existante (d'une manière différente et à un coût différent, néanmoins).</p> <p>Le coût d'investissement relatif à l'usine de délignification à l'oxygène est de 35 à 40 M euros pour une production de 1 500 t/j de pâte blanchie. Les coûts d'exploitation représentent 2,5 à 3,0 M euros/an mais sont compensés par la diminution des dépenses de produits chimiques utilisés pour le blanchiment.</p>

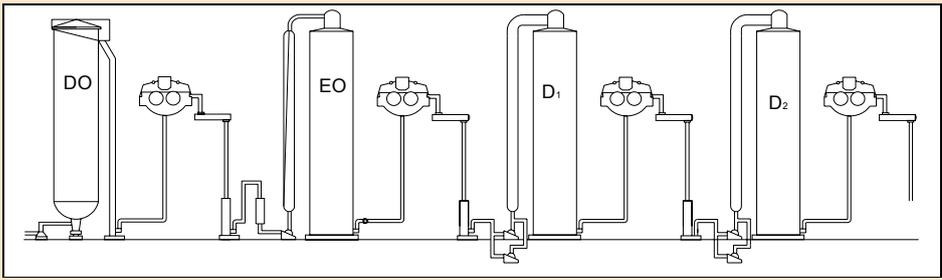
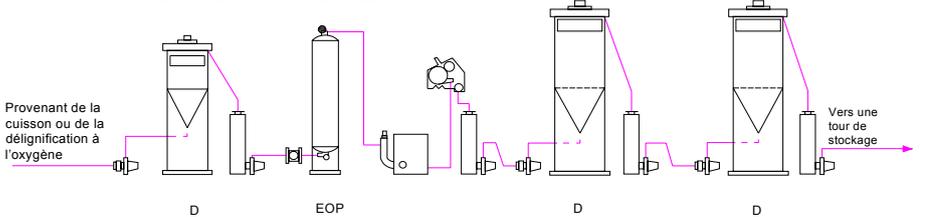
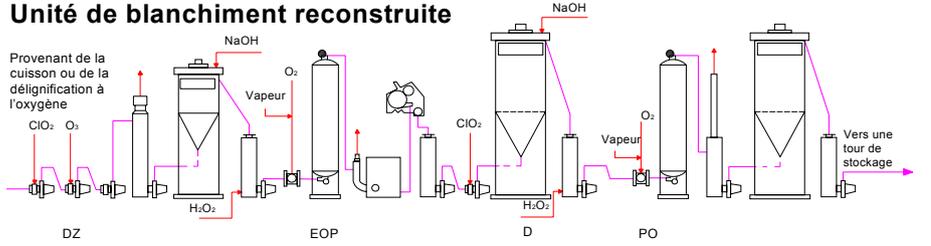
Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.4. Blanchiment ECF																						
Procédé et action	Procédé : Production de pâte kraft. Action : Remplacement des matières premières, modifications technologiques.																						
Étape / Opération	Blanchiment.																						
Problématique environnementale	Déversement des eaux à forte teneur en composés organochlorés.																						
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la charge polluante d'AOX dans les effluents de blanchiment (< 0,3 kg AOX/t de pâte). • Réduction de la formation de composés organiques chlorés et de dioxines (2,3,7,8-TCDD et 2,3,7,8-TCDF). • La diminution des dioxines dépend de l'indice Kappa de la pâte et des impuretés contenues dans le ClO₂. 																						
Description	Le blanchiment ECF implique le remplacement du chlore gazeux par du dioxyde de chlore comme principal agent blanchissant, ce qui permet de diminuer la formation de composés organiques chlorés et de dioxines. Le blanchiment ECF s'effectue en plusieurs étapes, qui diffèrent en fonction de l'indice Kappa de la pâte à l'entrée de l'usine de blanchiment, du degré final de blancheur voulu, ainsi que de l'essence employée. En règle générale, les bois durs requièrent un nombre plus limité d'étapes de blanchiment. Le remplacement du Cl ₂ augmente la consommation de ClO ₂ , de O ₂ et de H ₂ O ₂ .																						
Procédure	<p>Les séquences de blanchiment possibles sont :</p> <table border="0"> <tr> <td>Bois tendres :</td> <td>Bois durs :</td> </tr> <tr> <td>D(EP)D</td> <td>D(EOP)D(EP)D</td> </tr> <tr> <td>DPDP</td> <td>D(EO)D(EP)D</td> </tr> <tr> <td>D(EOP)DD</td> <td>D(EOP)DD</td> </tr> <tr> <td>D(EO)DD</td> <td>D(EO)DD</td> </tr> <tr> <td>D(EO)D(EP)D</td> <td>QDPZP</td> </tr> <tr> <td>DC(PO)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D(EOP)DED</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D(EO)D(OP)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D(EOP)D(OP)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(OP)DQ(PO)</td> <td></td> </tr> </table> <p>La consommation approximative de réactifs nécessaire au blanchiment dans le cadre d'une séquence D(EO)DD, d'un kilogramme de pâte kraft de pin préalablement délignifiée à l'oxygène, est de : 44 kg de ClO₂, 15 kg de NaOH, 4 kg de O₂ y 1,5 kg de SO₂. Pour le blanchiment des pâtes dures, il est parfois possible de supprimer la deuxième étape de traitement au dioxyde de chlore.</p> 	Bois tendres :	Bois durs :	D(EP)D	D(EOP)D(EP)D	DPDP	D(EO)D(EP)D	D(EOP)DD	D(EOP)DD	D(EO)DD	D(EO)DD	D(EO)D(EP)D	QDPZP	DC(PO)		D(EOP)DED		D(EO)D(OP)		D(EOP)D(OP)		(OP)DQ(PO)	
Bois tendres :	Bois durs :																						
D(EP)D	D(EOP)D(EP)D																						
DPDP	D(EO)D(EP)D																						
D(EOP)DD	D(EOP)DD																						
D(EO)DD	D(EO)DD																						
D(EO)D(EP)D	QDPZP																						
DC(PO)																							
D(EOP)DED																							
D(EO)D(OP)																							
D(EOP)D(OP)																							
(OP)DQ(PO)																							

Figure 6.2.5. Exemple de séquence de blanchiment

	<p>Les étapes de type D sont généralement réalisées à une consistance de 10 % pendant 30 minutes, à une température de 60 °C et à un pH final de 3,5.</p> <p>Les étapes d'extraction alcaline sont réalisées à une consistance de 10-12 %, pendant 60 minutes, à une température de 60-70 °C et avec une charge alcaline de 10-20 kg/t de pâte. Normalement, une étape EOP est réalisée, en présence d'oxygène (3-6 kg/TSA) et de peroxyde d'oxygène (2-4 kg/t).</p>
<p>Commentaires / Exemples d'application</p>	<p>Le traitement au peroxyde favorise le traitement initial doux à l'oxygène et les extractions alcalines. En outre, il permet d'ajuster le degré final de blancheur au niveau des tours de stockage à haute consistance. Une étape de traitement au peroxyde offre la possibilité de séparer les étapes de délignification et de blanchiment. Enfin, l'inclusion d'une étape PO en bout de ligne de blanchiment permet de produire des pâtes ECF sans avoir à augmenter la capacité de l'usine de ClO₂. Le schéma 6.2.6 décrit une usine ECF avant et après modification via l'introduction d'une étape Z et d'une étape PO.</p> <div data-bbox="464 566 1417 1104" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">Unité de blanchiment existante</p>  <p style="text-align: center;">Unité de blanchiment reconstruite</p>  </div> <p style="text-align: center;">Figure 6.2.6. Comparaison d'une usine ECF avant modification via l'introduction d'une étape Z et d'une étape PO, et d'une usine après modification</p> <p>Aux concentrations d'AOX atteintes dans les eaux de procédé d'une usine ECF, les composés organochlorés sont relativement biodégradables et peuvent être éliminés lors du traitement biologique des eaux résiduelles.</p> <p>Cette mesure a été adoptée dans la plupart des fabriques européennes. La conversion d'une fabrique existante en usine ECF implique des modifications considérables au niveau de la ligne de production de pâte et de dioxyde de chlore, et suppose une augmentation des coûts de blanchiment (2-3 %).</p>
<p>Aspects économiques</p>	<p>Les coûts d'investissement correspondant à une production de 1 500 t/j de pâte blanchie sont de 8 à 10 M euros pour une fabrique neuve, et de 3 à 5 M euros pour une fabrique existante. Les coûts d'exploitation s'élèvent à 10-12 M euros/an. Ces estimations prennent en compte la nécessité d'augmenter la production de dioxyde de chlore.</p>

<p>Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)</p>	<p>6.2.5. Blanchiment TCF</p>
<p>Procédé</p>	<p>Procédé : Production de pâte chimique. Action : Remplacement des matières premières, modifications technologiques.</p>
<p>Étape / Opération</p>	<p>Blanchiment.</p>
<p>Problématique environnementale</p>	<p>Déversement des eaux à forte teneur en composés organochlorés.</p>
<p>Bénéfices potentiels de l'alternative de PP</p>	<p>Élimination de la charge polluante d'AOX dans les effluents de blanchiment.</p>
<p>Description</p>	<p>Le blanchiment TCF est réalisé au moyen d'agents totalement exempts de chlore. Pour atteindre une blancheur standard de 88/90 % ISO, il est impératif que l'indice Kappa de la pâte à l'entrée de l'usine de blanchiment soit inférieur à 9 ; celui-ci dépend de la dernière valeur de la matière première utilisée et de la séquence de blanchiment choisie.</p>

Le blanchiment TCF s'effectue en plusieurs étapes, qui diffèrent en fonction de l'indice Kappa de la pâte à l'entrée de l'usine de blanchiment, du degré final de blancheur voulu, ainsi que de l'essence employée. Les agents blanchissants les plus couramment employés sont : le peroxyde d'hydrogène et l'ozone, et, dans certains cas, l'acide peracétique.

Le peroxyde d'hydrogène est l'agent blanchissant le plus utilisé dans les séquences TCF, notamment pour les pâtes de bois de feuillus, notamment d'eucalyptus. Pour blanchir les pâtes élaborées à base de conifères, il est nécessaire de recourir à la technique de blanchiment à l'ozone (voir alternative 6.3.7). L'usage d'acide peracétique est peu fréquent. En raison du coût élevé du peroxyde d'hydrogène et de son pouvoir blanchissant inférieur, les processus TCF requièrent que la pâte à l'entrée de l'usine de blanchiment présente un indice Kappa sensiblement inférieur à celui exigé pour le blanchiment ECF. Aussi, le cas échéant, la pâte subit une cuisson modifiée étendue (voir alternative 6.3.6), et une ou deux phases de délignification à l'oxygène (voir fiche 6.2.2), notamment lorsqu'il s'agit de bois de conifères.

Avant de procéder au blanchiment, il est nécessaire d'éliminer les métaux lourds et de transition (Mn^{2+} , Fe^{2+} , etc.), au moyen d'agents chélateurs dans le cadre d'une étape de traitement acide, afin d'éviter que ceux-ci ne favorisent la décomposition rapide de l'ion perhydroxyle.

Les étapes de blanchiment possibles sont :

- CH(EP)(EP)(EP) pour le bois de conifères.
- CHPZP pour les bois de feuillus.
- Q(OP)(ZQ)(PO).
- Q(EOP)Q(PO).
- Q(OP)ZQ(PO).

Les conditions de traitement les plus courantes par tonnes de pâte sont :

- ÉTAPE Q: 1-2 kg EDTA ; pH 5,7 à 6,2 ; consistance 10 %, temps de réaction 1 h ; température 90 °C.
- ÉTAPE EOP: 10-30 kg NaOH ; 3-6 kg O_2 ; 2-4 kg H_2O_2 ; pH 11; 1 h ; température 60-70 °C.
- ÉTAPE P: 20-40 kg H_2O_2 ; pH 11-11,5, temps de rétention 4 h ; température 90 °C.
- ÉTAPE Z: 5 kg O_3 ; pH 2-3 ; consistances moyennes ou hautes ; température inférieure à 70 °C ; basse pression.

Procédure

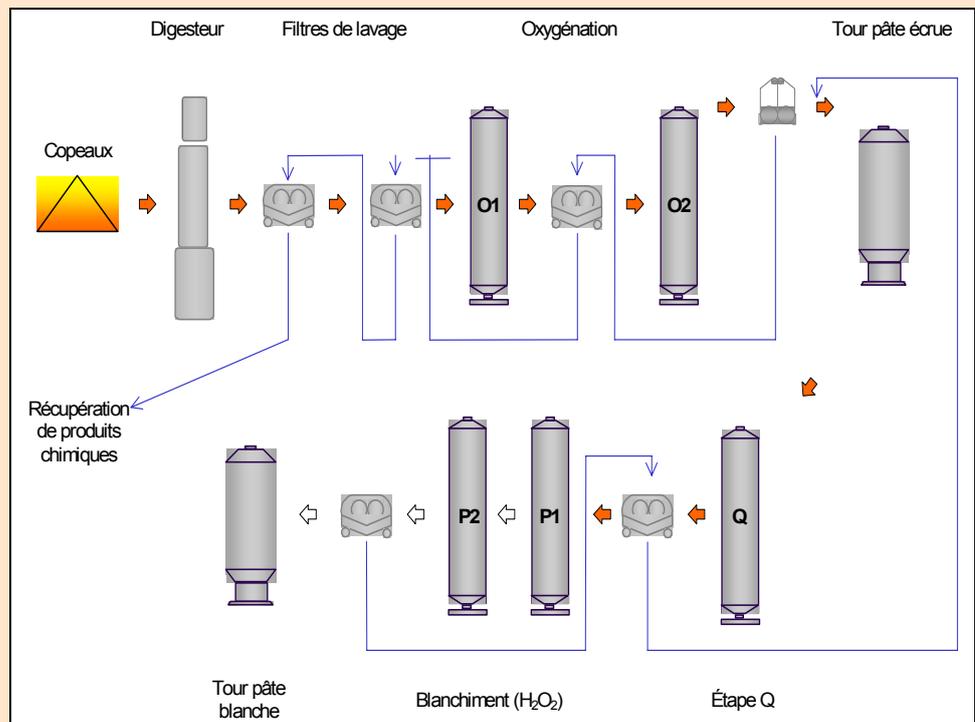


Figure 6.2.7. Exemple de procédé TCF pour une pâte d'eucalyptus

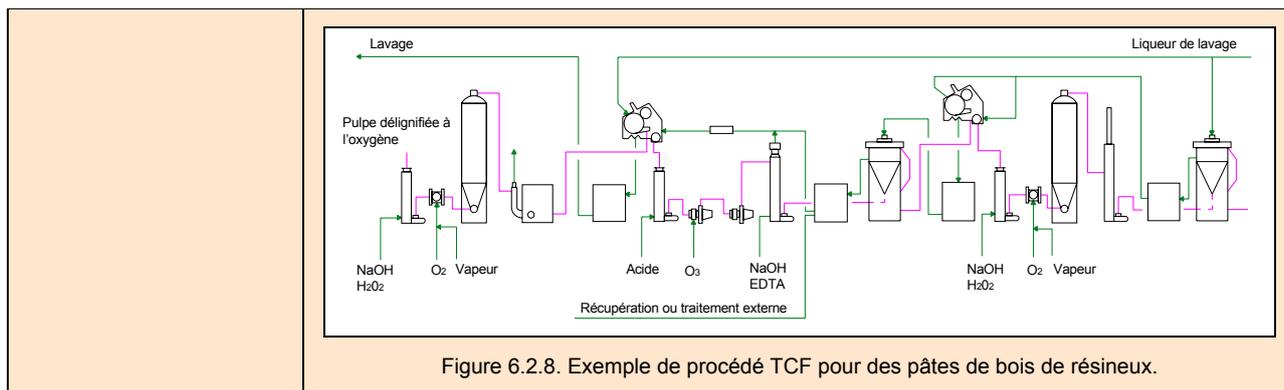
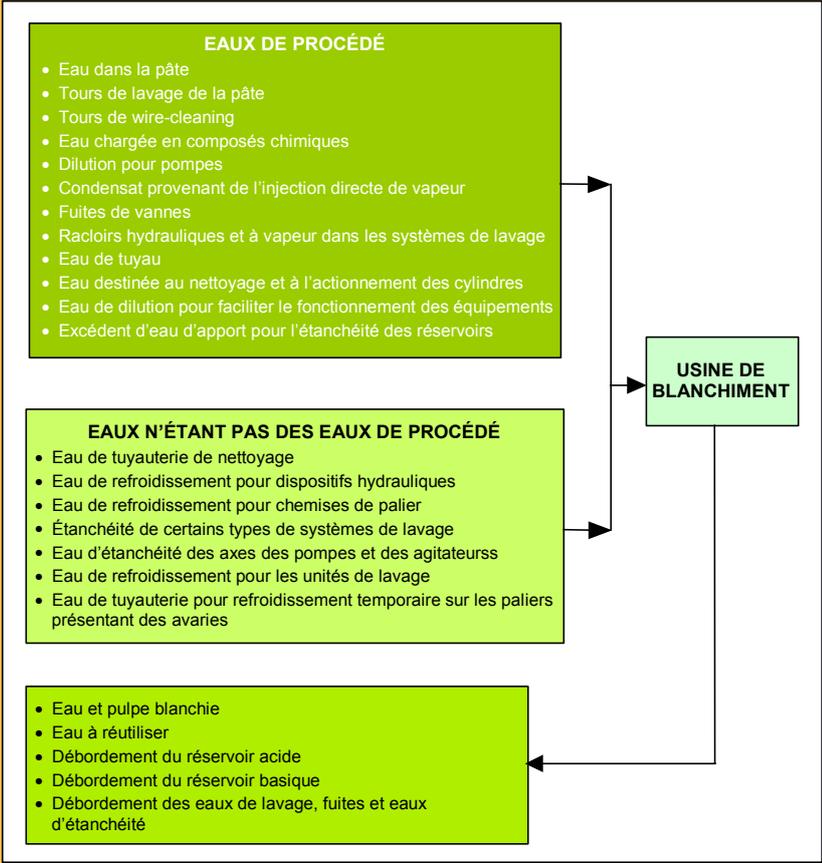


Figure 6.2.8. Exemple de procédé TCF pour des pâtes de bois de résineux.

<p>Commentaires / Exemples d'application</p>	<p>Les pâtes ECF et TCF peuvent présenter une qualité finale identique. Les coûts de production associés aux pâtes TCF sont plus élevés. Actuellement, les séquences ECF sont davantage employées. Certaines entreprises produisent des pâtes ECF ou TCF dans le cadre de différentes campagnes, en fonction de la demande.</p> <p>Comme nous l'avons vu pour la pâte ECF, le traitement au peroxyde favorise le traitement initial doux à l'oxygène et les extractions alcalines. En outre, il permet d'ajuster le degré final de blancheur au niveau des tours de stockage à haute consistance. Une étape au peroxyde offre la possibilité de séparer les étapes de délignification et de blanchiment.</p> <p>L'utilisation exclusive de H₂O₂ permet d'atteindre le degré de blancheur voulu. Néanmoins, ce procédé s'avère difficilement contrôlable à échelle industrielle et implique d'importantes quantités de peroxyde, d'où l'introduction du traitement à l'ozone, qui, en outre, « active les fibres » et favorise l'action du peroxyde. Le traitement à l'ozone ne doit pas être trop fort car l'ozone n'est pas un agent très sélectif et peut attaquer les fibres de cellulose.</p> <p>L'ozone doit être produit dans la fabrique en raison de sa décomposition rapide qui en empêche le stockage et le transport.</p> <p>Cette technique peut être appliquée dans une fabrique existante ou comme dans une structure neuve. Dans les structures existantes, une étape supplémentaire d'oxygène et de lavage s'impose afin de convertir le blanchiment ECF en TCF. L'utilisation de peroxyde d'hydrogène ou d'ozone, suppose l'érection de deux autres tours de blanchiment ainsi que la reconstruction des filtres de blanchiment. Le blanchiment à l'ozone nécessite des générateurs d'ozone et un réacteur. L'usage d'acide peracétique requiert une tour de blanchiment.</p>
<p>Aspects économiques</p>	<p>Les coûts d'investissement relatifs à l'adoption du blanchiment au peroxyde dans une fabrique neuve dont la production est de 1 500 t/j de pâte, sont de 7 à 8 M euros. Dans une structure existante, ce coût s'élève de 2 à 5 M euros, selon l'équipement de l'unité de blanchiment. Si ces équipements présentent une bonne tolérance au peroxyde d'hydrogène, ce coût se situe autour de 2-3 M euros. Les coûts d'exploitation associés au blanchiment TCF sont considérablement supérieurs, de l'ordre de 18-21 M euros/an, en raison du coût élevé des produits chimiques.</p>

<p>Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)</p>	<p>6.2.6. Fermeture des circuits de l'usine de blanchiment</p>
<p>Procédé et action</p>	<p>Procédé : Production de pâte chimique. Action : Changements technologiques, recyclage à la source.</p>
<p>Étape / Opération</p>	<p>Blanchiment.</p>
<p>Problématique environnementale</p>	<p>Eaux résiduelles à forte teneur en composés organiques dissous. Toxicité des eaux résiduelles.</p>
<p>Bénéfices potentiels de l'alternative de PP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'eau et d'énergie moins importante. • Réduction des eaux résiduelles associées à l'étape de blanchiment. • Réduction de la charge polluante des eaux. • Réduction de leur toxicité.

<p>Description</p>	 <p>EAUX DE PROCÉDÉ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eau dans la pâte • Tours de lavage de la pâte • Tours de wire-cleaning • Eau chargée en composés chimiques • Dilution pour pompes • Condensat provenant de l'injection directe de vapeur • Fuites de vannes • Raclours hydrauliques et à vapeur dans les systèmes de lavage • Eau de tuyau • Eau destinée au nettoyage et à l'actionnement des cylindres • Eau de dilution pour faciliter le fonctionnement des équipements • Excédent d'eau d'apport pour l'étanchéité des réservoirs <p>EAUX N'ÉTANT PAS DES EAUX DE PROCÉDÉ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eau de tuyauterie de nettoyage • Eau de refroidissement pour dispositifs hydrauliques • Eau de refroidissement pour chemises de palier • Étanchéité de certains types de systèmes de lavage • Eau d'étanchéité des axes des pompes et des agitateurs • Eau de refroidissement pour les unités de lavage • Eau de tuyauterie pour refroidissement temporaire sur les paliers présentant des avaries <p>USINE DE BLANCHIMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eau et pulpe blanchie • Eau à réutiliser • Débordement du réservoir acide • Débordement du réservoir basique • Débordement des eaux de lavage, fuites et eaux d'étanchéité <p>Figure 6.2.9. Exemple de bilan des eaux d'une usine de blanchiment</p> <p>La consommation d'eau peut être réduite en optimisant les opérations individuelles et en augmentant la réutilisation des eaux dans les différentes sections du processus.</p> <p>La première étape de la fermeture du circuit d'eau consiste à réaliser un bilan des eaux détaillé pour l'usine de blanchiment concernée.</p> <p>Ce bilan doit également prendre en compte les eaux des circuits auxiliaires non-considérées comme eaux de procédé. Ces eaux ne doivent pas être mélangées aux eaux de procédé, et, si possible, doivent circuler en circuit fermé, comme, par exemple, les eaux d'étanchéité et les eaux de refroidissement.</p>
<p>Procédure</p>	<p>Il existe diverses alternatives de fermeture des circuits. Celles-ci reposent notamment sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La récupération séparée des effluents de blanchiment et des liqueurs de cuisson. Les eaux s'évaporent puis sont réutilisées, et les solides produits sont brûlés dans la chaudière de récupération. En raison du caractère corrosif des liqueurs, les évaporateurs requièrent des matériaux spéciaux. Ceci implique en outre une consommation d'énergie importante. • La recirculation exclusive des effluents alcalins dans le cycle de récupération des liqueurs de cuisson. Ceci permet de limiter les problèmes de corrosion et de traiter les effluents acides lors du traitement biologique au niveau de la station d'épuration. Ces effluents peuvent être recyclés vers l'étape de lavage de la pâte écrue ou vers le cycle de caustification, cette dernière alternative étant la plus courante, afin d'éviter d'augmenter la consommation d'agents blanchissants. La recirculation est limitée par la capacité disponible dans les évaporateurs. Il est possible de procéder préalablement à une filtration par membrane en vue de concentrer les solides, bien que cette technique présente encore de nombreux problèmes de fonctionnement.

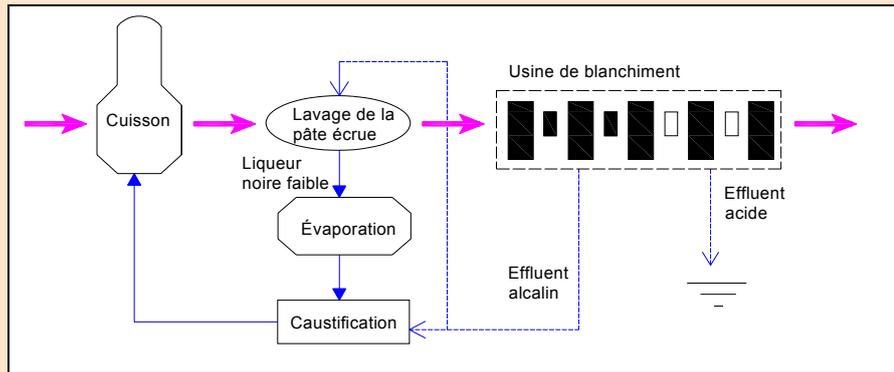


Figure 6.2.10. Schéma de recirculation des effluents alcalins vers la récupération des liqueurs de cuisson

- La recirculation des deux types d'effluents de blanchiment dans le cycle de récupération des liqueurs de cuisson, présente des problèmes de corrosion, une augmentation de la consommation de produits chimiques, la formation de dépôts, l'élévation des coûts d'évaporation des liqueurs blanches, la nécessité de purger les chlorures et les métaux, etc.

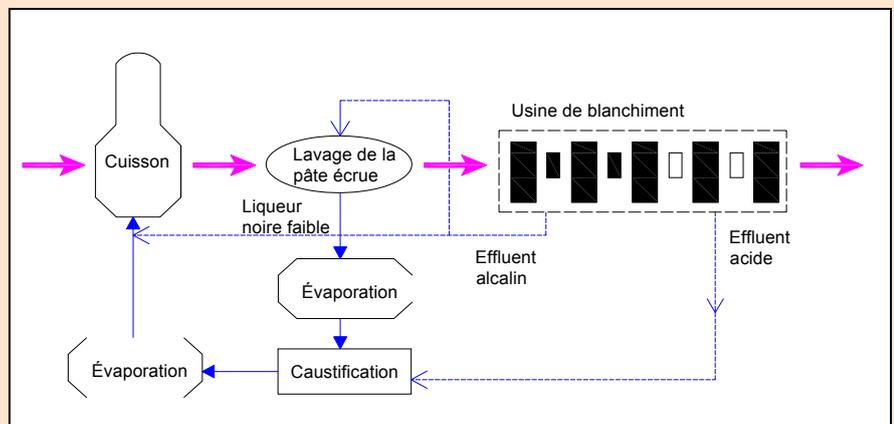


Figure 6.2.11. Schéma de recirculation des effluents acides et alcalins de blanchiment vers la récupération des liqueurs

En pratique, seule une fermeture partielle des circuits d'eau a été possible, on ne trouve pratiquement aucune installation avec une fermeture complète des circuits d'eau. Cette fermeture partielle s'obtient, par exemple, par le biais de la récupération des liqueurs BFR® (Bleach Filtrate Recycle). Par ailleurs, elle prend en compte un traitement permettant d'éliminer des chlorures CRP® (Chloride Removal Process) ainsi qu'un système d'élimination des métaux MRP® (Metal Removal Process).

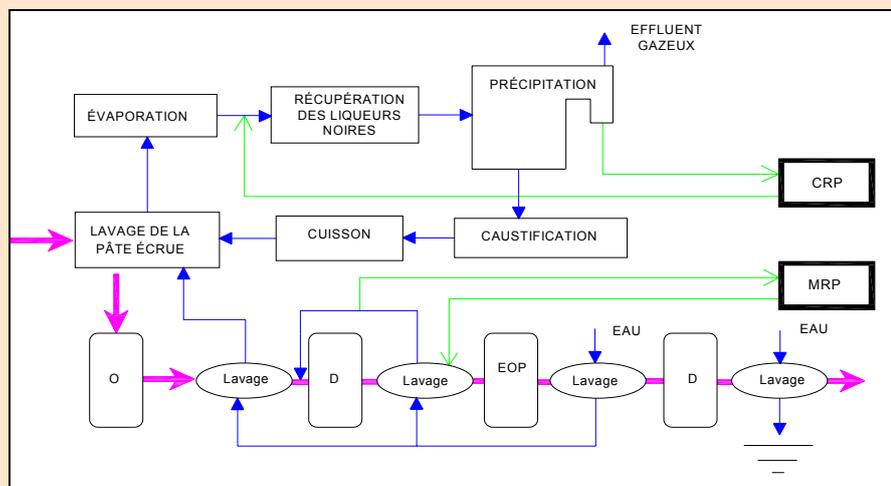


Figure 6.2.12. Schéma relatif à un traitement visant à l'élimination des chlorures CRP® et à un système d'élimination des métaux MRP®

Les exemples ci-après décrivent les circuits d'eau d'une usine dotée de 4 systèmes de lavage et d'une autre comportant 3 dispositifs. L'eau claire ou les eaux blanches sont introduites dans les douches inférieures du dernier épurateur et sont utilisées à contre-courant, et finissent dans une large mesure dans les eaux résiduaires. L'eau chaude est utilisée dans les douches supérieures des systèmes de lavage et quitte l'unité avec la pâte.

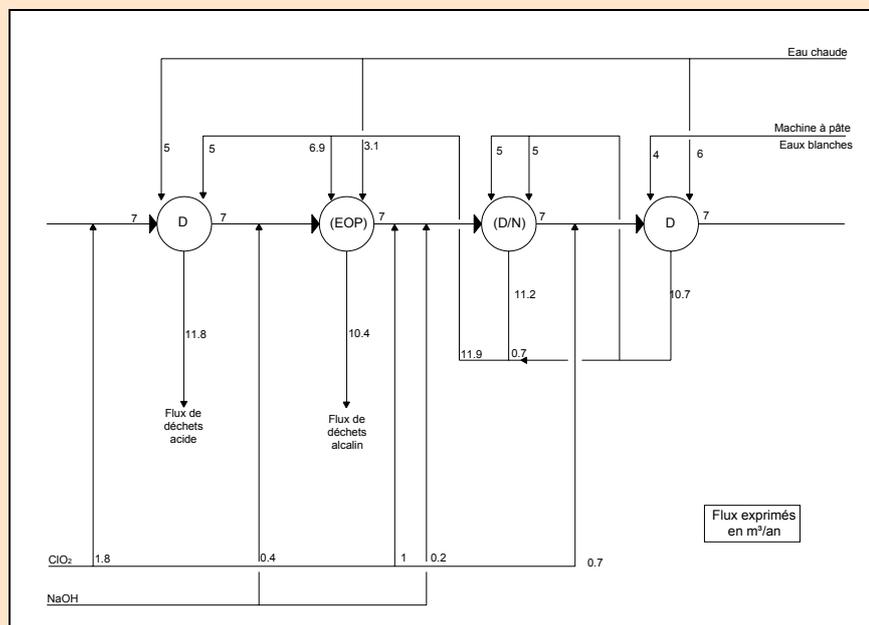


Figure 6.2.13. Schéma du circuit d'eau d'une usine dotée de 4 systèmes de lavage

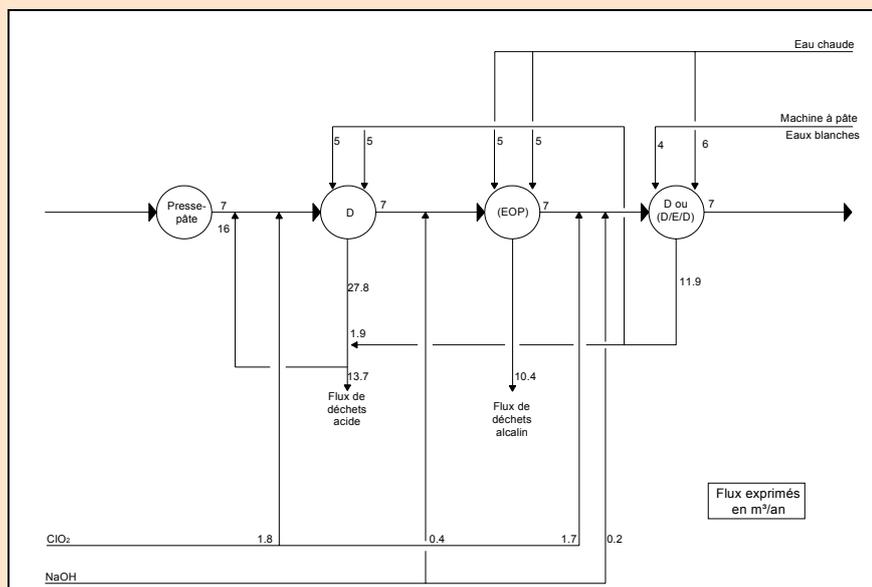


Figure 6.2.14. Schéma du circuit d'eau d'une usine dotée de 3 systèmes de lavage

Pour fermer les circuits et éviter que les produits de blanchiment ne soient entraînés avec la pâte jusqu'à la machine à papier, il est indispensable de séparer l'eau de la pâte. C'est la raison pour laquelle des presses sont utilisées au niveau de l'étape finale de blanchiment. Celles-ci permettent d'augmenter la consistance de la pâte à la sortie du blanchiment de 10-15 % à 25-35 %.

Commentaires / Exemples d'application

Les eaux résiduaires de blanchiment représentent environ 50 à 70 % du total des eaux résiduaires de la fabrique de pâte. La fermeture partielle du circuit des eaux de blanchiment aura, toutefois, des répercussions directes sur les eaux résiduaires globales de la fabrique.

Les facteurs déterminant la réutilisation de l'eau sont : la conception des systèmes de lavage, la charge de pâte employée, le nombre de dispositifs utilisés, la conception du réservoir de stockage des eaux de filtrage, etc.

	<p>Un contrôle optimum du pH est essentiel à chaque étape du blanchiment pour éviter les effets négatifs des produits chimiques résiduels qui altèrent l'efficacité des autres agents de blanchiment et peuvent diminuer la blancheur finale de la pâte.</p> <p>Les problèmes associés à la fermeture des circuits d'eau sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accumulation de chlorures problèmes de corrosion dans les évaporateurs et dans la chaudière de récupération. Ce problème est particulièrement inquiétant dans les usines qui recourent à des composés chlorés dans le cadre du blanchiment. • Accumulation de corps étrangers au processus : ces éléments sont généralement de nature inorganique, solubles en milieu acide, et précipitent en milieu basique. Ils entraînent incrustations et dépôts (Al, Si, Ca, Ba) ; Corrosion (Cl, K, Mg) ; bouchent le four de récupération (Cl, K) ; entraînent l'accumulation d'éléments inertes dans le cycle de la chaux (P, Mg, Al, Si) ; diminuent l'efficacité des agents oxydants de blanchiment H₂O₂ et O₃ (Mn, Fe, Cu) ; ont un impact environnemental sur la qualité des eaux (N, P, Cd, Pb), etc. • Modification du rapport Na/S : la recirculation des effluents de blanchiment peut faire varier la sulfidité du milieu de cuisson. On constate généralement davantage de pertes de Na que de S, aussi le soufre doit-il être régulièrement purgé du système. • Accumulation de matière organique : peut affecter la qualité de la pâte, la consommation d'agents de blanchiment et peut susciter la formation de dépôts. <p>Différentes alternatives permettent de réduire la consommation d'eau au cours du blanchiment, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la minimisation de l'utilisation d'eau fraîche. L'utilisation de l'eau au niveau des douches des systèmes de lavage lors des deux dernières étapes uniquement ; • le contrôle du débit des douches de lavage en fonction de la production ; l'amélioration de la distribution de l'eau des douches ; • le contrôle des consistances de sortie des systèmes de lavage ; la maintenance d'une consistance maximale tout en atteignant un ratio de lavage satisfaisant ; • le contrôle du ratio eau/pâte de lavage au niveau des diverses étapes (en optimisant la consommation de l'eau conformément au degré de blancheur souhaité) ; • le contrôle de l'air présent dans les eaux de filtrage ; • l'optimisation du nombre de systèmes de lavage (par exemple, la présence d'un système de lavage après les étapes H, D₁ ou E₂, n'est pas indispensable) ; • l'optimisation du fonctionnement des systèmes de lavage ; • l'utilisation des filtrats pour le nettoyage des toiles ; • le remplacement de l'eau claire par les eaux blanches dans les fabriques intégrées ; • la réalisation de la première étape à moyenne consistance ; • la réutilisation des filtrats de blanchiment pour laver la pâte écrue.
<p>Alternatives supplémentaires</p>	<p>Les effluents des procédés TCF présentent une concentration d'agents chélateurs (EDTA et DTPA) de 10-15 mg/l pour 2 kg d'agents chélateurs/t de pâte. Bien que ces composants ne soient pas toxiques en soi, ils sont susceptibles de mobiliser les métaux contenus dans les sédiments ; c'est la raison pour laquelle leur élimination est envisagée.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Même si le traitement biologique conventionnel permet seulement d'éliminer 10 % de l'EDTA contenu dans l'eau, une modification du pH de traitement de 7 à 8 ou 9 offrirait un taux d'élimination de 50 %. De cette manière, la concentration d'EDTA dans l'eau pourrait être ramenée à 2-4 mg/l. Une fois le processus optimisé, la dégradation de la matière organique ne sera pas affectée. • Traitement des effluents des étapes de chélation effectué séparément, afin de séparer les métaux des agents chélateurs et les éliminer du système tout en faisant recirculer les effluents traités. Ceci permet de réduire la consommation de chélateurs de plus de 50 %. La séparation des métaux est réalisée en milieu alcalin et nécessite la déstabilisation et la précipitation ultérieure de ces derniers au moyen d'agents chimiques appropriés (par exemple, via le système PEOX/résine phénolique). Cette technique permet d'éliminer 80 % du Ca, Mn et Fe ; toutefois celle-ci n'est pas encore très répandue et peu de données industrielles sont disponibles.

	<p>Figure 6.2.15. Schéma relatif au processus de traitement des effluents correspondant aux étapes de chélation effectuées séparément</p>
Aspects économiques	<p>Il est difficile de faire une estimation des coûts. L'application de certaines bonnes pratiques au niveau de la gestion de l'eau peut permettre de diminuer très significativement les coûts. Néanmoins, la fermeture des circuits suppose des investissements considérables : reconstruction totale du système de distribution de l'eau dans l'usine de blanchiment ; réservoir de stockage des eaux de filtrage ; mise en place d'un contrôle stratégique du système hydraulique, etc.</p>

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.7. Clarification des eaux par flottation à air dissous
Procédé et action	<p>Procédé : Production de pâtes à papier de récupération et production de papier. Action : Changements technologiques, recyclage à la source.</p>
Étape / Opération	<p>Recyclage des eaux de procédé dans les usines de pâte ou de papier. Cette technique est très courante pour recycler les eaux des usines de papier de récupération pratiquant le désencrage.</p>
Problématique environnementale	<p>Le secteur papetier consomme une grande quantité d'eau ; aussi est-il nécessaire d'augmenter le degré de fermeture des circuits. Pour fermer les circuits en évitant l'accumulation des polluants, les eaux de procédé doivent être clarifiées avant toute réutilisation.</p> <p>À l'heure actuelle, la meilleure technique disponible pour l'élimination des solides en suspension et de la matière dissoute et colloïdale est la flottation à air dissous (FAD).</p>
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la teneur en solide et matière dissoute colloïdale de l'eau. • Ajustement de la qualité de l'eau en vue de sa réutilisation dans un circuit fermé (degré de fermeture déterminé). • La saturation en air (oxygène) de l'eau de procédé prévient la formation de bactéries anaérobies. <p>La FAD a pour principal avantage de permettre d'éliminer non seulement les solides en suspension, mais aussi une partie de la matière colloïdale présente dans l'eau, laquelle est relativement concentrée dans les usines qui pratiquent le désencrage. L'application de la technique FAD pour le traitement des flux autorise l'ajustement continu du degré de fermeture des circuits du système hydraulique, ce qui permet d'obtenir la qualité d'eau requise pour la réutilisation de ces flux dans les diverses étapes du processus, en fonction de la concentration des déchets anioniques dans le circuit, de la consommation d'additifs et de la qualité du produit voulu.</p>
Description	<p>La flottation à air dissous (FAD) consiste à éliminer les matières fines dans une suspension aqueuse. L'énergie nécessaire à une flottation efficace est dispensée sous forme de bulles d'air extrêmement fines qui s'unissent à la matière en suspension. L'attraction entre les microbulles et les particules est le résultat des forces d'adsorption (qui dépendent des caractéristiques de la surface de la particule), et de l'attraction physique au sein même de la particule. L'association de ces bulles aux particules réduit leur densité, ce qui augmente la flottabilité et permet à ces agrégats de remonter à la surface,</p>

entraînant la formation d'écume. Les boues en flottaison sont alors séparées, égouttées et évacuées avec les résidus solides de l'usine.

Généralement, des coagulants et/ou des floculants sont utilisés pour favoriser la déstabilisation de la matière dissoute et colloïdale en formant des flocules qui s'agrègent plus facilement aux bulles.

L'efficacité optimale du système est satisfaisante, mais elle dépend de divers facteurs qu'il convient de surveiller et contrôler : pH, débit, tailles des bulles d'air, consistance des eaux, dosage des floculants, etc.

La suspension à traiter, issue du processus, est totalement ou partiellement saturée en air, et s'introduit dans la partie inférieure de la cellule de flottation où elle se dilate ; l'air contenu dans le liquide se dégage sous forme de bulles. Les bulles formées attrapent les particules solides et remontent à la surface, formant une écume qui sera recueillie pour être éliminée mécaniquement, par le biais d'un système appelé « racleur », qui n'est en fait qu'un cylindre conique qui tourne à la surface de l'eau et récupère l'écume formée. L'intérieur du racleur est doté d'une spirale destinée à briser l'écume afin qu'elle puisse être plus facilement recueillie par le réservoir intérieur de la cellule.

En outre, on assiste à un phénomène de sédimentation des particules et des agrégats. Ces sédiments sont le fruit d'une désagrégation et sont recueillis par des racleurs situés au fond du réservoir pour être éliminés par la partie inférieure de la cellule.

Les eaux clarifiées sont obtenues dans la zone latérale de la cellule où la formation d'écume est moins importante.

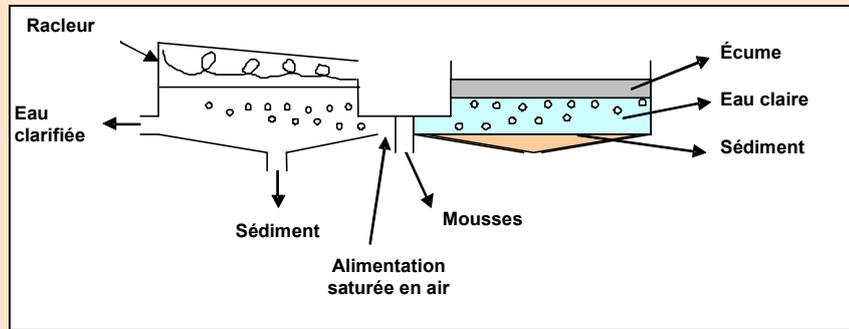


Figure 6.2.16. Obtention d'eau clarifiée via le procédé FAD

Procédure

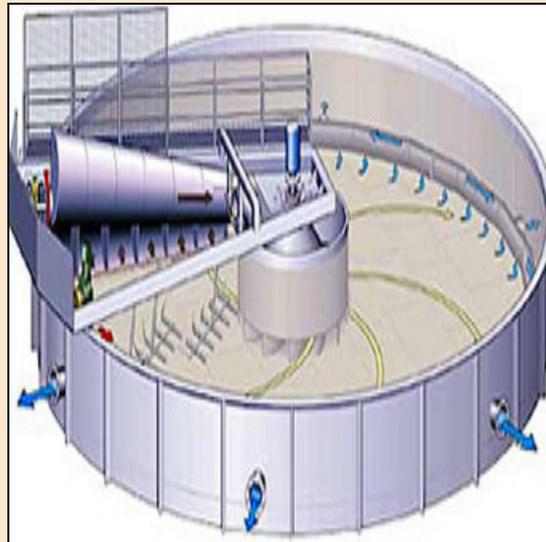


Figure 6.2.17. Principe de fonctionnement d'une cellule FAD

Ces équipements peuvent fonctionner en 3 modes distincts, en fonction de la quantité d'eau saturée en air dans le réservoir de saturation :

- mode flux partiel, dans lequel une partie de l'alimentation passe par le réservoir de saturation puis est à nouveau mélangée avec le flux principal ;
- mode flux intégral, dans lequel toute l'alimentation est saturée en air ;

- mode recyclage, dans lequel le flux soumis à saturation n'est pas le courant d'alimentation principal mais une partie des eaux clarifiées obtenues par l'équipement de flottation lui-même, qui sont recyclés à travers le réservoir de saturation.

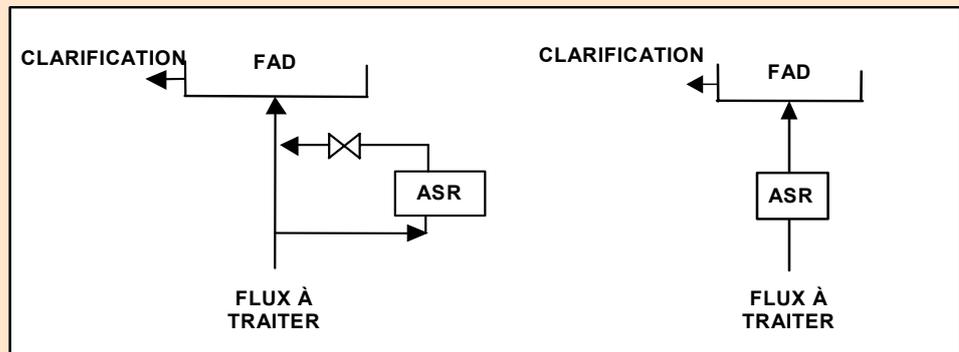


Figure 6.2.18. Schémas relatifs au fonctionnement en mode flux partiel et flux intégral, respectivement

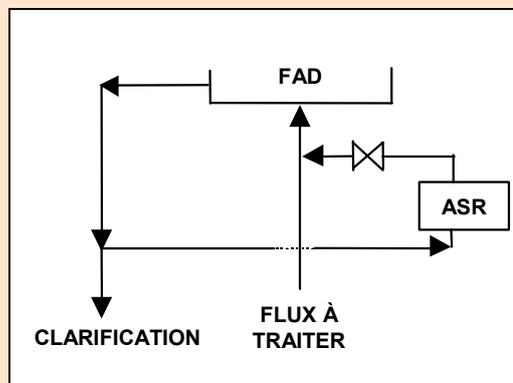


Figure 6.2.19. Schéma relatif au fonctionnement en mode recyclage

Commentaires

Dans la fabrication du papier, l'emploi des cellules de flottation à air dissous est relativement étendu, notamment pour le traitement des courants résiduaire en vue de l'élimination des agents polluants et de la recirculation de ces flux. Ainsi, celles-ci peuvent être utilisées dans les principales étapes du processus, aussi bien au niveau de l'élaboration des pâtes que de l'élaboration du papier. Elles peuvent notamment être implantées en vue du traitement du filtrat clair des filtres à disques, ou être incorporées dans le traitement des boues, pour l'assainissement des eaux provenant de la table à gravité et des presses à vis.

Parfois, l'optimisation du système de clarification des eaux peut s'accompagner d'améliorations au niveau des circuits d'eau. Cette démarche peut s'appliquer dans une fabrique de papier de récupération existante ou neuve.

Expériences en situation

L'efficacité du système est déterminée par les paramètres suivants :

- Niveau de liquide dans la cellule. En fonction du degré d'élimination des mousses voulu, un niveau plus élevé de liquide suppose une plus grande quantité de rejets récupérés par le racleur mais également une diminution du rendement du processus, dans certains cas. Le niveau en question est contrôlé par le tuyau d'évacuation.
- Vitesse de rotation autour de l'axe de la cellule. Plus la vitesse de passage du racleur sur l'écume est élevée, plus la capacité totale de récupération est grande. Toutefois, ceci peut entraîner des turbulences susceptibles d'affecter le rendement du processus.
- Vitesse de rotation du racleur sur son propre axe. Ce facteur détermine la quantité d'écume évacuée et son état. Une vitesse de rotation trop élevée peut provoquer le débordement du racleur et, par conséquent, une perte d'efficacité au niveau du processus.
- Pression de l'air dans le réacteur. Ce paramètre détermine la quantité d'air dissous dans le liquide et, de fait, la quantité et la taille des bulles formées. Il convient de tenir compte du fait que la solubilité de l'air diminue à mesure que la température augmente.
- Rapport entre le débit de pressurisation et le débit de flottation.

En outre, il est important d'envisager l'incorporation d'un additif pour favoriser l'élimination des particules. En règle générale, des doses relativement faibles (2-5 mg/l) de floculants ou des

coagulants sont ajoutées. Ces agents produisent des agrégats de particules qui seront aisément entraînés par les bulles. Les agrégats de grande taille remontent immédiatement et sont recueillis dans la zone la plus proche du centre de la cellule, tandis que les plus petits éléments sont projetés par la force centrifuge à l'extérieur où les bulles les plus grosses peuvent les entraîner à la surface.

En optimisant la dose de produits chimiques, il est possible d'obtenir un taux d'efficacité de plus de 98 % en termes de réduction de la turbidité et des solides en suspension. L'élimination de la DCO dépend des caractéristiques de chaque processus. Dans certains cas, des taux de réduction de 5 à 15 % ont pu être obtenus. De même, il a été observé que cette technique autorisait l'élimination des « microstickies » et « stickies » secondaires.

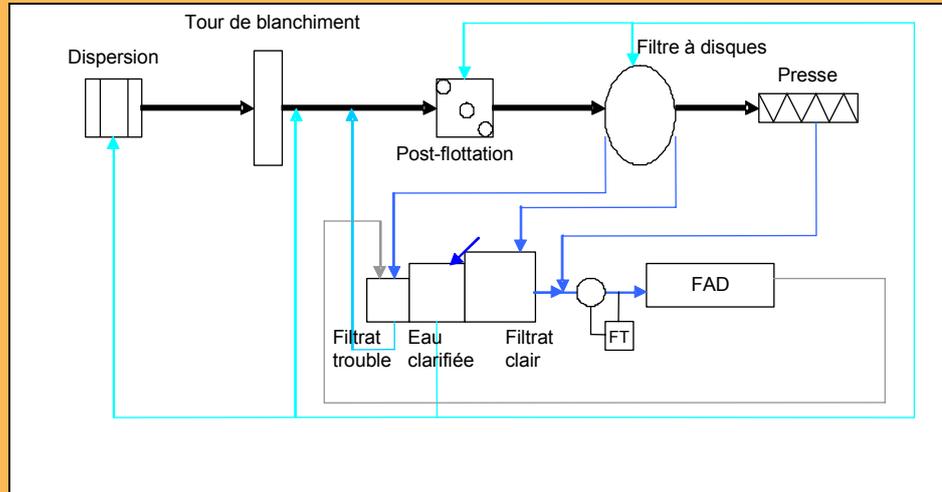


Figure 6.2.20. Exemple 1 : Traitement des eaux de procédé dans une usine de désencrage

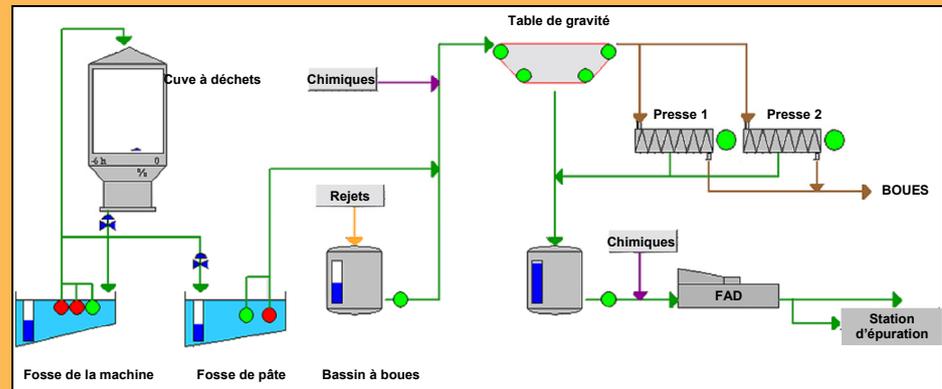
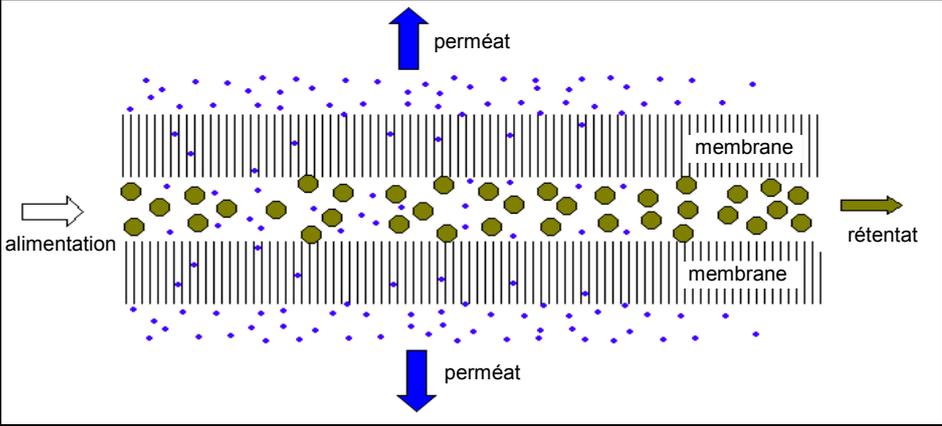


Figure 6.2.21. Exemple 2 : Traitement des eaux d'égouttage des boues

<p>Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)</p>	<p>6.2.8. Clarification des eaux avec système de membranes</p>
<p>Procédé et action</p>	<p>Procédé : Production de papier. Action : Changements technologiques, recyclage à la source.</p>
<p>Étape / Opération</p>	<p>Recyclage des eaux de procédé dans les usines de pâte ou de papier. Cette technique permet également de recycler les eaux des usines de papier de récupération pratiquant le désencrage.</p>
<p>Problématique environnementale</p>	<p>Le secteur papetier consomme une grande quantité d'eau ; aussi est-il nécessaire d'augmenter le degré de fermeture des circuits. Pour augmenter le niveau de fermeture des circuits tout en évitant l'accumulation des polluants, les eaux de procédé doivent être clarifiées avant toute réutilisation.</p> <p>Une filtration conventionnelle ne peut pas éliminer efficacement les solides et la matière colloïdale dont la taille est inférieure à 1 µm. La floculation de la matière colloïdale et sa filtration par des membranes constituent l'une des alternatives possibles pour ce type de clarification.</p>

<p>Bénéfices potentiels de l'alternative de PP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élimination de quasiment 100 % de la matière organique et en suspension (solides en suspension, matières colloïdales, déchets anioniques, composés organiques de forte masse moléculaire) sans introduction de substances indésirables dans les circuits d'eau. • Les filtres à membrane à petits pores (nanofiltration (NF) et osmose inverse (OI)), peuvent réduire la quantité de matière inorganique, toutefois, la demande en énergie/pression de ces systèmes augmente exponentiellement par rapport au degré d'élimination des sels ou composés organiques de faible masse moléculaire. • Diminution de la charge en nutriments (N et P) des eaux de déversement, indirectement liée à la réduction de la quantité d'eau consommée et traitée biologiquement.
<p>Description</p>	<p>La filtration par membrane est une technique qui permet de séparer les molécules en fonction de leur taille. Le filtrat est connu sous le nom de « perméat », le concentré est appelé « rétentat ». Le schéma 6.2.22. décrit le fonctionnement de ce système. Le plus fréquemment, on utilise un gradient de pression pour provoquer la séparation.</p>  <p>Figure 6.2.22. Principe de filtration par membrane</p> <p>Les procédés de filtration par membrane varient en fonction de la taille des pores :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Microfiltration : réalisé à une pression inférieure à 1 atm, ce procédé recourt à des membranes dont les pores mesurent 0,1-0,2 μm. Il peut être appliqué en cas d'admission d'une quantité de 1-5 mg/l de solides très fins après traitement. • Ultrafiltration (UF) : ce procédé a lieu à 1-2 atm de pression et est considéré comme une solution envisageable pour éliminer 100 % du total des solides en suspension, 99 % des bactéries, 100 % de la turbidité (la matière colloïdale est intégralement éliminée) et 45 à 70 % du potentiel anionique. La DCO diminue d'environ 10-20 %. Ceci signifie que l'UF permet tout de même le passage des substances organiques (composés organiques et faible masse moléculaire) et de la matière inorganique soluble. Il convient de souligner que l'UF des eaux blanches améliore la qualité de l'eau en recirculation, laquelle peut être utilisée dans les systèmes d'aspersion d'eau (à basse ou à haute pression), dans la zone de toile, pour la dilution des composés chimiques, en tant qu'eau de lubrification de la section de pressage ou à d'autres fins de nettoyage et de lavage. De même, l'efficacité d'élimination des membranes d'UF dépend des quantités de polluants admises au niveau de la machine à papier, ainsi que des usages spécifiques de l'eau recyclée. • Nanofiltration (NF) ou osmose inverse (OI) : intervient à des pressions de 15-25 atm. L'application de ces méthodes pour le traitement des eaux blanches n'a pas encore été envisagée dans l'industrie papetière.

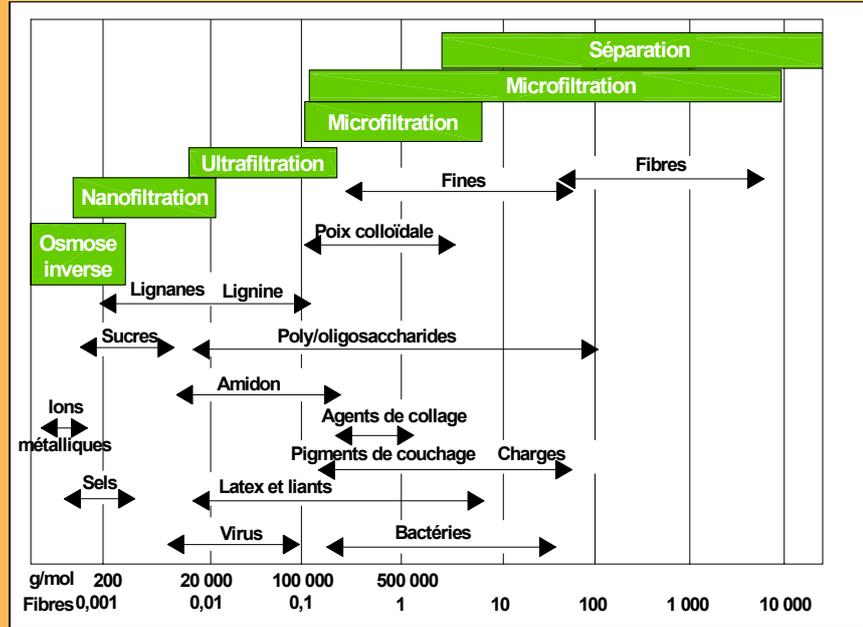


Figure 6.2.23. Séparation des polluants vers différentes membranes

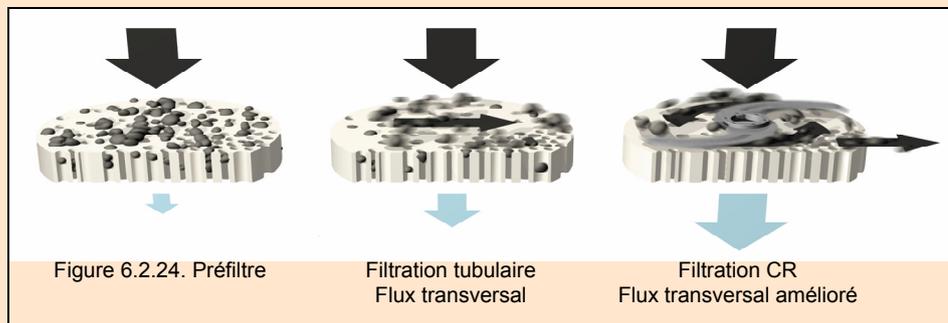
Le concentré provenant de la membrane de filtration (3-5 % de la charge) est acheminé vers la station de traitement biologique ou est incinéré. Cette dernière solution requiert une concentration préalable à la combustion.

Des études sont actuellement menées sur l'exploitation éventuelle du perméat afin de remplacer l'eau claire au niveau de certaines opérations.

Certains des facteurs pouvant influencer sur le choix de la technologie de membrane à appliquer sont mentionnés ci-après :

- Le flux d'entrée, sa composition et la charge hydraulique.
- Le débit d'eau clarifiée et la qualité requise.
- Les procédés de filtration à haute pression produisent des eaux très bien clarifiées, mais consomment davantage d'électricité et doivent être associés à de systèmes de traitement efficaces pour éviter les bouchons.
- Exigences de maintenance (structures de membranes symétriques ou asymétriques, lavage acide ou alcalin, capacité spatiale, nettoyage automatique ou continu). Les membranes symétriques ont tendance à s'encrasser davantage. Les bouchons peuvent être évités au moyen de préfiltres et en maintenant des conditions de forte turbulence, ce qui requiert toutefois une consommation d'énergie plus importante.

Procédure



- Traitement final et dépôt des boues ou concentrés. Le résidu liquide peut présenter une concentration suffisante pour entraîner des effets toxiques, aussi des étapes de concentration et d'absorption supplémentaires peuvent s'imposer de sorte que ce résidu soit éliminé par incinération sous forme de combustible solide.

Les eaux blanches, une fois clarifiées par le filtre à disques et le système de filtration, peuvent être clarifiées par UF. Le nombre de filtres en fonctionnement régle la capacité de perméation de l'UF.

Expériences en situation	<p>Ce procédé n'est complètement appliqué que dans très peu de fabriques. La matière de la membrane elle-même constitue l'une des limitations pratiques des filtres à membrane. En effet, celle-ci a tendance à se boucher si le système n'est pas équipé d'un dispositif de prétraitement pour l'élimination des solides ou de traitements de nettoyage ou encore si une forte turbulence est maintenue à proximité de la membrane. Le nettoyage des filtres à l'aide de solutions alcalines ou acides (NaOH, détergents, etc.) s'impose également, produisant de petites quantités de résidu liquide. Les membranes doivent être changées régulièrement, la vie moyenne d'une membrane étant d'environ 15 mois.</p> <p>Cette technique peut être appliquée en cas de faible disponibilité d'eau.</p>
Aspects économiques	<p>L'investissement associé à la mise en place d'un procédé d'UF est de 1,1 M euros pour un débit de 1 500 m³/j. Le retour sur investissement est estimé à environ 5 ans.</p> <p>Le coût de la filtration des eaux blanches par le biais de membranes est de l'ordre de 0,3-0,4 euros/m³. Les coûts de maintenance et de fonctionnement se situent autour de 0,05 euros/m³, les dépenses d'énergie sont estimées à près de 0,07 euros/m³ et le nettoyage des membranes à l'aide de produits chimiques à 0,02 euros/m³. Le coût d'exploitation est approximativement de 0,14 euros/m³.</p>

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.9. Gestion optimale de l'eau. Réduction de la consommation d'eau claire via la séparation des circuits d'eau et un flux à contre-courant
Procédé et action	<p>Production de papier.</p> <p>Action : Changements technologiques, recyclage à la source.</p>
Étape / Opération	Circuit d'eau.
Problématique environnementale	Consommation d'eau élevée et coûts de traitement des eaux élevés. Mauvaise gestion de l'eau dans l'industrie.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<p>Réduction de la consommation d'eau claire sans augmenter la concentration de polluants dans le circuit d'eau de la machine à papier, de sorte que cela n'affecte ni la qualité du produit final, ni la productivité de la machine.</p> <p>Réduction du débit des eaux résiduaires, amélioration du traitement pratiqué dans les usines d'assainissement des eaux résiduaires en fonctionnement. La séparation des circuits d'eau permet l'application complémentaire d'autres alternatives de réduction de la pollution fondées sur le traitement interne des courants les plus pollués et leur recirculation.</p>
Description	<p>Une gestion optimale de l'eau a pour objectif de minimiser la consommation d'eau à chaque étape du processus, faire recirculer les eaux directement vers les points qui l'autorisent, clarifier certains courants en vue de leur réutilisation, fermer les circuits d'eau sans affecter la qualité du produit ni la productivité de la machine et minimiser l'impact des effluents finaux sur l'environnement.</p> <p>La séparation des différents circuits et le flux à contre-courant des eaux blanches provenant de la machine à papier vers l'usine de fabrication de la pâte constitue une alternative très courante dans les fabriques intégrées de pâte et de papier. L'excédent d'eaux blanches, une fois celles-ci clarifiées dans les récupérateurs de fibres, est utilisé à la place de l'eau claire dans l'usine de blanchiment ; l'excédent d'eau provenant de l'usine de blanchiment est utilisé en remplacement de l'eau claire dans la fabrication de la pâte.</p> <p>Avec ce système de recirculation, il est possible de réduire significativement la consommation d'eau, de sorte que seul le système de la machine à papier consomme de l'eau claire dans la mesure où les exigences de qualité y sont plus élevées (généralement, l'eau claire est employée dans la préparation des produits chimiques et pour certaines douches). La consommation d'eau dépend de la qualité du produit fabriqué. Par exemple, la fabrication du papier mousseline implique une importante consommation d'eau claire afin de maintenir un excellent niveau d'efficacité dans le lavage de la toile de formation.</p>

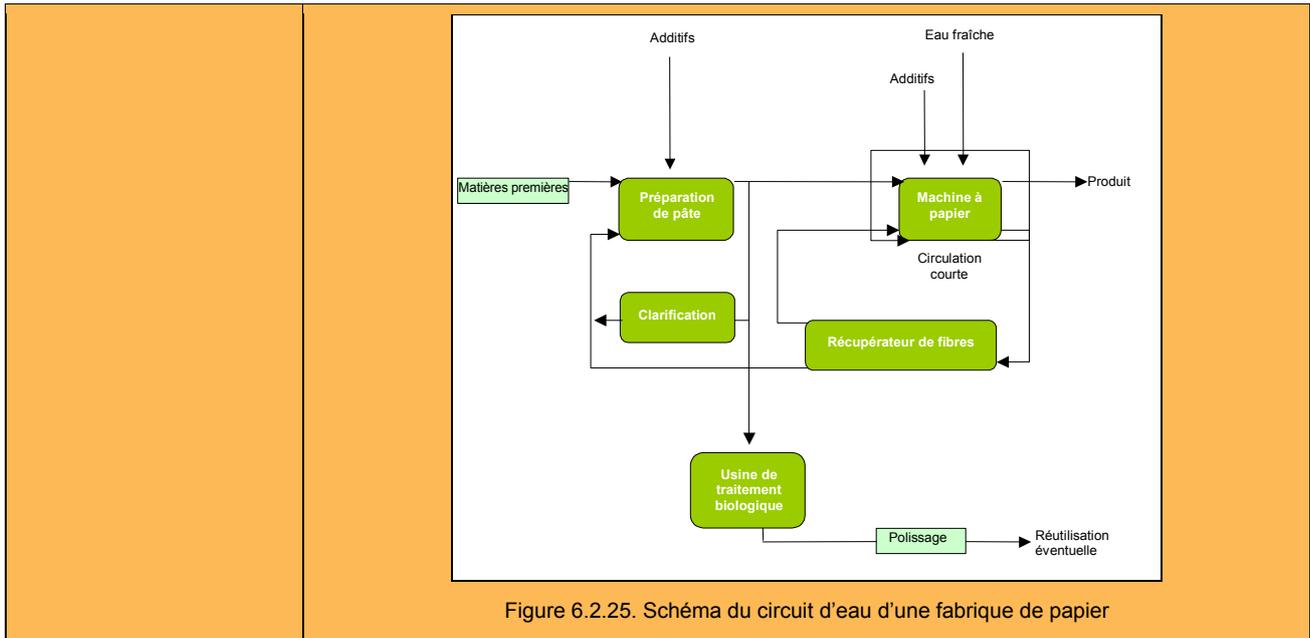


Figure 6.2.25. Schéma du circuit d'eau d'une fabrique de papier

Procédure

Il est important de réduire le flux d'eau en direction du produit pour éviter que les agents polluants ne soient entraînés vers les circuits de qualité supérieure. Il est nécessaire pour cela d'augmenter au maximum la consistance de la pâte qui entre dans l'usine de blanchiment et de la pâte acheminée vers la machine à papier. La séparation des circuits d'eau s'effectue au moyen d'épaississeurs, par exemple avec des vis ou des presses d'égouttage, qui augmentent jusqu'à 30 ou 35 % la consistance de la pâte.

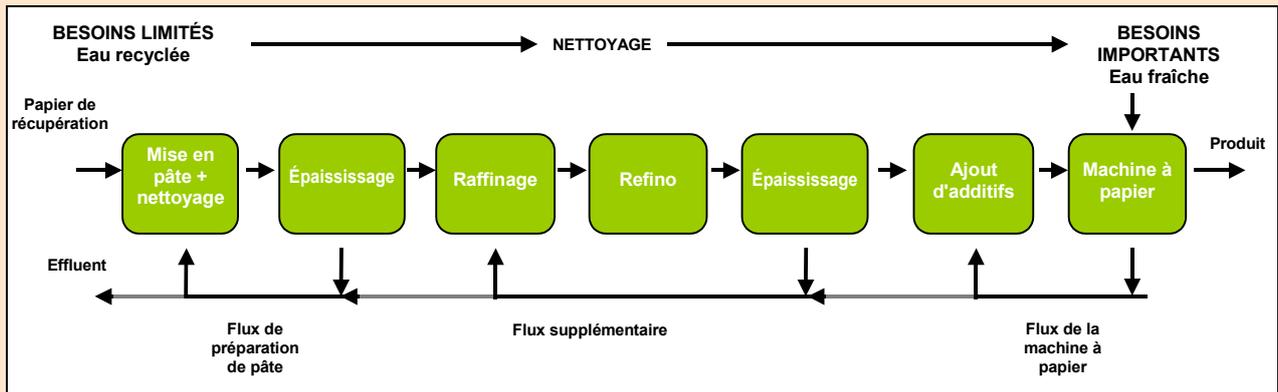


Figure 6.2.26. Recirculation de l'eau dans les fabriques de papier avec séparation des effluents et circulation à contre-courant

Commentaires

Cette technique peut être appliquée aux nouvelles fabriques comme aux installations existantes. Le principe de recyclage des eaux blanches par le biais d'un flux à contre-courant décrit ci-dessus, est principalement utilisé dans les usines intégrées et les fabriques de papier qui utilisent le papier de récupération comme matière première. Dans ce cas, les eaux blanches sont utilisées dans l'usine de préparation de la pâte qui peut être dotée d'un ou deux circuits séparés. Les eaux très sales sont utilisées dans le pulpeur pour la désintégration des vieux papiers.

Aspects économiques

Les coûts associés à cette mesure varient en fonction de la réorganisation du système hydraulique nécessaire et des installations supplémentaires requises.

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.10. Épuration par lavage des gaz émanant de la chaudière de récupération
Procédé et action	Procédé : Production de pâte chimique. Action : Changements technologiques.
Étape / Opération	Combustion des liqueurs noires.

<p>Problématique environnementale</p>	<p>Fortes émissions de SO₂.</p>
<p>Bénéfices potentiels de l'alternative de PP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'installation d'un épurateur à la sortie des gaz de la chaudière de récupération permet de réduire de plus de 95 % les émissions de SO₂ et de TRS. Ainsi, les émissions peuvent être réduites de 0,5-2 kg de S/t à 0,1-0,3 kg de S/t. • Récupération d'énergie: production d'eau chaude. <p>Cette technique est une alternative de la mesure 6.3.18. qui consiste à augmenter la concentration des liqueurs noires, et vient compléter l'alternative 6.2.14. dans laquelle les gaz de combustion sont traités par un précipitateur électrostatique. La combinaison de ces deux alternatives permet de diminuer les émissions de gaz acides de plus de 95 % et le volume de particules non-retenues par le précipitateur électrostatique d'environ 90 %.</p>
<p>Description</p>	<p>Procédé humide de désulfuration des gaz fondé sur l'utilisation d'une solution alcaline comme système d'absorption, compte tenu du caractère acide du gaz à éliminer (SO₂).</p>
<p>Procédure</p>	<p>L'épurateur fonctionne généralement en deux étapes : un contact préliminaire avec la solution d'épuration, dans laquelle les gaz chauds sont refroidis par saturation avec l'eau vaporisée, et une seconde étape consistant à faire recirculer la solution d'épuration froide.</p> <p>Le SO₂ et les particules sont éliminées dans la zone d'épuration.</p> <p>L'épurateur requiert l'utilisation d'alcalis sous forme de liqueur blanche oxydée, lessive faible ou hydroxyde de sodium, afin de maintenir le pH à 6-7. Un pH supérieur favorise l'élimination de H₂S. Toutefois, le CO₂ serait également absorbé si la consommation d'alcali s'avérait excessive.</p> <p>La solution d'épuration égouttée est employée dans la préparation des liqueurs blanches ce qui permet un fonctionnement de l'épurateur sans aucun déversement d'eau.</p> <p>Avant que les gaz ne sortent, ceux-ci passent par un dévésiculateur.</p> <div data-bbox="979 1043 1353 1496" style="text-align: center;">  </div> <p>Figure 6.2.27. Photographie d'un dévésiculateur</p>
<p>Commentaires / Exemples d'application</p>	<p>L'emploi d'épurateurs présente les inconvénients suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • consommation d'énergie lors de la circulation du gaz et de la solution d'épuration ; • perte de flottabilité du panache de la cheminée du fait du refroidissement des gaz ; • les gaz d'émission sont saturés en vapeur, ce qui explique pourquoi le panache est visible, en particulier dans les régions froides. <p>L'installation d'épurateurs peut se faire sans problème dans des chaudières existantes comme dans des chaudières neuves, bien que le coût soit plus élevé dans le premier cas de figure. Actuellement, cette technique peut être appliquée comme alternative à la technique d'augmentation de la concentration des liqueurs noires (alternative 6.3.18.), qui est la plus courante, puisque les émissions de SO₂ sont nettement inférieures.</p>
<p>Aspects économiques</p>	<p>Le coût d'investissement pour une usine de pâte kraft blanchie d'une capacité de production de 250 000 t/an et 500 000 t/an se situe autour de 7,2 M euros et 10,4 M euros, respectivement. Cette estimation inclut l'épurateur proprement dit, les pompes nécessaires, l'installation électrique et l'installation des équipements.</p> <p>Les coûts d'exploitation sont de l'ordre de 0,6 et 1,0 M euros, respectivement.</p>

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.11. Épuration et réutilisation des condensats les plus pollués de l'usine d'évaporation
Procédé	Procédé : Production de pâte chimique. Action : Changements technologiques, recyclage à la source.
Étape / Opération	Station d'évaporation et étape de cuisson.
Problématique environnementale	Consommation d'eau élevée. Déversement d'eau à forte teneur en matière organique volatile (méthanol, acétone, terpènes) et TRS. Pour pouvoir réutiliser les condensats des évaporateurs multiples, il est nécessaire d'éliminer les composés volatils par « stripping » (purification). À leur tour, les vapeurs de stripping doivent être condensées en vue de leur réutilisation comme eau de procédé ou de leur incinération.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la charge polluante et de l'odeur des condensats produits dans le cadre du procédé kraft. Réduction de la DCO des eaux résiduaires. • Économies d'eau claire pour la réutilisation des condensats. • Le stripping des condensats associé à l'incinération des gaz incondensables réduit l'émission de composés TRS, les mauvaises odeurs et les émissions de COV.
Description	Les condensats pollués issus de l'évaporation et de la cuisson, ainsi que les lessives faibles provenant des débordements et déperditions du circuit de fabrication, sont susceptibles d'être traités dans un stripper, afin de séparer les condensats propres des gaz incondensables. L'opération de stripping est réalisée dans une colonne de vapeur d'eau qui peut être intégrée dans une usine d'évaporation ou séparée. Les condensats propres obtenus par stripping peuvent être à nouveau utilisés dans différentes phases du processus, par exemple, comme eau de nettoyage de l'usine de lavage de la pâte écrue ou de l'usine de blanchiment. Les vapeurs de stripping sont condensées, rectifiées pour la récupération de produits organiques ou envoyées vers la chaudière à écorces, le four à chaux ou les chaudières auxiliaires en vue de leur combustion.
Commentaires / Exemples d'application	En général, sur les 8-10 m ³ de condensats produits par tonne de pâte, seul 1 m ³ s'avère très concentré, affichant une DCO 10-20 kg/m ³ . Ce volume est plus élevé pour les condensats de bois durs que de bois tendres. En outre, les condensats présentant une charge polluante moyenne sont parfois traités. L'élimination des agents polluants dans le stripper (purificateur) est de 90 % (bien que cela dépende du pH), permettant d'atteindre des valeurs de DCO de 1,0-1,5 kg/m ³ . L'élimination des TRS est de l'ordre de 97 %, celle du méthanol de 92 %.

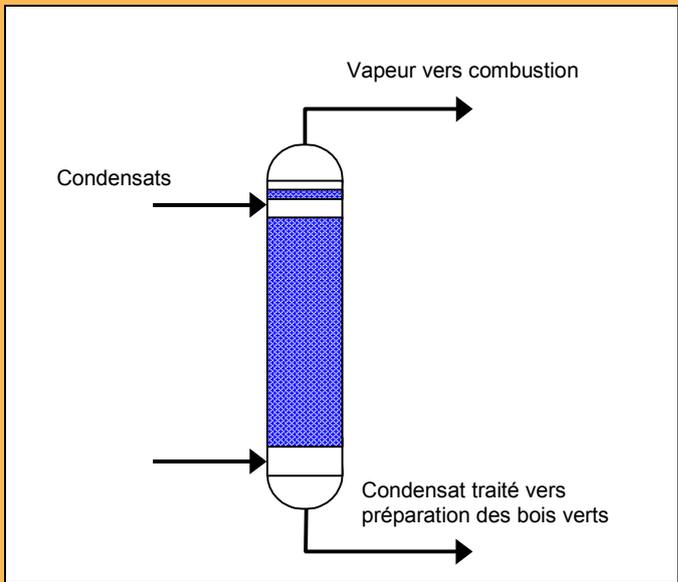


Figure 6.2.28. Colonne de vapeur d'eau où est réalisé le stripping

	<p>Il est possible de réutiliser entre 6 et 9 m³ d'eau/t de pâte, ce qui représente également des économies en termes d'énergie.</p> <p>L'osmose inverse constitue une alternative à ce procédé : celle-ci suppose en effet l'utilisation du perméat comme eau de procédé et les rejets d'osmose sont séparés par rectification pour obtenir les composés organiques.</p>
Aspects économiques	<p>Le coût d'investissement associé au système de stripping pour la fabrication de 1 500 t/j de pâte kraft se situe autour de 2,0-2,5 M euros. L'augmentation de la capacité d'évaporation peut requérir des investissements supplémentaires mais cela dépend beaucoup de la configuration existante. Les coûts d'actualisation du matériel peuvent varier entre 1 et 4 M euros.</p> <p>Les coûts d'exploitation incluent principalement les dépenses relatives à la vapeur utilisée pour le stripping et à la maintenance. Si le stripper fonctionne indépendamment de l'usine d'évaporation, les coûts d'exploitation seront sensiblement plus élevés en raison du besoin en vapeur fraîche. Les coûts s'élèvent à 0,6-0,7 M euros/an.</p> <p>Si la colonne de distillation est reliée aux étapes de l'évaporation, les coûts d'exploitation seront plus faibles, entre 0,3 et 0,4 M euro/an.</p>

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.12. Traitement des gaz des chaudières et four au moyen d'un filtre électrostatique
Procédé	<p>Procédé : Production de pâte chimique.</p> <p>Action : Changements technologiques, recyclage à la source.</p>
Étape / Opération	<p>Chaudière de récupération des réactifs et énergie des liqueurs noires.</p> <p>Chaudière à écorces.</p> <p>Four à chaux.</p>
Problématique environnementale	Émissions élevées de particules pouvant dépasser les 2 000 mg/Nm ³ .
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<p>Réduction des émissions de particules, récupération de réactifs en temps que cendres volantes.</p> <p>Parmi les avantages des précipitateurs électrostatiques, il convient de citer leur capacité à traiter d'importants débits de gaz, avec très peu de perte de charge, de l'ordre de 0,25 à 1,25 mbar, et un fonctionnement à haute température (jusqu'à 650 °C).</p> <p>La consommation d'énergie de la précipitation électrostatique est inférieure à celle des autres systèmes d'épuration de particules d'efficacité comparable, car l'énergie agit sur les particules et sur le gaz porteur. Ceci permet un fonctionnement avec une consommation électrique de l'ordre de 0,03 à 0,3 kW pour un débit de 1 000 m³/h de gaz, si bien que la majeure partie de cette énergie est consommée sous sa forme la plus coûteuse, c'est-à-dire en tant que courant électrique continu à haute tension.</p>
Description	<p>L'installation d'un précipitateur électrostatique (ESP) à deux chambres permet de ramener le volume d'émissions au-dessous de 50 mg/Nm³. En cas de fonctionnement à trois chambres, le taux d'émission de particules est inférieur à 20 mg/Nm³.</p> <p>La mise en place d'un précipitateur électrostatique (ESP) diminue les émissions de particules dans le four à chaux de plus de 99 %.</p>
Procédure	<p>L'épuration des particules à sec permet leur récupération sous forme de cendres volantes qui seront employées pour la caustification des liqueurs vertes. Le volume de cendres volantes recueilli est supérieur à 2 t/heure.</p> <p>De nombreuses chaudières à écorces fonctionnent avec un système de multicyclones pour la rétention des cendres volantes. En cas d'utilisation d'un électrofiltre, l'efficacité de l'épuration dépasse les 99,5 %, notamment pour les particules fines.</p> <p>L'utilisation d'un électrofiltre présente les avantages suivants : efficacité d'épuration élevée pour les particules de petite taille, pertes de charge très faibles par rapport à une telle efficacité, ce qui suppose une économie d'énergie en termes d'impulsion des gaz, permet de traiter les gaz chauds, etc. En contrepartie, l'investissement s'avère très important. Les dépenses associées à la consommation d'énergie électrique sont comparativement faibles.</p> <p>Il existe trois mécanismes de production de particules dans les chaudières de récupération des liqueurs noires :</p> <ul style="list-style-type: none"> • particules de liqueurs noires fondues ou partiellement brûlées qui accompagnent le gaz ;

	<ul style="list-style-type: none"> • particules d'aérosols (éjectées), formées à partir de gouttes de liqueurs noires puis séchées et brûlées dans le flux de gaz ; • fumées submicrométriques, formées lors de la vaporisation des composés inorganiques dans la zone inférieure du four, qui se condensent lorsque les gaz se refroidissent dans la partie supérieure du four ou dans la chaudière. <p>Les particules entraînées et les grosses particules éjectées, tendent à se déposer dans la chaudière, de sorte que leur volume diminue à mesure que les gaz passent à travers la chaudière, tandis que la proportion des fumées inorganiques et des particules éjectées de plus petite taille, augmente.</p> <p>La proportion de chlorures alcalins, tels que le Cl/(Na+K), pouvant créer des dépôts collants sur les surfaces d'échange thermique, est liée à la température de fonctionnement du four et augmente dès lors que ces concentrations dépassent celles des cendres de 5 % (en mol). L'accumulation des cendres sur les surfaces d'échange thermique entraîne la diminution de la vitesse de transmission de la chaleur. Au fur et à mesure de l'accumulation des dépôts et de la diminution de la quantité de chaleur transférée, la température des gaz augmente, de même que la vaporisation de la matière inorganique du four. Cette situation conduit rapidement à des conditions ne permettant plus le fonctionnement de la chaudière.</p> <p>Afin de réduire la teneur en chlorure, différents procédés ont été proposés, notamment la réduction des apports en chlorures par les réactifs de cuisson et autres produits chimiques. Hormis cette mesure, la solution aux problèmes de formation de cendres collantes sur les surfaces d'échange thermique des chaudières de récupération, passe par le contrôle de la teneur en chlorure des cendres recueillies par l'électrofiltre, dans lesquelles sont concentrées les particules de chlorures, vaporisés sous forme de fumées inorganiques.</p> <p>L'alternative la plus simple consiste à purger une partie des cendres retenues dans le précipitateur électrostatique, en éliminant du flux de recirculation se dirigeant vers le réservoir de lixiviation des cendres, une partie des cendres volantes recueillies par l'électrofiltre. Cette fraction est, en tout état de cause, limitée au volume de chlorure introduit dans les liqueurs avec les produits chimiques et le bois.</p> <p>Les autres procédés de réduction des chlorures incluent la lixiviation sélective des cendres volantes (dans lesquelles passent majoritairement dans la solution les chlorures, plus solubles que les autres composants) suivie d'étapes de cristallisation pour les séparer.</p> <p>Les procédés les plus efficaces, mais qui impliquent un investissement supérieur et une consommation d'énergie plus importante, reposent sur la dissolution totale des cendres et sur la séparation par cristallisation fractionnée, dont les premières étapes consistent à séparer les éléments les moins solubles et les dernières étapes les plus solubles (chlorures).</p>																						
<p>Commentaires / Exemples d'application</p>	<p>La purge, dans une fabrique de pâte kraft élaborée à base de bois de pin de 10 à 12 % des cendres volantes recueillies dans le précipitateur électrostatique, associée à l'emploi de produits à faible teneur en chlorures, permet de réduire la concentration en chlorures jusqu'à 1,5 %.</p> <p>L'épuration par ESP des gaz de la chaudière de récupération des liqueurs noires suppose une consommation électrique moyenne d'environ 50 kWh, pour un débit de gaz de 500 000 m³/h présentant une concentration de particules comprise entre 1,1 et 4,5 g/m³ avant épuration.</p> <p>Tableau 6.2.2. Exemples de paramètres associés au système d'élimination du chlorure de potassium</p> <table border="1" data-bbox="496 1462 1394 1944"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres du système d'élimination du chlorure de potassium des cendres du précipitateur électrostatique (ESP) de la Oji Paper Kasuagi Mill</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Capacité de la chaudière</td> <td>2 400 t de solides secs/j</td> </tr> <tr> <td>Pression de la vapeur</td> <td>10,8 MPa</td> </tr> <tr> <td>Température de la vapeur</td> <td>515 °C</td> </tr> <tr> <td>Cendres traitées</td> <td>1,8 t/h (environ ¼ de la quantité totale retenue dans l'ESP)</td> </tr> <tr> <td>Température du réservoir de suspension</td> <td>40 °C</td> </tr> <tr> <td>Température du réservoir de précipitation</td> <td>15 °C</td> </tr> <tr> <td>Rapport eau/cendres de l'ESP</td> <td>2,3 à 2,6</td> </tr> <tr> <td>Élimination du potassium</td> <td>75 %</td> </tr> <tr> <td>Élimination des chlorures</td> <td>90 %</td> </tr> <tr> <td>Récupération du sodium</td> <td>70 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>L'épuration des gaz au moyen de solutions neutres ou légèrement alcalines vient compléter l'épuration par ESP afin d'éviter la carbonatation.</p>	Paramètres du système d'élimination du chlorure de potassium des cendres du précipitateur électrostatique (ESP) de la Oji Paper Kasuagi Mill		Capacité de la chaudière	2 400 t de solides secs/j	Pression de la vapeur	10,8 MPa	Température de la vapeur	515 °C	Cendres traitées	1,8 t/h (environ ¼ de la quantité totale retenue dans l'ESP)	Température du réservoir de suspension	40 °C	Température du réservoir de précipitation	15 °C	Rapport eau/cendres de l'ESP	2,3 à 2,6	Élimination du potassium	75 %	Élimination des chlorures	90 %	Récupération du sodium	70 %
Paramètres du système d'élimination du chlorure de potassium des cendres du précipitateur électrostatique (ESP) de la Oji Paper Kasuagi Mill																							
Capacité de la chaudière	2 400 t de solides secs/j																						
Pression de la vapeur	10,8 MPa																						
Température de la vapeur	515 °C																						
Cendres traitées	1,8 t/h (environ ¼ de la quantité totale retenue dans l'ESP)																						
Température du réservoir de suspension	40 °C																						
Température du réservoir de précipitation	15 °C																						
Rapport eau/cendres de l'ESP	2,3 à 2,6																						
Élimination du potassium	75 %																						
Élimination des chlorures	90 %																						
Récupération du sodium	70 %																						

<p>Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)</p>	<p>6.2.13. Amélioration de la préparation des pâtes avec une diminution de la consommation d'énergie et des émissions</p>
<p>Procédé et action</p>	<p>Procédé : Production de pâte élaborée à partir de papier de récupération sans désencrage et de pâte au sulfite. Action : Changements technologiques, bonnes pratiques environnementales, recyclage à la source.</p>
<p>Étape / Opération</p>	<p>Préparation de la pâte.</p>
<p>Problématique environnementale</p>	<p>Consommation énergétique importante. Émissions atmosphériques élevées. Utilisation d'un plus grand nombre d'équipements par rapport au minimum nécessaire.</p>
<p>Bénéfices potentiels de l'alternative de PP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la consommation d'énergie. • Diminution des émissions atmosphériques. • Meilleure qualité du papier fabriqué. • Exploitation des différents types de rejets produits. <p>Les besoins en électricité pour la préparation des pâtes et le système de circulation de la pâte sont compris entre 20 et 40 % des besoins énergétiques totaux d'une usine de papier de récupération sans désencrage. L'optimisation de la préparation des pâtes diminue la consommation d'énergie électrique ce qui minimise également les émissions atmosphériques.</p> <p>L'amélioration de la qualité des fibres récupérées et la propreté supérieure des pâtes se traduisent par une amélioration de la qualité du papier fabriqué.</p> <p>Les rejets provenant des différentes étapes du processus sont récupérés et utilisés à des fins diverses. Par exemple, les rejets contenant de grandes quantités de plastique peuvent être incinérés afin de récupérer de l'énergie. Les rejets présentant une forte teneur en matière organique peuvent être utilisés pour fabriquer du compost. Les rejets à forte teneur en matière inorganique peuvent être employés dans d'autres secteurs industriels, notamment pour la fabrication de briques ou de ciment, ou sont acheminés vers des sites d'enfouissement.</p>
<p>Description</p>	<p>Il reste plusieurs objectifs à atteindre en matière d'optimisation de l'usine de préparation des pâtes. La première étape consiste à définir l'objectif visé en fonction des priorités de l'entreprise. Par exemple, l'optimisation de l'élimination des petites impuretés et des agents polluants en vue d'améliorer la qualité du produit et l'efficacité de la machine à papier, une augmentation du rendement de l'usine avec une diminution des fibres contenues dans les rejets ou des économies d'énergie. Parmi ces objectifs, nous pouvons également citer la simplification du procédé de préparation des pâtes, permettant une diminution de la consommation d'énergie, des pertes de matières premières et nécessitant moins d'espace. Dans ce cas, il est possible de supprimer les étapes de dispersion et d'épuration traditionnelle des « substances marrons ».</p>
<p>Procédure</p>	<p>Les opérations de récupération du papier débutent par l'élimination des composants non-fibreux (plastiques, métaux, bois, sable, etc.) et l'élimination des substances nuisibles telles que les stickies, les cires et les morceaux de papier non-désintégrés. Le tamisage et le nettoyage doivent être réalisés en plusieurs étapes (2 à 4) afin de minimiser la perte de fibres au niveau de l'étape finale de chaque opération.</p> <p>Les fibres sont ensuite traitées de façon à contrôler la qualité du papier produit : par exemple, il est possible de fractionner la pâte en fibres longues et fibres courtes et/ou de procéder à des opérations de raffinage et de dispersion.</p> <p>Cette alternative de prévention de la pollution repose sur la sélection et l'optimisation du système de traitement le plus approprié en fonction de la qualité du produit final, et offre un équilibre entre la propreté de la pâte, les pertes de fibres, les besoins énergétiques et les coûts de fonctionnement.</p>
<p>Commentaires</p>	<p>L'amélioration de l'usine de préparation des pâtes, ainsi que celle du système de circulation de la pâte est envisageable dans les structures existantes. Une usine de préparation des pâtes standard utilise généralement plus d'équipements que le minimum requis. Aussi, la fermeture de certains systèmes s'avère-t-elle relativement aisée à condition de repenser le système de tuyauterie.</p> <p>Lorsque l'on souhaite augmenter la qualité de la pâte, l'utilisation de tamis dont les cribles sont de 0,15 mm ou moins sont généralement source d'accumulations ; dès lors, l'investissement dans des tamis pressurisés s'avère nécessaire.</p> <p>De très nombreuses configurations d'usines de préparation de pâte ont été développées en vue d'améliorer le traitement des pâtes ou de consommer moins d'énergie. Néanmoins, il n'existe encore aucune configuration unique communément acceptée.</p> <p>Par exemple, la fabrication de papier de type marron autorise des configurations distinctes pour réduire la consommation énergétique ou pour augmenter la qualité de la pâte. La consommation d'énergie</p>

	<p>diminue si la pâte est triée après son passage dans le tamis grossier et si seules les fibres longues sont dispersées, dans la mesure où cette étape est la plus gourmande en énergie (30-80 kWh/t).</p> <p>Si les exigences qualité de la pâte l'autorisent, il est possible de supprimer totalement l'étape de dispersion, ce qui permet une économie d'énergie importante (environ 30 %). Toutefois, cela a pour effet de favoriser la présence de taches et de stickies dans le produit final et peut affecter l'efficacité de la machine à papier.</p>
Aspects économiques	L'augmentation des coûts d'investissement liés à l'amélioration de l'usine de préparation des pâtes doit être évaluée par rapport à l'augmentation de l'efficacité de la machine à papier.

Alternative en matière de prévention de la pollution à la source (APPS)	6.2.14. Application de la cogénération de vapeur et d'énergie
Procédé et action	Procédé : Fabrication de papier. Action : Changements technologiques, recyclage à la source.
Étape / Opération	Processus de fabrication de la pâte et du papier.
Problématique environnementale	Consommation d'énergie élevée pour la fabrication de pâte et de papier.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<p>La cogénération permet également de réaliser des économies d'énergie primaire et contribue à améliorer l'efficacité énergétique, l'énergie thermique étant la plus efficace pour produire de l'électricité et de la chaleur.</p> <p>Les émissions diminuent dès lors que l'efficacité énergétique augmente, ce qui permet en outre de réduire la consommation de combustible. La dérivation des gaz à effet de serre constitue un aspect non-négligeable de la production d'énergie. L'application de procédés plus efficaces, comme celui-ci, réduit les émissions de dioxyde de carbone par unité d'énergie produite ou par unité de produit.</p>
Description	<p>La cogénération correspond à la production conjointe d'électricité et de chaleur via un même procédé. La chaleur résiduaire émise lors de la production d'électricité est exploitée dans le cadre d'un processus industriel : celui-ci la consomme en tant qu'énergie thermique utile sous forme de vapeur.</p> <p>Dans la mesure où elle implique une production électrique décentralisée, située à proximité des centres de consommation, cette technique évite les pertes et les investissements dans les réseaux de transport et de distribution de l'électricité, améliorant ainsi la qualité du système.</p> <p>Les centrales de cogénération associées au secteur du papier, en fonction de la typologie de chaque usine, peuvent présenter diverses configurations, toutes liées à la production conjointe d'électricité et de vapeur : turbines à gaz à cycle simple avec chaudières de récupération de chaleur, cycles combinés avec turbines à gaz et vapeur, moteurs à combustion interne avec récupération de chaleur, etc.</p>
Procédure	<p>Nous pouvons citer comme exemple le cycle combiné gaz/vapeur qui constitue une technique de cogénération des plus modernes et efficaces : comme dans les technologies conventionnelles impliquant des turbines à gaz, l'air est comprimé avant d'entrer dans la chambre de combustion, dans laquelle le mélange combustible/air donne lieu à la combustion. Après la combustion, le gaz combustible se dilate dans la turbine à gaz, ce qui génère de l'énergie mécanique qui est ensuite transformée en énergie électrique par un générateur. Dans ce type de centrale, l'énergie thermique résiduelle contenue dans les gaz de sortie de la turbine à gaz sont exploités pour produire de la vapeur dans une chaudière de récupération de vapeur. Cette vapeur est utilisée pour créer de l'énergie électrique supplémentaire via une turbine à vapeur.</p> <p>La turbine à vapeur, peut à son tour fonctionner par condensation, de sorte que la vapeur de la turbine passe par un condensateur dans lequel la chaleur latente résiduelle sera éliminée, ou par contre-pression en utilisant cette vapeur à des fins thermiques afin de récupérer cette chaleur.</p> <p>L'utilisation de vapeur de pression plus faible, par recompression mécanique et thermodynamique, représente une technique d'économie énergétique qui doit être prise en compte dans le cadre de l'optimisation énergétique de l'ensemble de la fabrique, puisqu'elle permet des opérations telles que le séchage des boues ou des déchets, qui ne sont pas économiquement envisageables sans l'emploi de chaleur résiduelle.</p>
Commentaires / Exemples d'application	Cette technique intégrée est bien connue et très développée. Elle peut être mise en œuvre dans une nouvelle usine comme dans une structure existante.
Aspects économiques	<p>Le coût spécifique associé à la transformation d'installations en centrales à cycle combiné se situe autour de 1 000 euros/kW.</p> <p>Les bénéfices économiques sont associés aux dépenses de combustible et au prix de l'énergie électrique exportée vers le réseau, ce qui donne généralement lieu à une situation rentable.</p>

Alternative en matière de production propre (PP)	6.2.15. Optimisation de l'égouttage au niveau de la section de pressage de la machine à papier
Procédé	Procédé : Fabrication de papier. Action : Changements technologiques.
Étape / Opération	Machine à papier.
Problématique environnementale	Augmentation de l'humidité entraînant une plus grande consommation d'énergie au niveau de la section de séchage.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	Économies d'énergie calorifique nécessaire pour sécher le papier : cette technique permet une économie de 20 à 30 % d'énergie nécessaire au séchage du papier.
Description	<p>À partir de la caisse de tête, la machine à papier constitue un système d'égouttage où la rétention et le drainage doivent être optimisés tout au long des différentes étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • au niveau de la section de formation et d'égouttage, d'abord par gravité puis sous vide, jusqu'à 20 % de solides ; • au niveau de la section de pressage pour augmenter l'égouttage jusqu'à 40-50 % de solides ; • au niveau de la section de séchage pour atteindre un taux de siccité final de 94-97 % par évaporation. <p>Au fur et à mesure que l'on progresse le long de la machine à papier, l'élimination de l'eau devient de plus en plus coûteuse. De même, si l'égouttage s'effectue très rapidement pendant la première étape, la feuille se scelle et lors de la section de pressage l'élimination de l'eau est moins importante. Aussi, la courbe de drainage le long du profil de la machine doit être correctement optimisée afin d'autoriser un égouttage progressif.</p> <p>Le séchage du papier est l'opération qui consomme le plus d'énergie sur une machine à papier (572 kWh/t vapeur). L'énergie électrique est nécessaire pour actionner les rouleaux et les cylindres conducteurs (100 kWh/t électriques) et pour créer le vide (67 kWh/t électriques).</p> <p>Plus la feuille de papier est sèche à la sortie de la section de pressage, moins les besoins en énergie thermique seront importants au niveau de la section de séchage final. En augmentant de 1 % le taux de siccité de la feuille qui entre dans le séchoir, il est possible d'économiser environ 4 % d'énergie (en termes de vapeur à basse pression, à environ 2 atm). Aussi est-il important d'adopter les mesures appropriées pour atteindre un taux de siccité le plus élevé possible à la sortie de la section de pressage.</p> <p>Une fois la pression maximale atteinte sur une presse à cylindre traditionnelle, cette dernière peut être remplacée par une presse à sabot qui permet d'atteindre des niveaux de pression supérieurs et favorise l'égouttage.</p> <p>En augmentant la vitesse d'égouttage, il est possible d'augmenter la vitesse de la machine et, par conséquent, la productivité.</p>
Commentaires / Exemples d'application	<p>Il est possible d'augmenter le taux de siccité de 3 à 15 % après l'installation de nouvelles presses à sabot sur des machines destinées à la fabrication de papier d'emballage et de carton. Cette augmentation dépend du fonctionnement de la section de pressage réaménagée et du nouveau concept de presse choisie.</p> <p>Technique intégrée au processus pouvant être adaptée sur une machine à papier neuve ou déjà en fonctionnement, pour la plupart des types de papier (sauf mousseline), avec pour seule exigence un espace libre suffisant dans la section de pressage et une structure capable de résister à son poids. De bonnes fondations sont recommandées pour supporter le poids de la machinerie.</p>
Aspects économiques	<p>Le coût d'investissement pour une machine à papier d'une largeur de 5 m est de l'ordre de 10 M euros. Cette estimation inclut les feutres, l'achat de nouveaux rouleaux et l'installation.</p> <p>La consommation d'énergie de la nouvelle presse est quasiment égale à celle d'une presse conventionnelle. Les économies en termes de vapeur utilisée pour le séchage du papier varient entre 10 et 15 euros/t de vapeur, ce qui équivaut à une consommation spécifique de vapeur de 2 tonnes de vapeur par tonne de papier et à une économie de 20 à 30 euros/t de papier.</p> <p>En cas de remplacement des presses, le délai d'amortissement de l'investissement est d'environ 2,5 ans, si aucun facteur ne vient limiter l'augmentation du régime de la machine (celle-ci peut atteindre 30 %).</p>

6.3. AUTRES ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES À PRENDRE EN CONSIDÉRATION :

6.3.1. Écorçage à sec

Définition

L'écorçage à sec est une alternative de l'écorçage humide qui permet de réduire la consommation d'eau de plus de 80 %. Cette méthode ne requiert l'emploi d'eau que pour l'élimination de la glace sur les troncs, dans les régions froides. Cette eau est ensuite recyclée dans le cadre de ce même procédé. De même, l'écorçage à sec produit des écorces présentant un taux d'humidité inférieur et un pouvoir calorifique supérieur, qui sont utilisées dans les chaudières auxiliaires ce qui favorise le bilan énergétique de la fabrique, bien que la consommation d'énergie pendant l'écorçage à sec soit susceptible d'augmenter. Pour faciliter l'écorçage, les bois utilisés doivent être frais.

Applicabilité

Cette technique suppose un changement technologique et peut être appliquée aux nouvelles fabriques comme aux installations existantes. L'écorçage à sec est très répandu, au détriment des techniques d'écorçage humide qui, elles, sont délaissées.

Aspects environnementaux

L'écorçage à sec permet de réduire la consommation d'eau et de diminuer la charge en matière organique, solides et matières colorantes des effluents. En outre, cela permet de baisser la teneur en composés organiques dissous dans l'eau tels que les acides résiniques, les acides gras et autres extractifs, ce qui en réduit la toxicité.

Tableau 6.3.1 : Charge polluante des effluents issus de différents processus d'écorçage avant traitement biologique

Technique d'écorçage	Volume de l'effluent (m ³ / t de pâte)	DBO ₅ (kg/t pâte)	DCO (kg/t pâte)	P-total (g/t de pâte)
Écorçage humide et pressage des écorces	3-10	5-15	20-30	25-35
Écorçage à sec et pressage des écorces	0,5-2,5	0,5-2,5	1-10	10-20

Source : BREF

Aspects économiques

Il n'y a pas d'écart de prix significatif entre une écorceuse à sec et une écorceuse humide. En règle générale, le coût d'investissement associé à une écorceuse à sec neuve est de l'ordre de 15 M euros pour une capacité de production 1 500 t de pâte par jour. La conversion d'une usine d'écorçage humide en usine d'écorçage à sec revient approximativement à 4-6 M euros/ Cette estimation ne prend pas en compte l'équipement et l'installation.

Les coûts d'exploitation varient entre 0,25 et 0,35 M euros/an.

6.3.2. Utilisation de réservoirs de stockage de volume suffisant pour optimiser la consommation d'eau

Définition

Il s'agit d'une mesure d'ordre général pouvant être appliquée à n'importe quelle usine de fabrication de pâte et de papier et qui est généralement complétée par la mesure 6.3.3. Aussi contribue-t-elle à réduire le volume d'eaux résiduelles de l'usine, la charge polluante de ces eaux et les répercussions négatives des déversements ponctuels hautement polluants sur le fonctionnement de la station de traitement des eaux. Les réservoirs de stockage doivent permettre d'éviter toute fuite au moment de la mise en route ou de l'arrêt de l'usine ou en cas de dysfonctionnement. En général, la capacité doit être appropriée au stockage des flux générés pendant plusieurs heures, si l'une des étapes du processus vient à être altérée. Les flux propres doivent être déviés de la zone où sont susceptibles de se produire les fuites afin d'éviter la contamination ou la dilution des flux en question.

Applicabilité

L'optimisation de la capacité nécessaire des réservoirs de stockage des eaux de procédé constitue une bonne pratique environnementale applicable aux fabriques existantes comme aux nouvelles structures. Ces mesures non seulement contribuent à conserver les produits chimiques les plus coûteux et à améliorer la rentabilité économique du processus, mais influent aussi de façon considérable sur le fonctionnement écologique de la fabrique. Dans les installations existantes, la solution la plus efficace consiste à appliquer conjointement cette alternative et les mesures visant à éviter les écoulements et les fuites, en rendant compatibles les réservoirs de stockage et le système de récupération des écoulements. En outre, il est important de chercher une complémentarité avec d'autres améliorations permettant d'augmenter la rentabilité. Par exemple, en ce qui concerne les usines de pâte chimique, cette mesure peut être complétée par des améliorations au niveau du lavage et du tamisage de pâte ou du processus d'évaporation et de filtrage des liqueurs.

Dans les usines de fabrication de pâte chimique la prévention des fuites de lessives, fortes ou faibles, de condensats et de liqueurs vertes est cruciale. Pour ce faire, une capacité de stockage supérieure d'au moins 30 % au volume de fonctionnement normal est indispensable. Le volume des réservoirs est déterminé par la concentration des liqueurs. La capacité de stockage des structures anciennes, des usines dont le lavage est peu efficace ou incluant une étape de concentration des liqueurs noires avant l'évaporation, est nettement supérieure à celle des usines modernes car les liqueurs y sont davantage diluées (8 et 60 % pour les lessives faibles et fortes respectivement, contre 16 et 75 % dans les installations modernes).

Le processus de production de pâte PCTM commercialisable implique un besoin de stockage des eaux de procédé moins important que celui des usines de pâte chimique, étant donné qu'une fois la consommation d'eau minimisée, le bilan de l'eau accuse un excédent d'eau devant être traité par la station de traitement des eaux résiduelles. Dès lors, un réservoir de stockage des eaux de procédé permettant d'assurer l'alimentation en eau nécessaire pour l'ensemble de l'usine lorsque la fabrique fonctionne de façon instable ou lorsque l'une des étapes est interrompue, s'avère suffisant.

Dans les fabriques de pâte mécanique et thermomécanique intégrées, la majeure partie de l'eau utilisée dans le processus d'élaboration de la pâte est admise en tant qu'excédent d'eau blanche de la machine à papier ou carton. La solution est donc un réservoir de stockage des eaux blanches de capacité adéquate. Dans certains cas, les réservoirs de stockage servent également à refroidir les eaux de procédé.

Dans les fabriques de papier et de carton, il est nécessaire de disposer de réservoirs de stockage des eaux blanches permettant la rétention de ces dernières pendant les interruptions de courte durée, les mises en route ou en cas de fonctionnement irrégulier de l'usine. De même, il convient de disposer de réservoirs à chutes, et pour les papiers couchés, d'un réservoir supplémentaire pour le stockage des chutes de couchage.

Aspects environnementaux

Cette mesure de contrôle de la pollution est liée à la contention et à la réutilisation des fuites et des écoulements. Les améliorations environnementales du processus requièrent une combinaison de ces deux techniques. Ces mesures permettent de réduire le volume des eaux résiduaires produites dans les usines ainsi que leur charge polluante. Elles contribuent, en outre, à réduire les risques d'altération du fonctionnement de la station de traitement des eaux résiduaires en évitant les déversements accidentels à forte concentration organique, parfois toxiques, ou présentant des indices de pH extrêmes.

Dans le cas particulier des pâtes mécaniques, les conséquences pour l'environnement sont moins importantes que pour les pâtes chimiques, toutefois le traitement des eaux résiduaires est amélioré par la diminution de la fréquence des écoulements ou des fuites.

En outre, il convient de prendre en compte les avantages que présente le contrôle des écoulements en termes de sécurité.

Aspects économiques

Pour une usine produisant 1 000 t de pâte/j, on estime qu'au moins deux réservoirs de stockage de 2 000 m³ sont nécessaires. Le coût d'investissement approximatif associé à chaque réservoir, équipement auxiliaire compris, est estimé à 0,5-0,8 M euros.

Pour une fabrique de papier affichant une production de 1 000 t/j, on estime que 2 ou 3 réservoirs de stockage sont nécessaires selon que le papier est couché ou non. Pour les eaux blanches, l'installation d'un réservoir de 3 000 m³ s'impose (0,6-0,7 M euros), et deux réservoirs de 2 000 m³ chacun (0,4-0,5 M euros) sont nécessaires pour les chutes non-couchées et couchées.

Le coût d'exploitation est très faible et correspond principalement aux coûts de maintenance.

6.3.3. Contrôle et récupération des fuites et des échappements

Définition

Dans toute usine, il est intéressant d'introduire des mesures visant à réduire la quantité d'eau résiduaire produite ainsi que la charge polluante de celle-ci. Cette mesure permet de réduire la taille de la station de traitement des eaux résiduaires, les coûts de traitement et le débit final des déversements. En outre, il est important de limiter au maximum les déversements ponctuels polluants, notamment s'ils sont toxiques, afin d'éviter tout dysfonctionnement de la station d'épuration.

Les fuites et les déversements internes accidentels sont relativement fréquents au sein des processus de fabrication de la pâte et du papier. Les points de déversement les plus courants sont : fermetures des pompes, vannes, systèmes de lavage, épurateurs et équipements mécaniques en général, trop-pleins de réservoirs, avaries mécaniques et erreurs de fonctionnement, en plus des débordements intervenant lors des opérations de maintenance, mise en marche et arrêt de la fabrique.

Les fuites présentant une teneur en solides supérieure à 2-3 % doivent être contenues, recueillies (en évitant leur dilution), stockées et réutilisées dans les étapes appropriées du processus. Il est donc important de considérer les aspects suivants :

- récupération des débordements et des déversements présentant la concentration en solides dissous la plus forte possible ;
- réservoirs de stockage des filtrats et des eaux suffisamment grands ;
- réintégration dans le processus des liqueurs et des fibres contenues dans les débordements ;

- contrôle du pH, de la conductivité, de la turbidité, etc., au niveau des points stratégiques, permettant une détection rapide des fuites ou des écoulements. Système d'alarme ;
- contention et contrôle des zones critiques du processus afin d'éviter toute forte concentration ou déversement dangereux dans l'effluent général de la fabrique, (par exemple de liqueurs noires, liqueurs résiduelles, condensats produits dans les évaporateurs, etc.).

Applicabilité

Le contrôle et la récupération des fuites et des écoulements sont considérés comme de bonnes pratiques environnementales, ce qui implique une conception adéquate de l'usine. Le contrôle de la récupération, du stockage, du traitement ou de la réutilisation des déversements et des débordements internes est plus facile à appliquer dans les fabriques ayant une conception nouvelle que dans les structures anciennes. Dans les usines existantes, la clé d'une solution efficace réside principalement dans l'équipement même, en mettant en place des mesures adéquates pour la contention des écoulements et des fuites.

Cette mesure, bien qu'applicable à tout processus, revêt une plus grande importance pour les processus dont les écoulements ont une charge polluante élevée, comme c'est le cas des usines de pâte chimique. Le cas échéant, il est nécessaire de prévoir à cette fin une marge de capacité d'évaporation de l'usine d'environ 10 %.

Aspects environnementaux

Cette mesure est liée à l'utilisation de réservoirs de stockage de capacité suffisante pour une gestion optimale de l'eau (mesure 6.3.2). L'amélioration environnementale repose sur la combinaison de ces deux techniques.

Dans les usines de pâte kraft, on estime qu'une bonne gestion du processus et un système de contention et de récupération des écoulements déterminés de façon adéquate, couplés à une augmentation de 5-10 % de la capacité d'évaporation de l'usine, permettent de réduire de 3-8 kg/t la DCO associée au flux final des eaux résiduelles.

Le risque d'altération de la station de traitement des eaux résiduelles de l'usine est diminué dès lors que les déversements accidentels de charge organique élevée, contenant des polluants toxiques et/ou se caractérisant par des pH extrêmes sont évités.

Aspects économiques

Les mesures de contrôle et de réutilisation des écoulements et des fuites, ainsi que le contrôle du processus dans le secteur présentent de nombreux avantages et sont nécessaires d'un point de vue économique et environnemental. De nombreuses usines ont répondu efficacement à cette question grâce à des méthodes relativement simples. Toutefois, certaines fabriques présentent des limites au moment d'éviter les écoulements qui se produisent là où il y a des accumulations lors de certaines étapes du processus (lavage de la pâte, tamisage, évaporation, etc.).

Le coût d'investissement associé à un système de traitement des fuites et des écoulements pour une usine kraft dont la production est de 1 500 t/j de pâte est compris entre 0,8 et 1,5 M euros. Si la capacité d'évaporation de l'usine doit être augmentée de 0,8 m³/t, il faut compter 4 à 6 M euros supplémentaires. Le coût d'exploitation associé à ces systèmes est estimé entre 0,1 et 0,4 M euros/an, mais peut varier considérablement selon qu'ils sont mis en place dans une usine ancienne ou dans de nouvelles installations.

Pour une fabrique de papier d'une capacité de 1 000 t/j, l'application de cette mesure nécessiterait l'installation d'un nouveau réservoir de 3 000 m³ pour le stockage des eaux blanches et d'un réservoir de 2 000 m³ pour le stockage des chutes non-couchées, soit un coût de 1,0-1,2 M euros. Si un réservoir supplémentaire pour les chutes de couchage s'impose, il faut ajouter 0,4-0,5 M euros.

6.3.4. Tamisage de la pâte écrue avec circuit d'eau fermé

Définition

La fermeture totale du circuit d'eau au niveau du processus de tamisage de la pâte écrue évite de produire une plus grande quantité d'eaux résiduaires. Cette alternative contribue à la diminution de l'effluent final de l'usine et de sa charge polluante. Les bûchettes de fibres et les nœuds séparés lors de cette étape sont récupérés et incinérés dans la chaudière de récupération.

Applicabilité

Cette technique de prévention à la source est très répandue dans les nouvelles fabriques comme dans les structures existantes. La fermeture du circuit d'eau lors des opérations de lavage et de tamisage peut requérir des équipements supplémentaires ou le remplacement de certaines unités afin de limiter la consommation d'eau des systèmes de lavage et pour une résistance accrue des équipements à la corrosion. Si la capacité des évaporateurs et de la chaudière de récupération est un peu juste, il convient de considérer les alternatives complémentaires visant à augmenter cette capacité afin de pouvoir traiter les eaux chargées de déchets provenant de la phase de tamisage.

Aspects environnementaux

La fermeture du système contribue de façon significative à la réduction des composés organiques dans les effluents résiduaires. Ceux-ci sont récupérés puis incinérés dans la chaudière de récupération, ce qui permet de minimiser les effluents d'eaux résiduaires de la fabrique de pâte.

La consommation d'énergie augmente en raison du besoin d'évaporation accru.

Aspects économiques

Ce type d'usine de tamisage suppose un investissement de 4-6 M euros pour une nouvelle fabrique, et de 6-8 M euros pour une structure existante. Le coût d'exploitation s'élève à 0,3-0,5 M euros/an pour une capacité de 1 500 t de pâte par jour.

Le développement actuel des opérations de tamisage, qui permettent de travailler à des consistances plus élevées que celles utilisées traditionnellement, autorise une réduction des coûts d'investissement et de la consommation énergétique, ce qui explique l'expansion considérable de ce procédé.

6.3.5. Lavage efficace

Définition

Le lavage de la pâte chimique écrue a pour but de séparer les fibres de cellulose des composés organiques et inorganiques dissous dans l'eau, formant la liqueur de cuisson résiduaire. Le degré d'efficacité de l'étape de lavage détermine la quantité de produits chimiques résiduaires qui sera entraînée vers les étapes suivantes. Ces produits résiduaires augmentent la consommation d'agents blanchissants de même que le volume des eaux résiduaires issues du blanchiment et leur charge polluante. Plus la consistance de la pâte à l'issue du lavage est élevée, moins celle-ci entraînera de produits chimiques résiduaires et d'agents polluants.

Sur l'ensemble des pâtes mécaniques, cette technique s'avère particulièrement efficace pour les pâtes chimico-thermomécaniques (PCTM). L'objectif principal est de séparer la matière organique dissoute pendant la désagrégation du bois. Dans ce cas, le lavage n'exige pas un niveau d'efficacité aussi élevé que pour les pâtes chimiques.

Pour laver la pâte, il convient de procéder à une succession d'étapes de dilution et d'épaississage de la pâte. Les équipements utilisés dans ce cas sont des filtres à tambours sous vide, des filtres à tambour pressurisés, des systèmes de lavage plats de type Fourdrinier, des diffuseurs atmosphériques et à pression et des presses de lavage.

Le lavage des pâtes PCTM est plus difficile que celui des pâtes chimiques car il implique davantage d'équipements de lavage. Avec un système traditionnel de lavage, il est possible de récupérer 65-70 % de la matière organique tandis qu'un système de lavage optimisé offre une efficacité de l'ordre de 75-80 % en installant de nouveaux équipements en série.

Un système de lavage fermé accentue le contrôle des écoulements et des fuites accidentelles, qui constitue une autre alternative de réduction de la pollution. Dans ce cas les écoulements contiennent une charge élevée en substances organiques et inorganiques qui augmenteraient la charge polluante des eaux résiduaires finales.

Applicabilité

L'instauration de cette mesure implique un changement technologique ou l'agrandissement de certaines unités de l'usine. Néanmoins, cette technique peut être appliquée aussi bien dans une ancienne usine que dans une nouvelle structure. Cette alternative est très répandue dans les usines de pâte kraft mais très peu dans les fabriques de PCTM car ce procédé n'impose pas un niveau d'efficacité de lavage aussi élevé.

Dans les fabriques de pâte kraft, en pratique, les modifications du processus de lavage peuvent être compensées par le remplacement total des équipements de lavage.

Aspects environnementaux

Un système de lavage optimal dans les usines kraft permet de séparer les eaux de lavage, traitées via le système de récupération, et réduit le volume d'agents polluants entraînés dans la pâte ce qui diminue la consommation de produits chimiques lors des étapes ultérieures et augmente même la qualité de la pâte si celle-ci contient moins d'extractifs. Les installations modernes de lavage permettent d'atteindre des valeurs de 2-4 kg de DCO/t à la sortie de l'usine de lavage, tandis que la plupart des installations produisent des pâtes présentant une DCO de 5-8 kg/t.

Les presses de lavage présentent des avantages lorsqu'elles sont employées lors de l'étape préalable au blanchiment, car elles permettent d'augmenter la consistance de la pâte jusqu'à 30-35 % (contre 10-15 % dans les systèmes de lavage conventionnels). Ceci autorise donc le recyclage d'une plus grande quantité de filtrat de lavage et la diminution du volume d'eaux résiduaires de l'usine de blanchiment et de leur charge polluante. DCO, DBO₅, AOX, etc.

Aspects économiques

En ce qui concerne les pâtes chimiques, le coût d'investissement est généralement de l'ordre de 4-6 M euros pour une nouvelle usine et d'environ 2-4 M euros pour une structure existante. Le coût d'investissement type pour une usine de pâte PCTM affichant une production de 700 t/j est de 3-5 M euros pour une nouvelle fabrique, et de 2-3 M euros pour une fabrique existante.

Le coût d'exploitation n'a pas été évalué de façon pertinente.

6.3.6. Cuisson modifiée étendue

Définition

D'un point de vue environnemental, le point clé du processus d'obtention de la pâte est le degré de délignification atteint avant l'étape de blanchiment. Plus la teneur en lignine de la pâte est élevée

(indice Kappa faible), moins la consommation d'agents blanchissants sera importante et moins la charge polluante des effluents associés à l'étape de blanchiment sera élevée.

La délignification est réalisée dans les digesteurs et, accessoirement, dans le cadre d'une étape de délignification à l'oxygène (mesure 6.2.2). Dans ce dernier cas, la lignine est éliminée de façon sélective pour minimiser l'attaque des fibres de cellulose et pour éviter les pertes de rendement au niveau du processus. L'alternative de cuisson modifiée étendue continue ou discontinue offre un niveau d'élimination plus élevé de la lignine durant la cuisson (35-45 % de plus que le procédé traditionnel), permettant ainsi d'obtenir des pâtes présentant 3 % de lignine résiduaire (indice Kappa = 20) contre 5-10 % pour les procédés conventionnels (indice Kappa = 30). Ainsi, non seulement les pâtes écruës ainsi obtenues sont plus faciles à blanchir, mais liqueurs envoyées vers la chaudière de récupération présentent également une teneur accrue en substances organiques.

Cuisson continue

Il existe trois alternatives de systèmes de cuisson continue : cuisson continue modifiée (MCC), cuisson continue modifiée étendue (EMCC) et cuisson isotherme (ITC). Dans le procédé MCC, la zone de cuisson du digesteur est divisées en deux : une zone de cocourant et une autre à contre-courant. L'alimentation en liqueur blanche est répartie entre ces deux zones. Le but de la modification est de réduire la concentration initiale d'alcalis tout en maintenant une concentration homogène des alcalis au cours de la cuisson, ainsi que de conserver une faible concentration de lignine dissoute dans la phase finale du processus. Le procédé EMCC est une variante du procédé décrit précédemment dont la particularité réside dans le fait que la liqueur blanche est également ajoutée dans la zone de lavage, dans le but de prolonger le processus de délignification du digesteur.

La cuisson isotherme constitue une autre optimisation de la cuisson MCC. L'ITC implique l'utilisation de l'ensemble du digesteur pour la délignification, ce qui suppose des conditions de cuisson plus douces (températures plus basses) et permet donc de conserver les caractéristiques de résistance de la pâte.

Cuisson discontinue

Il existe également trois alternatives de procédé discontinu : chauffage par déplacement rapide de la charge (Rapid Displacement Heating), « Superbatch » et « Energbatch ». Les deux premiers cas requièrent un traitement préliminaire par imprégnation de liqueur blanche afin de diminuer la consommation d'énergie et d'augmenter la concentration initiale de sulfure tout en réduisant la charge effective d'alcali. Le procédé « Energbatch » inclut un prétraitement à la liqueur blanche, suivi d'un autre prétraitement à la liqueur noire. Tous ces procédés permettent de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer la qualité de la pâte en baissant l'indice Kappa jusqu'à 35 % pour les pâtes de bois tendres et jusqu'à 20 % pour les pâtes de bois durs.

Applicabilité

Il s'agit d'une technique de processus intégrée qui peut être adoptée dans les nouvelles fabriques de pâte et, sous certaines réserves, dans les fabriques existantes (son implantation impliquant un changement ou un développement technologique de l'usine).

Dans les digesteurs à alimentation continue ou lorsque la chaudière de récupération travaille à sa capacité maximale, les pertes de production peuvent atteindre 4 à 8 %. Dans ce dernier cas, il conviendra d'adopter des mesures complémentaires permettant d'augmenter la quantité de liqueurs brûlées dans la chaudière (étapes supplémentaires d'évaporation, emploi d'antraquinone lors de la cuisson, etc.).

Il est possible de faire baisser l'indice Kappa de 6-7 points en cas d'utilisation de bois tendres comme matière première et de 4-5 points pour les bois durs, sans altérer la résistance des fibres. Les digesteurs à alimentation continue permettent d'obtenir des pâtes présentant un indice Kappa de 20-

24 pour les bois tendres et de 14-18 pour bois durs. Avec les digesteurs à alimentation discontinue, les valeurs d'indice Kappa passent à 15-16 pour les bois tendres et à 12 pour les bois durs.

Principaux aspects environnementaux

Les effets obtenus via le procédé de délignification continue sont les suivants :

- augmentation de la quantité de substances organiques dissoutes dans les liqueurs envoyées vers la chaudière de récupération ;
- augmentation de l'énergie produite dans la chaudière de récupération ;
- réduction de la consommation de produits chimiques de blanchiment, ce qui suppose d'importantes économies financières ;
- réduction des déversements d'agents polluants (AOX, DCO) de l'usine de blanchiment (2-3 kg de DCO/t de pâte par point Kappa) ;
- pour les procédés de cuisson discontinue, diminution de la consommation d'énergie et de vapeur au niveau de la cuisson même, mais augmentation de la consommation de vapeur pour l'évaporation des liqueurs noires.

Aspects économiques

L'investissement associé au passage de la cuisson conventionnelle à la cuisson étendue est de 4-5 M euros pour une fabrique produisant 1 500 t de pâte par jour.

6.3.7. Blanchiment à l'ozone

Définition

Le blanchiment à l'ozone est lié à la production de pâte ECF et TCF. L'utilisation de l'ozone a pour principal objectif d'accroître la capacité de délignification de la pâte. L'ozone favorise l'action du peroxyde d'oxygène ce qui augmente le degré de blancheur et réduit la consommation de peroxyde.

Applicabilité

Il s'agit d'une technique intégrée au processus qui peut être adoptée par les nouvelles fabriques comme par les structures existantes et qui implique le remplacement de matières premières ainsi qu'un changement technologique.

Aspects environnementaux

Si l'ozone est employé en remplacement du dioxyde de chlore dans le processus ECF cela permet de réduire très significativement les déversements d'AOX. Dans les procédés TCF, l'utilisation de l'ozone permet d'obtenir des pâtes présentant un degré de blancheur élevé et facilite la fermeture des circuits lors de la phase de blanchiment.

Expériences en situation

Normalement, Le blanchiment à l'ozone dans une usine de blanchiment ECF offre une pâte présentant les mêmes propriétés.

Aspects économiques

Le blanchiment à l'ozone se traduit par un investissement onéreux en raison du prix élevé de l'ozone et des équipements auxiliaires. Le coût d'investissement associé à une production de 1 500 t de pâte par jour est de 12-15 M euros. Les coûts d'exploitation s'élèvent environ à 1,8-2,1 M euros/an.

6.3.8. Fermeture des circuits d'eau avec traitement biologique des effluents intégrés dans le processus

Définition

Actuellement, seules les fabriques de papier non-blanchi élaboré à partir de papier de récupération considèrent cette technique comme APPS, bien que son principe de base, à savoir l'épuration physique et chimique d'une partie de l'eau de procédé en vue de sa réutilisation, soit applicable à d'autres types de fabriques de pâte et de papier.

Cette mesure envisage le traitement biologique traditionnel des eaux résiduaires en bout de ligne, tel un traitement interne des eaux résiduaires permettant leur recirculation. Il est ainsi possible de fermer les circuits d'eau tout en évitant les problèmes d'accumulation de matière organique dissoute et colloïdale qu'une telle fermeture implique habituellement. De même, cette méthode permet d'éviter les problèmes de corrosion et d'odeur tant au niveau du produit que de l'environnement de la machine à papier. Le principal avantage de l'intégration de ce traitement au processus est que celle-ci ne requiert l'élimination que d'une partie de la charge totale de DCO pour pouvoir maintenir un niveau d'eau donné dans les circuits (7 000-8 000 mg/l correspond à une usine dont la consommation d'eau est de 3-4 m³/t). Ceci rend donc l'intégration de la station d'épuration des eaux au sein du processus attractive d'un point de vue économique. Il existe à l'heure actuelle plusieurs options techniques permettant cette intégration, deux d'entre elles sont décrites ci-après :

Option 1 : Traitement anaérobie suivi d'une étape de réoxygénation et de décarbonisation.

Après une étape préliminaire visant à éliminer les fibres des eaux de procédé, une partie du flux est épurée via un traitement anaérobie dans un réacteur à lit fluidisé. Cette phase est suivie d'une étape de réoxygénation qui provoque le passage des sulfures dans les sulfates et d'une étape de décarbonisation afin d'éviter les incrustations de carbonate de calcium dans le réacteur ou d'autres parties du circuit. Une fois épuré, le flux est réutilisé dans le processus.

Option 2 : Traitement anaérobie associé à un traitement par boues activées et à un filtre à sable.

Après une étape de refroidissement d'une partie des eaux de procédé de 55 °C à 35 °C, celles-ci sont conditionnées dans un réservoir d'homogénéisation et de « pré-acidification » où sont ajoutés les nutriments nécessaires. Les eaux passent ensuite dans le réacteur UASB où a lieu le traitement anaérobie, puis elles sont soumises à un traitement aérobie dans deux réservoirs à aération parallèle. Après sédimentation, l'eau clarifiée est acheminée vers des filtres à sable afin d'en diminuer la concentration en solides. Le biogaz produit dans le réacteur anaérobie est envoyé vers un scrubber, en vue d'éliminer le H₂S pour qu'il puisse être utilisé ultérieurement pour produire de la vapeur.

Applicabilité

Il s'agit d'une technique de recyclage à la source impliquant des changements technologiques. En théorie, la fermeture des circuits d'eau via l'intégration du traitement biologique des eaux de procédé peut être appliquée dans les nouvelles fabriques de papier et existantes. Toutefois, plusieurs facteurs font que cette technique n'est généralement pas considérée comme alternative de production plus propre. La principale raison est la précipitation du carbonate de calcium dans le circuit d'eau ainsi que dans les réacteurs de traitement anaérobie et aérobie. En outre, le contrôle de la concentration de

calcium dans les eaux blanches est extrêmement complexe et reste méconnu. Enfin, les solutions techniques à ce problème n'ont pas encore été développées.

Pour intégrer cette technique dans un processus existant, il faut optimiser l'ensemble du système hydraulique : cette alternative n'est donc pas considérée comme économiquement viable.

Aspects environnementaux

La fermeture du circuit d'eau associé au traitement intégré permet d'obtenir un volume de déversement quasiment nul.

6.3.9. Réduction des pertes de fibres et de charges minérales dans la machine à papier

Définition

Cette technique est applicable à tout type de papier, excepté le papier mousseline. En effet, pour ce dernier, la récupération des charges et des fines n'a pas d'importance dans la mesure où elles ne peuvent pas être réutilisées dans le processus.

La gestion de la récupération des fibres dans le processus de fabrication du papier est une question de première importance en ce qui concerne l'optimisation des coûts.

Lorsque la pâte passe via la caisse de tête sur la toile de formation, la fraction non-retenue de charges et de fines vient se mêler aux eaux blanches. L'eau du circuit court recircule sans traitement préalable. Le reste est acheminé vers les récupérateurs de fibres, normalement des filtres à disques ou un dispositif de flottation à air dissous, afin de séparer les solides du flux. Ces solides sont ensuite recueillis dans une cuve, puis recyclés vers la machine à papier. Les eaux clarifiées sont généralement récupérées et recyclées à diverses fins au niveau de la machine à papier : dilution de la pâte dans la machine de préparation de la pâte, asperseurs d'eau, etc. Dans les fabriques intégrées, les eaux blanches excédentaires interviennent dans la mise en pâte.

Les systèmes de récupération des charges et des fines les plus efficaces reposent sur l'utilisation de filtres à disques sous vide ou de cellules de flottaison. Ils permettent d'obtenir des eaux filtrées présentant une concentration de solides en suspension de 10-20 mg/l contre plus de 50 mg/l pour les filtres conventionnels, et autorisent en outre la réutilisation des eaux filtrées dans différentes étapes de la fabrication.

Les autres méthodes permettant d'éviter les pertes de fibres et de charges sont les suivantes :

- l'optimisation de l'épuration et du raffinage au niveau de la tête de la machine ;
- un dimensionnement et un fonctionnement adéquats du système de chutes ;
- des additifs chimiques ajoutés en proportions adéquates et un bon système de contrôle afin d'optimiser la rétention des fines et des charges ;
- un contrôle efficace de la caisse de tête afin d'assurer une répartition homogène de la pâte sur la toile de formation.

Applicabilité

Ces techniques sont applicables aux fabriques existantes comme aux nouvelles structures.

Aspects environnementaux

Les pertes totales en solides entraînées par la machine à papier, ainsi que les rejets associés à la préparation de la pâte, les eaux blanches excédentaires de la section de pressage dues aux

écoulements et aux fuites des réservoirs de pâte et acheminées vers la station d'épuration, etc., sont estimées entre 10 et 100 kg/t.

Aspects économiques

Les filtres à disques sous vide impliquent un plus gros investissement, mais se caractérisent par des coûts de fonctionnement inférieurs car ils consomment moins d'énergie et ne requièrent aucun additif contrairement aux techniques de flottation ; néanmoins, ces systèmes s'avèrent plus efficaces pour la récupération des charges.

Pour une production de 100 t/j de papier, l'investissement associé à un système de filtration peut atteindre 240 000-270 000 euros, contre 198 000-228 000 euros pour un système de flottation.

6.3.10. Récupération et recyclage des produits de couchage contenus dans les effluents

De nombreuses entreprises optent pour les technologies membranaires car elles offrent des possibilités de réutilisation des composés chimiques de couchage. Toutefois, celles-ci requièrent un changement ou un développement technologique de l'usine.

Définition

Dans une fabrique qui produit du papier couché, le volume d'eaux résiduaire produit au niveau de la section de couchage représente 2 à 5 % du flux total. Ces eaux se caractérisent par une teneur élevée en pigments et adhésifs.

Une gestion adéquate des déchets de couchage inclut :

- des déversements minimums au niveau de la section de préparation des colorants de couchage via une production efficace et un inventaire optimal ;
- un système d'approvisionnement de la préparation de colorants de couchage conçu de façon optimale ;
- la récupération des composés chimiques de couchage via l'ultrafiltration de l'eau résiduaire du système de couchage.

L'ultrafiltration est une méthode de séparation de l'eau et des composés chimiques par le biais d'une membrane semi-perméable. Les pores de cette membrane sont si petits qu'ils permettent uniquement le passage de molécules très fines telles que l'eau, les ions métalliques, les sels et les monomères d'amidon, tandis que les autres éléments comme les composés chimiques de couchage (pigments et liants) sont retenus.

Applicabilité

Cette technique de recyclage peut être appliquée aux nouvelles fabriques comme aux installations existantes.

Aspects environnementaux

Elle permet de réduire les émissions dans l'eau et la quantité de déchets. Elle entraîne également une diminution de la consommation d'eau car le perméat peut être réutilisé.

Expériences en situation

L'ultrafiltration a été adoptée avec succès dans de nombreuses fabriques. Il convient de tenir compte de la vie utile de la membrane, qui n'excède pas un an.

Aspects économiques

Une unité d'UF de petite taille peut traiter autour de 2 000 l/h d'effluent contenant 2 % de solides. Ce type d'unité peut s'avérer utile pour les fabriques qui utilisent chaque jour 10 à 50 tonnes de composés chimiques de couchage. Dans ce cas, le coût d'investissement est estimé à 0,2-0,3 M euros. Des économies peuvent également être réalisées à travers le recyclage des composés chimiques de couchage (coûts de mise au rebut dans les sites d'enfouissement contrôlés, économies sur les composés chimiques de couchage qui sont généralement très onéreux, etc.).

6.3.11. Prétraitement indépendant des eaux résiduaires provenant des opérations de couchage

Définition

Cette technique peut être appliquée comme alternative à la technique décrite au point 6.3.4. de ce manuel. De nombreuses entreprises optent pour les technologies membranaires car elles offrent des possibilités de réutilisation des composés chimiques de couchage.

Le déversement des composés chimiques peut être classé en deux catégories :

- les excédents non-dilués (environ 50-70 % sur solides secs) provenant du système de préparation de couchage ;
- les composés dilués issus de l'eau de lavage.

En règle générale, lors du traitement de ces déversements, les eaux résiduaires sont recueillies dans un bassin de neutralisation. Elles sont par la suite tamisées et pompées vers le système de traitement physico-chimique, où l'on utilise du sulfate d'aluminium ou du polychlorure d'aluminium comme coagulants. Des polyélectrolytes sont également ajoutés comme agents flocculants. Les flocules de l'eau résiduaire sont dirigés vers un clarificateur dans lequel les solides se sédimentent et sont recueillis au fond du dispositif ; les débordements d'eau propre sont évacués dans un canal pour eaux résiduaires en vue d'un traitement supplémentaire. Les boues récupérées au fond sont acheminées vers un réservoir à boues depuis lequel celles-ci sont pompées pour être envoyées vers l'étape de déshydratation. Enfin, les boues déshydratées (30-40 % de concentration) sont transportées vers un site d'enfouissement.

Dans certains cas, les boues sont déshydratées par centrifugation et sont ultérieurement réutilisées comme agents de couchage. Toutefois, cette option implique un coût additionnel lié au conditionnement.

Applicabilité

Le traitement préliminaire des eaux résiduaires de couchage peut être introduit dans une fabrique existante comme dans une nouvelle, bien que le premier cas nécessite un changement ou un développement technologique de l'usine.

Dans une nouvelle installation, un système d'ultrafiltration des eaux résiduaires est certainement préférable, dans la mesure où ce type de dispositif se caractérise généralement par un délai d'amortissement court.

Aspects environnementaux

Cette technique a pour principal atout l'amélioration du fonctionnement de la fabrique, notamment au niveau de la station de traitement des eaux résiduaires.

6.3.12. Remplacement des substances potentiellement nocives par des produits alternatifs moins polluants

La concentration de produits chimiques dans les eaux de procédé est directement liée à la rétention de ces produits dans le produit papetier. Si cette rétention est faible, les produits chimiques viennent se mêler aux eaux blanches, devenant alors des polluants potentiels dès lors que les eaux sont recyclées. Ces composés peuvent également se retrouver dans les déchets solides de l'usine et affecter la qualité de ces derniers lors de la fabrication de compost ou, se mobiliser avec les eaux de lixiviation si les déchets sont acheminés vers un site d'enfouissement.

La présence de ces agents polluants dans les eaux de déversement dépend de leur rétention initiale, de leur aptitude à la dégradation et de leur rétention dans les boues de la station de traitement des eaux. Plus le niveau de rétention est élevé, plus la décharge dans les effluents est faible et plus l'impact potentiel des additifs employés sur l'environnement est limité. L'utilisation de produits présentant une rétention élevée est recommandée, tant du point de vue économique (moins de perte de produit) qu'écologique. Les additifs de produits sont conçus pour améliorer la qualité du produit final, et par conséquent, présentent généralement une bonne rétention. Toutefois, les adjuvants de fabrication, qui contribuent à améliorer les différentes étapes du processus de production, présentent souvent un niveau de rétention inférieur, car leur effet porte bien souvent sur les circuits d'eau. Ceci explique également leur accumulation dans les eaux de procédé. Ces polluants en puissance contribuent à augmenter la matière dissoute et colloïdale dans le circuit et peuvent interagir entre eux provoquant la formation de dépôt qui affectent la qualité du produit, les équipements et les processus.

Cette technique propose la diminution généralisée de l'utilisation des additifs chimiques qui passent en grande partie dans les effluents, et leur remplacement par d'autres produits plus écologiques. Cette méthode s'avère particulièrement intéressante pour les produits chimiques dangereux pour lesquels il existe des substituts moins polluants et permettant d'obtenir le même résultat au niveau du processus. L'utilisation de produits biodégradables, non-toxiques et bio-accumulables doit être développée. Les produits chimiques susceptibles d'avoir des effets nocifs sur l'être humain et sur l'environnement doivent être évités, notamment les hydrocarbures organiques tels que le benzène (cancérogène), le toluène (toxique) et xylène (toxique) contenus dans les solvants et détergents utilisés pour le nettoyage des toiles, des feutres, des machines, etc. Ces agents doivent être remplacés par des solvants ayant des effets moins toxiques, comme par exemple des éthers, qui sont partiellement biodégradables.

Effets sur l'environnement

Il est primordial d'assurer le contrôle des additifs dans les déversements finaux de l'usine afin de déterminer lesquels de ces produits ne sont pas retenus ou ne sont pas dégradés et finissent dans ces effluents. Le dosage de ces composés doit être minimisé et, dans la mesure du possible, ces substances doivent être remplacées par des agents moins problématiques d'un point de vue environnemental.

Il est recommandé de réaliser une étude détaillée des adjuvants de fabrication, par exemple un bilan relatif à la rétention et au potentiel de dégradation des produits employés, afin de sélectionner ceux qui doivent être remplacés ou dont l'utilisation doit être limitée.

6.3.13. Contrôle des émissions du parc à bois

Cette technique, considérée comme une bonne pratique environnementale, est encore plus pertinente dans la fabrication de pâte mécanique : le bois doit en effet être maintenu frais car le délai de stockage du bois et les conditions de cet entreposage altèrent la qualité du bois ce qui affecte la solubilité de ces composants qui peuvent avoir un impact considérable sur l'environnement. Ces altérations sont dues à l'activité des bactéries et des champignons, au séchage du bois et à une oxydation accélérée de ce dernier. Ces altérations diffèrent en fonction de l'essence utilisée. En général, les composés les plus volatils s'évaporent et les triglycérides sont hydrolysés en acides gras, ce qui est positif, mais cela provoque également la pénétration des extractifs solubles de l'écorce dans le bois. Ces altérations peuvent ultérieurement diminuer la blancheur des pâtes.

Actuellement, la gestion des opérations relatives au bois se caractérise par deux tendances :

- écourter les délais entre la coupe du bois et son utilisation dans l'usine pour garantir la transformation d'un bois aussi frais que possible ;
- utiliser des machines d'abattage automatisées qui écorcent partiellement le bois. L'élimination de 30 à 50 % de l'écorce entraîne une diminution de la dilution des composants présents dans l'écorce (essentiellement des extractifs) lors de l'écorçage réalisé à la fabrique. Le pré-écorçage favorise également le séchage rapide du bois car il a pour but d'éviter tout retard entre l'abattage et la transformation du bois.

Dans le parc, le bois est parfois arrosé avec de l'eau afin d'éviter qu'il ne sèche. Cette eau doit être récupérée et traitée correctement afin d'éviter de polluer le sol.

6.3.14. Augmentation de la concentration des liqueurs noires

Définition

Dans la chaudière de récupération, les substances inorganiques sont réduites et séparées sous forme de solides (principalement sous forme de Na_2S et Na_2CO_3) qui se déposent au fond de la chaudière, tandis que la matière organique est brûlée pour produire de l'énergie. Dans une chaudière de récupération conventionnelle, il est possible de distinguer deux zones : la partie supérieure où ont lieu les réactions d'oxydation, et la partie inférieure où se produit la réduction. Les conditions de fonctionnement (température, alimentation en air, teneur en solides secs de la liqueur noire) et l'équilibre chimique doivent être optimisés afin de minimiser les émissions de particules, d'oxydes d'azote et de dioxyde de soufre émanant de la chaudière.

Une liqueur noire présentant une plus forte concentration de solides, implique une plus grande efficacité énergétique de la chaudière et un taux de réduction supérieur qui se traduit par une diminution des émissions d'oxydes de soufre et d'azote par la cheminée. Aussi, est-il important de soumettre les liqueurs noires à un processus d'évaporation supplémentaire pour atteindre une teneur en solides supérieure à 65 % (taux habituellement obtenu). Pour minimiser les émissions atmosphériques, la concentration en solides idéale après évaporation est de 72-73 %. Dans les installations pourvues de superconcentrateurs, la teneur en solides de la liqueur noire peut monter jusqu'à 80 %, bien que la valeur finale dépende du type de bois utilisé comme matière première.

Applicabilité

Cette technique suppose un changement technologique ou une augmentation de la capacité d'évaporation de la structure, et peut être intégrée au processus dans les fabriques de pâte kraft nouvelles ou existantes. L'installation d'un superconcentrateur peut être considérée comme une étape séparée de l'usine d'évaporation.

La concentration maximale en solides secs est limitée par l'augmentation de la viscosité et par le potentiel de formation d'incrustations de la liqueur concentrée. Cette limite dépend de l'essence employée et de la température. En pratique, dans les fabriques de pâte d'eucalyptus et autres bois durs, il est difficile d'obtenir une concentration en solides de plus de 70 % dans les liqueurs.

L'augmentation de la concentration de la liqueur noire présente les problèmes caractéristiques des liquides à haute viscosité (difficultés de transfert et problèmes d'encrassement des tuyauteries).

Principaux effets sur l'environnement

Les émissions de soufre de la chaudière de récupération sont ramenées à 5-50 mg de S/Nm³ ou 0,1-0,3 kg de S/t de pâte et peuvent parfois être quasiment nulles car l'excédent de sodium est vaporisé et réagit avec le soufre.

En contrepartie, on observe une augmentation des émissions de particules, lesquelles peuvent être contrôlées au moyen d'un précipitateur électrostatique (mesure 6.2.14). Une augmentation des émissions de NO_x est également possible : celles-ci doivent être contrôlées.

Aspects économiques

Pour une fabrique existante produisant 1 500 t de pâte kraft par jour, le coût d'investissement associé à l'augmentation de la concentration de la liqueur noire est le suivant :

- Augmentation de la concentration de 63 % à 70 % : 1,7-2,0 M. euros
- Augmentation de la concentration de 63 % à 75 % : 3,5-4,0 M. euros
- Augmentation de la concentration de 63 % à 80 % : 8,0-9,0 M. euros

Les coûts d'exploitation liés aux améliorations ne sont pas significatifs en raison de l'augmentation des économies d'énergie (entre 1 et 7 %) et de l'accroissement de la capacité de la chaudière de récupération. L'augmentation du volume de solides secs dans la chaudière de récupération peut également permettre des économies nettes.

6.3.15. Amélioration du lavage des boues de caustification

Le processus d'obtention de la liqueur noire crée du carbonate de calcium, un produit de précipitation employé lors de la caustification.

Les boues de caustification sont principalement constituées de carbonate de calcium précipité.

Afin de réduire les pertes de réactifs, le carbonate de calcium est lavé sur les filtres à tambour généralement employés pour le filtrage de celui-ci.

Le carbonate de calcium lavé avec la plus faible quantité de sodium et d'alcalis possible, est déshydraté sur le filtre afin d'en diminuer la teneur en eau avant la calcination.

L'optimisation du lavage du précipité par le biais de filtres de nouvelle génération permet d'augmenter la récupération des réactifs et de diminuer les émissions de composés de soufre lors de la calcination.

Cette alternative, bien que faisant appel à une technologie de pointe, suppose un niveau supérieur de recyclage à la source du processus.

6.3.16. Utilisation de combustibles pauvres en soufre ou renouvelables

Le choix du type de combustible utilisé dépend dans une large mesure de l'internalisation des coûts de protection de l'environnement, du prix du combustible en question et de sa disponibilité. L'évolution de l'industrie papetière au cours des dix dernières années, caractérisée par un usage extensif des combustibles renouvelables, de la biomasse et du gaz naturel, laisse peu de place à la substitution du combustible en vue de réduire les émissions de CO₂.

Le remplacement de combustibles comme le charbon, le fioul et le gasoil par le gaz naturel contribue significativement à la réduction des émissions de CO₂ et de NO_x ; les émissions de dioxyde de soufre deviennent quasi-négligeables étant donné la faible teneur en soufre du gaz naturel.

Tableau 6.3.2. : Comparaison des émissions par unité d'énergie produite

Centrales et équipements	NOx	SO ₂	CO ₂ (*)
Conventionnels - charbon	1.790	4.050	920
Conventionnels - fioul	1.040	4.437	760
Conventionnels – gaz naturel	680	0	505
Turbine à gaz naturel à cycle combiné (GN)	282	0	369
Turbine à gaz naturel à cycle combiné (Gasoil)	557	162	562

(*) Facteurs exprimés en g/mWh, sauf pour le CO₂, exprimé en kg/mWh

Dans le cadre de la stratégie d'optimisation énergétique développée dans les pays méditerranéens, la valorisation énergétique des déchets de recyclage se profile comme une opportunité clé pour l'amélioration de la structure des combustibles utilisés dans le secteur.

6.3.17. Minimisation des pertes de rejet dans les fabriques de pâte mécanique

Définition

Deux méthodes principales permettent la séparation des polluants provenant de la pâte à basse consistance :

- les épurateurs centrifuges qui isolent les particules plus lourdes que les fibres ;
- les épurateurs rotatifs à pression, à trous (1-2 mm) ou à rainures (0,10-0,35), qui filtrent la matière de plus gros calibre.

Dans les deux cas, les rejets s'accompagnent d'une grande quantité de fibres pouvant être récupérées. Pour cela, les épurateurs doivent être disposés en série ou en cascade. Les rejets dont la consistance est de 30-40 % sont traités via un processus en une ou deux étapes visant à séparer les fibres qui sont ensuite récupérées. Les rejets finaux sont incinérés dans une chaudière ou évacués avec les déchets solides de l'usine.

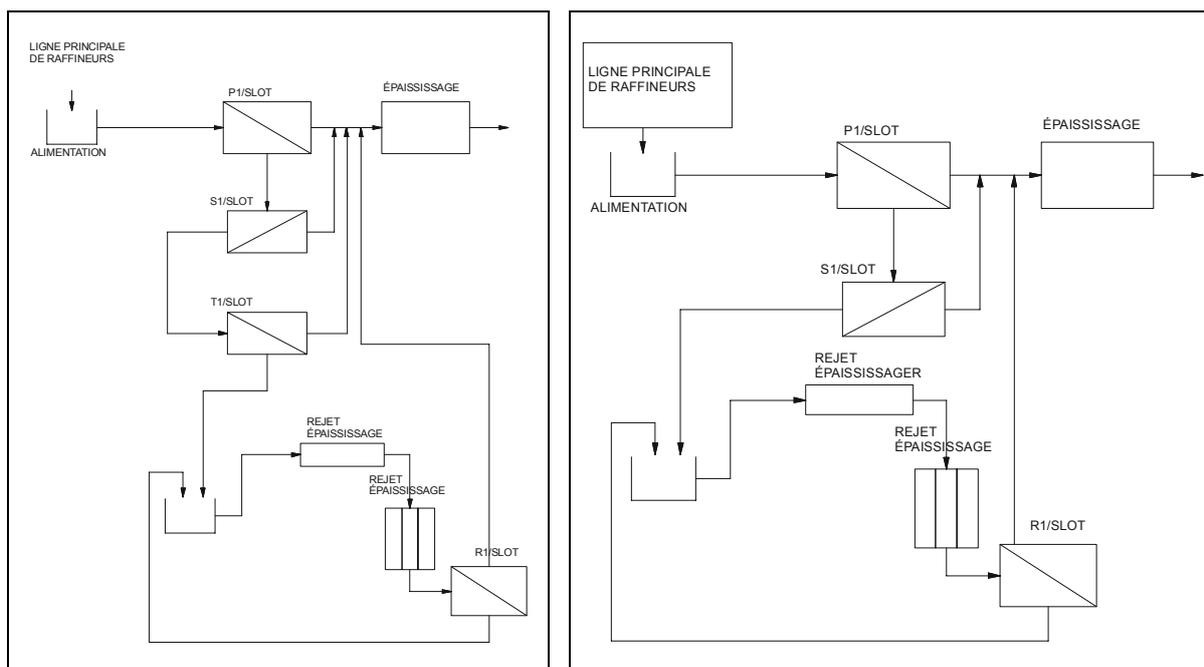


Figure 6.3.1. et 6.3.2. Alternatives 1 et 2, respectivement, appliquées au flux d'un processus PTM de papier journal

Applicabilité

Cette technique est applicable aux nouvelles fabriques de pâte mécanique comme aux structures existantes.

Aspects environnementaux

Cette mesure permet de réduire les pertes de fibres et diminue la production de déchets solides : elle est par conséquent considérée comme mesure de recyclage à la source. En outre, le bilan énergétique net se révèle positif.

Cette méthode permet également de réduire le total des solides en suspension (TSS) dans les effluents.

Aspects économiques

Le coût de l'investissement associé à une production de 700 t de pâte par jour est de 0,8-11 M euros. Le coût d'exploitation s'élève environ à 0,3-0,5 M euros.

Il est possible de déduire le bénéfice financier en comparant le coût de cette alternative aux économies engendrées par l'augmentation du rendement des pâtes que permet la réintégration d'une partie des rejets dans le processus.

6.3.18. Collecte séparée des matériaux non-fibreux

Les matériaux non-fibreux accompagnent le papier de récupération dans les balles. Il s'agit de matériaux étrangers qui doivent être éliminés du circuit de pâte. Si tel n'est pas le cas, les éléments métalliques sont susceptibles de provoquer des avaries sur les équipements, tandis que les matériaux plus souples qui pourraient se désagréger en de minuscules particules à la suite du traitement de la pâte se transformeraient en impuretés, altérant ainsi la qualité du produit final.

La séparation a lieu dans les premières étapes du traitement du papier de récupération :

- Alimentation du pulpeur : fils métalliques, feuillards, etc.
- Mise en pâte à haute consistance – Séparateur : plastiques de grande taille, ficelles, etc.
- Épuration par centrifugation à haute consistance : sable, agrafes, trombones, etc.
- Épuration par pressurisation à haute consistance : plastiques de petite taille, « hot melts » (adhésifs thermofusibles), etc.

L'ensemble de ces matériaux représente environ 3-4 % du poids de la matière première utilisée.

6.3.19. Actualisation de l'agencement des installations dans l'objectif de diminuer la consommation d'énergie

L'utilisation croissante du papier de récupération entraîne une amélioration permanente des équipements qui constituent un système complet de traitement et de préparation.

Il convient de rappeler les deux objectifs du système d'élaboration de pâte recyclée :

- l'élimination des matériaux ou des composants non-fibreux associés au papier de récupération (plastiques, colles, cires, etc.) ;
- le traitement des fibres dans le but d'obtenir à partir de ces fibres un papier présentant les caractéristiques voulues.

Lors de la définition du réaménagement du système, il est impératif de fixer des priorités pour chaque installation, tant pour l'élimination des impuretés et des agents polluants en vue d'améliorer la qualité du produit, qu'en ce qui concerne l'efficacité de la machine à papier proprement dite, en tenant compte de sa configuration et des conditions de fonctionnement.

Un bilan envisageant un compromis entre propreté de la pâte, pertes de fibres et qualité du papier à fabriquer permettra de sélectionner le circuit et les équipements les plus adaptés pour réduire de façon optimale la consommation énergétique. Cette mesure s'accompagne généralement d'un changement technologique dans l'usine.

6.3.20. Utilisation des technologies efficaces d'un point de vue énergétique

Plusieurs méthodes applicables au processus de fabrication permettent de réduire la consommation d'énergie. En règle générale, ces mesures sont associées à des investissements pour le remplacement, la modification ou l'augmentation des équipements de fabrication. Ces mesures ne sont pas seulement appliquées dans la perspective d'économies d'énergie mais également pour augmenter la productivité, améliorer la qualité du produit et réduire les coûts dans leur ensemble. Il est donc essentiel que les techniques d'économie d'énergie soient intégrées dans tous les aspects et niveaux de la fabrication du papier. La plupart d'entre elles peuvent présenter des avantages et accroître la productivité.

Certaines de ces technologies et leurs principales caractéristiques sont décrites dans le tableau suivant :

Tableau 6.3.3. Cas dans lesquels l'application de mesures de réduction de la consommation énergétique est envisageable et conséquences associées

Technologie efficace d'un point de vue énergétique	Type d'énergie demandée et quantité	% d'économie d'énergie et quantité		Observations
Désintégration à haute consistance	Électricité pour pompes et rotors ; 60 kWh/t	33 % ; 20 kWh/t		Objectif atteint grâce à l'optimisation de la conception du rotor
Meilleures pratiques de raffinage	Électricité pour moteurs ; 100 -500 kWh/t	20 %;	80 kWh/t	Dépend des propriétés du produit ; écarts entre la composition de fabrication et les niveaux de qualité
Haute consistance lors de la formation	Électrique ; 200 kWh/t	20 %; 40 kWh/t		Appliqué au papier de récupération
Double toile dans la section de formation	impulsion	pas de données		N'est pas spécifiquement appliqué pour réaliser des économies d'énergie
Optimisation des systèmes sous vide	Électrique	25 %		Amélioration du drainage
Système d'acheminement à vitesse variable	Électrique	pas de données		
Moteurs à haute efficacité électrique	Électrique	pas de données		
Les dimensions des moteurs électriques sont appropriées	Électrique	pas de données		
Presses chaudes et augmentation de la zone de pression	Chaleur dans la section de séchage	15 - 20 %		Il s'agit principalement de fibres de récupération
Correction du profil d'humidité de la direction croisée via un système de chauffage à infrarouge	Chaleur dans la section de séchage	1 - 2 %		Réduit le taux de siccité excessive
Contrôle de l'humidité des gaz de combustion	Chaleur	10 %		Permet d'ajuster et de réduire le flux d'air
Récupération de la chaleur des gaz de combustion	Chaleur	10 %		Voir description suivante
Récupération des condensats	Chaleur	10 %		L'eau peut être recyclée et utilisée
Séchage direct par gaz de combustion et air	Chaleur	40 %		Utilisé pour le papier mousseline (machine à hotte)
Augmentation des solides au niveau de la presse encolleuse	Chaleur pour la section de séchage après le collage	Réduction charge de sécherie de 48 %		Entraîne une diminution du taux de rupture

La technique décrite ci-après illustre l'une des solutions possibles permettant d'économiser l'énergie par le biais de technologies efficaces d'un point de vue énergétique.

Description

L'objectif du système de récupération de chaleur est de diminuer la consommation d'énergie primaire dans les fabriques, en utilisant l'énergie résiduelle du processus de façon économiquement viable. La quasi-totalité de l'énergie thermique consommée dans une fabrique de papier est utilisée pour le séchage du papier : la section de séchage de la machine à papier est donc la zone qui consomme la plus grande quantité d'énergie. Environ 80 % de l'énergie nécessaire à la section de séchage est dérivée de la vapeur primaire pour le fonctionnement des cylindres de séchage, le reste provenant de l'air et de la feuille de papier humide.

Presque toute l'énergie qui sort de la section de séchage est perdue en buée. Près de 50 % de cette énergie, c'est-à-dire environ 620 kWh/t de papier peut être récupérée via un système de récupération de chaleur efficace.

Les dispositifs les plus couramment employés sont les échangeurs de chaleur air/air ou air/eau conçus avec un système de plaques (dans certains cas, il est possible de recourir à une technique d'échange par contact direct, en forme de scrubbers). La chaleur récupérée est principalement utilisée pour alimenter la hotte en air chaud et pour ventiler le corps de la machine. Celle-ci est aussi fréquemment utilisée pour chauffer l'eau de circulation et l'eau de procédé. Ces échangeurs de chaleur font partie des tours de récupération de chaleur.

Applicabilité

Ils s'appliquent aux nouvelles fabriques comme aux existantes à condition que leurs processus génèrent des flux de gaz à forte teneur énergétique et qu'elles incluent des zones de consommation d'énergie calorifique. Les échangeurs de chaleur pour l'approvisionnement en air de la hotte du chauffage peuvent toujours être installés.

Principaux effets sur l'environnement

Des quantités considérables de vapeur primaire peuvent ainsi être économisées, ce qui signifie une minimisation de l'impact sur la génération de chaleur. L'efficacité de ce système dépend également des conditions climatiques.

La majeure partie de la chaleur est récupérée dans l'eau de circulation qui est ensuite utilisée pour chauffer l'air de ventilation du bâtiment, pour chauffer l'eau de procédé (par exemple pour les systèmes d'aspersion) et pour les eaux blanches de la machine.

Aspects économiques

Les systèmes de récupération de chaleur présentent des délais d'amortissement généralement courts. Le fait de récupérer le plus de chaleur possible n'est pas toujours la solution la plus économique : des analyses spécifiques doivent toujours être réalisées pour maximiser les bénéfices. La solution dépend du coût relatif de l'énergie (en kWh) associé au combustible, à la vapeur et à l'électricité.

Expériences en situation

Les systèmes de récupération de chaleur disponibles dépendent du fabricant de la machinerie. Un système optimal est un système spécifique à chaque fabrique de papier et doit donc être spécialement conçu pour chaque cas. En règle générale, les échangeurs de chaleur sont livrés avec des dispositifs de nettoyage permettant de maintenir la surface propre et d'éviter tout colmatage.

6.3.21. Élimination des déversements accidentels ou occasionnels

Ces déversements ne sont pas liés au processus et sont dus à des défauts de maintenance ou à l'absence de prévention et de procédure. Le stockage et les installations de manipulation des produits potentiellement polluants doivent être également conçus pour éviter ce type d'accident.

Cette mesure a un caractère essentiellement préventif puisqu'elle est considérée comme une bonne pratique environnementale :

- D'un point de vue général : établissement de procédures signalant clairement les répercussions sur l'environnement et la nature polluante des différentes opérations.
- Au niveau des installations de fabrication : définition adéquate de l'envergure des systèmes d'eaux blanches et de chutes pour pouvoir absorber trois heures de production en cas de panne ininterrompue de la machine à papier. L'investissement associé à chaque réservoir d'eau et de pâte évacuées en cas de panne pour une production journalière de 100 t de papier est d'environ 140 000 euros.
- Dans les systèmes de stockage et de transfert de charges et produits auxiliaires : en installant des instruments de sécurité tels que des détecteurs de fuites, alarmes de niveau etc., et en construisant des barrières et des murets de contention. Ceci implique généralement un investissement léger (< 2 % de l'investissement principal).

6.3.22. Formation, éducation et motivation du personnel

Les fabriques sont gérées et fonctionnent grâce à un ensemble de personnes, aussi, la formation constitue-t-elle une voie sûre vers la réduction de la consommation d'eau et d'énergie et la diminution des déversements d'effluents susceptibles de porter préjudice à l'environnement.

La formation, l'éducation et la motivation du personnel est une bonne pratique environnementale éprouvée.

6.3.23. Optimisation du contrôle du fonctionnement et de la maintenance des installations

L'optimisation du processus et la maintenance efficace des installations sont réalisées d'après les conditions initiales d'aménagement et de fonctionnement.

Les systèmes avancés de contrôle des processus conservent les variables de processus dans les valeurs optimales recommandées et corrigent les petits écarts pouvant intervenir en cours de fabrication.

Dans le cadre de la fabrication de pâte et de papier, les bénéfices directs d'un système de contrôle avancé du processus sont liés aux pertes intervenant dans le processus, par rapport aux conditions optimales. Parmi ces pertes, il convient de citer :

- Diminution de la qualité des produits. Celles-ci seraient les plus importantes d'un point de vue économique, si le produit ne répond pas aux exigences et suppose une consommation de matière première, d'eau et d'énergie, la production d'effluents gazeux et de déversements hydriques ainsi que l'augmentation de la production de déchets, sans production de biens en contrepartie.
- Écart des variables de processus. Ces écarts sont dus à une diminution du rendement des opérations et processus, et supposent une augmentation de la consommation de matières premières, d'énergie et d'eau.

La baisse de rendement des différentes étapes entraîne également l'augmentation des émissions de polluants due à une diminution de la conversion des étapes de réaction chimique. De façon analogue, la baisse d'efficacité des étapes d'épuration des effluents a pour conséquence l'augmentation du débit et des concentrations des émissions et des déversements.

À titre d'exemple, nous pouvons évoquer le contrôle préventif d'un digesteur à alimentation continue de type Kamy, utilisé pour la production de pâte kraft. Ce contrôle repose sur les paramètres de cuisson (viscosité de la pâte et indice Kappa) et des variables de processus (pression, température, relation liqueurs/bois ou hydromodule, vaporisation et pré-imprégnation du bois avec la liqueur de procédé et temps de latence).

Le contrôle du réacteur permet d'optimiser la consommation de vapeur, de diminuer les émissions de composés de soufre réduit et d'obtenir une pâte de qualité donnée avec une consommation de réactifs plus faible dans les étapes qui suivent la délignification à l'oxygène et le blanchiment. Ceci se traduit par des économies en terme d'eau de lavage nécessaire à l'obtention d'une telle qualité de pâte.

Le contrôle avancé des processus de production d'énergie, associé à celui des équipements destinés à l'épuration des gaz de combustion permet d'atteindre des rendements thermiques et d'épuration supérieurs à ceux obtenus via des systèmes de contrôle reposant sur les phases conventionnelles de contrôle PID (Proportionnel Intégral Dérivé). En outre, ce système s'avère plus efficace que le contrôle de type « tout ou rien », qui est très obsolète.

Compte tenu du rapport coût/bénéfice obtenu via le contrôle automatique des processus, et du délai d'amortissement très court, cette technologie est appliquée dans la quasi-totalité des industries de fabrication de pâte et/ou de papier.

Dans les fabriques de papier, on constate l'efficacité des systèmes de contrôle avancé de processus dans tous les paramètres de machine, presse et sècherie. Le contrôle des paramètres de consistance, alimentation de la machine, grammage, formation et humidité en sècherie, permet d'augmenter la production, de réduire les arrêts dus à une déchirure de la feuille et de mieux tirer parti des matières premières et des additifs. Ceci suppose des économies financières et des améliorations environnementales liées à la réduction de la charge polluante des déversements hydriques. Il est également important, en conséquence de la réduction de la consommation d'eau, d'assurer le contrôle des variables de circulation des eaux de procédé.

La maintenance des installations de fabrication et d'épuration des effluents dans l'industrie de la pâte et du papier est de première importance. La maintenance préventive permet de diminuer les avaries, les pertes, les déversements incontrôlés, augmente le rendement des matières premières, réduit les émissions, les déversements, la production de déchets et, en outre, limite les situations d'urgence liées à des pannes ou des arrêts non-programmés.

Le programme de maintenance établit l'ordre des opérations régulières à réaliser sur chaque machine, et définit des lignes de conduite pour la détection des avaries via le contrôle de la consommation électrique des moteurs, le contrôle des pertes de charges dans les conduits, le contrôle des températures d'échange thermique, le contrôle du niveau sonore et des vibrations sur les machines, l'état des joints d'étanchéité et des fermetures mécaniques, etc. La maintenance préventive portera de préférence sur les points critiques de l'installation, définis lors de l'évaluation des risques environnementaux.

6.3.24. Gestion environnementale

Les entreprises de tous les pays industrialisés sont en train d'adopter des systèmes de gestion environnementale (SGE) en vue de gérer de façon plus efficace et systématique les problèmes et les opportunités dans le domaine de l'environnement. L'incorporation de la gestion environnementale dans la gestion intégrée de l'entreprise est un élément fondamental, puisqu'elle constitue l'un des aspects significatifs ayant une incidence sur les entreprises.

L'ensemble des responsabilités organisationnelles, procédures, processus et moyens nécessaires à la mise en œuvre d'une politique environnementale dans une entreprise ou un centre de production est appelé « système de gestion environnementale ». Il constitue la méthode ou le cadre employé pour qu'une organisation parvienne à un fonctionnement conforme aux normes établies et le conserve. Le SGE a pour but d'atteindre les objectifs définis par la politique environnementale de l'organisation.

L'établissement d'un SGE vise une amélioration en termes d'action sur l'environnement. L'efficacité d'un SGE est liée à une connaissance précise des aspects de l'activité susceptibles d'affecter significativement l'environnement. Un SGE analyse donc le comportement environnemental d'une organisation par rapport aux conséquences de son activité sur le sol, l'eau, la production de déchets et la gestion des ressources naturelles, entre autres.

Comme nous l'avons souligné, dans tous les cas, la mise en œuvre d'un système de gestion environnementale a pour but d'intégrer les questions environnementales dans la gestion globale de l'entreprise.

Les objectifs principaux doivent toujours se centrer sur l'amélioration des résultats de l'entreprise en termes d'environnement et sur le respect de la réglementation environnementale en vigueur. Cette amélioration environnementale doit se traduire par une production plus propre passant par le développement continu d'une stratégie de prévention environnementale applicable aux processus et aux produits, afin de réduire les risques pour l'être humain comme pour l'environnement. L'amélioration environnementale des processus encourage la minimisation des quantités de matière, d'eau et d'énergie employées.

Il existe deux modèles principaux de référence : la certification ISO-UNE 14 001 et le règlement EMAS.

ISO-UNE 14001

Il s'agit d'une norme volontaire, internationale, applicable aux entreprises de tout type et de toute taille qui a pour but d'offrir aux organisations les éléments indispensables au développement d'un système de gestion environnementale. Cette norme n'est pas conçue pour créer des barrières commerciales.

Il s'agit d'un outil qui vise à spécifier les exigences permettant à un SGE de donner à une entreprise les moyens d'établir une politique et des objectifs, en tenant compte des dispositions légales et des données relatives aux conséquences environnementales les plus significatives.

Le SGE propose une procédure structurée visant une optimisation continue, dont le rythme d'application et d'extension est déterminé par l'organisation au vu des facteurs économiques et autres circonstances.

EMAS (règlement 761/2001)

Cet outil spécifie également les exigences relatives à la mise en œuvre d'un système de gestion environnementale mais n'est applicable que dans les états membres de l'Union européenne. Il se différencie de la norme ISO 14001 principalement par le fait qu'il impose la réalisation d'une analyse environnementale initiale et d'une déclaration environnementale annuelle.

Les entreprises qui disposent d'un SGE améliorent leur image face au public en général et vis-à-vis de leurs employés dans la mesure où elles garantissent le respect de la réglementation environnementale.

Parmi les avantages d'un SGE, il convient de souligner les économies liées à l'établissement d'objectifs visant à minimiser la consommation des ressources (eau, énergie, etc.), des déchets et des emballages, et à améliorer l'image de l'entreprise sur le marché, chose qui devient possible dès lors que la prise de conscience écologique des consommateurs se développe.

6.4. ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES ÉMERGENTES

6.4.1. Nouveaux procédés de fabrication de pâte PTM efficaces d'un point de vue énergétique

Définition

Les procédés de fabrication de pâte PTM impliquent une grande consommation d'énergie électrique (entre 1 600 et 3 200 kWh/t).

De nombreux travaux de recherche sont en cours afin de réduire la consommation d'énergie de ce type de procédé. Depuis le milieu des années 1990, de nouveaux procédés efficaces d'un point de vue énergétique (RTS et Thermoplus®) sont appliqués.

État de développement

Ces techniques, RTS et Thermoplus®, se caractérisent par une consommation d'énergie sensiblement inférieure par rapport aux procédés PTM traditionnels. Au milieu des années 1990, des procédés Thermoplus® ont été mis en œuvre en Europe et en Amérique du Nord. Le RTS a été instauré pour la première fois en Suisse en 1996. Ces deux techniques peuvent être considérées comme meilleures techniques disponibles mais sont généralement appliquées dans de nouvelles fabriques uniquement ou en cas de remplacement des équipements dans une fabrique existante.

Principaux aspects environnementaux

Les procédés RTS réduisent la consommation d'énergie lors du raffinage des copeaux en accélérant la rotation des disques tout en augmentant la température. Le « R » fait référence au temps de rétention, le « T » à la température et le « S » à la vitesse (*speed* en anglais). Les premières applications de cette technique montrent une réduction de 15 % de la consommation d'énergie par rapport aux techniques PTM conventionnelles.

Dans le cadre du procédé Thermoplus®, la première étape de raffinage est réalisée à des températures relativement basses. La pression et la température augmentent juste avant la seconde étape de raffinage qui implique une température et une pression très élevées (700 kPa et 170 °C). Cette technique permet une réduction de 10 à 20 % de la consommation d'énergie.

Aspects économiques

Nous ne disposons d'aucune donnée à ce sujet.

6.4.2. Fermeture des circuits d'eau avec évaporation et incinération des substances concentrées

Définition

L'évaporation des eaux résiduaires et l'incinération des concentrés dans une chaudière de récupération constituent une alternative de fermeture des circuits d'eau. Cette technique, considérée comme émergente, peut être appliquée à toutes les eaux ou aux eaux les plus polluées uniquement en soumettant le reste à un traitement primaire et secondaire.

Il convient de considérer cette alternative lorsqu'il s'agit d'augmenter la capacité de l'usine de production et que le traitement biologique reste limité, requiert un changement technologique de l'usine et implique un développement du recyclage dans le processus.

Cette méthode a été appliquée dans une usine de PCTM où les condensats sont réutilisés dans l'usine même, diminuant ainsi la consommation d'eau claire. Celle-ci a également permis de fermer

intégralement les des circuits d'eau d'une usine PCTM au Canada, comme illustré sur la figure 6.3.3. L'eau résiduaire est préalablement traitée dans un clarificateur Krofta afin d'éliminer les solides en suspension, puis évaporée en deux étapes. La première étape permet d'atteindre une concentration en solides de 35 % et la seconde de 70 %. Les solides obtenus ainsi que ceux issus de la clarification sont incinérés dans la chaudière de récupération. Le distillat obtenu lors de la première étape est scindé en fractions afin d'éviter toute contamination du distillat plus pur qui représente 85 %. La fraction présentant la plus forte teneur en composés organiques volatils est traitée par « stripping » pour séparer la matière organique qui est ensuite incinérée.

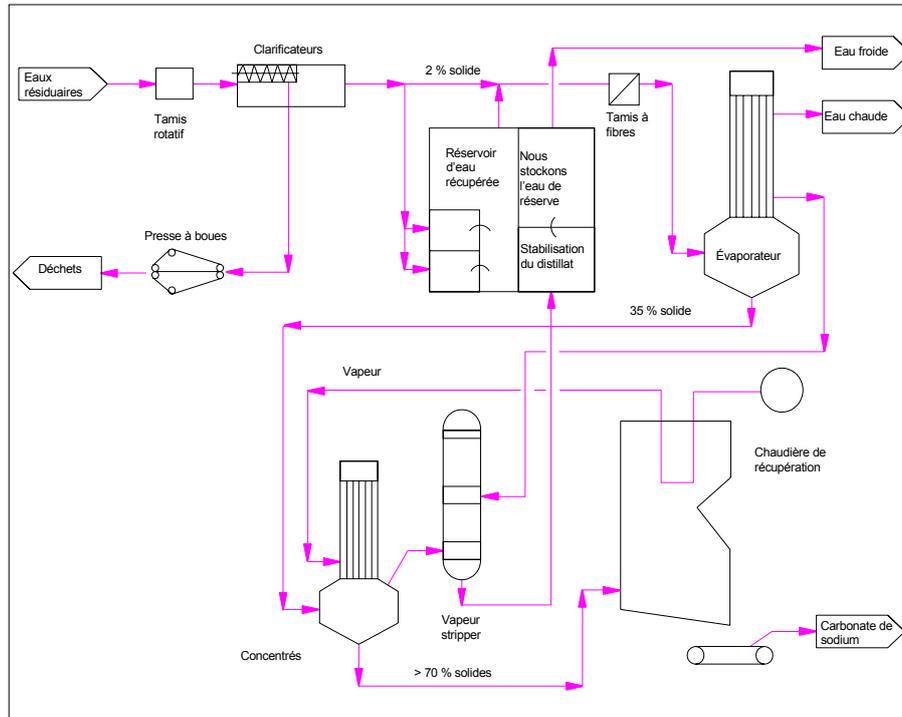


Figure 6.3.3. Schéma de la fermeture intégrale du circuit d'eau d'une usine de PCTM au Canada

Un nouvel évaporateur à effets multiples appelé ZedivapTM est en cours de développement.

La majeure partie des distillats provenant des évaporateurs peut être utilisée dans la fabrique de pâte directement à 65 °C. Toutefois, certaines fabriques exigent que la température de l'eau soit comprise entre 20 et 30 °C : une partie des distillats est donc réfrigérée et la majorité des composés organiques est éliminée dans des unités de stabilisation biologique.

La matière fondue issue de la chaudière de récupération est refroidie, se solidifie sur des convoyeurs puis est entreposée dans des conteneurs.

Applicabilité

Cette technique de processus intégré peut être appliquée aux nouvelles comme anciennes fabriques. Celle-ci a été mise en œuvre dans des usines de PCTM et de PTM mais peut très bien être employée dans d'autres processus. Elle présente néanmoins certaines limites, notamment le coût élevé de l'évaporation, la capacité de la station de récupération, une capacité de stockage des eaux résiduaires importante, la disponibilité de l'espace.

En cas d'utilisation d'évaporateurs, l'usine de blanchiment doit être modifiée : par exemple, il n'est pas possible d'utiliser des silicates de sodium car ceux-ci entraînent des problèmes d'incrustations.

Aspects économiques

La consommation énergétique associée à un procédé MVP est estimée à 13 kWh/m³ d'eau traitée alors que celle des évaporateurs à multiples effets est de 1,4 kWh/m³, pour une capacité de 3 600 m³/j dans les deux cas.

6.4.3. Élimination des agents chélateurs

Définition

Les agents chélateurs EDTA (acide éthylènediaminetétracétique) et DTPA (acide diéthylènetriaminepentaacétique) sont utilisés traditionnellement dans l'industrie de la pâte et du papier en raison de leur pouvoir séquestrant et leur aptitude à supprimer l'activité des ions métallique de transition dissous. Ces ions métalliques sont capables de catalyser la décomposition du peroxyde d'hydrogène, employé comme agent blanchissant, en radicaux, ce qui entraîne une diminution du pouvoir blanchissant du peroxyde et augmente donc les coûts de blanchiment. Ainsi, la fabrication de pâte TCF implique des séquences avec agents chélateurs « CH » pour éviter l'influence négative des ions métalliques lourds sur les produits chimiques actifs (peroxyde d'hydrogène) employés pour le blanchiment TCF de la pâte.

Toutefois, il a été prouvé que de fortes concentrations d'agents chélateurs « CH » (entre 25 et 40 % de la quantité totale utilisée) étaient éliminées dans les eaux résiduaires de la fabrique. En outre, bien que l'EDTA soit une substance considérée comme non-toxique, il ne se biodégrade pas totalement : son élimination des déversements de la fabrique est donc recommandée.

Des techniques offrant un taux de récupération supérieur des agents chélateurs « CH » ont fait récemment l'objet d'études.

Deux options de traitement pour l'élimination de l'EDTA sont disponibles :

Option 1 : Traitement biologique avec ou sans boues activées qui permet d'obtenir des taux de réduction satisfaisant de la DCO et DBO dans les effluents. Toutefois ce système ne parvient pas à réduire significativement la concentration d'EDTA dans ces effluents. Les études ont révélé que l'EDTA résiste à la biodégradation dans les stations à boues activées fonctionnant dans des conditions normales (pH = 7). En outre, l'EDTA n'est pas absorbé dans les boues. Une étude récente montre l'augmentation de la biodégradation de l'EDTA dans une station à boues activées en milieu alcalin (pH = 8-9) Ceci permet une diminution supplémentaire de la concentration d'EDTA, de l'ordre de 50 %, (celle-ci étant de 10 % avec un pH de 7).

Option 2 : L'utilisation de membranes pour le traitement des effluents constitue une autre technique de diminution de la consommation et des déversements de CH, utilisés lors de l'étape de peroxyde d'hydrogène dans le cadre d'un blanchiment TCF.

Option 3 : Des études sont actuellement menées sur le remplacement de l'EDTA par d'autres composés chimiques dont la biodégradation est plus aisée, par exemple : polyamines anioniques modifiées, sels d'acide polyasparaginique, acide iminodisuccinique, etc.

État de développement

La biodégradation de l'EDTA dans les stations à boues activées en milieu alcalin semble prometteuse. Le potentiel de traitement de l'EDTA contenu dans les eaux résiduaires de l'usine de blanchiment dans les stations à boues activées en milieu alcalin modéré a été confirmé en laboratoire [C.G. van Ginkel, 1997 a + b] et à grande échelle dans des stations à boues activées.

Des informations détaillées sur les complexes de l'EDTA et l'influence du temps de rétention de la boue, de la température, etc., sont indispensables pour améliorer le calcul de l'élimination de l'EDTA des eaux résiduaires des fabriques de papier (les complexes du Fe(III)EDTA sont bien connus, notamment les sels récalcitrants ; les sels formés par réaction du Mn et du Ca avec l'EDTA sont plus facilement biodégradables). Un temps de rétention des boues activées réduit et le complexe Fe(III)EDTA peuvent être à l'origine d'une élimination relativement faible.

D'autre part, la photodégradation du complexe FeEDTA est également décrite dans la bibliographie [Kari, 1996]. Le FeEDTA est le seul complexe de l'EDTA capable de se transformer par voie photochimique dans les eaux de surface.

Récemment, la première application à échelle industrielle du système Kemira NetFloc (PEO/résine phénolique) pour la récupération de l'EDTA des effluents des usines de blanchiment a été mise en marche.

Principaux effets sur l'environnement

Dans une station à boues activées à échelle réelle, en milieu modérément alcalin (pH 8-9), une réduction moyenne d'environ 50 % du taux d'EDTA a été possible (de l'ordre de 10 % avec un pH de 7). Les résultats ont également indiqué que l'ajustement du pH à 8-9 par de l'oxyde de calcium (dosage proche de 90 mg de CaO/l) n'a pas altéré le fonctionnement normal de la station à boues activées. Les concentrations d'EDTA dans les échantillons soumis à une biodégradation accélérée ont été relativement constantes (2-4 ppm).

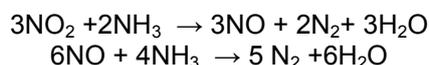
6.4.4. Application du procédé de réduction sélective non-catalytique ou « SNCR » (Selective non catalytic reduction)

Définition

La réduction sélective non-catalytique (SNCR) permet de diminuer les émissions d'oxydes d'azote NO_x. Il s'agit d'un procédé industriellement viable qui permet d'atteindre un taux d'efficacité de réduction compris entre 50 % et 80 %.

La différence entre les procédés sélectifs et les procédés non-sélectifs réside dans la réduction de l'oxygène : ainsi, pour les uns comme pour les autres, la réduction débute par la transformation du NO₂ en NO. Pour la méthode non-sélective, l'étape suivante est la réduction de l'oxygène ; lorsque celui-ci a quasiment disparu, intervient la phase d'épuration des gaz proprement dite et la réduction du NO en azote élémentaire et en eau : les produits finaux sont donc les constituants naturels de l'air.

Le procédé NO_xOUT est l'un des nombreux procédés qui recourent à la technique de réduction sélective non-catalytique pour diminuer les émissions de NO_x par la transformation de l'ammoniaque en azote via les réactions suivantes :



En cas d'utilisation d'urée, la réaction suivante intervient en premier :



L'agent réducteur employé lors des essais à échelle industrielle est une solution d'urée diluée dans l'eau qui a pour résultat final la production d'ammoniaque. La réaction se produit à une température d'environ 1 000 °C. Si la température augmente considérablement, les émissions de NO_x augmentent également, or, si la température reste basse, cela entraîne la production d'une quantité plus importante d'ammoniaque. Dans le procédé NO_xOUT, l'intervalle de température est élargi et les composés chimiques suppriment la formation d'ammoniaque. Les paramètres les plus importants lors

de l'optimisation de ce procédé sont la production indésirable d'ammoniaque due aux réactions secondaires et la consommation de composés chimiques.

État de développement

Une compagnie suédoise de pâte kraft a testé à grande échelle le procédé breveté NO_xOUT dans l'une de ses chaudières de récupération. Au cours de cet essai, la chaudière a fonctionné à 95-105 % de sa capacité continue maximale. Le projet a démontré que la réduction thermique des oxydes d'azote au moyen du procédé NO_xOUT pouvait s'appliquer avec succès aux chaudières de récupération.

Principaux effets sur l'environnement

Par rapport aux autres procédés de combustion, cette méthode produit moins d'oxydes d'azote dans la chaudière de récupération. Les concentrations types se situent entre 50 et 80 mg de NO_x/MJ. En dépit des concentrations relativement basses de NO_x de la chaudière de récupération, cette dernière constitue la principale source d'émissions de NO_x dans les usines de pâte kraft (en raison de l'important flux de gaz). Toutefois, les mesures de traitement des buées appliquées à la chaudière de récupération sont celles qui ont le plus d'effet sur les émissions totales. En outre, on prévoit une augmentation des émissions de NO_x de la chaudière de récupération de haute efficacité en raison de la demande d'augmentation du contenu sec de la liqueur noire et de l'augmentation des charges du four.

6.4.5. Bioréacteur à membrane

Description

Il s'agit d'un procédé combiné de séparation et d'oxydation. Consiste en une oxydation biologique intense ayant pour but la décomposition de la matière organique et la séparation des solides et liquides à l'aide d'une membrane. Les membranes sont immergées dans la biomasse de la station à boues activées.

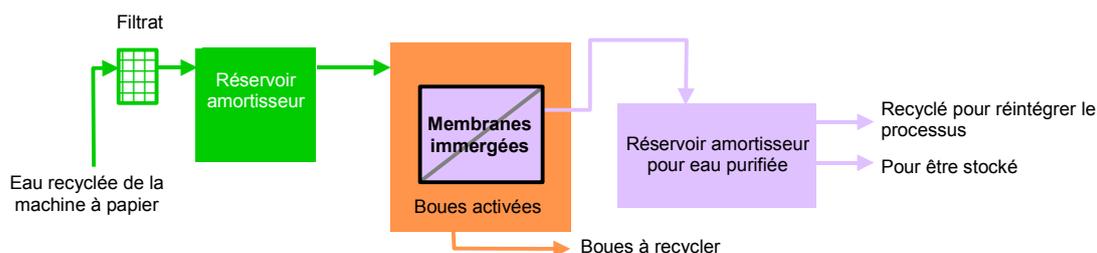


Figure 6.3.4. Bioréacteur à membrane utilisant des membranes immergées dans un réacteur à boues activées (MRB)

État de développement

Le premier système à échelle réelle a été mis en fonctionnement en 1999 dans une fabrique française de bristol (Papeterie du Rhin). Le débit de base est relativement faible (900 m³/j), en dépit d'une tentative d'augmentation progressive de la fraction d'eau traitée recyclée dans le procédé.

Principaux effets sur l'environnement

Pour certains types de fabriques qui ne seraient pas en mesure de résoudre le problème des limites de décharge (par exemple, en cas de taux de concentration ou de charge légèrement supérieurs), un bioréacteur à membrane (MBR) peut permettre d'atteindre la limite de décharge. Ce procédé peut également être employé en prétraitement dans le cadre des processus de séparation/concentration tel

que la nanofiltration (NF) ou l'évaporation. Cette application peut être intéressante pour les fabriques de papier qui ont l'intention d'utiliser un système MBR pour la fermeture du circuit d'eau.

Les bioréacteurs à membrane peuvent produire moins de boue qu'un traitement biologique conventionnel (jusqu'à moitié moins), en raison des caractéristiques spécifiques de la biomasse active qui se développe dans les applications MBR.

6.4.6. Récupération des cendres et du CO₂ issus des chaudières pour réduire les charges minérales utilisées pour la fabrication du papier

Cette technologie entraîne la production de carbonate de calcium précipité recyclé. La combustion des boues de désencrage (alternative 6.2.21) est à l'origine de cette méthode, le principal avantage pour le fabricant de papier qui utilise du carbonate de calcium précipité étant la possibilité d'obtenir à volonté des particules de calibres et de formes de différents, ce qui optimise son rendement dans les applications papetières.

On a découvert que les cendres issues de l'incinération des boues de désencrage permettent la nucléation et le développement du carbonate de calcium précipité. Il a également été prouvé que ce dernier peut partiellement remplacer la chaux (CaO) utilisée pour produire de l'hydroxyde de calcium.

Cette technique permet de réduire significativement la quantité de déchets solides provenant des usines de désencrage, la quantité de combustible nécessaire pour produire le CaO ainsi que les émissions de CO₂.

6.4.7. Systèmes de diagnostic

Définition

Les processus de fabrication du papier étant très complexes, de nouveaux systèmes de données ont été développés. La complexité de ces processus peut être illustrée à travers l'exemple de l'utilisation de l'eau. L'augmentation de la recirculation de l'eau entraîne une modification de la chimie au sein du processus, une augmentation de la température de l'eau, différentes pratiques de gestion de l'eau, de nouveaux rejets de flux, des changements au niveau des opérations de traitement des effluents, un accroissement de la consommation d'électricité, etc.

En outre, la consommation d'énergie ou d'électricité est aussi déterminée par la vitesse de production de la machine et par le niveau de développement de son fonctionnement.

Les différentes options technologiques ont donc des répercussions différentes sur le bilan énergétique de la fabrique. Nous pouvons en conclure, toutefois, que les solutions de processus intelligentes essaieront, dans l'avenir, de combiner l'ensemble des systèmes d'énergie-eau-fibres-composés chimiques, dans le but d'intégrer la fabrique de manière adéquate.

État de développement

Plusieurs outils informatisés capables d'analyser la complexité du système, y compris ses conséquences, sont actuellement à l'étude.

Principaux aspects environnementaux

Le facteur clé étant de mettre au point des processus capables d'émettre moins de polluants dans l'air et dans l'eau tout en diminuant la production de déchets solides et la consommation d'énergie. Les exigences de ces nouveaux processus sont l'amélioration de la qualité du papier, une productivité accrue de la machine ainsi qu'une meilleure gestion des processus. Ceci implique une meilleure connaissance du comportement des processus.

Il est clair que les nouveaux outils d'optimisation permettront d'assurer le futur développement des processus de fabrication du papier. Certains outils informatisés contiennent les informations suivantes :

- informations sur les concentrations d'agents polluants à différents points du processus ;
- modèles comportementaux des agents polluants ;
- méthodes de traitement et paramètres relatifs au processus de séparation ;
- méthodes d'optimisation du traitement de l'eau vis-à-vis de la concentration des agents polluants et de leur comportement ;
- identification de sources de chaleur ;
- méthodes d'optimisation de l'utilisation de la chaleur via des processus d'intégration ;
- informations relatives aux émissions et à la formation de déchets solides ;
- conception du processus détaillée reposant sur les choix effectués ;
- méthodes d'analyse et de développement de l'opération consistant à faire passer le papier dans la machine.

Aspects économiques

Nous ne disposons d'aucune information à ce sujet, néanmoins, l'investissement total associé à la mise en œuvre d'outils informatisés n'implique pas un coût très élevé.

6.5. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES PROPOSÉES

Le tableau ci-après recense les alternatives technologiques proposées, accompagnées d'une brève description de leur principe, des avantages liés à leur application et de leurs répercussions sur le processus de production.

Elles sont classées en quatre catégories : déversements, émissions atmosphériques, déchets solides/boues et énergie, tant pour la fabrication de pâte (pâte mécanique « MP », pâte kraft « PK », pâte au sulfite « PS » et pâte élaborée à partir de papier de récupération « PR ») que pour la fabrication du papier.

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 1 : DÉVERSEMENTS (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.3.1.	PM, PK, PS,	Écorçage à sec	Techniques d'écorçage des troncs à sec	Le débit de l'eau peut être réduit en diminuant la DCO et le total des solides dissous (TSD). Augmentation de la production d'énergie dans la chaudière à écorces	Aucune
6.2.2.	PM	Recyclage des eaux	Réutilisation des eaux de procédé	Diminution des déversements de liquides	Un niveau de fermeture des circuits trop élevé peut avoir des effets négatifs sur la qualité du produit final

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 1 : DÉVERSEMENTS (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.3.2.	PM, PK, PS	Utilisation de réservoirs de stockage de volume suffisant pour optimiser la consommation d'eau	Les réservoirs de stockage permettent d'éviter les fuites au moment de la mise en route ou de l'arrêt de l'usine ou en cas de dysfonctionnement	Diminution du volume d'eaux résiduaire et de la charge polluante Réduit les risques d'altération du fonctionnement de la station de traitement des eaux résiduaire en évitant les déversements accidentels à forte concentration organique ou présentant des indices de pH extrêmes	Aucune
6.3.3.	PM, PK, PS	Contrôle et récupération des fuites et des échappements	Récupération et traitement des déversements et débordements internes	Diminution des déversements dans l'eau	Requiert une légère augmentation de la capacité de l'usine d'évaporation
6.3.4.	PK, PS	Tamisage de la pâte écrue avec circuit d'eau fermé	Fermeture des circuits de l'usine d'épuration de la pâte écrue	Évite les décharges dans l'effluent de matière organique dissoute dans l'eau	Un niveau de fermeture des circuits trop élevé peut avoir des effets négatifs sur la qualité du produit final
6.4.2.	PM	Fermeture des circuits d'eau avec évaporation et incinération des substances concentrées	Fermeture des circuits d'eau via l'évaporation des eaux résiduaire et l'incinération des concentrés dans une chaudière de récupération	Diminution des déversements de liquides	Coût élevé de l'évaporation, disponibilité de l'espace, etc.
6.3.8.	PR	Fermeture du circuit d'eau avec traitement biologique des effluents intégrés dans le processus	Fermeture des circuits d'eau via un traitement biologique interne qui permet la recirculation	Permet d'éliminer la quasi-totalité des déversements	La concentration de calcium dans les eaux blanches doit être contrôlée, dans la mesure où la précipitation du carbonate du calcium peut se produire dans le circuit d'eau
6.3.5.	PM, PK, PS	Lavage efficace	Technique efficace de séparation des fibres de cellulose de la liqueur de cuisson résiduelle	Consommation de produits chimiques de blanchiment moins importante, ainsi que pour la DCO, la DBO5 et les AOX résiduels (pâtes blanchies)	Production d'énergie plus importante

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 1 : DÉVERSEMENTS (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.3.6.	PK, PS	Cuisson modifiée étendue	Obtention d'une pâte présentant une plus faible teneur en lignine et plus facile à blanchir	Augmentation de la quantité de substances organiques dissoutes dans les liqueurs envoyées vers la chaudière de récupération Réduction des AOX et de la DCO Diminution des produits chimiques de blanchiment	Production d'énergie plus importante
6.2.3.	PK, PS	Délicnification à l'oxygène	Traitement à l'oxygène pour l'élimination de la lignine résiduelle	Réduction de la production d'AOX et DCO résiduaues de l'usine de blanchiment Consommation d'agents de blanchiment moins importante Coût du blanchiment moins élevé	Production d'énergie plus importante
6.3.7.	PK	Blanchiment à l'ozone	Blanchiment de la pâte à l'ozone, pour augmenter le potentiel de délicnification de la pâte	Dans les processus ECF, cette technique permet de réduire les déversements d'AOX ; dans les processus TCF, elle offre un degré de blancheur supérieur tout en consommant moins de peroxyde et facilite la fermeture des circuits de l'étape de blanchiment	Aucune
6.2.4.	PK	Blanchiment ECF	Blanchiment de la pâte sans chlore gazeux	Diminution de la formation de composés organiques volatils et de la charge de dioxines (AOX)	Aucune
6.2.5.	PK, PS	Blanchiment TCF	Blanchiment de la pâte aux moyens d'agents exempts de chlore	Pas de formation d'AOX	Nécessité d'employer des agents chélateurs CH afin de séquestrer les métaux lourds de transition
6.2.6.	PK, PS	Fermeture des circuits de l'usine de blanchiment	Fermeture totale ou partielle des circuits des usines de blanchiment	Diminution de la quantité de substances organiques, nutriments et métaux lourds dans les effluents de la fabrique	La fermeture totale des circuits pourrait augmenter la consommation de produits chimiques de blanchiment et provoquer des précipitations d'oxalate de calcium

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 1 : DÉVERSEMENTS (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.4.3.	PK, PS	Élimination des agents chélateurs	Techniques permettant d'augmenter le taux de récupération des CH Traitement biologique avec ou sans boues actives, ou utilisation de membranes pour traiter ces effluents	Récupération des agents chélateurs	Aucune
6.2.7.	PR	Clarification des eaux issues du processus de désencrage par flottation à air dissous	Le recyclage des eaux blanches provenant d'une usine de papier de récupération avec désencrage n'est possible qu'au moyen d'un système de clarification préalable des eaux en question. La meilleure technique disponible actuellement est la flottation à air dissous (FAD)	Élimination des solides en suspension et de la matière dissoute colloïdale	Aucune si cela est effectué de manière contrôlée
6.2.8.	PR	Traitement interne des eaux par le biais de membranes de filtration et du recyclage des eaux de procédé	Filtration membranaire des eaux blanches d'une usine de papier de récupération avec désencrage Une filtration conventionnelle ne peut pas éliminer efficacement les solides et la matière colloïdale dont la taille est inférieure à 1 micron. (Les solutions possibles sont la floculation et la filtration par membranes)	Élimination des solides en suspension et de la matière dissoute colloïdale	Aucune si cela est effectué de manière contrôlée
6.4.5.	PM, PK, PS	Bioréacteur à membrane	Il s'agit d'un procédé combiné de séparation et d'oxydation. Consiste en une oxydation biologique intense ayant pour but la décomposition de la matière organique et la séparation des solides et liquides à l'aide d'une membrane	Réduction de la charge polluante	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 2 : ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.3.13.	PM	Contrôle des émissions du parc à bois	Contrôle des émissions du parc à bois. Arrosage du bois à l'eau	Réduction des émissions atmosphériques	Aucune
6.3.14.	PK, PS	Augmentation de la concentration des liqueurs noires	Processus supplémentaire d'évaporation de liqueurs noires Utilisation de superconcentrateurs permettant d'obtenir une teneur en solides dans la liqueur noire pouvant aller jusqu'à 80 %	Faibles émissions de SO ₂ dans la chaudière de récupération Augmentation de la production d'énergie dans la chaudière de récupération Permet d'augmenter la capacité de production	Requiert une usine d'évaporation de plus grande capacité
6.2.10.	PK, PS	Épuration par lavage des gaz émanant de la chaudière	Stripping des condensats, technique de séparation des condensats propres de gaz incondensables (NCG : non-condensable gases)	Réduction des émissions de TRS (gaz malodorants) dans l'atmosphère, ainsi que de la DCO dans les émissions aquatiques	Aucune
6.2.11.	PK, PS	Épuration et réutilisation des condensats de l'usine d'évaporation	Les condensats pollués issus de l'évaporation et de la cuisson, ainsi que les lessives faibles provenant des débordements et déperditions du circuit de fabrication, sont susceptibles d'être traités dans un stripper, afin de séparer les condensats propres des gaz incondensables	Réduction des émissions de composés TRS, des mauvaises odeurs et des émissions de COV Économie d'eau claire grâce à la réutilisation des condensats	Aucune
6.2.12.	PK, PS	Traitement des gaz des chaudières et four au moyen d'un filtre électrostatique	Utilisation de précipitateurs électrostatiques pour la réduction des émissions de particules	Réduction des émissions de particules, récupération de réactifs en temps que cendres volantes	Aucune
6.4.4.	PK, PS	Réduction sélective non-catalytique « SNCR »	Diminution des émissions de NO _x par réduction sélective non-catalytique	Réduction des émissions de NO _x	Aucune
6.3.15.	PK	Amélioration du lavage des boues de caustification	Lavage des boues dans le but de récupérer la plupart des produits chimiques contenus	Réduction des émissions de TRS et SO _x dans l'atmosphère	Aucune
6.2.13.	PS.	Amélioration de la préparation de la pâte afin de diminuer la consommation d'énergie et les émissions	Conception des circuits et choix des équipements adaptés pour diminuer la consommation énergétique	Économies d'énergie Diminution des émissions atmosphériques Meilleure qualité du papier fabriqué Exploitation des différents types de rejets produits	Aucune
6.2.14.	PR	Application de la cogénération de vapeur et d'énergie	Cogénération de chaleur et d'électricité	Augmentation de l'efficacité énergétique globale du processus Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 3 : DÉCHETS SOLIDES / BOUES (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.2.18.	PM	Installation de chaudière à lit fluidisé pour l'incinération des boues	Technologie très flexible et efficace qui entraîne la diminution des émissions de composés volatils dans l'atmosphère	Réduction des émissions de NO _x	Aucune
6.3.17.	PM	Minimisation des pertes de rejet dans les fabriques de pâte mécanique	Utilisation de systèmes d'épuration et de raffinage permettant une exploitation accrue des matières premières	Réduction des pertes de fibres et de la production de rejets solides	Aucune
6.3.1.	PM, PK, PS	Écorçage à sec	Techniques d'écorçage des troncs à sec	Le débit de l'eau peut être réduit en diminuant la DCO et le total des solides dissous (TSD). Augmentation de la production d'énergie dans la chaudière à écorces	Aucune
6.3.19.	PR	collecte séparée des matériaux non-fibreux	Séparation des fils métalliques, plastiques, etc., qui accompagnent le papier de récupération	Stockage de ces déchets par séparation	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 4 : ÉNERGIE (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.2.14.	PM, PR	Application de la cogénération de vapeur et d'énergie	Cogénération de chaleur et d'électricité	Augmentation de l'efficacité énergétique globale du processus Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Aucune
6.2.13.	PS	Amélioration de la préparation de la pâte afin de diminuer la consommation d'énergie et les émissions	Conception des circuits et choix des équipements adaptés pour diminuer la consommation énergétique	Économies d'énergie	Aucune
6.3.23.	PR	Actualisation de l'aménagement des installations d'une usine de papier de récupération	Actualisation de l'agencement des installations dans l'objectif de diminuer la consommation d'énergie	Réduction de la consommation d'énergie	Aucune
6.3.6.	PK, PS	Cuisson modifiée étendue	Obtention de pâtes présentant une plus faible teneur en lignine et plus faciles à blanchir	Augmentation de la quantité de substances organiques envoyées vers la chaudière de récupération. Réduction des AOX et de la DCO. Diminution de la consommation de produits chimiques de blanchiment	Production d'énergie plus importante
6.2.3.	PK, PS	Délicnification à l'oxygène	Traitement à l'oxygène pour l'élimination de la lignine résiduelle	Réduction de la production d'AOX et DCO résiduaaires dans l'usine de blanchiment	Production d'énergie plus importante
6.4.1.	PM	nouveaux procédés de fabrication pâte PTM efficaces d'un point de vue énergétique	Techniques RTS et Thermoplus® impliquant une consommation d'énergie sensiblement inférieure aux procédés PTM traditionnels	Économies d'énergie	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 5 : DÉVERSEMENTS (FABRICATION DE PAPIER)

N°	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.2.9.	Gestion optimale de l'eau. Réduction de la consommation d'eau claire via la séparation des circuits d'eau et un flux à contre-courant	Fermeture des circuits La séparation des eaux et l'emploi d'échangeurs ou de tours de refroidissement permet la réutilisation de l'eau	Réduction de la consommation d'eau claire Diminution des déversements de liquides: <ul style="list-style-type: none"> Eaux de refroidissement, fermetures et systèmes sous vide Eaux blanches de drainage Eaux clarifiées de l'épaississage au filtrage 	Aucune si cela est effectué de manière contrôlée; en cas d'absence de contrôle, diminution de l'efficacité de l'installation Il convient d'installer un microfiltre pour éliminer les solides Il est également possible d'envisager des étapes en circuit fermé pour l'eau d'étanchéité des pompes à vide en intégrant des refroidisseurs et des filtres pour séparer les solides
6.3.9.	Réduction des pertes de fibres et charges minérales	Utilisation de filtres à disques ou d'unités de flottation afin de récupérer les charges et les fines	Récupération des charges et des fines de la machine à papier	Aucune ; peut présenter certaines limites liées au manque d'espace
6.3.10.	Récupération et recyclage des produits de couchage contenus dans les effluents	L'ultrafiltration permet de séparer les composés de couchage au moyen d'une membrane semi-perméable	Réduction des émissions aquatiques et de la quantité de déchets Diminution de la consommation d'eau dans la mesure où le perméat peut être réutilisé	Aucune
6.3.11.	Prétraitement indépendant des eaux résiduaires provenant des opérations de couchage	Précipitation chimique et floculation. Dans de nouvelles installations, les systèmes d'ultrafiltration sont préférables car ils se caractérisent par un délai d'amortissement plus court	Bénéfices fonctionnels au niveau de la station de traitement des eaux résiduaires	Aucune
6.3.12.	Remplacement des substances potentiellement nocives par des produits alternatifs moins polluants	Élimination de ces substances après traitement des déversements. Emploi de produits alternatifs non-toxiques et biodégradables Exemple : remplacement des colles au colophane et du sulfate de sodium utilisés pour le collage interne des papiers, par des colles synthétiques (dimères d'alkylcétène) évitant les écarts importants de pH	Augmentation de l'efficacité du traitement des déchets et donc, diminution des conséquences sur l'environnement	Aucune
6.3.21.	Élimination des déversements accidentels ou occasionnels	Mesures préventives et formation du personnel en prévision de déversements accidentels	Éviter, dans la mesure du possible, les déversements accidentels et minimiser leurs conséquences	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 6 : ATMOSPHÈRE (FABRICATION DE PAPIER)

N°	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.2.14.	Application de la cogénération de vapeur et d'énergie	Les besoins énergétiques, le rapport chaleur/énergie de l'industrie papetière ainsi que la régularité de fonctionnement tout au long de l'année font des techniques de cogénération une solution très appropriée à ce secteur	Les émissions par unité de chaleur ou d'énergie générée diminuent considérablement en raison de l'augmentation de l'efficacité énergétique.	Aucune
6.3.16.	Utilisation de combustibles pauvres en soufre ou renouvelables	Utilisation de combustibles alternatifs tels que le gaz naturel Utilisation de combustibles renouvelables tels que le bois ou les résidus de bois	Diminutions des émissions de CO ₂ dans l'atmosphère	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 7 : DÉCHETS SOLIDES / BOUES (FABRICATION DE PAPIER)

N°	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.2.15.	Optimisation de l'égouttage au niveau de la section de pressage de la machine à papier	Optimisation du drainage et de la rétention dans le système de la machine à papier	Économie d'énergie calorifique lors du séchage du papier	Aucune
6.3.9.	Réduction des pertes de fibres et de charges minérales dans la machine à papier	Installation de filtres à disques ou d'unités de microfiltration	Amélioration de l'efficacité de la séparation des fibres et des charges par rapport aux méthodes conventionnelles (décanteurs)	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 8 : ÉNERGIE (FABRICATION DU PAPIER)

N°	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
6.2.14.	Application de la cogénération de vapeur et d'énergie	Cogénération de chaleur et d'électricité	Augmentation de l'efficacité énergétique globale du processus Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Aucune
6.3.20.	Utilisation des technologies efficaces d'un point de vue énergétique	Technologies efficaces d'un point de vue énergétique, telles que les meilleures pratiques de raffinage et de mise en pâte, la formation sur double toile au niveau de la machine à papier, les systèmes sous vide optimisés, les variateurs de vitesse pour ventilateurs et pompes, les moteurs électriques à haut rendement, la récupération de la vapeur condensée, l'augmentation de la concentration de solides, les size presses (presses encolleuses), les systèmes de récupération de chaleur, etc.	Optimisation de la consommation d'énergie.	La mise en œuvre de certaines de ces techniques n'est possible que dans le cadre de la reconstruction d'une usine, ou, le cas échéant, lors de l'arrêt des installations pour le remplacement des équipements.

7. TRAITEMENTS FINAUX POUR LA MINIMISATION DE LA POLLUTION (TFMP)

Les traitements finaux proposés dans ce chapitre ont pour objet d'adapter la composition (humidité, toxicité, matière organique, etc.) des déchets non-exploitable par l'industrie au milieu récepteur. De cette manière, il est possible de minimiser les conséquences environnementales de ces déchets sur les différents vecteurs du milieu (air, eau et sol).

La prévention intégrée de la pollution peut être assurée en appliquant de manière efficace les alternatives de prévention de la pollution à la source (APPS), présentées dans le chapitre précédent, et les traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP), s'il y a lieu.

7.1. SÉLECTION DES TRAITEMENTS FINAUX EN FONCTION DU PROCÉDÉ DE PRODUCTION

Dans cette section, la présentation des différents traitements repose sur les procédés de production les plus significatifs du secteur de la pâte et du papier ; cinq tableaux ont donc été réalisés, à savoir :

- Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la production de pâte mécanique et leur impact sur l'environnement (tableau 7.1.1).
- Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la production de pâte au sulfite et leur impact sur l'environnement (tableau 7.1.2).
- Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la production de pâte kraft et leur impact sur l'environnement (tableau 7.1.3).
- Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la production de pâte à papier élaborée à partir de papier de récupération et leur impact sur l'environnement (tableau 7.1.4).
- Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la production de papier et leur impact sur l'environnement (tableau 7.1.5).

Les lignes identifient les techniques disponibles, pour chacune desquelles les effets en termes de consommation des ressources et de niveau d'émission sont identifiés (colonnes). Les répercussions de chaque alternative sont décrites qualitativement au moyen de flèches (↑ ou ↓). Les flèches pointant vers le bas indiquent une diminution de la consommation de produits chimiques, d'eau ou d'énergie, ainsi qu'une réduction de la charge polluante des émissions, déchets et/ou déversements. En revanche, les flèches pointant vers le haut indiquent une augmentation de la production de polluants, de la consommation des ressources ou une amélioration du processus de production.

Dans ces tableaux, les informations relatives aux répercussions d'une alternative donnée sur les volumes de consommation et d'émission ne doivent pas être considérées comme impératives, ni comme un point de départ pour identifier une éventuelle source de pollution. En outre, ces effets dépendent des conditions spécifiques de chaque fabrique.

Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la fabrication de pâte mécanique

Tableau 7.1.1. TFMP dans le cadre de la production de pâte mécanique et leur impact sur l'environnement

TFMC	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
7.2.2. Traitement biologique des eaux résiduaires	↑	↑	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	↑ boues	↑
7.3.1. Traitement primaire des eaux résiduaires	s.e.	s.e.	↓ solides en suspension ↓ nutriments ↓ DCO	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.3.3. Traitement tertiaire des eaux résiduaires	↑	↑	↓ N ↓ P ↓ matière organique	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.4.1. Traitement des effluents par un procédé combiné d'ozonisation et biofiltration	Il faut considérer la production utilisant de l'oxygène à la place de l'air.	↑ E	↓ couleur ↓ DCO ↓ AOX	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.2.6. Minimisation des déchets vers les sites d'enfouissement	s.e.	↓ E incinération ↑ E déshydratation	s.e.	↑	↓	--

↑ = augmentation ; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions.

Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la fabrication de pâte au sulfite

Tableau 7.1.2. TFMP dans le cadre de la production de pâte au sulfite et leur impact sur l'environnement

TFMC	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
7.3.1. Traitement primaire des eaux résiduaires	s.e.	s.e.	↓ solides en suspension ↓ nutriments ↓ DCO	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.2.2. Traitement biologique des eaux résiduaires	↑	↑	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	↑ boues	Traitement des boues
7.4.1. Traitement des effluents par un procédé combiné d'ozonisation et biofiltration	Il faut considérer la production utilisant de l'oxygène à la place de l'air	↑	↓ Couleur ↓ DCO ↓ AOX	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.2.2. Captage et traitement des gaz malodorants	s.e.	↑ E système de captage et de transport	s.e.	↓ TRS ↑ NO _x ↓ odeur	s.e.	↑ production d'énergie (récupération de chaleur)
7.2.4. Installation de brûleurs à basse émission de NO _x	s.e.	s.e.	s.e.	↓ NO _x	s.e.	--

↑ = augmentation ; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions.

Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la fabrication de pâte kraft

Tableau 7.1.3. TFMP dans le cadre de la production de pâte kraft et leur impact sur l'environnement

TFMC	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Observations
7.2.2. Traitement biologique des eaux résiduaires	↑	↑	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	↑ boues	Traitement des boues biologiques
7.3.1. Traitement primaire des eaux résiduaires	s.e.	s.e.	↓ solides en suspension ↓ nutriments ↓ DCO	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.3.3. Traitement tertiaire des eaux résiduaires avec précipitation chimique	↑	↑	↓ N ↓ P ↓ matière organique	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.4.1. Traitement des effluents par un procédé combiné d'ozonisation et biofiltration	Il faut considérer la production d'ozone liée à l'emploi d'oxygène à la place de l'air	↑ E	↓ couleur ↓ DCO ↓ AOX	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.2.2. Captage et traitement des gaz malodorants	s.e.	↑ E système de captage et de transport	s.e.	↓ TRS ↑ NO _x ↓ odeur	s.e.	↑ production d'énergie (récupération de chaleur)
7.2.4. Installation de brûleurs à basse émission de NO _x	s.e.	s.e.	s.e.	↓ NO _x	s.e.	--

↑ = augmentation ; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions.

Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la fabrication de pâte à papier élaborée à partir de papier de récupération

Tableau 7.1.4. TFMP dans le cadre de la production de pâte élaborée à partir de papier de récupération et leur impact sur l'environnement

TFMC	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Applicabilité
7.3.1. Traitement primaire des eaux résiduaires	s.e.	s.e.	↓ solides en suspension ↓ nutriments ↓ DCO	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.3.2. Traitement anaérobie comme première étape du traitement aérobie	s.e.	↓ E Production de biogaz	↓ DCO ↓ DBO	↓	↓ boues	MTD relative aux qualités de marrons Facilite le traitement aérobie
7.2.2. Traitement biologique des eaux résiduaires	↑	↑	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	↑ boues	↑
7.2.7. Traitement in situ des rejets et des boues : égouttage	↑	↑	↑ débit de la station de traitement des eaux résiduaires ↑ charge polluante	s.e.	↓ boues	À tous les degrés de pollution

↑ = augmentation ; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions ; MTD : Meilleures techniques disponibles.

Traitements finaux pour la minimisation de la pollution (TFMP) dans le cadre de la fabrication de papier

Tableau 7.1.5. TFMP dans le cadre de la production de papier et leur impact sur l'environnement

TFMC	Effets sur les niveaux d'émission et de consommation (effets croisés)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (A)	Effluents d'eaux résiduaires	Émissions atmosphériques	Déchets solides	Applicabilité
7.2.2. Traitement biologique des eaux résiduaires	↑	↑	↓ DBO ↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	↑ boues	↑
7.3.3. Traitement tertiaire des eaux résiduaires avec précipitation chimique	↑	↑	↓ N ↓ P ↓ matière organique	s.e.	↑ boues	Traitement des boues
7.3.4. Contrôle des inconvénients potentiels de la fermeture du circuit d'eau	↑	↓ A	↓	s.e.	s.e.	Permet de réduire la consommation d'eau claire À tous les degrés de pollution
7.2.4. Installation de brûleurs à basse émission de NOx	s.e.	s.e.	s.e.	↓	s.e.	À tous les degrés de pollution
7.2.5. Diminution du bruit extérieur	s.e.	s.e.	s.e.	↓ bruit	s.e.	À tous les degrés de pollution
7.2.7. Traitement in situ des rejets et des boues : égouttage	↑	↑ E	s.e.	s.e.	↓ volume	À tous les degrés de pollution
7.2.8. Combustion des boues de désencrage	s.e.	↑↓	s.e.	↑↓	↓	Récupération d'E (vapeur)

↑ = augmentation ; ↓ = diminution ; s.e. = sans effet (ou insignifiant) ; (↑/↓) = peut produire des effets ou pas, l'impact dépend des conditions.

7.2. FICHES CORRESPONDANT AUX TRAITEMENTS FINAUX POUR LA MINIMISATION DE LA POLLUTION (TFMP) SÉLECTIONNÉS

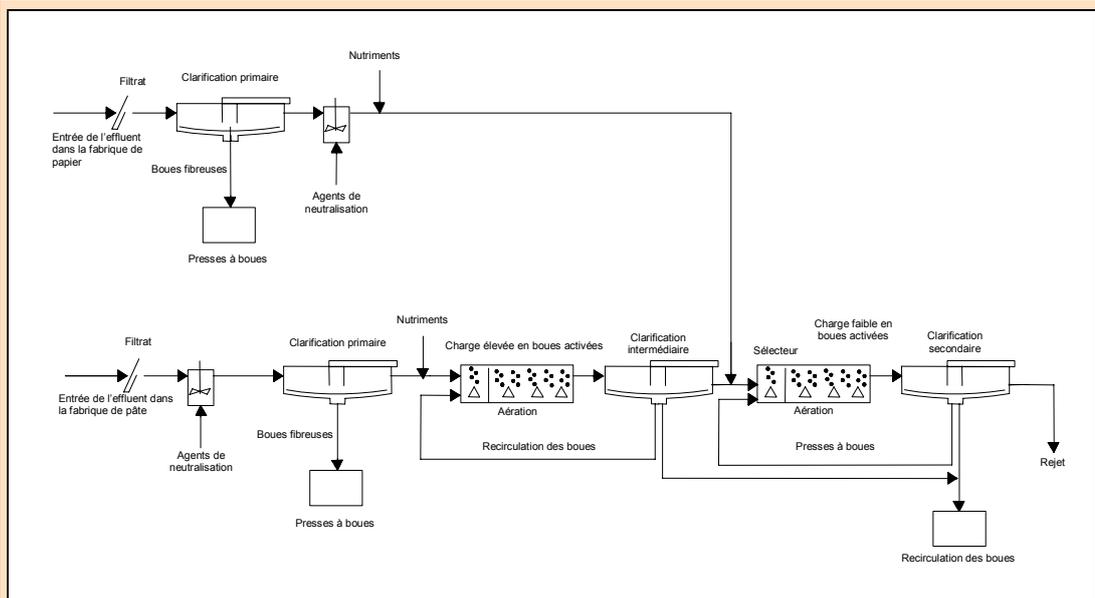
Traitement final pour la minimisation de la pollution (TFMP)	7.2.1. FICHE THÉORIQUE
Procédé	Procédé de production auquel s'applique le TFMP.
Étape / Opération	Étape ou opération modifiée, incluse ou supprimée afin de pouvoir mettre en œuvre le TFMP.
Problématique environnementale	Répercussions les plus importantes sur l'environnement du procédé de production original, limitées ou diminuées par l'application du TFMP.
Bénéfices potentiels de l'APPS	Principaux avantages liés à l'application du TFMP.
Description	Bases scientifiques et technologiques sur lesquelles se fonde le TFMP et description de leur principe de fonctionnement.
Procédure	Description des techniques les plus répandues pour l'intégration du TFMP dans le procédé de production.
Commentaires	Informations complémentaires sur les sections précédentes .
Aspects économiques	Dans la mesure du possible, nous fournirons une estimation des coûts d'implantation et d'exploitation de ces TFMP. Les données fournies sont extraites du document de référence : BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry (2001).

Alternative en matière de production propre (PP)	7.2.2. TRAITEMENT BIOLOGIQUE DES EAUX RESIDUAIRES
Procédé	Production de pâte et de papier..
Étape / Opération	Usines de production de pâte et de papier.
Problématique environnementale	Eaux résiduaires à forte teneur en composés organiques.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	Réduction de la charge organique des déversements de l'usine.
Description	<p>Il s'agit d'une technologie très répandue depuis les années 1980 qui permet d'éliminer la matière organique dégradable présente dans les eaux résiduaires des usines de pâte et de papier. Des traitements aérobies sont employés dans la majorité des cas. Dans certains cas particuliers, notamment dans les usines de production de pâte ou de papier d'emballage récupéré, un traitement anaérobie est employé comme étape préalable (6.3.9.). Le choix d'une technique ou d'une autre dépend essentiellement de la charge polluante des eaux à traiter.</p>
	<p>Figure 7.2.1. Principaux procédés de traitement externe des eaux résiduaires d'une fabrique de papier et niveaux d'application appropriés (HCR : High performance compact reactor)</p>

	<p><u>Lagunes d'aération</u></p> <p>Ils s'appliquent aux eaux dont la concentration de DCO est supérieure à 300 mg/l. Requièrent une grande surface pour assurer un temps de latence des eaux résiduaires relativement long (3 à 20 jours). La concentration de micro-organismes est faible (100-300 mg/l) ce qui signifie que le traitement est peu efficace. Les aérateurs de surface à turbine sont les unités d'aération les plus courantes. Les aérateurs de fond avec alimentation à air induit ou comprimé sont également employés. Le dispositif d'aération permet le mélange nécessaire pour maintenir les solides en suspension et l'activité microbiologique.</p> <p>Les taux d'efficacité types d'élimination des polluants correspondant à un temps de latence compris entre 15 et 30 jours sont les suivants : 40-85 % pour la DBO₅, 30-60 % pour la DCO et 20-45 % pour les AOX. L'azote et le phosphore ne sont pas éliminés.</p> <p>La boue ou les sédiments précipités sont retirés tous les 1 à 10 ans.</p> <p>En pratique, ce type de système n'a pas encore été installé en raison de la grande quantité d'espace qu'il nécessite, de sa faible efficacité, du faible rendement énergétique associé à l'aération et au mélange, de l'apparition de brume, de problèmes liés à la formation de mousses et aux odeurs de l'effluent final, etc.</p> <p><u>Boues activées</u></p> <p>Il s'agit du procédé le plus utilisé. Il s'applique aux eaux dont la concentration de DCO est supérieure à 300 mg/l. Ce procédé a pour avantage d'offrir des rendements élevés et la possibilité de contrôler le processus (notamment la consommation d'oxygène). En outre, il requiert relativement peu d'espace.</p> <p>Les taux typiques de réduction de polluants sont les suivants : 85-99 % de DBO₅, 60-90 % de DCO, 40-65 % d'AOX, 40-85 % de phosphore et 20-50 % d'azote. Un traitement complet des eaux résiduaires (traitement primaire et secondaire) offre une efficacité d'élimination des solides en suspension de 85-90 %.</p> <p>Ce procédé a pour principaux inconvénients une vulnérabilité relativement importante face aux altérations, laquelle se traduit par une instabilité opérationnelle du système, la production de gros volumes de boues biologiques et un coût d'exploitation élevé.</p> <p>Il existe des alternatives aux traitements par boues activées, plus compactes et moins coûteuses. Toutefois, l'expérience relative à de telles installations est plus limitée.</p>																		
<p>Procédure</p>	<p>Le système à boues activées inclut un réacteur à boues activées dans lequel a lieu la dégradation de la matière organique, ainsi qu'un clarificateur destiné à séparer la boue des eaux traitées. La majeure partie des boues sont recyclées vers le réacteur afin de maintenir une concentration élevée de micro-organismes, ce qui suppose un temps de latence des eaux résiduaires dans le réacteur court (15-48 h). L'oxygénation et le mélange dans le réacteur biologique sont réalisés par le biais de systèmes mécaniques d'aération. Les dispositifs les plus courants sont les aérateurs de surface, les turbines immergées et, parmi les équipements dotés d'insufflateurs et compresseurs d'air, les aérateurs à fines bulles et les aérateurs jet.</p> <p>L'excédent de boues est retiré par purge (0,3-0,6 kg de boues/kg de DBO₅ éliminée en fonction de la charge de micro-organismes et de polluants). Les boues ainsi obtenues sont épaissies et égouttées. Le cas échéant les boues sont brûlées dans des chaudières auxiliaires à écorces ; si cela n'est pas possible, elles doivent être correctement évacuées vers des sites d'enfouissement contrôlés.</p>																		
<p>Commentaires / Exemples d'application</p>	<p>Tableau 7.2.1. Concentrations (en mg/l) de l'effluent après traitement biologique par boues activées pour différents types d'usine</p> <table border="1" data-bbox="472 1615 1422 1753"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>DBO₅</th> <th>DQO</th> <th>TSS</th> <th>P total</th> <th>N total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pâte kraft</td> <td>20-40</td> <td>300-500</td> <td>20-40</td> <td>0,2-0,4</td> <td>2-4</td> </tr> <tr> <td>Papier</td> <td>5-20</td> <td>< 230</td> <td>< 30</td> <td>< 1</td> <td>< 10</td> </tr> </tbody> </table> <p>La consommation d'énergie pour l'élimination d'1 kg de DBO₅ varie de 0,3 à 3 kWh en fonction de l'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique et de la charge en micro-organismes du système. Les systèmes à charge élevée associés à un agencement et un fonctionnement optimums de l'usine, permettent de maintenir les niveaux de consommation au-dessous de 1 kWh/kg de DBO₅ éliminée.</p> <p>La teneur en nutriments des eaux résiduaires des fabriques de papier est généralement peu élevée : l'ajout contrôlé de phosphore et d'azote est donc nécessaire.</p> <p>Pour contrôler les problèmes d'eutrophisation dans les lits de déversement, il faut éviter tout</p>	Usine	DBO ₅	DQO	TSS	P total	N total	Pâte kraft	20-40	300-500	20-40	0,2-0,4	2-4	Papier	5-20	< 230	< 30	< 1	< 10
Usine	DBO ₅	DQO	TSS	P total	N total														
Pâte kraft	20-40	300-500	20-40	0,2-0,4	2-4														
Papier	5-20	< 230	< 30	< 1	< 10														

	<p>surdosage de nutriments ainsi que les émissions accidentelles de nutriments. Les usines de PCTM sont typiquement confrontées à ce cas de figure.</p> <p>Des problèmes de séparation des boues peuvent parfois intervenir dans le décanteur secondaire, du fait de la formation de boues volumineuses (bulking). Ces problèmes sont dus à la formation de bactéries filamenteuses ou à une forte rétention hydrique des flocules de boue qui complique la sédimentation. Le développement de boues filamenteuses s'explique principalement par la faible concentration d'oxygène dissous dans le bassin d'aération, par le manque de nutriments, par le faible rapport DBO/micro-organismes et par un gradient de DBO soluble insuffisant. Le « bulking » non-filamenteux est principalement dû à l'aération excessive et à la présence de matière toxique pour les bactéries. Une telle situation peut se présenter notamment dans les eaux issues du blanchiment (une grande partie des agents employés étant des biocides), et dans les eaux provenant de la fabrication du papier, si les agents de contrôle des bactéries dans les circuits des eaux blanches ne sont pas correctement choisis.</p> <p>Afin d'éviter l'émanation de mauvaises odeurs en cas d'élévation de la température, il convient d'optimiser les conditions du processus, en évitant les conditions anoxiques au fond des décanteurs et dans les épaisseurs de boues.</p> <p>Dans certains cas (fabriques de carton et de papier), l'effluent du traitement biologique est partiellement recyclé dans les eaux de procédé de l'usine, ce qui implique une filtration préalable, par exemple au moyen d'un filtre à sable.</p>
<p>Aspects économiques</p>	<p><u>Lagunes d'aération</u></p> <p>Le coût associé à cette technique est fonction du lieu d'implantation et de la façon dont la lagune est construite. Le coût d'investissement peut sensiblement varier : il est généralement compris entre 16 et 20 M euros pour une fabrique de pâte kraft produisant 1 500 t/j. Ce coût couvre également le traitement primaire et la déshydratation des boues. Le coût d'exploitation correspond à 1,3-1,7 M euros/an, ce qui correspond principalement au coût de l'énergie d'électricité requise pour créer les conditions d'oxygénation et de mélange dans la lagune.</p> <p><u>Boues activées</u></p> <p>L'investissement associé à une nouvelle station de traitement par boues activées est d'environ 19-24 M euros pour une fabrique de pâte kraft produisant 1 500 t/j. Cette estimation inclut également le traitement primaire et le traitement ultérieur des boues de purge. Les coûts d'exploitation varient entre 2,0 et 2,6 M euros/an.</p> <p>Pour une fabrique de pâte mécanique intégrée produisant 1 000 t/j, l'investissement s'élève à 13-16 M euros, traitement primaire et systèmes à boues activées inclus. Les coûts d'exploitation correspondants s'élèvent à 1,2-1,5 M euros/an.</p> <p>L'investissement associé à une station de traitement des eaux par boues activées pour une fabrique de papier d'impression produisant 200 t/j est estimé à 2 M euros et à 1,5 M euros pour une usine de carton produisant 100 t/j.</p> <p>Le coût annuel d'exploitation est estimé entre 300 et 600 euros/kg de DCO éliminée par jour.</p>

Figure 7.2.2. Traitement biologique des eaux résiduaires par boues activées



Alternative en matière de production propre (PP)	7.2.3. CAPTAGE ET TRAITEMENT DES GAZ MALODORANTS
Procédé	Production de pâte chimique.
Étape / Opération	<p>Gaz de volume élevé et faible concentration (4 kg de S/t de pâte) Ceux-ci se forment lors du transfert des liqueurs et de la pâte non-blanchie.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rejets de nœuds, bassins de drainage des nœuds et réservoir auxiliaire. • Réservoir de décharge par soufflage et réservoirs de stockage de la pâte. • Systèmes de lavage, réservoir à filtrat et tamis. • délignification à l'oxygène. <p>Gaz de faible volume et concentration élevée (0,5 kg de S/t de pâte). Ceux-ci se forment lors des processus de cuisson et d'évaporation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systèmes d'évaporation des liqueurs noires. • Réservoirs Flash. • Réservoir de décharge par soufflage. • Vaporisation des copeaux, en cas d'utilisation de vapeur vive. • Accumulateur du récupérateur de chaleur du soufflage. • Éléments non-condensés émanant des condensateurs. • Unité de préhydrolyse. • Puits barométrique ou bassin d'accumulation des condensats
Problématique environnementale	Émission de TRS.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	Réduction des émissions de TRS à plus de 90 %
Description	<p>Cette alternative peut être appliquée aux gaz à faible et/ou à haute concentration, mais il convient de conserver des circuits distincts.</p> <p>Captage par aspiration des gaz.</p> <p>Acheminement vers les systèmes d'élimination.</p> <p>Traitement des gaz par incinération Les gaz de faible concentration autorisent également leur épuration.</p>
Procédure	<p>Les gaz sont captés et acheminés vers des systèmes de traitement à travers un circuit qui répond aux exigences suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • une pression négative doit être maintenue au niveau de tous les points ouverts ; • le circuit doit disposer d'un système de vannes afin de fermer les points captage lorsque ceux-ci fonctionnent ; • le circuit doit être doté de lignes de by-pass avec indicateurs de flux pour l'évacuation des gaz vers la cheminée ; • les lignes de by-pass doivent inclure des vannes de sécurité ; • la concentration des composés inflammables doit être maintenue au-dessous de la limite inférieure d'explosion. Cet aspect est particulièrement important pour le circuit de gaz de faible volume et forte concentration. <p>Les gaz sont ensuite traités par incinération dans la chaudière de récupération, dans le four à chaux équipé d'un épurateur de SO₂, ou encore dans un incinérateur auxiliaire doté d'un épurateur de SO₂. Un lavage alcalin ou oxydant des gaz peut être réalisé alternativement à l'incinération, notamment pour les gaz dilués.</p>

<p>Commentaires / Exemples d'application</p>	<p>Cette alternative est applicable aux nouvelles fabriques comme aux structures existantes. Dans ce dernier cas, la mise en œuvre dépend des coûts d'adaptation associés au captage des gaz et à leur acheminement vers le système de traitement.</p> <p>Les usines qui recourent à des digesteurs à alimentation continue ou à des systèmes de lavage à diffuseurs au lieu de systèmes de lavage pressurisés produisent moins de gaz de faible concentration.</p> <p>La transformation thermique des gaz non-condensés implique le contrôle approprié des conditions de fonctionnement du four : température de combustion, flux de gaz et temps de latence des gaz.</p> <p>Les problèmes qui se posent sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de la température et du temps de latence : il est établi qu'un temps de latence de 0,75 secondes, et une température de 875 °C suffisent à une transformation totale des TRS. • Émission de TRS non traité : les conditions de flux doivent éviter les chemins préférentiels et les rétomélanges dans le four. • Retours accidentels de gaz du four vers les conduits d'alimentation des gaz malodorants : installation de vannes anti-retour et d'extincteurs. • Augmentation de la concentration de SO₂. • Présence de SO₃ par oxydation de 5 à 10 % du SO₂ formé, ayant une tendance à la formation de brume. <p>Les gaz du four doivent être épurés de leurs particules et du SO₂.</p> <p>L'application de cette technique peut entraîner des effets croisés tels que l'augmentation des émissions de SO₂ et NOx dans les gaz de combustion si les mesures appropriées ne sont pas prises et l'augmentation de la consommation d'énergie nécessaire à l'aspiration des gaz.</p> <p>Une autre alternative, en cours de développement, pour le traitement des gaz de faible concentration consiste à mélanger ces derniers avec les gaz provenant des systèmes de lavage de l'étape de blanchiment. Les gaz ainsi obtenus passent dans le système de lavage alcalin de l'étape de blanchiment.</p> <p>Cette solution n'implique aucune dépense d'agent réactif dans la mesure où l'installation est dotée d'un système de blanchiment au dioxyde de chlore ou de lavage alcalin des gaz de blanchiment, d'une capacité suffisante pour recevoir les gaz contenant des composés de soufre.</p> <p align="center">Tableau 7.2.2. Relations molaires nécessaires pour l'oxydation des TRS</p> <table border="1" data-bbox="587 1323 1236 1581" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr style="background-color: #ff0000; color: white;"> <th>Composé</th> <th>Moles de ClO₂/mol de composé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #fff2cc;"> <td>H₂S</td> <td align="center">8:1</td> </tr> <tr style="background-color: #fff2cc;"> <td>CH₃SH</td> <td align="center">2:1</td> </tr> <tr style="background-color: #fff2cc;"> <td>(CH₃)₂S</td> <td align="center">1:1</td> </tr> <tr style="background-color: #fff2cc;"> <td>(CH₃S)₂</td> <td align="center">1:1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Les études réalisées par Paprican ont permis d'observer des taux de réduction d'émissions de 75 à 79 % et des concentrations de sortie de TRS inférieures à 3 ppm.</p>	Composé	Moles de ClO ₂ /mol de composé	H ₂ S	8:1	CH ₃ SH	2:1	(CH ₃) ₂ S	1:1	(CH ₃ S) ₂	1:1
Composé	Moles de ClO ₂ /mol de composé										
H ₂ S	8:1										
CH ₃ SH	2:1										
(CH ₃) ₂ S	1:1										
(CH ₃ S) ₂	1:1										
<p>Aspects économiques</p>	<p>L'investissement associé à cette alternative de captage et de traitement des gaz pour une usine produisant 1 500 t de pâte par jour est estimé à :</p> <p>Incinération dans la chaudière de récupération : 3,6-4,5 M euros.</p> <p>Incinération dans le four à chaux avec épurateur : 4-5 M euros pour une nouvelle usine, et 5-8 M euros pour une fabrique existante.</p> <p>Incinération dans un four auxiliaire avec épurateur : 7-8 M euros pour une nouvelle usine, et 8-11 M euros pour une fabrique existante.</p> <p>Les coûts d'exploitation varient entre 0,3 et 0,5 M euros/an.</p>										

Alternative en matière de production propre (PP)	7.2.4. INSTALLATION DE BRULEURS A BASSE EMISSION DE NO_x
Procédé	Production de pâte chimique.
Étape / Opération	Chaudières auxiliaires à écorces, fioul, charbon ou gaz naturel avec ou sans cycle combiné. Chaudière de récupération. Four à chaux.
Problématique environnementale	Émissions d'oxydes de nitrogène.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<p>Réduction des émissions d'oxydes d'azote La réduction dépend du type de chaudière, du combustible utilisé et du brûleur choisi.</p> <p>Par rapport aux brûleurs conventionnels de chaudière auxiliaire, caractérisés par des volumes d'émission compris entre 250 et 500 mg de NO_x/MJNO_x, les brûleurs bas NO_x peuvent atteindre des niveaux de 120-140 mg de NO_x/MJ.</p> <p>La diminution du taux de NO_x dans les chaudières de récupération est estimée entre 10 et 25 %, mais ces valeurs varient d'une chaudière à l'autre.</p> <p>Étant donné que le NO_x présente un potentiel d'acidification et peut accroître les problèmes d'eutrophisation des eaux de surface, il est important de contrôler les émissions de NO_x.</p>
Description	<p>La formation d'oxydes d'azote à lieu, en grande partie, dans les combustibles chargés d'azote organique suite à la combinaison chimique de l'azote et de l'oxygène contenu dans l'air. Pour éviter la formation de NO_x, il convient d'éviter certaines conditions, à savoir des températures de combustion élevées et une atmosphère oxydante.</p> <p>Les technologies de réduction des émissions de NO_x durant la combustion sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • brûleurs bas NO_x (Low-NO_x burners [LNB]) avec ou sans apport d'air au-dessus de la couche en ignition (Over Fire Air [OFA]) ; • recombustion de charbon ou de fioul. <p>L'utilisation de gaz naturel comme combustible dans les systèmes à cycle combiné réduit les émissions de NO_x à plus de 50 % par rapport aux autres combustibles. Les émissions d'oxydes d'azote dans les systèmes à cycle combiné sont contrôlées au moyen de brûleurs à basse émission de NO_x sans injection d'eau, lors de la combustion du gaz naturel. En cas d'utilisation du combustible secondaire (gasoil) dans les situations d'urgence, ces émissions sont contrôlées par l'injection d'eau ou de vapeurs dans la chambre de combustion des turbines à gaz.</p> <p>La technologie de recombustion consiste, dans un premier temps, à injecter le charbon ou le fioul et l'air primaire, dans des proportions inférieures à la stœchiométrie, afin de créer une zone réductrice à faible formation de NO_x. L'étape suivante correspond à l'introduction de l'air secondaire et tertiaire afin de compléter la combustion du charbon avec moins de 3 % d'éléments non-brûlés dans les cendres. Selon la géométrie de la chambre de combustion, la zone de recombustion peut être agrandie via l'injection d'air par des tuyauteries latérales situées sur les parois réfractaires de la chambre de combustion, dans le but d'obtenir des concentrations de NO_x inférieures à 100 ppm dans la zone de réduction, sans que cette amélioration ne soit pénalisée par la formation de CO et l'augmentation des éléments non-brûlés dans les cendres.</p>
Procédure	<p>Dans les brûleurs bas NO_x, la zone centrale de combustion est en défaut d'air, si bien que la température de cette zone est limitée par ce défaut d'air et l'atmosphère devient réductrice ; la combustion est complétée par l'introduction d'air secondaire dans la zone extérieure de la flamme.</p> <p>Il est également possible de recourir à des brûleurs avec apport d'air au-dessus de la couche en ignition qui, à la différence des brûleurs que nous venons de décrire, incluent également l'introduction d'air tertiaire (entre 10 et 25 %) sur la zone de flamme, ce qui permet de créer une atmosphère extérieure oxydante.</p>
Commentaires / Exemples d'application	<p>Les brûleurs bas NO_x peuvent être installés dans une chaudière existante comme dans une nouvelle.</p> <p>Les brûleurs LBN, réduisent les émissions d'oxydes d'azote dans des proportions comprises entre 30 et 55 %.</p> <p>L'option LBN + OFA, permet d'atteindre des taux de réduction d'émissions de NO_x de 40 à 60 % inférieures à ceux obtenus avec un brûleur conventionnel.</p> <p>L'application de cette technique présente un effet croisé : l'augmentation des émissions de CO en cas d'absence de contrôle adéquat.</p>
Aspects économiques	<p>L'investissement requis se situe autour de 0,5-0,8 M euros pour une usine produisant 1 000 t de papier par jour. Les coûts d'exploitation s'élèvent à 0,1-0,2 M euros/an.</p> <p>Pour des usines kraft produisant 250 000 et 500 000 t/an, l'investissement est estimé à 1,7 et 2,3 M euros, respectivement. Les coûts d'opération ne sont pas affectés.</p>

Alternative en matière de production propre (PP)	7.2.5. DIMINUTION DU BRUIT EXTERIEUR
Procédé	Usine de pâte et/ou de papier.
Étape / Opération	Digesteurs. Chaudière de récupération. Fendeuses à bois. Convoyeurs de copeaux. Tambours d'écorçage. Raffineurs. Machine à papier. Séchoirs.
Problématique environnementale	Production de bruit.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	Diminution des émissions sonores.
Description	Une usine de pâte ou de papier présente de nombreuses sources de bruit. Après identification des processus les plus bruyants, la technique la plus courante pour minimiser le bruit est le confinement dans des cabines d'insonorisation, afin de réduire le bruit extérieur dans une fourchette de 80 à 85 dB.
Procédure	Confinement de l'usine de pâte, y compris le système de déchargement des troncs. Confinement de l'usine de désencrage. Confinement de la machine à papier. Amélioration des systèmes mécaniques : transmissions, réductions. Utilisation de supports élastiques (silent-blocks). Comme exemple de mesure de contrôle du bruit produit par la machine proprement dite, nous pouvons citer : les cloches d'isolement sonore renforcé, l'installation de silencieux sur les pompes et circuits sous vide et sur les ventilateurs internes et externes d'extraction de buées, etc.
Commentaires / Exemples d'application	La fendeuse de bois peut présenter une grande puissance sonore, avec des niveaux compris entre 100 et 120 dB. Le confinement par panneaux acoustiques permet de ramener le niveau sonore à 80 dB.

Alternative en matière de production propre (PP)	7.2.6. MINIMISATION DES DECHETS VERS LES SITES D'ENFOUISSEMENT DES USINES DE PATE MECANIQUE
Procédé	Fabrication de pâte mécanique.
Étape / Opération	Élaboration de la pâte.
Problématique environnementale	Les déchets présentent un taux d'humidité élevé, ce qui explique la production de lixiviats dans les sites d'enfouissement ainsi qu'une plus grande consommation d'énergie pour leur combustion.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	Réduction du volume de déchets. Récupération d'énergie.
Description	À l'exception de l'écorce provenant de l'écorçage du bois, les rejets, boues et autres déchets solides, en général issus des fabriques de pâte mécanique, sont acheminés en milieu aqueux jusqu'à la station de traitement où ils sont retirés avec un taux d'humidité élevé en vue d'être envoyés dans des sites d'enfouissement. Le pressage de ces déchets permet d'extraire une grande quantité d'eau, jusqu'à atteindre un taux de siccité autorisant leur incinération et donc la production d'énergie.
Procédure	Différents types d'équipements mécaniques permettent de mener à bien cette opération : <ul style="list-style-type: none"> • Filtro de bandas. • Filtre à bandes. • Presses à vis.

	<p>En ce qui concerne l'incinération de ces déchets, deux options sont disponibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> • incinération avec les écorces dans la chaudière à écorces ; • incinération séparée des déchets. <p>Ainsi, ces déchets peuvent être brûlés seuls ou avec un combustible auxiliaire pour produire de l'énergie. (L'alternative 6.2.18. décrit en détail le processus d'incinération avec récupération d'énergie).</p>
Commentaires / Exemples d'application	<p>Tous les types de presses ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants en termes d'élimination de l'eau contenue dans les déchets. Ces dernières années, nous avons assisté à un développement de l'utilisation des presses à vis, dû à un plus grand intérêt dans l'incinération des boues, qui requiert des solides plus secs.</p> <p>De nombreuses fabriques pratiquent l'incinération dans des chaudières à écorces. L'incinération séparée des déchets est également largement éprouvée. Toutefois, ce procédé suppose l'utilisation d'un combustible additionnel et, normalement, ne permet pas la récupération d'énergie.</p> <p>La technique de combustion intégrée des boues et autres déchets, avec séchage préalable par les flux de gaz de la chaudière, augmente considérablement le rendement thermique.</p> <p>La combustion de ces déchets produit des émissions de particules solides, d'oxydes d'azote et de soufre qui doivent être contrôlées avant leur évacuation par la cheminée.</p> <p>Lors de l'incinération des boues, l'usage de chaudières à lit fluidisé est recommandé car celles-ci présentent une grande flexibilité et sont plus efficaces. Elles entraînent, en outre, moins d'émissions de composés volatils dans l'atmosphère.</p> <p>Dans la chaudière à lit fluidisé, la diminution des émissions de NO_x est principalement liée à la température de combustion plus basse, tandis que les émissions de SO₂ sont contrôlées par l'ajout de calcaire ou dolomite, qui réagit avec le SO₂, en se déposant sous forme solide avec les cendres du lit de la chaudière. Les émissions de particules doivent être contrôlées par le biais d'ESP, de filtres à tissu ou d'épurateurs Venturi.</p>
Aspects économiques	<p>Le coût d'investissement associé à de nouveaux incinérateurs à boues est de 5-7 M euros ; le coût d'exploitation s'élève à 0,5-0,6 M euros/an, pour une production de pâte de 700 t/j.</p> <p>Le bénéfice financier peut être déduit à partir de l'évaluation de l'énergie thermique et électrique produite comparée à l'investissement et aux coûts d'exploitation.</p>

Alternative en matière de production propre (PP)	7.2.7. TRAITEMENT IN SITU DES REJETS ET DES BOUES (EGOUTTAGE)
Procédé	Cette technique est davantage destinée au processus de fabrication de papier à partir de papier de récupération, bien que l'égouttage représente un concept environnemental dans tout processus de fabrication de pâte et de papier.
Étape / Opération	Épuration de la pâte, traitement des eaux.
Problématique environnementale	Normalement, les rejets issus de la fabrication de papier à partir de papier de récupération ne présentent aucun potentiel de recyclage et sont acheminés vers des sites d'enfouissement contrôlés, ce qui entraîne une accumulation des déchets dans ces sites et la production de lixiviats.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du volume de déchets déposés dans les sites d'enfouissement. • Production d'énergie renouvelable. <p>En fonction du type de rejet et du système voulu, la teneur en eau des déchets peut être réduite de 40 à 75 %.</p> <p>Pour les déversements de rejets dans les sites d'enfouissement, l'assèchement préalable permet de réduire le volume de déchets (jusqu'à 20 fois) et minimise les problèmes de production de lixiviats.</p> <p>Lorsque les rejets sont brûlés dans les usines de production d'énergie ou dans les fours de fabrication de ciment, les besoins énergétiques pour l'évaporation de l'eau dans les rejets diminuent. Ceci contribue à récupérer davantage d'énergie.</p>
Description	Les processus d'épuration de la pâte entraînent la production de rejets et de boues qui doivent être traités convenablement. Ces rejets peuvent représenter de 4 à 8 % du papier de récupération traité, selon la qualité de ce dernier, des étapes d'épuration menées à bien et de la qualité du produit final. Les rejets se divisent en trois groupes : lourds/grands, grossiers, et légers/fins. Ces rejets ne

	<p>présentent aucun potentiel de recyclage et sont envoyés dans des sites d'enfouissement contrôlés.</p> <p>Le traitement des eaux résiduaires produit également des boues. Les boues du traitement primaire peuvent très souvent être réutilisées directement.</p> <p>L'excédent de boues biologiques et de boues issues du traitement chimique sont assez difficiles à égoutter, aussi sont-elles parfois mélangées aux boues de traitement primaire. Si nécessaire, les boues sont épaissies dans des épaisseurs par gravité (jusqu'à 3-4 %) avant d'être égouttées. Il est également possible de recourir à des produits chimiques afin de provoquer l'agglomération des boues et faciliter l'élimination de l'eau.</p> <p>Les boues biologiques peuvent être réutilisées dans certains cas, comme par exemple dans les fabriques de carton. Le taux de réutilisation des boues est généralement inférieur de 1 % (en poids sec) à celui du papier de récupération transformé. Cette quantité infime peut être utilisée comme matière première pour la production de papier, sans aucune répercussion sur le processus ni sur la qualité du produit. Le cas échéant, les opérations d'assèchement sont inutiles.</p> <p>Un assèchement préalable, minimisant les coûts de transport, est essentiel en vue de la réutilisation ou du déversement final de ces déchets.</p>
Procédure	<p>Lors de l'assèchement des rejets à gros grammage et des rejets grossiers, divers types de tamis et trieurs sont utilisés pour obtenir une teneur en solide de 60-80 %. L'assèchement des rejets fins a lieu dans des presses à toile ou des tamis à vibration et, le cas échéant, dans des presses à vis afin d'obtenir une teneur en solides de 50-65 %.</p> <p>Les boues biologiques doivent être égouttées jusqu'à 25-50 %, en fonction de la quantité de fibres qu'elles contiennent, au moyen de tables à gravité, presses à vis, décanteurs centrifuges et filtres-presses.</p>
Commentaires / Exemples d'application	<p>Cette technique peut être appliquée aux nouvelles fabriques comme aux installations existantes.</p> <p>L'assèchement des rejets implique une augmentation du volume d'eau résiduaire à traiter. Les eaux produites présentent une composition semblable aux eaux de procédé.</p>
Aspects économiques	<p>Le coût d'investissement associé à l'assèchement des rejets jusqu'à obtention d'une teneur en solides de 65 % se situe autour de 0,2 M euros. Le coût de maintenance annuel est de l'ordre de 25 000 euros. Ces estimations correspondent à un traitement des rejets annuel de 13 000 tonnes de substance sèche.</p> <p>L'investissement requis pour un système d'égouttage des boues dans une usine de papier désencré se répartit comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presse à toile : 1,5-1,8 M euros. • Presse à vis : 1,7-2,0 M euros. • Centrifugeuse : 0,7-0,9 M euros.

Alternative en matière de production propre (PP)	7.2.8. COMBUSTION DES BOUES DE DESENCRAGE
Procédé	Fabrication de papier recyclé.
Étape / Opération	Désencrage : déshydratation des boues déshydratées.
Problématique environnementale	Le dépôt des boues de désencrage dans des sites d'enfouissement entraîne l'accumulation des déchets et la production de lixiviats et de gaz.
Bénéfices potentiels de l'alternative de PP	<ul style="list-style-type: none"> • Diminutions des déchets, réduction des problèmes liés aux décharges. • Minimisation du déchet. • Occasionnellement, exploitation des cendres.
Description	Combustion sur lit fluidisé, avec production de vapeur et réduction sélective non-catalytique des oxydes d'azote, épuration des gaz au moyen de filtres à tissu.
Procédure	<p>Les boues de désencrage présentant une teneur en cendres de 47 % et une concentration moyenne de solides de l'ordre de 55 %, après déshydratation dans un filtre-presses et séchage dans un tambour rotatif, sont envoyées dans une chaudière à lit fluidisé. Elles y sont brûlées et produisent de la vapeur. Cette technologie s'applique à la combustion de matière à faible pouvoir calorifique, et se caractérise par une production minimale de polluants atmosphériques dangereux.</p> <p>On utilise un système à réduction sélective non-catalytique d'oxydes, en injectant une solution</p>

aqueuse d'ammoniaque à 19 % via des pulvérisateurs périphériques situés sur le lit fluidisé, ou en ajoutant de l'urée solide afin de diminuer les émissions de NO_x. Il est également possible de réduire les émissions de SO₂ par l'ajout de carbonate de calcium dans le lit fluidisé.

Le faible pouvoir calorifique des boues requiert un préchauffage de l'air, à l'aide des gaz de sortie, pour atteindre une température de combustion d'environ 750 °C qui favorise la rétention des composés de soufre des cendres alcalines, et évite la décomposition thermique des carbonates.

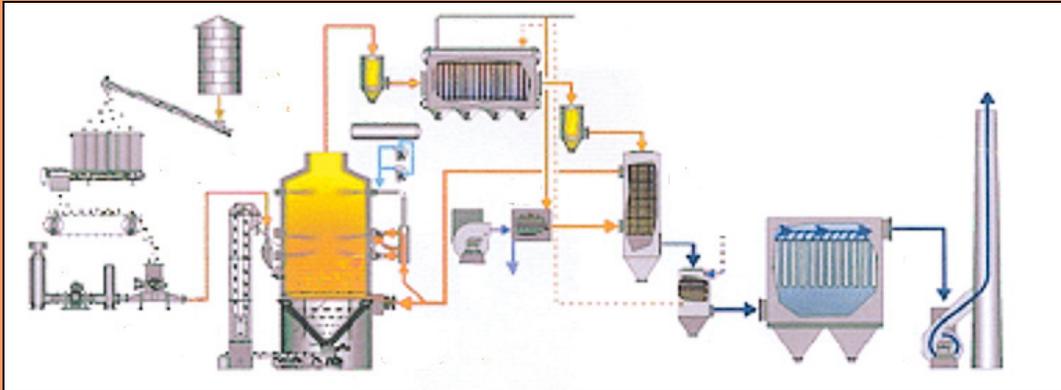


Figure 7.2.3. Schéma relatif au processus de combustion des boues de désencrage

Les boues de désencrage sont considérées comme source d'énergie renouvelable n'augmentant pas les émissions de CO₂ dans l'atmosphère.

Les gaz de combustion sont épurés de leurs particules au moyen d'un filtre à manches. Les taux d'émissions types sont les suivants :

Tableau 7.2.3. Constituants types des gaz

Constituant	Constituant	Limite (1 h)	Limite (24 h)
Particules	mg/m ³ N à 10 % O ₂	30	10
SO ₂	mg/m ³ N à 10 % O ₂	50	
NO _x	mg/m ³ N à 10 % O ₂	200	
CO	mg/m ³ N à 10 % O ₂	100	50
HCl	mg/m ³ N à 10 % O ₂	30	10
HF+HBr	mg/m ³ N à 10 % O ₂	2.0	
HCN	mg/m ³ N à 10 % O ₂	0,5	
P ₂ O ₅	mg/m ³ N à 10 % O ₂	5	
VOC	mg/m ³ N à 10 % O ₂	20	10
PCB+PCDF+PCT	mg/m ³ N à 10 % O ₂	0,1	
PAH	mg/m ³ N à 10 % O ₂	0,05	
Métaux totaux	mg/m ³ N à 10 % O ₂	0,5	
Cd+Hg+Tl	mg/m ³ N à 10 % O ₂	0,1	
PCDD+PCDF (TEF équiv.)	mg/m ³ N à 10 % O ₂	0,1	0.1

Commentaires / Exemples d'application

7.3. AUTRES TRAITEMENTS POUR LA MINIMISATION DE LA POLLUTION (TMP) À PRENDRE EN CONSIDÉRATION

7.3.1. Traitement primaire des eaux résiduaires

Définition

Les eaux résiduaires des fabriques de pâte et de papier présentent une forte teneur en solides en suspension (résidus d'écorces, fibres, fines, charges minérales, agents de couchage, etc.) et en solides colloïdaux et dissous (extractifs, amidon, résidus de produits chimiques, adhésifs, etc.)

Depuis des dizaines d'années, l'élimination des solides en suspension par sédimentation est une pratique très courante. Le pourcentage d'élimination des solides varie en fonction du type d'usine, c'est-à-dire en fonction de la quantité de solides sédimentables (80 % pour les fabriques de pâte kraft, 70 % pour les usines de désencrage, 80-95 % pour les fabriques de papier). En complément, la matière organique est également éliminée (20 % pour les usines intégrées et plus de 80 % pour les fabriques de papier mousseline ou de papier d'emballage).

Une autre technique, très répandue actuellement pour l'élimination des solides en suspension, est la flottation à air dissous, qui offre un taux d'efficacité allant jusqu'à 98 % (mesure 6.2.7).

Afin d'augmenter les rendements d'élimination des solides en suspension et colloïdaux, il est possible de procéder à un traitement par coagulation-floculation préalablement au processus de sédimentation ou flottation. L'utilisation de coagulants (sels d'aluminium et de fer, polychlorures d'aluminium, polyamines, etc.) et/ou de floculants (polyacrylamides, systèmes doubles à microparticules) permet de provoquer la déstabilisation de la matière dissoute et colloïdale présente dans l'eau et de faciliter son élimination ultérieure.

Parfois, seul le traitement primaire de base par tamisage, homogénéisation et/ou neutralisation est employé comme étape préalable au traitement biologique afin d'éviter les charges et les chocs excessifs et améliorer le rendement.

Applicabilité

Le traitement primaire par sédimentation ou flottation est très répandu. Toutefois la déstabilisation chimique de la matière en suspension lors de la dispersion des eaux est essentiellement utilisée dans les fabriques de papier.

Aspects environnementaux

Cette alternative permet d'éliminer les solides en suspension. Le traitement par floculation offre un taux d'efficacité de 97-99 % en termes d'élimination des solides en suspension et de 70 % en termes d'élimination de la DCO totale. Toutefois, seulement 10 % de la matière organique dissoute est éliminée. Le rapport DCO/DBO après traitement primaire est de 3, ce qui signifie que la majorité de la matière organique éliminée est faiblement biodégradable, et, de fait, son élimination favorise le traitement biologique ultérieur.

Il convient de considérer que ce traitement produit environ de 3 à 6 kg de boue/m³ d'eau traitée et que ces boues présentent une teneur en eau de 60 à 80 %. Celles-ci sont difficiles à égoutter et doivent être traitées et évacuées correctement.

Aspects économiques

L'investissement requis pour l'instauration d'un traitement physico-chimique dans une fabrique de papier produisant 100 t/j est d'environ 1 M euros. L'installation comprend un bassin

d'homogénéisation, le dispositif de préparation et de dosage des produits chimiques, une unité de coagulation-floculation et l'unité de clarification.

7.3.2. Traitement anaérobie comme première étape du traitement aérobie

Définition

Les fabriques de pâte et de carton incluent une série d'étapes spécifiques entraînant la production d'eaux résiduelles à forte teneur en matière organique biodégradable. Cette alternative de contrôle de la pollution repose sur le traitement biologique anaérobie de ces flux comme étape préalable au traitement biologique.

Dans les usines de pâte chimique, il est possible de séparer et de traiter les condensats issus de l'évaporation des liqueurs : cette technique est considérée comme un TMP (traitement pour la minimisation de la pollution) dans le cadre de la fabrication des pâtes au sulfite. Les fabriques de PCTM utilisent très peu cette méthode car la pâte est très sensible aux altérations du processus. En ce qui concerne les fabriques de papier, cette technique est considérée comme TMP dans les processus de fabrication de « papiers marrons ». Elle peut également être appliquée à la fabrication de papier désencré.

Différents réacteurs anaérobies sont disponibles : réacteurs à contact, réacteurs UASB, réacteurs à lit fixe et réacteurs à lit fluidisé. Le plus important est de maintenir une concentration élevée de biomasse dans le réacteur, grâce à la recirculation des boues après sédimentation dans les réacteurs à contact ou, dans les autres cas, en utilisant un milieu de support de la biomasse dans le réacteur ce qui permet de traiter les eaux avec une plus forte charge organique. Les réacteurs les plus employés sont ceux de type UASB.

Applicabilité

Ce traitement peut être intégré aussi bien dans de nouvelles usines que dans des structures existantes. Il est généralement utilisé en cas de dépassement de la capacité de traitement aérobie de l'usine. Ces traitements sont implantés depuis le début des années 1990.

Si la teneur en sulfate des eaux à traiter est très élevée ($> 1\,000$ mg/l), cette technique ne peut pas être appliquée car elle entraînerait la formation de H_2S , toxique pour les micro-organismes anaérobies. Une concentration de solides en suspension supérieure à 200 mg/l peut également poser des problèmes dans les réacteurs.

Aspects environnementaux

L'efficacité du traitement anaérobie dépend de la façon dont est conçue l'usine et des conditions de fonctionnement de celle-ci. Les valeurs types relatives à l'efficacité d'élimination de la DCO sont comprises entre 60 et 85 % et entre 85 et 95 % pour la DBO.

Ce traitement facilite le traitement aérobie qui intervient ensuite, et réduit la taille de l'installation requise et les coûts d'exploitation associés à celle-ci. En outre, il permet de réduire la production de boues biologiques (70-80 %) dont il favorise la sédimentation.

L'efficacité globale d'un traitement anaérobie + aérobie est de 95-97 % pour la DCO et de 99,0-99,8 % pour la DBO. Aussi, cette technique permet-elle de réduire la charge organique de l'effluent traité à 25-30 kg de DCO/t de pâte et à 0,5-1,5 kg de DCO/t de papier produit. Le traitement combiné augmente la stabilité de l'usine de traitement, ce qui permet d'optimiser le contrôle de la qualité de l'effluent final de la fabrique.

Le biogaz produit ($400-600$ m³/t de DCO éliminée), dont la concentration en méthane est d'environ 65-75 %, peut être utilisé comme combustible dans l'usine même après désulfuration. On estime que 25

à 30 % de l'énergie produite est nécessaire au fonctionnement de l'usine de traitement anaérobie + aérobie des eaux ; le reste peut être utilisé en d'autres points du processus de production.

Aspects économiques

Pour que ce traitement soit rentable, la concentration initiale de DCO dans l'eau doit être supérieure à 2 000 mg/l.

L'investissement associé à un traitement combiné anaérobie + aérobie varie en fonction du volume d'eau à traiter et de la charge organique de celle-ci. Pour une usine qui traite une charge de DCO de l'ordre de 20 à 35 t/j, le coût de l'installation est de 7-12 M euros.

Les coûts d'exploitation, sont de 0,6-1,0 euros/t de papier produit, si l'on tient compte de l'exploitation du biogaz.

7.3.3. Traitement tertiaire des eaux résiduaires avec précipitation chimique

Description

Dans certains cas, une précipitation chimique peut être nécessaire pour favoriser l'élimination des solides en suspension et de la matière colloïdale, ou si cette opération intervient comme traitement tertiaire, pour l'élimination des nutriments et notamment du phosphore. Les substances organiques dissoutes et colloïdales sont déstabilisées au moyen d'un agent chimique pour provoquer leur agglomération puis leur séparation par filtration ou sédimentation. Les produits chimiques utilisés pour la précipitation sont généralement les suivants : seuls d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$, $(Al_n(OH)_mCl_{3n-m})$), sels de fer ($FeCl_3$ y $Fe_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$), chaux ou polyélectrolytes.

Cette mesure est applicable aux structures nouvellement construites et existantes.

Aspects environnementaux

Les résultats des études portant sur la combinaison du traitement biologique et de la précipitation chimique comme traitement tertiaire, réalisées sur une usine pilote en Suède, démontrent qu'il est possible d'atteindre des taux de réduction de 80-90 % pour le phosphore, de 30-60 % pour l'azote, de 80-90 % pour la DCO et de 80-90 % pour les AOX.

Aspects économiques

Le coût d'investissement pour une fabrique de pâte kraft ayant une capacité de production de 250 000 t/an est de 2,6 M euros et de 3,8 M euros pour une fabrique d'une capacité de 500 000 t/an. Le coût d'investissement inclut le bassin d'homogénéisation, le dispositif de préparation et de dosage des réactifs, les unités de précipitation et de floculation et le clarificateur tertiaire.

Le coût d'exploitation associé au traitement tertiaire est estimé à environ 50 000 euros/an.

7.3.4. Contrôle des inconvénients potentiels de la fermeture du circuit d'eau de la machine à papier

Définition

La fermeture des circuits exige des connaissances, de l'expérience ainsi qu'une action de contrôle du système hydraulique appropriée afin d'éviter les inconvénients que cette technique comporte.

Comme nous l'avons indiqué, la fermeture des circuits entraîne l'accumulation des solides en suspension, dissous et colloïdaux de nature organique, inorganique et microbiologique. En fonction

des matières premières utilisées, du type d'eau claire et des composés chimiques employés, la fermeture des circuits d'eau peut avoir des conséquences négatives sur le processus, sur la qualité du produit final, et peut même entraîner un accroissement des coûts de production lié à l'augmentation de la consommation de produits chimiques. Ces répercussions doivent donc être correctement contrôlées.

Le tableau 7.3.1. décrit les principaux avantages et inconvénients de la réduction de la consommation d'eau :

Tableau 7.3.1. Avantages et inconvénients liés à l'augmentation du degré de fermeture des circuits d'eau

Éventuels avantages	Éventuels inconvénients
Amélioration de la rétention de matière soluble dans la feuille de papier	Concentrations élevées de matière colloïdale et dissoute dans les circuits d'eau
Diminution des besoins en énergie pour le chauffage et le pompage	Risque d'apparition de « slime » due à des dépôts, aux perforations et aux déchirures de la feuille
Amélioration des propriétés d'égouttage de la toile de la machine contribuant à une diminution de la consommation d'énergie au niveau de la section de séchage	Risque de diminution de la qualité du produit (notamment en termes de blancheur, résistance, douceur, porosité, etc.)
Diminution des coûts d'investissement dans la mesure où le traitement des eaux requiert des installations plus petites	Augmentation de la consommation d'adjuvants de fabrication
Économie de matières premières grâce à une minimisation des pertes	Risque de corrosion (concentrations de chlorure plus élevées)
Amélioration de l'efficacité du traitement des eaux résiduaires	Risque d'obstruction des tuyauteries, injecteurs des asperseurs, toile et feutres
Réduction du volume d'eaux résiduaires	Problèmes d'hygiène au niveau des produits finaux (papier mousseline, papier entrant en contact avec les aliments)

Source: BREF

La pâte et l'eau qui transporte cette dernière contiennent des composés organiques dissous et colloïdaux appelés déchets anioniques. À des concentrations élevées, ces substances organiques peuvent affecter la rétention et la formation de la feuille de papier, favoriser l'obstruction de la toile et des feutres et former des dépôts collants sur le papier, les rouleaux, les toiles, les feutres, etc.

Les problèmes sont plus prononcés pour la production de papier élaboré à partir de pâte mécanique, puisque la plupart des composants du bois sont également présents dans la pâte et se dissolvent partiellement dans les eaux de procédé, entraînant des problèmes liés à l'apparition de poix.

Dans le cadre de la fabrication de papier en contact avec les aliments, les produits doivent être dépourvus de tout matériau nuisible soluble dans l'eau.

La température de la machine à papier doit être contrôlée de façon à ne pas excéder 45-55 °C dans la partie humide. En outre, dans la section de formation, il peut s'avérer avantageux de suspendre la pâte chaude, puisque la viscosité de l'eau diminue à mesure que la température s'élève, ce qui permet un égouttage plus efficace.

Les aspects clés associés au contrôle des répercussions de la fermeture des circuits d'eau sont les suivants :

- Éviter que les eaux de l'usine de fabrication de pâte ou des autres machines à papier fonctionnant en parallèle ne parviennent aux circuits d'eau de la machine à papier. La séparation des circuits d'eau s'effectue généralement par le biais d'épaisseurs.

- Les eaux d'étanchéité ou de refroidissement recyclées, ou les eaux blanches alimentant les systèmes d'aspersion de la machine à papier, doivent faire l'objet d'un traitement adéquat afin de prévenir toute obturation et usure de la machine à papier.
- Les eaux d'étanchéité doivent être refroidies par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur ou à l'eau claire afin d'éviter une baisse de rendement des pompes à vide.
- Il est indispensable de définir le niveau de qualité de l'eau requis à chaque point du processus, de sorte que la composition (par exemple, la teneur en matières colloïdales), la dureté, le pH et la température de l'eau d'alimentation recyclée soient compatibles avec les équipements et les flux de processus.
- La pâte doit être correctement lavée avant d'être acheminée vers la machine à papier, afin de réduire la concentration en matière dissoute et colloïdale. Lorsque cela est possible, la pâte doit être épaissie avant de passer à l'étape suivante.
- En cas de fermeture des circuits d'eau, les composés chimiques ajoutés au papier doivent être valorisés, car certains composés chimiques sont incompatibles avec des polluants donnés ou avec d'autres d'additifs. Le plus souvent, cette fermeture diminue l'efficacité des additifs.
- Les flux d'eau recyclée doivent être analysés pour éviter de dépasser les limites garantissant leur qualité.

Applicabilité

Ces mesures peuvent être appliquées aux nouvelles fabriques comme aux installations existantes. Toutefois, dans une fabrique existante, la mise en œuvre de ces améliorations nécessite plusieurs années. En outre, ces exigences sont revues à la baisse en ce qui concerne la fabrication de papier d'emballage non-blanchi mais sont plus strictes pour les papiers de haute qualité.

Aspects environnementaux

Ces mesures sont considérées comme faisant partie intégrale de l'alternative décrite au point 6.2.9., à savoir atteindre et maintenir des niveaux de consommation d'eau claire relativement bas tout en évitant l'apparition d'effets indésirables significatifs.

Expériences en situation

Ces expériences mettent en valeur les risques d'incrustations liées aux composés de calcium ainsi que les problèmes de slime, poix et stickies. Ceux-ci doivent être contrôlés via le mélange approprié de fractions d'eau, le contrôle du pH, l'augmentation des additifs de contrôle ou la réalisation de purges, s'il y a lieu.

Le fonctionnement de la machine à papier à une température supérieure à 50 °C, permet une diminution du développement des micro-organismes et de leur activité dans le système hydraulique. Toutefois, une activité anaérobie peut se développer au-dessus de 50 °C (bactéries thermophiles) générant des sulfures malodorants qui doivent être contrôlés.

L'implantation des techniques d'optimisation permettant le contrôle de ces mesures dans les usines existantes requiert généralement plusieurs années. De nombreuses fabriques ont résolu les problèmes de contrôle de ces mesures en utilisant simplement davantage de produits chimiques. La sélection adéquate des composés chimiques et des additifs, ainsi que leur combinaison, est une procédure complexe mais nécessaire pour obtenir une efficacité satisfaisante et diminuer les coûts et les répercussions sur l'environnement.

Aspects économiques

Les coûts dépendent principalement des conditions de la fabrique. Les coûts associés à ces mesures dépendent du nombre et de la nature de la réorganisation nécessaire et du type d'installations supplémentaires requises.

7.4. TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES FINAUX ÉMERGENTS

7.4.1. Traitement des effluents par un procédé combiné d'ozonisation et biofiltration

Description

Il s'agit du traitement tertiaire de l'effluent permettant l'élimination significative de la DCO, des AOX et de la couleur par le biais de doses minimales d'ozone. La figure 7.4.1. propose un schéma de ce processus.

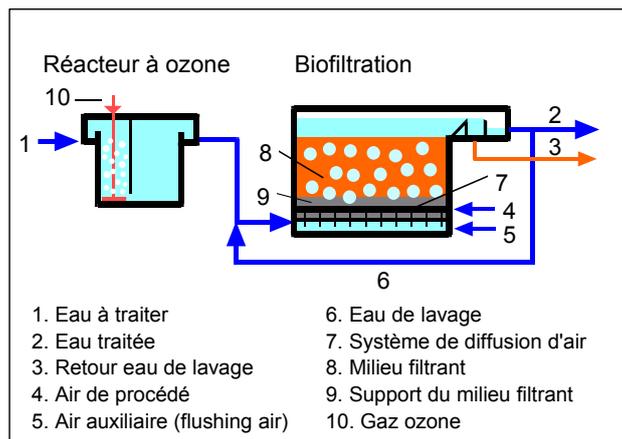


Figure 7.4.1.- Procédé combiné d'ozonisation et de biofiltration. Source : BREF

L'objectif principal de ce processus est de transformer les composants organiques de l'eau résiduaire en éléments partiellement biodégradables.

Les résultats des tests effectués sur les effluents provenant de plusieurs fabriques après que ceux-ci aient été soumis à un traitement biologique, indiquent qu'avec des consommations spécifiques d'ozone de 0,7-1,0 kg de O₃/kg de DCO éliminé, il est possible de parvenir à des taux de réduction de plus de 50 % de la DCO initiale si le traitement est complété par une biofiltration.

Ces tests ont un aspect économique positif car la comparaison des techniques actuelles de floculation/précipitation est extrêmement favorable.

État de développement

Le traitement à l'ozone des eaux résiduaires épurées biologiquement permettant une réduction supplémentaire de la DCO résiduaire et une amélioration de la couleur, a été testé en laboratoires et dans des usines pilotes. Les essais en laboratoire [Öller, 1997] et les recherches effectuées dans l'usine pilote [Möbius, 1996] ont démontré que le traitement à l'ozone peut réduire sensiblement la DCO et la couleur en fonction de la quantité d'ozone appliquée. Nous pouvons considérer que cette technique est en cours de développement.

Principaux effets sur l'environnement

L'efficacité du traitement à l'ozone dépend fortement de la qualité individuelle de l'eau à traiter et du système de traitement spécifique. Toutefois, il n'existe pas de comportement général sur les effets écologiques à atteindre. Dans les effluents présentant certaines limites en termes de DCO et un rapport DBO₅/DCO, la biodisponibilité peut être augmentée pour permettre un traitement biologique supplémentaire. L'eau traitée à l'ozone peut être réutilisée dans le processus de production.

7.5. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TRAITEMENTS FINAUX PROPOSÉS

Le tableau ci-après recense les alternatives technologiques proposées, accompagnées d'une brève description de leur principe, des avantages liés à leur application et de leurs répercussions sur le processus de production.

Elles sont classées en quatre catégories : déversements, émissions atmosphériques, déchets solides/boues et énergie, tant pour la fabrication de pâte (pâte mécanique « MP », pâte kraft « PK », pâte au sulfite « PS » et pâte élaborée à partir de papier de récupération « PR ») que pour la fabrication du papier.

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 1 : DÉVERSEMENTS (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
7.3.1.	PM, PK, PS, PR	Traitement primaire des eaux résiduaires	Traitement primaire de coagulation-floculation préalable au processus de sédimentation et flottation	Réduction des solides en suspension et nutriments contenus dans l'eau	Une quantité déterminée de boue est produite
7.3.2.	PR	Traitement anaérobie comme première étape du traitement aérobie	Traitement biologique anaérobie comme étape préalable au traitement biologique des eaux résiduaires à forte teneur en matière organique biodégradable	Élimination de la DCO et la DBO. Facilite le traitement aérobie qui intervient ensuite, et réduit la taille de l'installation requise et les coûts d'exploitation associés à celle-ci	Aucune
7.2.2.	PM, PK, PS, PR	Traitement biologique des eaux résiduaires	Traitement visant à éliminer les substances organiques qui consomment de l'oxygène et d'autres composés organiques	Réduction de la DCO et de la DBO	Aucune
7.3.3.	PM, PK	Traitement tertiaire des eaux résiduaires avec précipitation chimique	Dans certains cas, il est nécessaire de compléter le traitement des effluents avec un traitement tertiaire afin d'éliminer les nutriments, principalement le phosphore. Les substances organiques dissoutes et colloïdales sont déstabilisées au moyen d'un agent chimique pour provoquer leur agglomération puis leur séparation par filtration ou précipitation	Réduction du volume de nutriments tels que le phosphore, l'azote, la DCO ou les AOX	Aucune
7.4.1.	PM, PK, PS	Traitement des effluents par un procédé combiné d'ozonisation et biofiltration	Des doses minimales d'ozone permettent de transformer les composants organiques des eaux résiduaires en éléments partiellement biodégradables	Élimination significative de la DCO, des AOX et de la couleur	L'efficacité du traitement à l'ozone dépend de la qualité de l'eau à traiter et du système de traitement spécifique

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 2 : ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
7.2.3.	PK, PS	Captage et traitement des gaz malodorants	Les gaz sont captés et acheminés vers les systèmes de traitement par incinération. Les gaz de faible concentration autorisent également leur épuration	Réduction des émissions de TRS (composés de soufre réduits), COV (composés organiques volatils) et HAP (Hazardous Air Pollutants - polluants atmosphériques dangereux)	Aucune
7.2.4.	PK, PS	Installation de brûleurs à basse émission de NOx	Introduction des technologies à basse émission de NOx dans les chaudières	Diminution significative des niveaux de NOx	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 3 : DÉCHETS SOLIDES / BOUES (FABRICATION DE PÂTES)

N°	Type de pâte	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
7.2.6.	PM	Minimisation des déchets vers les sites d'enfouissement des usines de pâte mécanique	Pressage des boues pour atteindre un taux de siccité permettant leur incinération ultérieure	L'incinération des boues permet de produire de l'énergie	Aucune
7.2.7.	PR	Traitement in situ des rejets et des boues : égouttage	Traitement des rejets et des boues en vue d'augmenter leur taux de siccité	Autoriser leur valorisation ultérieure	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 5 : DÉVERSEMENTS (FABRICATION DE PAPIER)

N°	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
7.3.4.	Contrôle des inconvénients potentiels de la fermeture du circuit d'eau	Fermeture des circuits d'eau. Regroupement d'informations relatives aux débits et à l'analyse chimique des systèmes hydrauliques afin d'éviter les problèmes liés à la fermeture des circuits d'eau	Permet d'étudier et de contrôler le comportement de l'eau sur l'ensemble de la fabrique et de déterminer les meilleures conditions de fonctionnement	Plus grande concentration de particules dissoutes dans les circuits d'eau Risque de diminution de la qualité du produit Consommation d'additifs plus importante
7.2.2.	traitement biologique des eaux résiduaires	Traitement visant à éliminer les substances organiques qui consomment de l'oxygène et d'autres composés organiques	Réduction de la DCO et de la DBO	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 6 : ATMOSPHÈRE (FABRICATION DE PAPIER)

N°	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
7.2.4.	Installation de brûleurs à basse émission de NOx	Introduction des technologies à basse émission de NOx dans les chaudières	Diminution significative des niveaux de NOx	Aucune
7.2.5.	Diminution du bruit extérieur produit	La technique la plus répandue pour minimiser le bruit est le confinement dans des cabines d'insonorisation	Diminution des émissions sonores	Aucune

PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE 7 : DÉCHETS SOLIDES / BOUES (FABRICATION DE PAPIER)

N°	Mesure proposée	Description	Bénéfices	Répercussions sur le processus de production
7.2.7.	Traitement in situ des rejets et des boues : égouttage	Traitement des rejets et des boues en vue d'augmenter leur taux de siccité	Autoriser leur valorisation ultérieure	Aucune
7.2.8.	Combustion des boues de désencrage	Combustion sur lit fluidisé des boues de désencrage	Minimisation des déchets	Aucune

8. CAS PRATIQUES

Le présent chapitre présente des exemples d'application des alternatives de prévention de la pollution à la source et de traitements finaux. Chaque exemple est présenté sous forme de fiche. Cette fiche décrit l'alternative adoptée par une entreprise donnée en fonction de ses objectifs, tant environnementaux qu'économiques, et les résultats obtenus après l'application de la mesure ; elle fournit également les données économiques relatives à cette application.

Ces informations proviennent de publications bibliographiques ou ont été généreusement fournies par les entreprises même dans lesquelles les alternatives ont été mises en œuvre. Il convient de noter que les informations présentées dans les sections relatives aux estimations financières, aux résultats et aux économies sont données à titre indicatif.

La mise en œuvre d'alternatives pour la prévention de la pollution à la source (*8.1. Cas pratiques associés aux alternatives pour la prévention de la pollution à la source*) et traitements finaux (*8.2. Cas pratiques associés aux traitements finaux*) ont permis aux entreprises de bénéficier d'améliorations environnementales et productives. Nous considérons que la mise en pratique des alternatives décrites aux chapitres 6 et 7 de ce manuel représente, dans la majorité des cas, une réussite tant au niveau économique qu'en termes de prévention de la pollution et d'amélioration de la qualité du produit final.

L'intégration de la section 8.3. Autres exemples de bonne gestion environnementale, dans ce chapitre s'avère très précieuse. En effet, elle décrit l'adoption de nouvelles méthodologies et politiques environnementales plus écologiques de la part de nombreuses entreprises.

8.1. CAS PRATIQUES SUR LES ALTERNATIVES EN MATIÈRE DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION À LA SOURCE

Cas pratique 1	8.1.1. Cuisson modifiée étendue													
Entreprise	AUSSEDAT-REY.													
Pays	FRANCE.													
Production	Production de pâte.													
Problématique environnementale	Charge polluante élevée des déversements.													
Objectif	Adopter une nouvelle technologie pour diminuer la charge polluante des déversements dans la Vienne.													
Antécédents	En 1994, l'entreprise AUSSEDAT-REY décide d'augmenter sa capacité de production de pâte à papier de 440 à 1 100 tonnes par jour. Une étude sur la qualité des eaux de la Vienne a révélé la nécessité de réduire de moitié les rejets de DCO.													
Mesure à mettre en application	<p>La mesure à mettre en place implique de modifier le processus de production de la façon suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • processus continu avec cuisson étendue pour éliminer un maximum de lignine ; • lavage à l'aide d'une presse de lavage ; • modification de la séquence de blanchiment, en remplaçant le chlore par le dioxyde de chlore afin de réduire les rejets de composés organochlorés ; • stripping et recyclage des condensats. 													
Résultats obtenus	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Avant application de la mesure</th> <th>Après application de la mesure</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DQO (kg/t)</td> <td>95</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>SS (Kg/t)</td> <td>8,6</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>Débit (m³/t)</td> <td>204</td> <td>57</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> • réduction des rejets de composés organochlorés (divisés par 15) ; • réduction de la consommation d'eau de 30 % ; • réduction de la DCO rejetée de 50 % ; • amélioration de l'image publique de l'entreprise. 			Avant application de la mesure	Après application de la mesure	DQO (kg/t)	95	21	SS (Kg/t)	8,6	0,2	Débit (m ³ /t)	204	57
	Avant application de la mesure	Après application de la mesure												
DQO (kg/t)	95	21												
SS (Kg/t)	8,6	0,2												
Débit (m ³ /t)	204	57												
Aspects économiques	<p>Investissement total : 42 075 928 € Réduction de la consommation d'eau de 30 %</p>													
<p>Source : Environmental Management Centre. Ce cas a été présenté au Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) en 1994 par l'Office International de l'Eau</p>														

Cas pratique 2	8.1.2. Cuisson modifiée étendue et blanchiment à l'oxygène																
Entreprise	LA CELLULOSE DU RHÔNE ET D'AQUITAINE.																
Pays	FRANCE.																
Production	Production de pâte kraft.																
Problématique environnementale	Charge polluante élevée des déversements.																
Objectif	Réduire la charge polluante des déversements.																
Antécédents	En 1993, l'entreprise LA CELLULOSE DU RHÔNE a décidé d'augmenter sa production de pâte blanchie kraft de 130 000 à 320 000 tonnes par an. Pour y parvenir, elle doit modifier son processus pour répondre aux exigences de la Garonne (qui alimente plus de 600 000 habitants en eau potable) et réduire de moitié la charge polluante des déversements.																
Mesure à mettre en application	<p>La mesure à mettre en place nécessite la modification du processus de production qui consiste à introduire une cuisson étendue à contre-courant. Ce type de cuisson permet d'obtenir une nouvelle liqueur blanche sans lignine et une pâte contenant 2,5 % de lignine, au lieu des 4 % avec le procédé classique. La pâte est ensuite purifiée à l'aide d'un filtre rotatif à vide, puis lavée et concentrée jusqu'à 12 %. La liqueur noire avec la lignine extraite est incinérée dans la chaudière de récupération.</p> <p>Actions engagées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • cuisson étendue, avec lavage sous pression ; • élimination de la lignine à l'aide d'oxygène ; • blanchiment au dioxyde de chlore ; • recirculation des effluents de blanchiment vers les liqueurs noires. 																
Résultats obtenus	<p>Avec cette mesure, la teneur en matière oxydable de l'effluent de l'usine devient inférieure à 10 kg/t de pâte.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Avant application de la mesure</th> <th>Après application de la mesure</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DQO (kg/t)</td> <td>55</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>DBO (kg/t)</td> <td>14</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Composés colorés (kg/t)</td> <td>67</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Composés organochlorés (kg/t)</td> <td>0,8</td> <td>0,3</td> </tr> </tbody> </table>			Avant application de la mesure	Après application de la mesure	DQO (kg/t)	55	24	DBO (kg/t)	14	1	Composés colorés (kg/t)	67	25	Composés organochlorés (kg/t)	0,8	0,3
	Avant application de la mesure	Après application de la mesure															
DQO (kg/t)	55	24															
DBO (kg/t)	14	1															
Composés colorés (kg/t)	67	25															
Composés organochlorés (kg/t)	0,8	0,3															
Aspects économiques	<p>Investissement total : 25 154 086 € Cuisson étendue, lavage amplifié : 8 689 593 € Blanchiment à l'oxygène : 16 464 493 €</p>																
<p>Source : Environmental Management Centre. Ce cas a été présenté dans le cadre du PNUE en 1994 par l'Office International de l'Eau</p>																	

Cas pratique 3	8.1.3. Récupération et réutilisation de composés chimiques des liqueurs noires
Entreprise	RAKTA GENERAL CO.
Pays	ÉGYPTE.
Production	Production de pâte à partir de paille de riz.
Problématique environnementale	Pollution engendrée par les déversements de liqueurs noires. Consommation élevée de composés chimiques lors de la cuisson.
Objectif	Récupération et réutilisation des liqueurs noires.
Antécédents	<p>En général, la quantité de composés chimiques nécessaire à la digestion de matière première non-ligneuse représente entre 20 et 50 % du poids de la pâte produite. Pour des raisons économiques et dans le cadre de la protection de l'environnement, les composés chimiques de la liqueur noire doivent être récupérés. Dans la pâte chimique produite à partir de paille de riz, près de la moitié de la quantité de silice contenue dans la plante se dissout dans la liqueur noire (la paille de riz contient entre 8 et 14 % de SiO₂), et peut poser des problèmes à chaque étape du processus de récupération des composés chimiques.</p> <p>Toutefois, l'élimination de la silice de la liqueur noire est indispensable pour que le processus soit viable sur le plan économique comme environnemental.</p>
Mesure à mettre en application	<p>La fabrique de RAKTA a mis cette mesure en place dans une usine pilote.</p> <p>Le processus de récupération et d'élimination de la silice consiste à filtrer la liqueur noire provenant de l'unité de lavage à l'aide d'un filtre rotatif. Le filtrat de la liqueur noire est stocké et acheminé vers l'unité d'évaporation en quatre étapes.</p> <p>Une partie de la liqueur noire pré-concentrée est ensuite dirigée vers un réacteur agité, dans lequel un produit anti-mousse est ajouté. La liqueur est en contact continu avec un flux de gaz combustible provenant de la cheminée de la centrale d'énergie. De cette manière, le silicate de sodium soluble est transformé en carbonate de sodium et en SiO₂ insoluble.</p> <p>Ce mélange des deux phases est envoyé dans un décanteur, au moyen d'un réservoir intermédiaire, qui sépare les précipités de la liqueur. La clarification finale de la liqueur s'obtient à l'aide d'un séparateur, qui élimine les particules résiduelles insolubles.</p> <p>La liqueur noire contenant un faible taux de silice est ensuite brûlée de façon traditionnelle afin de récupérer son énergie.</p> <p>La silice extraite de la liqueur noire, associée à la matière organique et aux alcalis, forme des boues dans le décanteur avec une teneur en solides dissous (DS) de 30 à 40 %. Ces boues sont ensuite incinérées. L'élutriation des alcalis issus des cendres de l'eau, suivie d'une filtration et d'un séchage, produit de la silice blanche granulée, qui peut servir de charge minérale.</p> <p>Le pH optimal se situe autour de 9 ou 10.</p> <p>Dans l'usine pilote, la capacité de traitement du filtre est de 30 m³/h et la capacité d'évaporation est de 18,5 t/h. L'usine pilote de RAKTA traite 50 tonnes par jour de liqueur noire pré-concentrée.</p>

Résultats obtenus	<p>Indépendamment de la quantité de silice contenue dans la liqueur noire, en règle générale aux alentours de 1 % (en poids), le séparateur permet d'obtenir une teneur en silice de 0,05 %.</p> <p>Les autres avantages du nouveau système de récupération sont les suivants : simple perte d'alcalis ou de chaux lors de la purge des dernières traces de SiO₂, et moins de déchets sous forme de silicate de calcium.</p>
Aspects économiques	<p>Le calcul des coûts montre que l'unité de désiliciage représente seulement 12 % de l'investissement total d'une unité de récupération traditionnelle.</p> <p>De la même manière, les coûts de main d'œuvre et de services généraux sont relativement bas. Un calcul réalisé sur 200 tonnes de pâte par jour fait ressortir un coût d'exploitation de 110 € par tonne pour une unité de récupération de soude caustique, désiliciage compris. Sans récupération, l'usine doit dépenser 180 € par tonne pour l'achat de soude caustique.</p> <p>Les économies annuelles liées à la récupération de produits chimiques s'élèvent alors à 4,4 millions d'euros, soit 13,3 % de la valeur de marché internationale de la pâte.</p>
<p><i>Source: Ce projet pilote a été présenté par le groupe de travail Cleaner Production in the Pulp and Paper Industries du PNUE</i></p>	

Cas pratique 4	8.1.4. Obtention de pâte kraft blanchie
Entreprise	ENCE.
Pays	ESPAGNE.
Production	Pâte kraft TCF élaborée à partir de bois d'eucalyptus.
Problématique environnementale	Impact sur l'environnement global des déversements (solides, liquides et gazeux) de l'unité.
Objectif	<p>Élimination, réduction ou minimisation de l'impact potentiel que les effluents liquides, les émissions atmosphériques et/ou les déversements solides peuvent produire dans le cadre de la fabrication de pâte blanchie par l'application des alternatives de production plus propres (APP) conformément à la directive IPPC.</p> <p>Établissement d'un système de gestion de l'environnement (SGE) selon les normes internationales ISO 14000.</p>
Procédure	<p>L'usine ENCE de Pontevedra a connu deux périodes d'investissement pour la rénovation technologique et environnementale. Le plan 1975-1988 a représenté un investissement de 43 millions d'euros et celui de 1988-1992, 90 millions d'euros, pour la rénovation de 80 % des installations existantes.</p> <p>La procédure d'application des APP et l'établissement du SGE a eu lieu dans le cadre du « Plan stratégique technologique pour l'environnement 1988-1992 » développé par l'entreprise.</p> <p>La mise en œuvre de ce plan a permis d'améliorer la capacité de production et la qualité de la pâte, tout en augmentant la compétitivité de l'usine et réduisant considérablement son impact sur l'environnement.</p>

Méthodes	<p>APP GÉNÉRALES (1988-1992)</p> <ul style="list-style-type: none">• Mise en place d'un système de gestion environnementale qui définit clairement les responsabilités des aspects d'environnement significatifs.• Entraînement, formation et motivation des opérateurs et du personnel des entreprises auxiliaires.• Optimisation du contrôle du processus, afin de réduire l'émission simultanée de différents polluants et de maintenir un faible niveau d'émission.• Garantie d'une bonne qualité de la maintenance des installations, de façon à maintenir un niveau élevé d'efficacité des équipements de fabrication ainsi que des équipements de contrôle des émissions polluantes.• Élaboration d'une base de données regroupant tous les produits chimiques et additifs utilisés, contenant des informations telles que la composition chimique, le potentiel de dégradation, la toxicité pour les personnes et l'environnement, ainsi que le potentiel de bioaccumulation.• Application du principe de substitution, conformément au système de gestion de l'environnement de l'entreprise, en employant les produits disponibles moins agressifs pour l'environnement. <p>APP EN MATIÈRE DE RÉDUCTION DE L'IMPACT DES EFFLUENTS LIQUIDES</p> <ul style="list-style-type: none">• (1988) Écorçage à sec du bois.• (1992) Système de cuisson modifié, pour une cuisson avec un faible indice Kappa.• (1991) Lavage de pâte écorcée de haute efficacité et tamisage en circuit fermé. Le lavage s'effectue en trois étapes, avant la phase d'oxygène et deux étapes supplémentaires ultérieures.• (1991) Délignification à l'oxygène.• (1991) Blanchiment à l'aide d'un procédé ECF ou TCF et utilisation d'un système de recirculation des eaux du processus du blanchiment. Le système de blanchiment de l'usine de Pontevedra est le TCF avec recirculation des eaux.• (1989) Épuration et réutilisation des condensats. Lors du stripping, tous les condensats concentrés sont épurés et les moins concentrés sont réutilisés dans le circuit.• (1989-92) Système efficace de contrôle des débordements, de leur confinement et récupération. Construction de bacs de récupération dans toutes les zones sujettes aux débordements et installation d'un réseau de petites canalisations jusqu'aux bacs afin de permettre le pompage et la réintégration dans le circuit.• (1991) Capacité suffisante des installations d'évaporation et de combustion de la liqueur noire afin de traiter les charges supplémentaires dues à la récupération des débordements et des pertes.• (1989) Récupération et réutilisation des eaux propres de refroidissement. Les eaux de refroidissement recirculent dans les tours de refroidissement, entraînant uniquement des pertes par vaporisation et des purges par augmentation de la salinité.• (1988-92) Capacité suffisante des réservoirs de récupération des débordements de liqueur noire de cuisson, liqueur verte de récupération et des condensats impurs afin d'éviter les surcharges ponctuelles dans la station de traitement des effluents.• (1980-93) Traitement primaire et secondaire des eaux résiduaires.
----------	---

Méthodes	<p>APP EN MATIÈRE DE RÉDUCTION DE L'IMPACT DES EFFLUENTS SUR L'ATMOSPHÈRE</p> <ul style="list-style-type: none"> • (1989) Récupération et incinération des gaz concentrés malodorants issus de la cuisson, de l'évaporation de la liqueur noire et du stripping de condensats, et contrôle du SO₂ qui en émanent. • (1988-93) Récupération et incinération des gaz dilués malodorants émanant de diverses sources du processus. • (1993) Réduction des émissions de TRS de la chaudière de récupération à l'aide d'un contrôle informatique de la combustion et de l'évaluation du taux de CO. Pour le four à chaux, cette réduction s'effectue à l'aide d'un contrôle de l'excès d'oxygène, en utilisant du fioul à faible teneur en soufre et en contrôlant l'alcali résiduaire dans les boues qui pénètrent dans le four à chaux. • (1988) Contrôle des émissions de SO₂ de la chaudière de récupération en brûlant la liqueur noire à forte concentration de solides. • (1989) Contrôle des émissions de NO_x de la chaudière de récupération et du four à chaux en veillant aux conditions de combustion, en assurant un mélange correct et une bonne répartition de l'air dans la chaudière. • (1992) Contrôle des émissions de NO_x de la chaudière grâce au contrôle des conditions de combustion. • (1992) Réduction des émissions de SO₂ de la chaudière auxiliaire grâce à l'utilisation d'écorce, de gaz, de fioul à faible teneur en soufre et de charbon, ou en contrôlant les émissions de soufre avec un épurateur-laveur. • (1988-92) Séparation des solides en suspension contenus dans les gaz de la chaudière de récupération, de la chaudière auxiliaire et du four à chaux à l'aide de précipitateurs électrostatiques efficaces. L'électrofiltre du four à chaux est en service depuis 1988, celui de la chaudière de récupération, depuis 1991 et celui de la chaudière à écorces depuis 1992. <p>APP EN MATIÈRE DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES</p> <ul style="list-style-type: none"> • (1992) Incinération de tous les déchets organiques non-dangereux (écorce, résidus de bois, boues du traitement des déversements, etc.) dans une chaudière auxiliaire, conçue spécialement pour brûler les combustibles humides, à faible pouvoir calorifique (par exemple : chaudières à lit fluidisé). • (1998) Utilisation externe des déchets pour les travaux forestiers, agricoles et autres. • (1993-94) Minimisation de la production de déchets solides et récupération, recyclage et réutilisation des matières autant que possible. • (1993-94) Récupération de déchets avec séparation à la source. <p>BLANCHIMENT ECF et TCF Dans la figure 8.1., nous pouvons observer que la première étape du blanchiment traditionnel s'effectue à l'aide de chlore gazeux. La figura 8.2. présente de façon schématique l'impact de ce blanchiment sur les effluents. Les composés organochlorés, libérés suite au lavage associé à chaque étape d'alcalis, se « jettent » dans les effluents de blanchiment qui s'ajoutent ensuite à ceux des autres déversements, jusqu'à constituer l'effluent final qui est acheminé vers la station de traitement des eaux résiduaires.</p>
----------	--

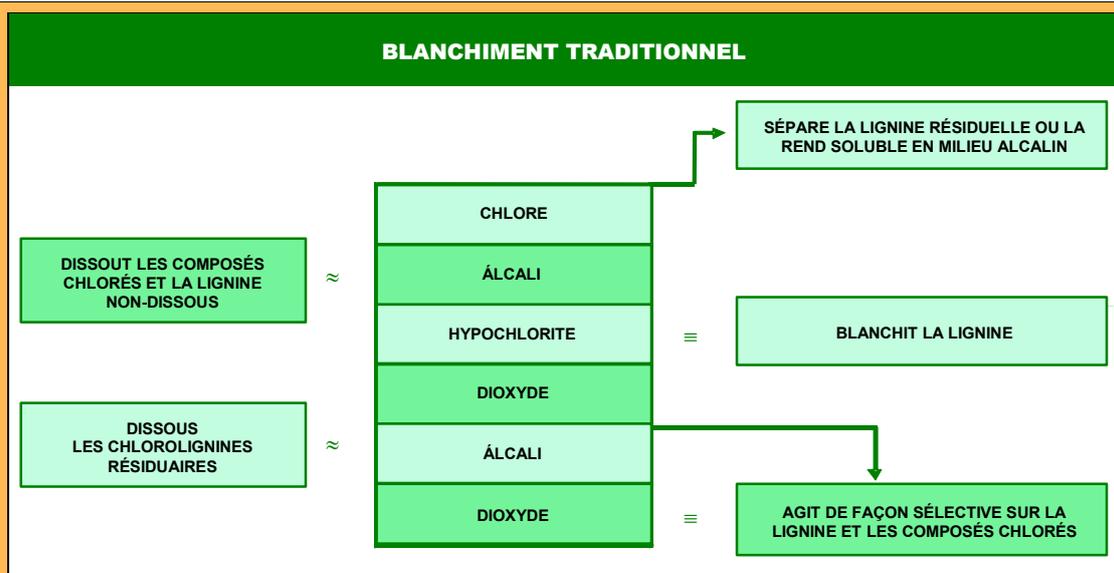


Figure 8.1.- Schéma du blanchiment traditionnel

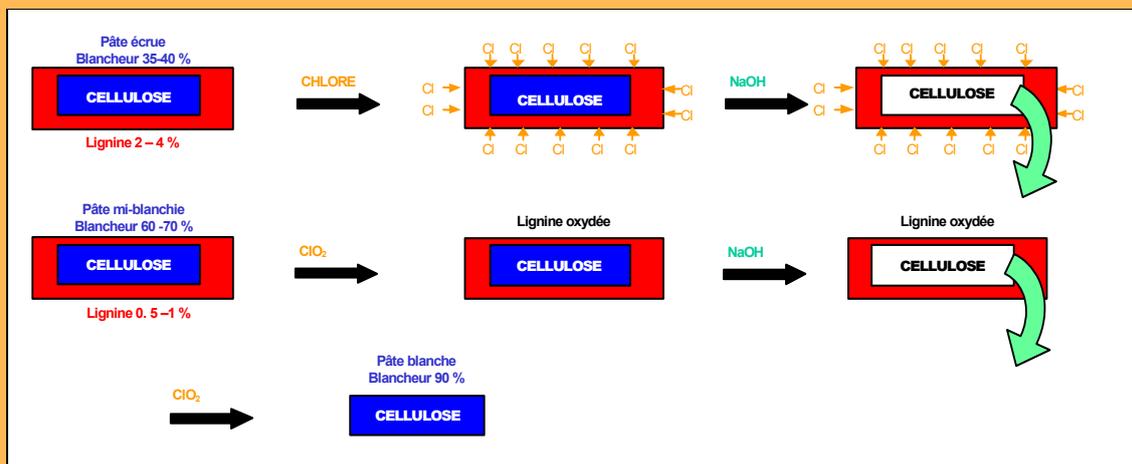


Figure 8.2.- Influence du blanchiment traditionnel sur l'effluent

Méthodes

La figure 8.3. montre la différence de composition du déversement du blanchiment dans le cas des pâtes TCF. De même que dans le blanchiment traditionnel, il est possible d'évacuer des composés organochlorés vers les effluents du blanchiment, dans le cas du blanchiment TCF ; cette matière organique sera uniquement affectée par le peroxyde résiduaire de la seconde ou troisième phase du processus de blanchiment

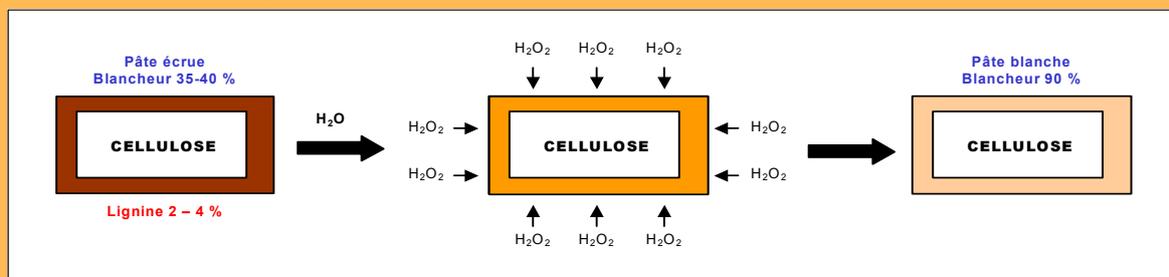


Figure 8.3.- Influence du blanchiment TCF sur l'effluent

Méthodes

La figure 8.4. décrit la réduction de l'impact sur l'environnement, en kilos de polluants par tonnes de pâte blanchie, en fonction du type de blanchiment.

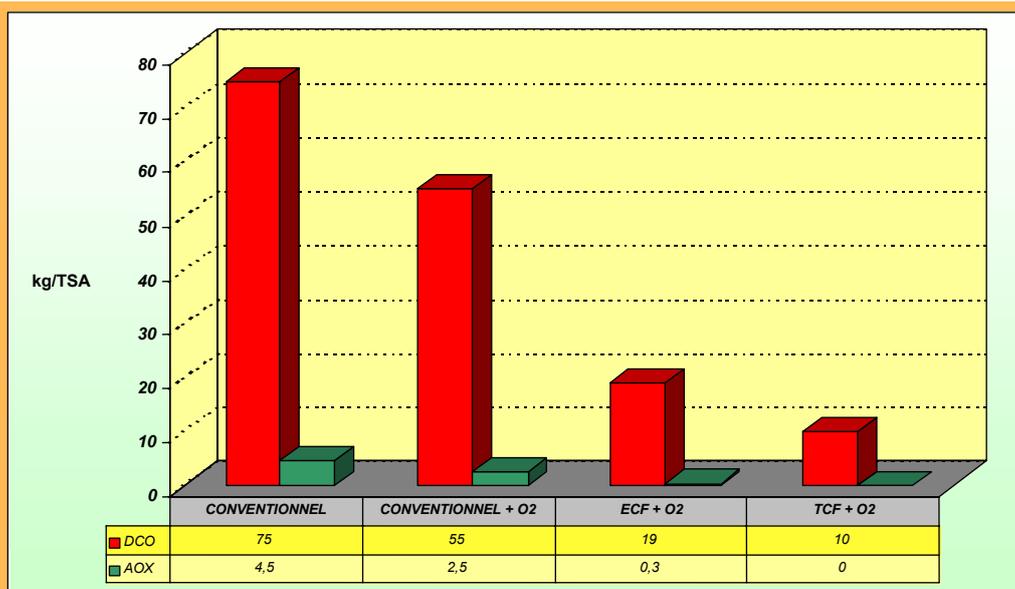


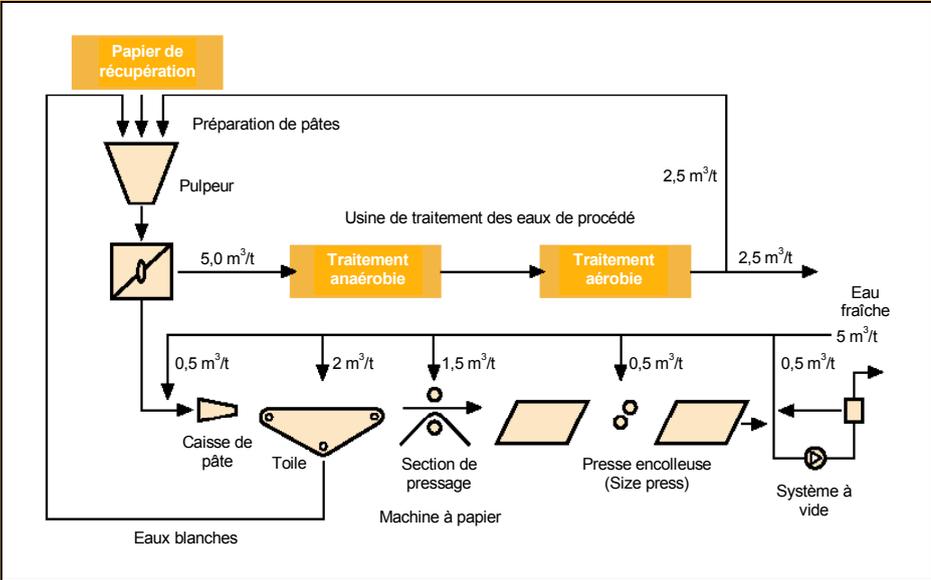
Figure 8.4.- Potentiel de pollution des différentes techniques de blanchiment

Conclusions

- La rénovation technologique et environnementale de l'usine ENCE de Pontevedra s'est effectuée via le plan de 1975-88, représentant un investissement de 43 millions d'euros et le plan de 1988-1992, représentant un investissement de 90 millions d'euros. À partir de 1993, les investissements dans la technologie et l'environnement se sont poursuivis selon les critères d'amélioration constante proposés par le SGE, introduit dans l'entreprise en 1996, conformément à la norme ISO 14001, et certifié par des audits externes. Entre 1993 et 2004, les investissements ont atteint 108 millions d'euros.
- Entre 1975 et 2004, le total des investissements représente 240 millions d'euros, montant qui s'élève aujourd'hui à environ 325 millions d'euros, dont 48 millions d'euros pour le seul domaine de l'environnement.
- Le tableau 8.1. recense les différentes améliorations environnementales. La consommation spécifique d'eau est passée de 264 m³/t de pâte sèche à 30 m³/t, soit une réduction de 78 %. Les émissions spécifiques de DBO₅ et de DCO en kg/t de pâte sèche ont été réduites respectivement de 86 % et de 89 %. Les déversements d'AOX ont été pratiquement tous éliminés.

Tableau 8.1. Améliorations environnementales

PARAMÈTRE	Unités	1974	1988	1993	2003
Débit	m ³ /jour	84 500	80 000	54 000	36 100
Production	t/an	112 000	199 500	225 500	371 057
Production	t/jour	320	570	716	1 046
Consommation	m ³ /t	264	140	75	30
pH	unité	2,5 – 4	6 – 8	7,3	7,6
Couleur	unité Pt/Co	2000	1600	215	130
DBO ₅	kg/t	50-80	15-20	4-5	2-3
DCO	kg/t	180-210	80-100	15-20	9-10
AOX	kg/t	4-5	4-5	<0,05	0,006

Cas pratique 5	8.1.5. Gestion optimale de l'eau
Entreprise	SAICA (Société anonyme des industries de cellulose d'Aragon).
Pays	ESPAGNE.
Production	Production de papier de récupération.
Problématique environnementale	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'eau élevée. • Problématique du déversement.
Objectif	Réduction de la consommation d'eau par tonne de papier. Économie de matières premières. Déversement zéro.
Mesure à mettre en application	<p>Installation d'une station de traitement des eaux de procédé.</p> <p>Pour SAICA, l'objectif de ce projet était autant environnemental qu'économique. Le but était d'améliorer les processus de production, afin de réduire les ratios les plus significatifs, en termes de consommation d'eau par tonne de papier et d'économies de matières premières et de ressources naturelles.</p>
Description du procédé et antécédents	<p>L'entreprise SAICA emploie de l'eau dans son processus de production, pour le transport et l'homogénéisation de la suspension de pâte en particulier. L'amélioration consiste à épurer une partie des eaux, une fois réutilisées, grâce à un traitement anaérobie et aérobie. Une partie de l'eau clarifiée est réintégrée dans le processus de production ($2,5 \text{ m}^3/\text{tonne}$ de papier produit) et l'autre partie se déverse dans l'Èbre ($2,5 \text{ m}^3$ de papier produit). La figure 8.5. présente le schéma du processus et recense les débits d'eau les plus importants associés aux différentes étapes.</p>  <p>Figure 8.5.- Débits d'eau associés aux principales étapes du processus</p> <p>Les eaux blanches de la table de formation et les eaux clarifiées sont réutilisées dans le pulpeur afin de faciliter la désintégration du papier de récupération employé comme matière première. La pâte se dilue ensuite avec de l'eau claire pour favoriser l'homogénéisation de la suspension à l'entrée de la caisse de tête de la machine à papier et pour faciliter sa répartition sur la toile de formation. Le reste de l'eau claire est principalement utilisé pour les douches et le système à vide.</p>

	Lorsque la feuille est formée, l'eau est progressivement éliminée le long de la machine à papier. Ainsi, à la sortie de la table de formation, le taux de siccité de la feuille est de 20 %, il atteint 40 % à la sortie des presses et 92 % à la sortie de la section de séchage, où l'eau s'évapore.																			
Description de l'intervention	<p>Les interventions réalisées pour le contrôle et la réduction de la consommation d'eau dans le processus de production sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • classification des flux d'eau employés aux différents points d'application en fonction de la qualité requise pour divers usages ; • définition de la composition chimique de ces flux ; • distinction et séparation des différents flux ; • fermeture des circuits d'eau comme conséquence de l'utilisation de certains des flux qui se déversaient auparavant dans les égouts, alors qu'ils pouvaient être réutilisés conformément aux exigences de qualité des eaux ; • installation d'une station de traitement des eaux de procédé avec réutilisation des effluents du processus de fabrication du papier (2,5 m³ sur un débit total de 5 m³/t). 																			
Résultats obtenus	<p>Les modifications apportées au processus de fabrication ont amélioré les ratios de l'entreprise : la consommation en mètres cubes d'eau utilisés par tonne de papier produit a été réduite de 12 % ; la proportion en kg de DCO par tonne de papier produit a diminué de 15 % ; tout comme la proportion de TSS par tonne de papier produit, qui a également diminué de 15 %.</p> <p>Le tableau 8.2. compare la situation avant 2001 et après 2002 en termes d'optimisation de l'utilisation de l'eau chez SAICA. En outre, il met en parallèle ces données et les valeurs recommandées dans le document de référence de l'IPPC de l'Union européenne : meilleures techniques disponibles dans l'industrie du papier.</p> <p>Tableau 8.2. Comparaison des résultats près application de la mesure</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>UNITÉ</th> <th>VALEURS RECOM.</th> <th>SAICA 3 (2001)</th> <th>SAICA 3 (2002)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Débit</td> <td>m³/t papier produit</td> <td>< 7</td> <td>3,3</td> <td>2,9</td> </tr> <tr> <td>DCO</td> <td rowspan="2">Kg/t papier produit</td> <td>0,5 / 1,5</td> <td>0,82</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>SST</td> <td>0,05 / 0,15</td> <td>0,27</td> <td>0,23</td> </tr> </tbody> </table>		UNITÉ	VALEURS RECOM.	SAICA 3 (2001)	SAICA 3 (2002)	Débit	m ³ /t papier produit	< 7	3,3	2,9	DCO	Kg/t papier produit	0,5 / 1,5	0,82	0,7	SST	0,05 / 0,15	0,27	0,23
	UNITÉ	VALEURS RECOM.	SAICA 3 (2001)	SAICA 3 (2002)																
Débit	m ³ /t papier produit	< 7	3,3	2,9																
DCO	Kg/t papier produit	0,5 / 1,5	0,82	0,7																
SST		0,05 / 0,15	0,27	0,23																

Cas pratique 6	8.1.6. Récupération des fibres dans le procédé de fabrication du carton
Entreprise	JOAN ROMANÍ ESTEVE, S.A. La Pobla de Claramunt (Anoia).
Adresse	ESPAGNE.
Production	Production de carton à partir de papier de récupération.
Problématique environnementale	Charge polluante élevée du déversement.
Objectif	Récupération des fibres contenues dans les eaux d'égouttage liées à la fabrication du carton afin d'optimiser le processus.
Description du procédé et antécédents	Le processus de fabrication de carton se divise en deux grands sous-processus : la préparation de la pâte à papier et la formation des couches qui

	<p>constituent le carton. Dans le premier, la matière première est introduite dans les pulpeurs et dans divers systèmes d'épuration afin de broyer le papier de récupération et d'éliminer les matériaux indésirables (plastique, métal, etc.), jusqu'à obtenir une pâte constituée de fibres de cellulose et de charges minérales de différentes caractéristiques. Dans le cas de JOAN ROMANÍ ESTEVE, S.A., la pâte est centrifugée afin de l'acheminer vers la seconde phase du procédé.</p> <p>Le second processus, appelé « section constante », consiste à diluer la pâte jusqu'à obtenir une concentration adéquate et à l'acheminer vers le réservoir de tête de la machine qui alimente le processus de formation des différentes couches. Le pressage qui intervient entre chaque formation de couche permet d'évacuer une partie de l'eau et des fibres (eau d'égouttage) vers le réservoir. De cette manière, l'eau peut circuler de nouveau et la concentration de solides qu'elle contient augmente. L'ajout d'eau claire permet de maintenir constants la concentration (paramètre primordial pour conserver l'épaisseur), le grammage et la qualité de chaque couche. Non-réutilisé, l'excédent d'eau chargé de fibres est envoyé vers la station d'épuration et entraîne ainsi une perte d'eau et de fibres utiles.</p> <p>Lorsque les eaux ont été traitées dans la station d'épuration, les fibres sont difficilement réutilisables puisque les boues contiennent également des floculants et des charges minérales ; elles sont alors envoyées vers un site d'enfouissement.</p> <p>Les raisons qui ont poussé l'entreprise à mener cette action sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • possibilité de récupérer les fibres des eaux d'égouttage pour les réintégrer dans le processus de préparation de pâtes et augmenter ainsi le rendement et l'efficacité du processus ; • possibilité de récupérer et réintroduire l'eau dans le processus de dilution de la pâte sans avoir à l'envoyer vers la station d'épuration ; • possibilité de réduire la production de boues d'épuration et les dépenses associées à leur mise au rebut.
<p>Description de l'intervention</p>	<p>L'action réalisée par JOAN ROMANÍ ESTEVE, S.A. consiste essentielle à récupérer l'excédent d'eau (à forte teneur en fibres) du processus de formation de la couche de carton.</p> <p>Cette eau est acheminée vers un système de récupération de fibres par flottation où la recirculation de l'eau clarifiée et l'injection d'air dans le réservoir permettent d'obtenir une stratification par concentration : les fibres concentrées de l'eau clarifiée sont alors séparées.</p> <p>Les fibres sont centrifugées et reviennent vers la zone de préparation de pâte, où elles sont mélangées, dans des proportions données, à la pâte élaborée. De cette manière, il est possible de récupérer la quasi-totalité des fibres qui étaient auparavant destinées à la station d'épuration et faisaient partie des boues envoyées vers le site d'enfouissement.</p> <p>Les eaux clarifiées, via le système de récupération par flottation et la centrifugeuse, reviennent en partie dans le réservoir des eaux d'égouttage. L'autre partie permet de diluer la pâte épaisse au niveau de la section de préparation des pâtes. L'utilisation de cette eau clarifiée (qui contient une partie des charges du procédé) suppose une meilleure formation des couches de carton, puisqu'elle en augmente la qualité et l'uniformité.</p>

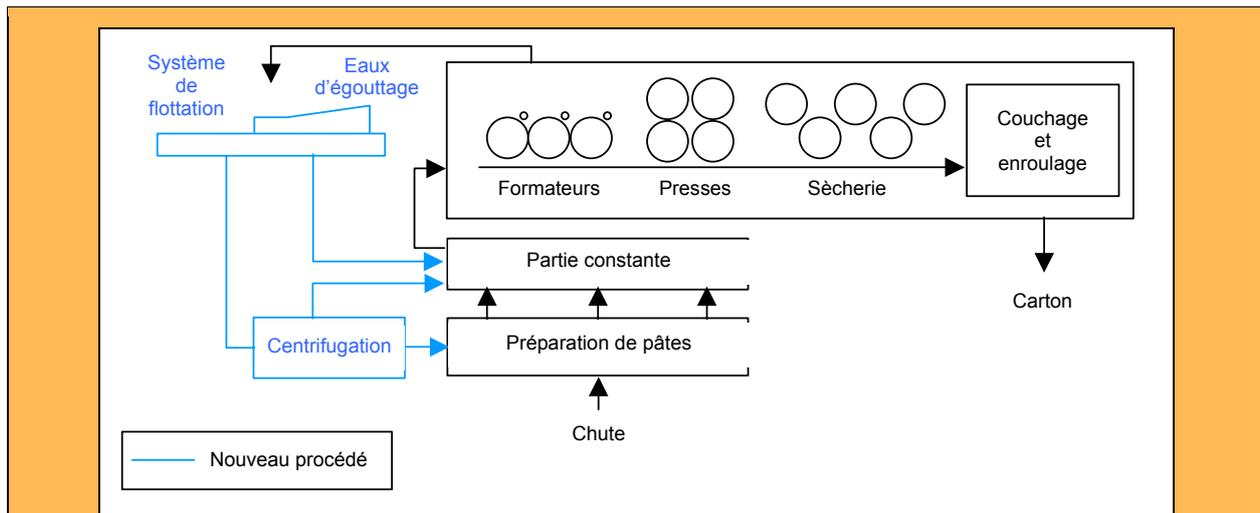


Figure 8.6. Organigramme du processus de récupération de fibres

		Ancien procédé	Nouveau procédé
Bilan de matières	Consommation d'eau	210 000 m ³ /an	210 000 m ³ /an
	Consommation de papier de récupération	55 000 t/an	55 000 t/an
	Production de carton (base 100)	100	100
	Consommation de charges/additifs	4 300 t/an	4 200 t/an
	Production de déchets	1 190 t/an	830 t/an
Aspects économiques	<p>Coûts consommation d'électricité et maintenance : 7 813 €/an</p> <p>Économie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consommation de charges/additifs: 60 101 €/an - Épuration des eaux et gestion des boues : 17 309 €/an <p>Investissement : 224 364 €</p> <p>Amortissement de l'investissement : 3,2 ans</p>		
Résultats obtenus	<p>Cette mesure de récupération et de recyclage à la source permet de réduire de 30 % les boues produites dans la station d'épuration par le traitement des eaux d'égouttage à forte teneur en fibres.</p> <p>La récupération des fibres et de l'eau a permis, non seulement de réduire les coûts de traitement des eaux, mais également d'améliorer la qualité finale du produit, puisqu'elle offre une plus grande uniformité des couches formées, et optimise la qualité des fibres (comme mélange de plusieurs tailles de fibre). Cette mesure favorise par conséquent l'uniformité des caractéristiques du carton fabriqué.</p> <p>La récupération supplémentaire de fibres et d'eau a permis à l'entreprise d'augmenter sa production de carton sans augmenter sa consommation de matières premières ou d'eau, et de réduire sa consommation de charges minérales et additifs de 2,3 %, qui se traduit par une augmentation de la productivité.</p>		
<p>Source : Centre pour l'entreprise et l'environnement CEMA, S.A., Ministère de l'environnement du Gouvernement catalan, Espagne</p>			

Cas pratique 7	8.1.7. Réutilisation de l'eau des pompes à vide de la machine à papier
Entreprise	Echezarreta.
Pays	ESPAGNE.
Production	28 000 t/an de papiers divers élaborés à partir de papier de récupération.
Problématique environnementale	Consommation d'eau élevée.
Objectif	Diminuer la consommation d'eau fraîche et réduire le débit de déversement.
Mesure à mettre en application	<p>Seule une partie de l'apport en eau nécessaire à la fermeture et au refroidissement des pompes à vide était utilisée. Les quantités sont de l'ordre de 30 m³/h. L'exploitation de cette eau suppose une économie importante en termes de consommation d'eau claire et une réduction significative du volume de déversement.</p> <p>Après étude de la qualité de cette eau et des exigences de qualité requises à chacune des étapes du processus où celle-ci était nécessaire, les points du processus pouvant recevoir cette eau ont été déterminés.</p>
Résultats obtenus	Il en résulte une réduction de 10 % de la consommation d'eau et une réduction du déversement des eaux résiduaires.
Aspects économiques	<p>L'étude économique porte sur la réutilisation de 10 m³/h de l'eau des pompes à vide, ce qui suppose une adaptation des circuits uniquement.</p> <p>Investissement (adapter les circuits) : 6 000 €.</p> <p>Coûts supplémentaires annuels : 841 € (Coût de financement : 600 € + coûts de maintenance : 240 €).</p> <p>Réduction des coûts annuels : 12 627 €</p> <p>(Économie de 10 % de la consommation d'eau claire (63 000 m³) qui, sur la base d'un coût de 0,055 €/m³, équivaut à une économie de 3 473 € environ + économie de 10 % du traitement et du déversement d'eaux résiduaires qui, sur la base d'un coût de 0,145 €/m³, équivaut à une économie de 9 153 € environ).</p> <p>Économies totales annuelles : 11 785 €</p> <p>Période d'amortissement : 0,51 ans</p>

Cas pratique 8	8.1.8. Minimisation de la quantité des eaux d'entretien lors du nettoyage des canalisations
Entreprise	MANIPULADOS DEL TER, S.A.
Adresse	ESPAGNE.
Production	Production de papier adhésif ou de contrecollage.
Problématique environnementale	Économie en matière de consommation d'eau et amélioration de la gestion des eaux résiduaires.
Objectif	Réaliser des économies en matière de consommation d'eau fraîche et de réduction du débit de rejet.

Description du procédé et antécédents	<p>Dans la fabrication de papier adhésif ou de contrecollage, il convient de distinguer deux processus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adhésif : produit composé de deux couches (de papier, en règle générale) unies par un adhésif synthétique et qui pourront ensuite se décoller (une pour servir d'étiquette et l'autre comme papier support) ; • Contrecollage : produit formé de deux couches (les deux de papier, ou d'une couche de papier et d'une couche d'aluminium ou équivalent) unies par une colle synthétique afin que celles-ci ne puissent être dissociées (utilisé en papeterie pour les pochettes cadeaux, etc.). <p>Les colles utilisées permettent à l'adhésif de coller aux surfaces auxquelles il est destiné ; dans le cas des contrecollages, ces colles garantissent la permanence et la stabilité de l'ensemble formé par les deux papiers. Chaque type de papier et d'application nécessite un type de colle spécial : jusqu'à sept qualités de colle différentes en fonction de la production envisagée.</p> <p>La technique employée jusqu'à présent imposait le nettoyage du circuit d'introduction de la colle dans le processus à chaque changement de type de production, afin d'éviter les mélanges de colles de différentes compositions susceptibles de modifier la qualité du produit final. Cette opération produisait des eaux de lavage contenant des résidus de colle et d'adhésifs qui représentaient 90 % des eaux résiduaires traitées en externe par un gestionnaire autorisé.</p> <p>La consommation d'eau nécessaire au nettoyage des circuits de colle et les dépenses liées à la gestion des eaux résiduaires ont poussé l'entreprise à améliorer la conception du circuit d'introduction de colle dans le processus. D'autre part, cette modification a permis d'accélérer le passage d'un type de production à un autre, supprimant le temps de nettoyage.</p> <p>La volonté de minimiser le risque d'accident écologique a également motivé la mise en place de cette mesure par l'entreprise. Cette préoccupation a stimulé, par exemple, l'installation de points de récupération des déchets et des émissions d'eaux résiduaires à proximité des installations et aussi loin que possible de la rivière. L'entreprise s'est également fixée comme objectif d'instaurer un système de gestion de l'environnement dans l'usine même.</p>
Description de l'intervention	<p>Les colles et les adhésifs utilisés sont de composition très diverse, qui varie selon la destination du produit final. La colle résiduaire provenant du processus de collage et les eaux de nettoyage des réservoirs et des circuits de colle, qui contiennent une certaine quantité de colle, font partie de ces déchets d'adhésifs et de colles. Comme nous l'avons indiqué précédemment, ces nettoyages s'effectuent à chaque changement de produit et tous les types de colles sont introduits dans le processus par le même circuit.</p> <p>L'entreprise a instauré une alternative de minimisation du flux de déchets de colle, qui consiste à remplacer le circuit de colles unique par sept circuits parallèles (un pour chaque type de colle), afin de supprimer les nettoyages intermédiaires à chaque changement de colle.</p> <p>L'application de cette alternative permet d'estimer la réduction de la quantité de déchets de colle à 45 %.</p>
Résultats obtenus	<p>Production annuelle de déchets de colle :</p> <p>Ancien procédé : 860 000 kg Nouveau procédé : 473 000 kg</p>

Aspects économiques	<p>Coût de gestion du déchet :</p> <p>Selon l'ancien procédé : 655 570 €/an Selon le nouveau procédé : 36 000 €/an</p> <p>Économie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en termes de gestion des déchets : 29 500 €/an - en termes de consommation d'eau : 7 212 €/an <p>Investissement dans les installations : 3 000 € Amortissement de l'investissement : Immédiat</p>
Conclusions	<p>La modification du processus adoptée permet de trier les déchets à la source. Ce tri optimise le processus de production, puisqu'il rend les changements de production plus souples et permet de diminuer la quantité de déchets à gérer ; il en découle donc une réduction des coûts associés à la gestion externe des eaux résiduaires.</p> <p>Le retour sur investissement est immédiat : outre un avantage environnemental, cette technique offre également un avantage économique important.</p>
<p><i>Source : Centre pour l'entreprise et l'environnement CEMA, S.A., Ministère de l'environnement du Gouvernement catalan, Espagne</i></p>	

Cas pratique 9	8.1.9. Traitement interne des eaux de procédé par ultrafiltration
Usine	Holmen Paper Madrid.
Adresse	ESPAGNE.
Production	180 000 t/an de papier journal et de papier couché.
Problème	Nécessité de réduire la consommation d'eau claire due à l'installation d'une nouvelle machine à papier permettant de produire 250 000 t/an.
Objectif	<p>Traitement interne des eaux de procédé par ultrafiltration pour l'élimination de polluants.</p> <p>Réutilisation des eaux traitées dans les applications qui nécessitent des eaux de très haute qualité, afin de diminuer la consommation d'eau claire.</p>
Description du procédé	<p>Bien que la consommation d'eau spécifique chez Holmen Paper Madrid se situe dans l'intervalle inférieur décrit dans le BREF (Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry) pour la fabrication de papier journal (13 m³/t), l'extension de l'unité avec une nouvelle machine à papier a nécessité la fermeture des circuits d'eau afin de disposer de suffisamment d'eau claire pour les deux machines.</p> <p>Afin d'éviter l'accumulation de polluants dans les eaux de procédé et pouvoir les exploiter à des fins exigeant des eaux de haute qualité, une unité d'ultrafiltration a été installée pour traiter 800 m³/j d'eau provenant de l'unité de flottation à air dissous de la machine à papier. L'élimination des polluants permet la réutilisation des eaux clarifiées dans les systèmes de fermeture mécanique, dans les systèmes d'arrosage de précision, etc.</p> <p>L'ultrafiltration consiste à séparer les particules de masse moléculaire élevée, comprises dans une fourchette approximative de 0,01 à 0,1 µm, via une</p>

	<p>membrane semi-perméable à basse pression, en laissant passer les sels et particules de faible masse moléculaire. Dans ce cas, des plateaux filtrants en polyuréthane dotés d'une surface membranaire de 140 m² ont été installés.</p> <p>Afin d'optimiser le rendement du procédé d'ultrafiltration, un traitement préalable de filtration des eaux est nécessaire. Après un certain nombre d'heures de fonctionnement du système de filtration, pouvant varier selon les conditions d'exploitation, les membranes atteignent un niveau de colmatage élevé et le débit du perméat passe à des valeurs inférieures aux minima de production acceptables. Le rétrolavage n'est plus suffisant pour conserver le système dans des valeurs correspondant à un débit moyen. Le cas échéant, la filtration doit être arrêtée puis un nettoyage intensif des membranes est effectué : celui-ci consiste à vider le circuit et à le recharger avec une solution de réactif en recirculation durant environ une heure, en règle générale. Le réactif de nettoyage à utiliser varie en fonction des eaux qui sont filtrées ; il peut s'agir d'un acide fort, d'une base forte, d'un composé oxydant fort ou d'un dégraissant.</p>																									
Résultats	<p>Le tableau 8.3. recense les valeurs moyennes des principaux paramètres des eaux de procédé et, pour chacun de ces paramètres, l'efficacité de l'ultrafiltration.</p> <p>Tableau 8.3. Réductions obtenues grâce à l'ultrafiltration des eaux de procédé</p> <table border="1" data-bbox="488 943 1407 1178"> <thead> <tr> <th></th> <th>Entrée</th> <th>Accepté</th> <th>Rejet</th> <th>Réduction</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conductivité (µS/cm)</td> <td>1 200</td> <td>1 170</td> <td>1 234</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Solides en suspension (ppm)</td> <td>40</td> <td>3</td> <td>322</td> <td>88%</td> </tr> <tr> <td>DCO (ppm)</td> <td>450</td> <td>339</td> <td>937</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Turbidité (UTN)</td> <td>440</td> <td>1</td> <td>1.146</td> <td>99%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nous pouvons observer qu'en termes de turbidité et de solides en suspension, l'efficacité est proche de 100 %, tandis que la réduction de la DCO, par exemple, est nettement inférieure, bien que suffisante en fonction des cas. Nous observons qu'aucune réduction ne s'est produite en termes de conductivité.</p> <p>Les eaux provenant de l'ultrafiltration permettent de nettoyer le feutre et les cylindres d'aspiration de la machine à papier, qui nécessitent avant tout l'élimination totale des solides. Grâce à ce traitement, la réduction de la consommation d'eau claire est estimée à presque 25 %.</p> <p>L'introduction de ce processus dans le traitement des eaux résiduaires présente des avantages secondaires qui en font une véritable APP. Ces avantages sont les suivants : la réduction de la consommation de soude lors du désencrage (grâce au pH supérieur des eaux en recirculation par rapport au filtrat clair du filtre à disques de la machine), la réduction de la consommation d'acide sulfurique dans les eaux (grâce au pH inférieur des eaux traitées par rapport à l'eau claire) et une économie d'énergie, due à la température supérieure des eaux traitées par rapport à l'eau claire, surtout en hiver.</p>		Entrée	Accepté	Rejet	Réduction	Conductivité (µS/cm)	1 200	1 170	1 234	2%	Solides en suspension (ppm)	40	3	322	88%	DCO (ppm)	450	339	937	25%	Turbidité (UTN)	440	1	1.146	99%
	Entrée	Accepté	Rejet	Réduction																						
Conductivité (µS/cm)	1 200	1 170	1 234	2%																						
Solides en suspension (ppm)	40	3	322	88%																						
DCO (ppm)	450	339	937	25%																						
Turbidité (UTN)	440	1	1.146	99%																						
Données économiques	<p>Investissement total : 450 000 €</p> <p>Consommation d'électricité : 115 kW/h</p> <p>Coûts d'exploitation approximatifs : 50 000 €/an</p> <p>Économies : réduction de la consommation d'eau de 800 m³/j, soit une économie de 245 000 €/an</p> <p>Durée d'amortissement de l'investissement : environ 2,5 ans.</p>																									

<p>Cas pratique 10</p>	<p>8.1.10. Flottation à air dissous</p>
<p>Usine</p>	<p>Holmen Paper Madrid.</p>
<p>Adresse</p>	<p>ESPAGNE.</p>
<p>Production</p>	<p>180 000 t/an de papier journal et de papier couché.</p>
<p>Problème</p>	<p>Accumulation de polluants dans les eaux de procédé, notamment la matière dissoute et colloïdale et les stickies, qui affectent la productivité de la machine et la qualité du produit final.</p>
<p>Objectif</p>	<p>Améliorer la qualité des eaux de procédé en les traitant par flottation à air dissous (FAD), dans le but d'éliminer les solides en suspension et les stickies, puis de réintégrer les eaux traitées dans le processus de fabrication.</p>
<p>Description du procédé</p>	<p>Les eaux provenant des filtres à disques de la seconde étape et de la machine à papier sont traitées par flottation à air dissous afin d'être réutilisées comme eau claire de dilution et pour les systèmes d'arrosage (figure 8.7).</p> <p>Figure 8.7. Intégration de l'unité de FAD dans le processus</p> <p>La majeure partie de l'eau claire consommée dans une fabrique de papier est utilisée par la machine à papier, notamment pour les systèmes d'arrosage de la table ; par conséquent, il est important de remplacer l'eau claire de ces étapes par des eaux de procédé. Pour atteindre cet objectif, un traitement interne des eaux de procédé est nécessaire avant leur réutilisation.</p> <p>Dans le cas présent, le traitement choisi a été la flottation à air dissous avec une surface effective de 69 m² et une hauteur de 1 m. Dans l'unité de flottation (figure 8.8.), la suspension est saturée en air sous pression, de façon que l'expansion produise des bulles de petit calibre permettant l'élimination des polluants entre 0,1 et 10 µm, par entraînement, ce qui engendre la formation d'écume pouvant être facilement éliminée. Des adjuvants de coagulation et/ou de floculation sont ajoutés afin de faciliter l'élimination de la matière.</p>



Figure 8.8. Unité de flottation à air dissous

Résultats	<p>L'optimisation physico-chimique des unités de flottation à air dissous améliore l'élimination des solides en suspension, des stickies et, dans une mesure moins large, de matière dissoute et colloïdale. En ce qui concerne la fabrication de papier journal, le simple ajout de flocculants permet d'obtenir des niveaux d'efficacité élevés. En revanche, le papier couché requiert l'association de coagulants et de flocculants.</p> <p>En règle générale, le traitement par FAD permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'élimination de 99 % des solides en suspension ; • l'élimination de 80 à 95 % des cendres ; • l'élimination de 10 à 15 % de la DCO.
Données économiques	<p>Diamètre de la FAD : 9,5 m</p> <p>Débit du système : 350 m³/h</p> <p>Charge de solides à l'entrée : 70 kg/h</p> <p>Investissement pour la FAD : 253 000 €</p> <p>Coût total, y compris les pompes, la tuyauterie, l'installation, etc. : 380 000 €</p> <p>Coûts d'exploitation : environ 100 000 €/an.</p> <p>Économies : l'application de cette mesure a pour objectif d'améliorer la qualité des eaux de procédé en circuits assez fermés, afin d'éviter que l'accumulation de polluants n'affecte le processus de fabrication et/ou la qualité du produit final. Une telle amélioration doit permettre de réduire le nombre de pannes et d'arrêts dus au nettoyage de la machine.</p>

Cas pratique 11	8.1.11. Récupération et recyclage de produits de coucha
Entreprises	Torraspapel, usine de Sant Joan les Fonts.
Pays	ESPAGNE.
Production	Papier couché élaboré à partir de fibre vierge.
Problématique environnementale	<ul style="list-style-type: none"> • Forte teneur en solides des eaux résiduaires traitées dans la station d'épuration. • Production importante de boues. • Perte de matières premières.

Objectif	Récupération des déversements de la 6 ^{ème} phase de l'épuration tourbillonnaire de la machine à papier.
Mesure à mettre en application	Installation d'un broyeur permettant de récupérer la matière solide présente dans les chutes du couchage séparées dans les rejets des cyclones de la machine.
Description du procédé et antécédents	<p>Avant d'entrer dans la machine à papier proprement dite, la suspension aqueuse du mélange de composants destinée à la fabrication du papier est soumise à un processus d'épuration afin de séparer les impuretés éventuelles.</p> <p>Cette épuration s'effectue grâce à un système de cyclones qui permet de séparer les particules lourdes du fluide par centrifugation. Ce système en cascade comporte plusieurs étapes : le rejet issu de la première étape est épuré à la seconde, le fluide admis à la seconde étape revient à la première, et le rejet correspondant est traité à la troisième étape, et ainsi de suite. Le système d'épuration de la machine de Sant Joan comprend six étapes au total.</p> <p>Le rejet de la 6^{ème} phase d'épuration contient essentiellement des chutes de couchage, avec une proportion abondante de charges minérales, en suspension dans l'eau, et qui, de par leur poids et leur taille, sont rejetées avec l'eau et ne sont pas recyclables telles quelles. Par conséquent, ce déversement est envoyé vers la station de traitement des eaux résiduaires.</p> <p>Cette mesure a pour objectif de réutiliser totalement ce déversement et de le réintégrer en tant que charge minérale dans le circuit de la machine à papier.</p>
Description de l'intervention	<p>Un broyeur, fabriqué par la maison autrichienne GAW, a été testé dans une usine pilote afin d'évaluer son efficacité dans le traitement des charges de papier.</p> <p>Les essais effectués dans cette usine pilote ont prouvé l'efficacité de ce système qui permet d'économiser de la matière première et de réduire les déversements de l'usine. D'autres avantages, tels que la réduction des coûts de traitement des déversements et l'amélioration de la production de déchets solides, se traduisent par l'allongement de la durée d'utilisation du site d'enfouissement.</p> <p>Il s'agit d'un dispositif de broyage, équipé d'un réservoir d'alimentation, d'un broyeur, d'un réservoir de sortie, ainsi que de pompes, agitateurs et éléments d'automatisation nécessaires au fonctionnement automatique depuis le système de contrôle distribué de la machine à papier.</p>
Description de l'installation	<p>L'installation comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> • un réservoir de 400 litres, avec système d'agitation et de contrôle de dilution, pour la réception du déversement de la 6^{ème} phase du processus d'épuration de la machine ; • une pompe d'envoi vers le broyeur ; • un système de broyage qui traite l'intégralité du déversement, réduisant et uniformisant la taille des particules ; • un réservoir de sortie, permettant d'effectuer le dosage en continu en machine ; • pompe de dosage vers la machine à papier ; • la tuyauterie correspondante pour les circuits de fluides, les vannes manuelles et automatiques ;

- les instruments de mesure de débit et de niveau.

L'installation est totalement automatisée ; son fonctionnement et son contrôle sont intégrés dans le système de contrôle distribué (DCS) de la machine à papier (voir figure 8.9).

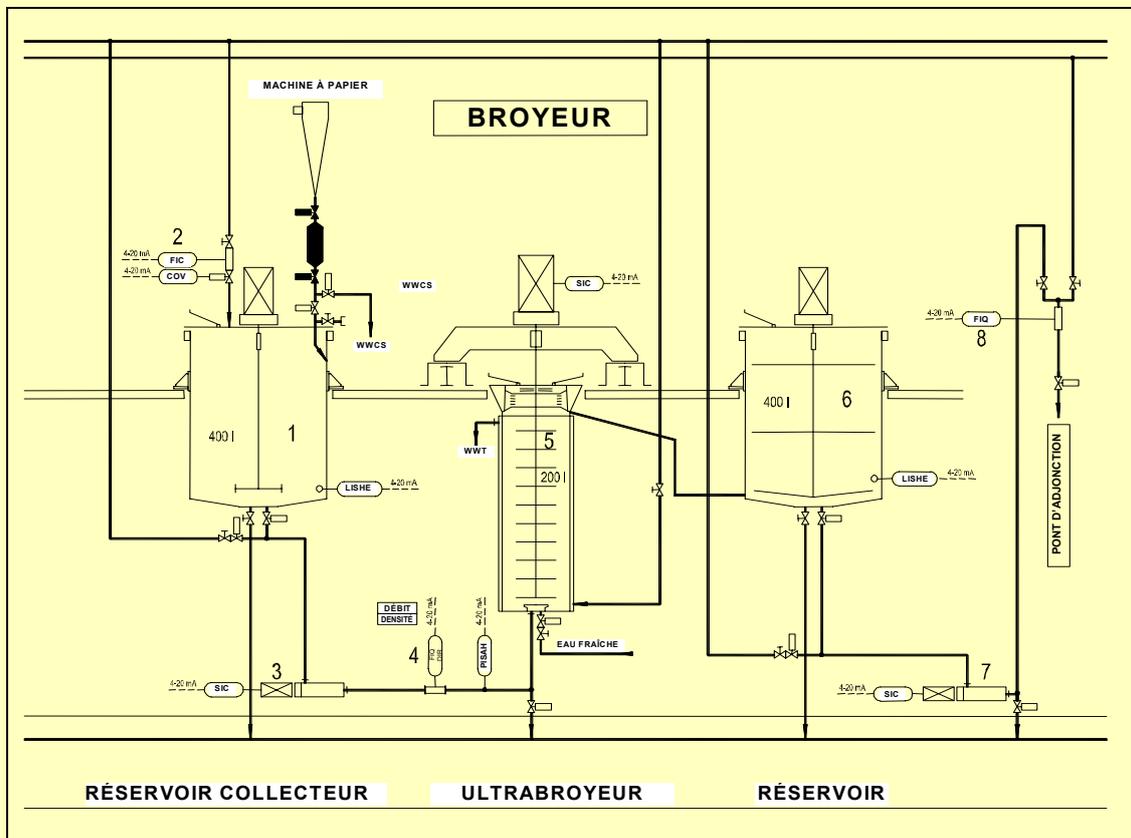


Figure 8.9. Schéma de l'installation de broyage de Torraspapel

Résultats obtenus

Comme nous l'avons déjà mentionné, cette installation permet de récupérer la matière solide du circuit de la machine à papier.

Par conséquent, il s'agit d'un recyclage direct des matières premières, essentiellement des fibres, du carbonate de calcium et autres charges minérales. Ce recyclage se traduit sur l'environnement de la façon suivante :

- diminution de l'utilisation de matières premières nécessaires à la fabrication d'une tonne de papier ;
- réduction du volume de solides contenus dans les déversements envoyés vers la station de traitement des eaux résiduelles, engendrant une augmentation du rendement des équipements d'épuration et de la qualité des eaux épurées ;
- diminution significative des boues extraites par la station d'épuration, prolongeant ainsi la durée d'utilisation du site d'enfouissement contrôlé, où elles finissent par être entreposées.

Aspects économiques

Le coût de l'investissement est estimé à 435 000 euros.

Le calcul de l'apport repose sur la récupération et le recyclage des matières premières. La composition du matériau récupéré est la suivante :

	<ul style="list-style-type: none"> • 11,5 % matière organique. • 88,5 % de matière minérale. <p>Outre les économies réalisées en termes de coût à l'achat, il faut compter celles effectuées sur les coûts de traitement au niveau de la station et du site d'enfouissement, selon le tableau suivant :</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>ÉCONOMIE DE MATIÈRES PREMIÈRES</td> <td style="text-align: right;">(Kg/ jour)</td> </tr> <tr> <td>Matière organique</td> <td style="text-align: right;">644</td> </tr> <tr> <td>Matière minérale</td> <td style="text-align: right;">4 956</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td style="text-align: right;">5 600 Kg/ jour</td> </tr> </table> <p>Comparée aux coûts des matériaux, cette économie est de : 511,00 euros par jour</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>ÉCONOMIES SUR LES COÛTS DE TRAITEMENT</td> <td style="text-align: right;">(euros par tonne sèche déversée)</td> </tr> <tr> <td>Coût produits chimiques station d'épuration</td> <td style="text-align: right;">45,1</td> </tr> <tr> <td>Coût transport des boues</td> <td style="text-align: right;">5,5</td> </tr> <tr> <td>Coût décharge</td> <td style="text-align: right;">5,0</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td style="text-align: right;">55,6 €/t sèche déversée</td> </tr> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>APPORT ANNUEL :</td> </tr> <tr> <td>Sur la base d'une récupération de 5,6 tonnes par jour de matière sèche, (5,6 t/j x 55,6 €/t + 511 €/j) x 355 j/an = 291 937 €/an</td> </tr> </table> <p>Par conséquent, le retour sur investissement de cette installation est de : $435/292 = 1,48$ ans.</p>	ÉCONOMIE DE MATIÈRES PREMIÈRES	(Kg/ jour)	Matière organique	644	Matière minérale	4 956	TOTAL	5 600 Kg/ jour	ÉCONOMIES SUR LES COÛTS DE TRAITEMENT	(euros par tonne sèche déversée)	Coût produits chimiques station d'épuration	45,1	Coût transport des boues	5,5	Coût décharge	5,0	TOTAL	55,6 €/t sèche déversée	APPORT ANNUEL :	Sur la base d'une récupération de 5,6 tonnes par jour de matière sèche, (5,6 t/j x 55,6 €/t + 511 €/j) x 355 j/an = 291 937 €/an
ÉCONOMIE DE MATIÈRES PREMIÈRES	(Kg/ jour)																				
Matière organique	644																				
Matière minérale	4 956																				
TOTAL	5 600 Kg/ jour																				
ÉCONOMIES SUR LES COÛTS DE TRAITEMENT	(euros par tonne sèche déversée)																				
Coût produits chimiques station d'épuration	45,1																				
Coût transport des boues	5,5																				
Coût décharge	5,0																				
TOTAL	55,6 €/t sèche déversée																				
APPORT ANNUEL :																					
Sur la base d'une récupération de 5,6 tonnes par jour de matière sèche, (5,6 t/j x 55,6 €/t + 511 €/j) x 355 j/an = 291 937 €/an																					

Cas pratique 12	8.1.12. Installation de variateurs de fréquence sur le moteur de pompe de la fosse de la machine à papier
Entreprise	Echezarreta.
Pays	ESPAGNE.
Production	28 000 t/an de papiers divers élaborés à partir de papier de récupération.
Problématique environnementale	Consommation d'énergie électrique élevée.
Objectif	Réaliser des économies d'énergie.
Mesure à mettre en application	<p>Description de la mesure :</p> <p>1. Utilisation de variateurs de fréquence. Ces derniers sont recommandés pour les moteurs qui doivent fonctionner à différents régimes de charge. Comme les dispositifs de démarrage, ils permettent d'atténuer le courant électrique de mise en marche, tout en optimisant le rendement au niveau des groupes motopompes.</p>

	2. À plus long terme, l'entreprise peut envisager de remplacer les moteurs les plus anciens et peu rentables par des moteurs conçus pour économiser l'énergie. À puissance égale, ces moteurs nécessitent moins d'énergie que les moteurs conventionnels. Le niveau d'efficacité élevé de ces moteurs se traduit par de faibles besoins énergétiques et d'importantes réductions en termes de coûts d'exploitation. L'amortissement de ces moteurs est donc très rapide.
Résultats obtenus	La consommation électrique est alors réduite de 0,4 %.
Aspects économiques	<p>Bilan économique associé à l'installation du variateur de fréquence sur le moteur de la pompe de la fosse de la machine à papier :</p> <p>Investissements (variateur pour un moteur de 30 kW) : 4 700 €.</p> <p>Coûts supplémentaires annuels : 330 € (Coût de financement : 240 € + coûts de maintenance : 95 €).</p> <p>Réduction des coûts annuels (économies en termes de consommation électrique) : 5 713 €</p> <p>Économies totales annuelles : 5 385 €</p> <p>Période d'amortissement : 0,87 ans</p>

8.2. CAS PRATIQUES ASSOCIÉS AUX TRAITEMENTS FINAUX

Cas pratique 13	8.2.1. Installation d'une station de traitement primaire
Entreprise	Station de traitement physico-chimique pour l'industrie papetière (Source : IHOBE).
Pays	ESPAGNE.
Production	31 000 t/an de papier support autocopiant à partir de pâte chimique blanchie.
Problématique environnementale	Charge polluante élevée du déversement.
Objectif	Réduire la charge polluante des déversements.
Mesure à mettre en application	<p>L'étude portant sur l'implantation d'un processus d'épuration des eaux au sein de l'entreprise et l'absence de rejet d'eaux résiduelles vers la station d'épuration des eaux résiduelles urbaines (EDAR) envisage une possibilité intermédiaire : la réalisation d'une épuration primaire des eaux dans la fabrique même et l'évacuation des eaux traitées vers la EDAR.</p> <p>Cette possibilité est intéressante car la station de traitement primaire est relativement simple et demande un investissement moindre par rapport à l'utilisation d'un traitement secondaire. Le traitement primaire doit permettre de réduire considérablement les solides en suspension et la DCO des eaux traitées qui devraient être facilement traités, ensuite, dans la EDAR.</p> <p>L'installation du traitement primaire produit cependant un nouveau déchet : les boues provenant des eaux résiduelles. En principe, ce déchet est inerte mais il doit être correctement géré : dépôt dans un site d'enfouissement, ou revalorisation, par exemple, en cimenterie ou dans la fabrication de briques. De toute façon, la quantité de boue produite est infime.</p>

Résultats obtenus	Séparation de solides en suspension contenus dans les déversements, constitués essentiellement de fibres et de fines
Aspects économiques	<p>Bilan économique :</p> <p>Investissements (épuration de traitement primaire) : 360 600 €</p> <p>Coûts supplémentaires annuels : 24 000 € (Correspondant aux coûts d'exploitation).</p> <p>Réduction des coûts annuels : 114 192 € (Correspondant à un faible déversement d'eaux résiduaire et à la réduction de la charge polluante du déversement de 60 %).</p> <p>Économies totales annuelles : 90 192 €</p> <p>Période d'amortissement de l'investissement : 4 ans</p>

Cas pratique 14	8.2.2. Usine de traitement des eaux résiduaire
Entreprises	PALOMA Sladkogorska tovarna papirja. http://www.paloma.si/palomaeng .
Pays	SLOVÉNIE.
Production	<p>Papier mousseline de différentes qualités (papier toilette, lingette, serviettes, etc.) à partir de papier de récupération (53 000 t en 2003) et de fibre vierge (23 500 t en 2003).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Papier CB (100 % fibre vierge). • Papier TT – Thermo transfert (fibre vierge/papier de récupération). • Papier AP – Tout usage (100 % papier de récupération). • Papier PP (100 % papier de récupération).
Problématique environnementale	Pollution de la rivière Mura due au déversement des eaux résiduaire de la fabrique de papier. Importante consommation spécifique d'eau.
Objectif	Installation d'une station de traitement des eaux résiduaire du processus afin de minimiser l'impact de ce déversement.
Mesure à mettre en application	<p>Pour réduire l'impact sur l'environnement du déversement des effluents de la station, les actions suivantes s'avèrent nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> • traitement physico-chimique des eaux résiduaire suivi d'un traitement biologique aérobie ; • égouttage des boues physico-chimiques via un traitement physico-chimique ; • épauissage des boues biologiques ; • amélioration de la qualité des eaux de procédé au moyen de microfiltres, afin de réduire la consommation d'eau et d'en réutiliser une partie.
Résultats obtenus	Les améliorations constatées au niveau des traitements internes sont les suivantes :

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paramètre</th> <th>Réf. MTD</th> <th>Avant le traitement AR (2002)</th> <th>Après traitement biologique (2003)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DCO (kg O₂/t)</td> <td>2 - 4</td> <td>34,2</td> <td>2,96</td> </tr> <tr> <td>DBO₅(kg O₂/t)</td> <td>0,05 – 0,5</td> <td>8,8</td> <td>0,37</td> </tr> <tr> <td>TSS (kg/t)</td> <td>0,1 – 0,4</td> <td>32,4</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>AOX (kg Cl/t)</td> <td>< 0,005</td> <td>0,02</td> <td>0,0029</td> </tr> <tr> <td>N total (kg N/t)</td> <td>0,05 – 0,25</td> <td>0,29</td> <td>0,06 – 0,09</td> </tr> <tr> <td>P total (kg P/t)</td> <td>0,005 – 0,015</td> <td>0,016</td> <td>0,004 – 0,009</td> </tr> <tr> <td>Cd (g/t)</td> <td></td> <td>2</td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td>Cr (g/t)</td> <td></td> <td>7</td> <td>0,289</td> </tr> <tr> <td>Ni(g/t)</td> <td></td> <td>2</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td>Pb(g/t)</td> <td></td> <td>2</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>Zn(g/t)</td> <td></td> <td>111</td> <td>7,70</td> </tr> <tr> <td>Effluent (m³/t)</td> <td>8 - 25</td> <td>29,7</td> <td>25,1</td> </tr> </tbody> </table>				Paramètre	Réf. MTD	Avant le traitement AR (2002)	Après traitement biologique (2003)	DCO (kg O ₂ /t)	2 - 4	34,2	2,96	DBO ₅ (kg O ₂ /t)	0,05 – 0,5	8,8	0,37	TSS (kg/t)	0,1 – 0,4	32,4	0,3	AOX (kg Cl/t)	< 0,005	0,02	0,0029	N total (kg N/t)	0,05 – 0,25	0,29	0,06 – 0,09	P total (kg P/t)	0,005 – 0,015	0,016	0,004 – 0,009	Cd (g/t)		2	0,08	Cr (g/t)		7	0,289	Ni(g/t)		2	0,07	Pb(g/t)		2	0,13	Zn(g/t)		111	7,70	Effluent (m ³ /t)	8 - 25	29,7	25,1
	Paramètre	Réf. MTD	Avant le traitement AR (2002)	Après traitement biologique (2003)																																																				
DCO (kg O ₂ /t)	2 - 4	34,2	2,96																																																					
DBO ₅ (kg O ₂ /t)	0,05 – 0,5	8,8	0,37																																																					
TSS (kg/t)	0,1 – 0,4	32,4	0,3																																																					
AOX (kg Cl/t)	< 0,005	0,02	0,0029																																																					
N total (kg N/t)	0,05 – 0,25	0,29	0,06 – 0,09																																																					
P total (kg P/t)	0,005 – 0,015	0,016	0,004 – 0,009																																																					
Cd (g/t)		2	0,08																																																					
Cr (g/t)		7	0,289																																																					
Ni(g/t)		2	0,07																																																					
Pb(g/t)		2	0,13																																																					
Zn(g/t)		111	7,70																																																					
Effluent (m ³ /t)	8 - 25	29,7	25,1																																																					
	<p>En résumé, nous avons observé les taux de réduction suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 15 % de la consommation spécifique d'eau ; • plus de 90 % de la DCO des effluents finaux de la station ; • 96 % de la DBO ; • 99 % du total des solides ; • 67 % des déversements de N. 																																																							
Aspects économiques	<p>Investissement total : 4 200 000 € Coûts d'exploitation : 835 000 €/an Économie : 1 195 000 €/an Durée d'amortissement de l'investissement : 10 ans</p>																																																							

Cas pratique 15	8.2.3. Traitement des effluents à l'ozone
Entreprise	Buettenspapierfabrik Gmund ; PME, 5 000 t/an
Problématique environnementale	Déversement de flux de déchets à forte teneur en DCO et potentiellement recyclables
Objectif	Réduction du volume des effluents associés à la fabrication de papier et réutilisation de l'eau de fabrication du papier
Description du procédé et antécédents	Il s'agit d'une usine de petite taille, 5 000 t/an, qui fabrique du papier fin coloré à l'aide de deux machines à papier (figure 8.10).

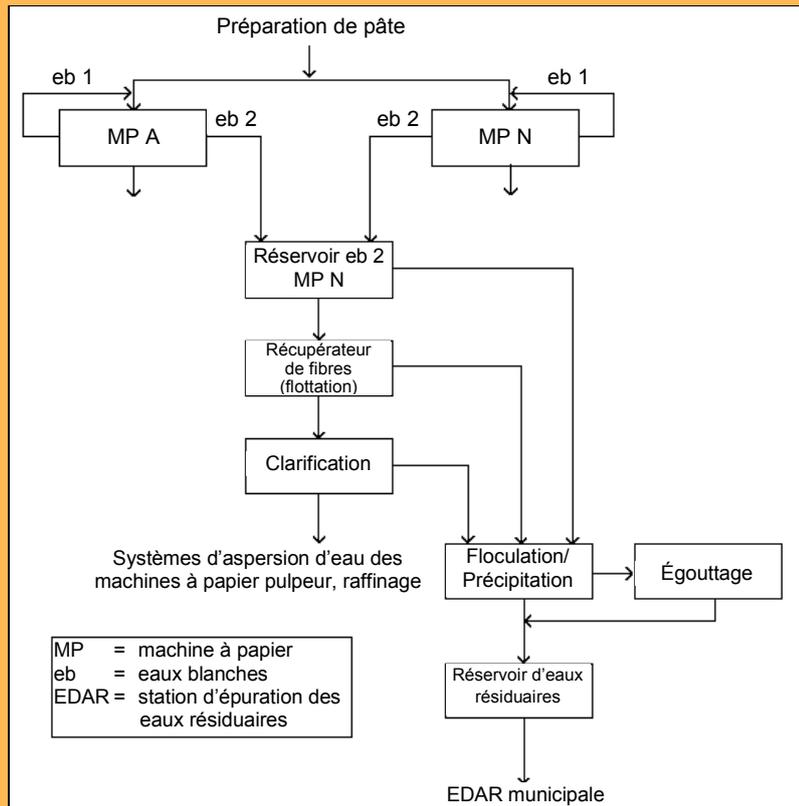


Figure 8.10 - Situation initiale

Les eaux contaminées présentent un pourcentage élevé de polluants dû au procédé de coloration. L'eau qui résulte de l'épaississage des boues d'épuration se déverse directement, sans être réutilisée ; par conséquent, le déversement présente une forte teneur en DCO. Le débit de déversement s'élève environ à 29 m³ par tonne de papier fabriqué.

Mesure à mettre en application

Traitement de l'eau clarifiée dans le processus de flottation des eaux blanches des machines à papier par filtration, dans un filtre à disques sous pression, puis ozonisation afin de pouvoir réutiliser cette eau dans le processus, et éviter ainsi son déversement (figure 8.11).

Cas pratique 16	8.2.4. Valorisation énergétique des boues
Entreprises	CARTIERE BURGO.
Pays	ITALIE.
Production	Production de 150 000 t/an de papier journal avec un grammage de 42 à 48,8 g/m ² . Largeur utile de la machine : 7 m. Vitesse de la machine : 1 170 m/min.
Problématique environnementale	Production élevée de boues, 340 tonnes par jour.
Antécédents	<p>Cette usine de production de pâte et papier désencré engendre une importante quantité de boues et de rejets, qui pourrait permettre de produire de la vapeur et/ou de l'électricité, comme une énergie renouvelable, tout en réduisant la mise en site d'enfouissement.</p> <p>Les déchets produits sont de trois types :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rejets : constitués de papier, de plastique, de métaux, de fibres et de tissus, qui correspondent aux impuretés de papier séparées au moment du tri ou dans les premières étapes de l'épuration. • Boues de désencrage : la proportion moyenne de boues de désencrage est de 20 % (en M.S) pour le papier de récupération ou 25 % pour le produit (également en M.S). • Boues primaires : elles correspondent aux boues séparées lors du traitement primaire des eaux résiduaires. • Boues biologiques : Ces boues sont constituées par la purge qui intervient lors du traitement biologique des eaux résiduaires. En règle générale, leur production, sur une base sèche, est estimée entre 65 % et 70 % de la masse de matière éliminée par voie biologique. <p>L'usine de Cartiere Burgo produit 150 000 t/an de papier journal à partir de papier de récupération et, en moyenne, 25 000 t/an de boues de désencrage. Ces boues ont un pouvoir calorifique minimum de 10 000 kJ/ kg, soit $2,5 \cdot 10^8$ MJ d'énergie thermique.</p>
Mesure à mettre en application	<p>L'entreprise a opté pour la technologie de combustion sur fluidisé à bulles, BFB (Bubbling Fluidised Bed). La combustion de boues de désencrage nécessite une technologie spéciale qui assouplit l'opération et permet de récupérer le faible potentiel calorifique des boues. La combinaison du séchage (avec chaleur résiduelle) et de la combustion sur lit fluidisé à bulles, « Bubbling Fluidised Bed » ou BFB, est la solution la plus répandue dans les usines aujourd'hui ; elle permet en effet de travailler avec des combustibles à faible pouvoir calorifique et à forte teneur en humidité (figure 8.12.).</p> <p>La chaudière produit de la vapeur d'eau surchauffée, qui se répand dans une turbine afin de créer de l'énergie électrique.</p>

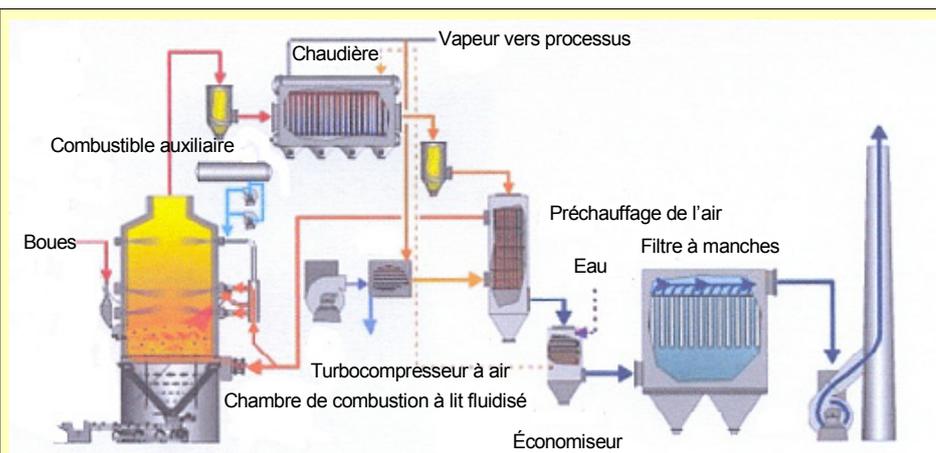


Figure 8.12.- Combustion et production de vapeur dans une chaudière BFB

La solution proposée s'avère plus écologique, car elle favorise l'utilisation de matière première, d'origine végétale (fibres de cellulose dégradées ou non-recyclables), comme combustible alternatif. Cette technique a permis d'obtenir en moyenne plus de 50 millions de kWh/an. Avec une production d'énergie de 3,2 MWe, 14 t/heure de vapeur à 52 bars et 430 °C.

Réduction de 80 % des déchets produits, restés inertes, avec possibilité d'utilisation dans d'autres applications.

Les émissions de gaz présentent des concentrations de polluants inférieures aux limites d'émission. Le tableau 8.4. rassemble les données publiées relatives à l'usine de Cartiere Burgo, à Mantova (Italie).

Tableau 8.4. Émissions gazeuses

Polluant	Unités	Émission
Particules	mg/m ³ N	19,7
SO ₂	kg/h	1,46
NO _x	ppm	74
HCl	kg/h	3,86
NH ₃	ppm	11,9
CO	ppm	<1,2
COV comme méthane	ppm	<1,5
COV comme carbone	ppm	<1,6
PCBs	ng/m ³	<2,8
PCDD/PDCF	ng/m ³	0,54
Opacité	%	0

Résultats obtenus

Aspects économiques

Les **investissements** se sont élevés à 9 millions d'euros.

Le montant des **bénéfices** dérivés de la production électrique, aux prix conventionnels de l'énergie dans le domaine de l'industrie, s'élève à 1,9 millions d'euros/an, et représente une période de retour sur investissement de 4,7 ans.

<p>Conclusions</p>	<p>La valorisation énergétique des boues est une alternative économique et écologique intéressante, applicable aux fabriques de pâtes désencrées DIP ayant une production minimale de 100 000 tonnes par an.</p> <p>La mise en œuvre d'une unité de traitement de valorisation énergétique des boues et autres déchets papetiers implique une caractérisation des boues de désencrage et l'inventaire des autres déchets, afin de constituer un ensemble de déchets permettant de déterminer les ressources thermiques disponibles.</p> <p>La capacité de l'unité pouvant être installée augmente en fonction de la production ce qui engendre également des bénéfices économiques et écologiques plus importants.</p> <p>Pour des productions inférieures à 100 000 t/an, l'alternative de récupération énergétique des boues de désencrage semble plus appropriée ; associée aux autres boues physico-chimiques et biologiques et aux autres déchets papetiers, elle est économiquement plus rentable. Elle nécessite cependant une étude préalable plus détaillée. Elle semble rentable avec les pâtes DIP pour le papier mousseline.</p>
<p>Autres exemples d'application</p>	<p>L'entreprise Cartiere Burgo dispose de deux usines de production d'énergie, une à Mantova (Italie) avec une capacité de 3,2 MW et la seconde à Verzuolo (Italie) avec une capacité de 7 MW ; elles font toutes deux appel à la technologie de combustion sur lit fluidisé à bulles (BFB).</p> <p>En avril 2000, l'unité de DIP de la Honsha Mill Fuji, du groupe Daishowa Paper Manufacturing Co Ltd, a lancé une station de récupération énergétique, dotée de la technologie de combustion BFB, avec une capacité de production de vapeur de 65 t/h, soit un potentiel de 14,5 MWe.</p> <p>La centrale de cogénération de la papeterie de Golbey (France) exploite les boues et autres déchets, et traite 400 t par jour de matière sèche avec une capacité de 90 MW. Elle utilise également la technologie de combustion sur lit fluidisé à bulles (BFB).</p> <p>À l'aide d'une chaudière à lit fluidisé à bulles (BFB), la papeterie Sachsen brûle les boues de désencrage et les rejets de papier, avec une proportion de cendres de 51 % et 55 % d'humidité. L'unité dispose d'une capacité de production de 196 t par jour de solides et de 39,6 t par heure de vapeur, à 84 bars et 490 °C.</p> <p>D'autres entreprises, comme Cross Pointe Paper Corporation (Wisconsin), ont également adopté la valorisation énergétique des déchets papetiers par la technologie BFB. La polyvalence du BFB dans la récupération énergétique des boues se confirme, s'avérant une technique plus avantageuse que les autres procédés comme la technique du lit fluidisé circulant (CFB, Circulating Fluidized Bed).</p>

8.3. AUTRES EXEMPLES DE BONNE GESTION ENVIRONNEMENTALE

Cas pratique 17	8.3.1. Planification systématique pour une gestion de l'eau optimale
Entreprises	Groupe de 30 usines dans la région de la Toscane en Italie.
Adresse	Résultats du projet européen PAPERBREF EVK1-2000-200690 mis en œuvre par Lucense (Centro servizi alle imprese, Lucca, Italie), PTS (Papiertechinsche Stiftung, Monaco, Germanie), CTP (Centre technique du papier, Grenoble, France), ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana) et Serv. Eco Srl (consortium regroupant plusieurs papeteries de la province Di Lucca). http://www.paperbref.info
Production	14 usines de papier mousseline à base de fibre vierge. 3 usines de papier mousseline à base de papier de récupération. 12 usines de papier d'emballage à base de papier de récupération. 1 usine de papier.
Problématique environnementale	Consommation d'eau élevée dans les usines de papier et de carton.
Procédure	<p><u>Données de départ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Situation actuelle de l'entreprise : utilisation de l'eau, débits et circuits d'eau. • Organigramme du flux du processus avec consommations d'eau et recirculations existante. • Analyse des eaux afin de déterminer l'accumulation de matières organiques et inorganiques lors de la fermeture des circuits d'eau. • Estimation de l'impact de la qualité physico-chimique des eaux sur le procédé. <p><u>Analyse des données</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimation du potentiel de réduction en eau claire. Détermination des pertes d'eaux recyclables. • Alternatives pour la modification des circuits afin d'améliorer la gestion de l'eau sans affecter le processus ni la qualité du produit final, en optimisant l'utilisation, la consommation et la qualité de l'eau.
Méthodes	<p><u>Méthodes qui n'affectent pas la charge de polluants dans le processus</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Système d'eaux de refroidissement (jusqu'à 6 m³/t) : réutilisation de ces eaux non-polluées à d'autres niveaux du processus de production. • Préparation des additifs avec de l'eau claire et dilution, si nécessaire, dans des eaux de procédé. • Diminution du débit des eaux d'étanchéité : les fabricants de pompe disposent de plusieurs alternatives pour réduire la consommation d'eau d'étanchéité, comme par exemple l'étanchéité mécanique. • Circuit fermé des eaux d'étanchéité de pompes à vide avec un traitement de refroidissement et d'élimination des solides. • Identification des pertes d'eau claire au cours du processus.

Pour fermer les circuits d'eaux et minimiser les éventuels effets négatifs, il est nécessaire de maintenir une certaine stabilité du processus afin d'éviter la contamination du produit. Pour cela, il est important de prendre en compte :

- Adecuar la capacidad de almacenamiento de pastas, aguas y rotos. Control de derrames accidentales.
- L'adaptation de la capacité de stockage des pâtes, des eaux et des chutes. Le contrôle des fuites accidentelles.
- La gestion adéquate des chutes en séparant les circuits d'eaux blanches des circuits de chutes afin d'éviter les instabilités dans la partie humide de la machine.
- La clarification des eaux de procédé avant leur réutilisation afin d'obtenir des eaux clarifiées à faible teneur en solides qui peuvent être recyclées : récupérateurs de fibres efficaces, comme les filtres à disques, pour éliminer les solides en suspension, et unités de flottation FAD avec procédé de coagulation/floculation pour éliminer les solides en suspension et la matière colloïdale.
- La séparation des circuits. Celle-ci est particulièrement importante dans les usines intégrées qui nécessitent 1 à 3 circuits dans les zones de préparation de pâte et 1 circuit pour la machine à papier.
- La réutilisation de l'eau à contre-courant avec le flux de fibres. Cet aspect est fondamental dans les usines intégrées afin d'éviter les charges polluantes organiques trop élevées dans les circuits d'eau de la machine à papier.

La fermeture des circuits d'eau réduit la quantité d'eau résiduaire mais augmente sa charge polluante. Un traitement adapté de cette eau est donc nécessaire afin de répondre aux exigences en matières de déversements.

Les alternatives suivantes sont par conséquent très importantes :

- Bassin d'homogénéisation des eaux résiduaires.
- Traitement primaire : traitement physico-chimique par flottation ou sédimentation afin d'éliminer les solides en suspension jusqu'à 30 à 200 mg/l. Après l'égouttage, les boues sont incinérées ou réutilisées en agriculture.
- Traitement secondaire, si nécessaire, pour éliminer la matière organique. En règle générale, un traitement aérobie suffit ; cependant, si la charge organique est très élevée et nécessite un traitement en deux étapes, il est possible de procéder à un traitement anaérobie préalable.
- Traitement tertiaire, par exemple précipitation chimique, si l'élimination de certains polluants spécifiques (comme le phosphore, les solides en suspension ou la matière organique dissoute ou colloïdale) s'impose.

Pour fermer la quasi-totalité des circuits d'eau, les technologies émergentes doivent être considérées comme des systèmes de traitement interne des eaux de procédé préalable à leur réutilisation. L'intégration de ces technologies implique un investissement important et augmente les coûts d'exploitation ainsi que la production de rejets et de boues. Dans certains cas, la viabilité économique de ces technologies n'est pas encore démontrée.

Il existe différentes technologies d'élimination des solides, des sels et de la matière organique tel que décrit dans la figure 8.14.

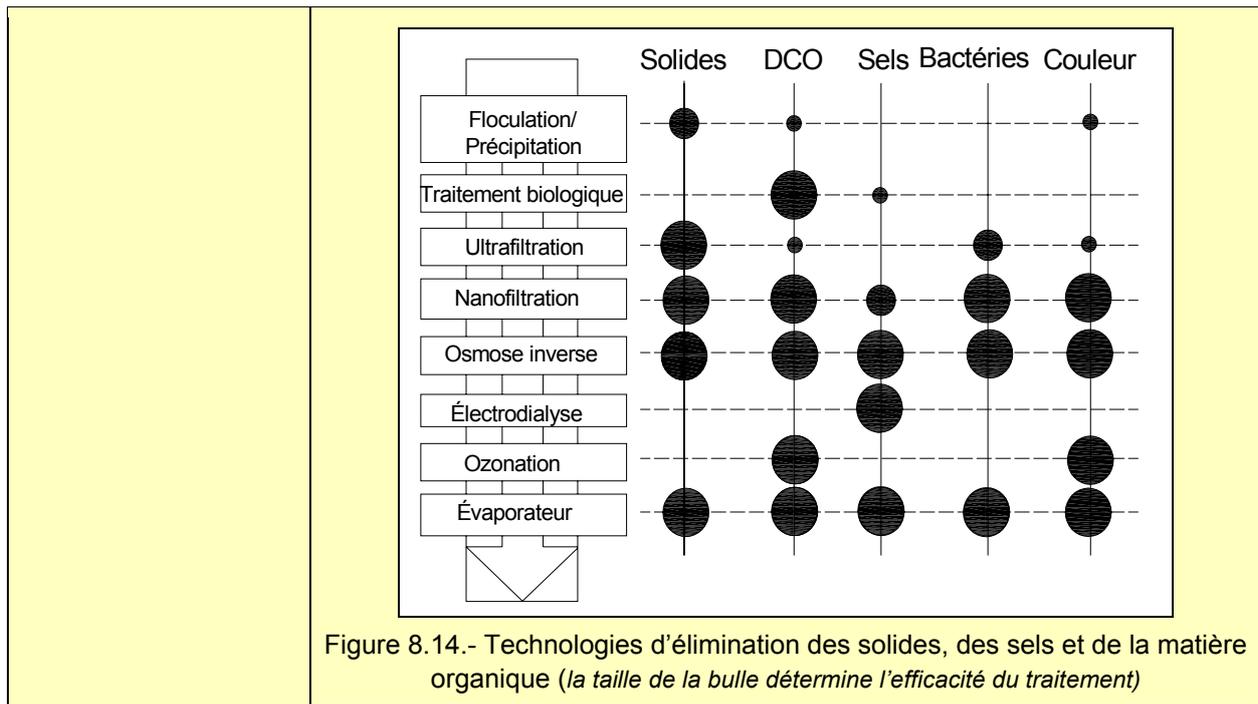


Figure 8.14.- Technologies d'élimination des solides, des sels et de la matière organique (la taille de la bulle détermine l'efficacité du traitement)

Conclusions

La figure 8.15. montre la part des différentes méthodes de réduction de la consommation d'eau décrites dans le BREF.

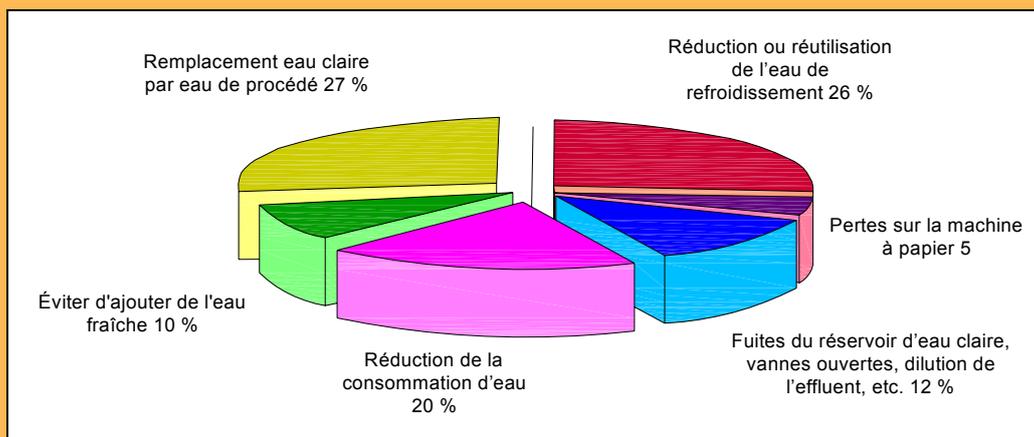


Figure 8.15.- Méthodes de réduction de la consommation d'eau. Source : BREF

Cas pratique 18	8.3.2. Mesures de prévention et de réduction des émissions d'une fabrique de papier journal élaboré à partir de papier de récupération
Entreprise	Holmen Paper Madrid (HPM).
Adresse	Espagne.
Production	MP61 : 200 000 t/an de papier journal ou de papier couché LWC. MP62 : 300 000 t/an de papier journal.
Problématique environnementale	Réduction intégrée de la pollution dans l'usine afin de répondre à la législation en vigueur (IPPC, directe relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution).

Procédure	Étude des technologies décrites dans le BREF (Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry). Choix des technologies adaptées au processus de HPM. Adaptation et intégration au processus des alternatives de production plus propre (APP) décrites dans le BREF. Étude relative aux nouvelles alternatives.
ALTERNATIVES GÉNÉRALES EN MATIÈRE DE PRODUCTION PROPRE (APP)	
<u>Formation, éducation, motivation et sensibilisation du personnel ainsi que des opérateurs</u>	
<p>Tous les ans, HPM élabore un plan de formation qui regroupe les besoins détectés en matière de formation dans chaque service de l'entreprise. Ce plan permet également de sensibiliser l'ensemble du personnel à la gestion environnementale de l'entreprise et de lui faire prendre conscience de l'impact sur l'environnement de chaque tâche.</p> <p>À chaque mise en place de nouveaux procédés ou implémentation de nouvelles technologies ou systèmes, le personnel directement concerné suit une formation spécifique.</p> <p>La sensibilisation s'effectue au moyen de cours, de conférences, d'affiches d'information, de notes internes, ainsi qu'à travers la publication mensuelle de la revue de l'entreprise.</p>	
<u>Optimisation du contrôle des processus</u>	
<p>Le niveau d'efficacité de la fabrique de papier repose sur la stabilité du processus et l'uniformité de la qualité. Ces caractéristiques sont également importantes en termes d'environnement. L'instabilité peut entraîner des ruptures de feuille et perturber, par conséquent, les circuits d'eaux. Des mesures durables et le contrôle précis des processus sont essentiels.</p> <p>Les principales zones à contrôler sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • contrôle du filtre à disques (ramasse-pâte ou <i>save all</i>), afin de contrôler la perte de fibres et diminuer la charge des effluents en vue de leur réutilisation dans les systèmes d'arrosage de la machine. Pour cela, HPM dispose d'un système complémentaire d'épuration et de récupération des fibres par flottation (FAD) qui traite le filtrat très clair du filtre à disques. Les effluents de sortie de cette FAD sont utilisés dans certains systèmes d'arrosage. La turbidité de cet effluent est contrôlée en laboratoire. En outre, afin de garantir le bon fonctionnement du filtre à disques, la consistance de la pâte est contrôlée à l'entrée du polydisque ; • contrôle de la consistance dans la cuve de mélange, afin de diminuer les écarts de qualité au moment de l'entrée dans la machine. <p>HPM surveille la consistance et le débit de tous les éléments qui pénètrent dans la cuve de mélange, à savoir : la pâte provenant du système de chutes, la pâte du filtre à disques et la pâte provenant de chaque ligne de désencrage.</p> <p>Outre ces contrôles, des paramètres de contrôle ont été définis pour chacune des étapes du processus afin d'en garantir le bon déroulement.</p> <p>Des instructions et des procédures ont été élaborées à cette fin : elles définissent les paramètres à appliquer pour exécuter du processus. Des appareils de mesure en ligne (pH, température, solides en suspension, conductivité, consistance, etc.) permettent de s'assurer que ces paramètres sont respectés en envoyant des signaux sur les écrans de la salle de contrôle. De plus, des contrôles quotidiens sont réalisés en laboratoire afin de mesurer les paramètres auxquels aucun détecteur <i>en ligne</i> n'est associé, notamment pour vérifier les précédents.</p> <p>Des procédés de calibrage de tous les appareils permettent également de mesurer les paramètres de processus et les propriétés du papier, ainsi que les paramètres relatifs à l'environnement.</p>	

Maintenance adéquate des installations

Holmen Paper Madrid procède à trois types de maintenance sur ses installations : prédictive, préventive et corrective.

La maintenance prédictive englobe les méthodes de prise d'échantillons et d'analyses des huiles lubrifiantes des différents équipements de la fabrique ; l'objectif est de garantir leur bon état de fonctionnement afin d'optimiser leur rendement et celui des équipements mécaniques, ainsi que la production d'huiles usagées.

La maintenance préventive concerne les opérations simples comme le regroupement de données, le nettoyage, le graissage, etc., comme les opérations complexes de montage et de démontage des équipements et d'éléments, de changement systématique de pièce usagée, etc. Ces opérations sont classées par gamme, chacune d'elles disposant d'une fréquence d'intervention spécifique.

Ces deux types de maintenance sont essentiels au bon fonctionnement de tous les systèmes et équipements. Néanmoins, une troisième maintenance existe : la maintenance corrective, qui consiste en la réparation des anomalies détectées dans la phase préventive ou suite à des pannes intempestives intervenant sur les équipements, les instruments, les mécanismes, etc.

Un service d'entretien est chargé d'effectuer les tâches de maintenance en question : organisé selon différente spécialité (mécanique, électrique, préventif, instrumentation et contrôle), ce service dispose du personnel qualifié et des moyens nécessaires à l'exécution des tâches requises. Les tâches de maintenance qui ne peuvent être prises en charge par l'entreprise sont sous-traitées à des entreprises spécialisées et qualifiées pour les travaux sollicités.

Système de gestion environnementale

Holmen Paper Madrid dispose d'un système de gestion de l'environnement (SGE) conforme à la norme européenne UNE-EN ISO 14001, certifié au 16 septembre 2002 par l'AENOR, l'organisation espagnole de normalisation et de certification.

La politique environnementale de l'entreprise pose les fondements de ce système. Celle-ci oblige la direction à affirmer la position de l'entreprise en termes de prévention de la pollution, de respect des normes applicables, de priorité du respect de l'environnement en cas de crise et de tendance à améliorer constamment la gestion de l'environnement de l'entreprise.

Outre les points mentionnés précédemment, le système de gestion environnementale regroupe tous les aspects requis pour garantir sa conformité avec la politique environnementale de l'entreprise.

Parmi les avantages et les garanties qui découlent du système de gestion environnementale, il est important de souligner :

- Tous les aspects environnementaux liés aux activités de HPM qui se déroulent dans ses installations, ont été identifiés. L'impact sur l'environnement est évalué tous les ans en fonction de critères définis et à partir de données concrètes. Les aspects sont alors classés par ordre de priorité de sorte que les plus significatifs soient pris en compte en priorité au moment de fixer les objectifs annuels.
- Divers moyens permettent de répondre aux exigences de la législation environnementale applicable aux aspects identifiés comme aux activités réalisées et prévues. Les exigences connexes sont identifiées puis enregistrées dans des bases de données.
- Les objectifs annuels sont définis par le biais de programmes concrets permettant une amélioration continue de la gestion.
- Des procédures et des instructions détaillent toutes les opérations de gestion environnementale qui doivent être réalisées d'une manière donnée, afin de garantir leur conformité (par exemple : gestion des déchets, contrôle des effluents, contrôle des émissions, opérations spécifiques de nettoyage, etc.).

- Des responsables sont désignés pour prendre en charge les différentes tâches et fonctions du système ;
- La formation sur les questions environnementales est garantie pour le personnel dont les prérogatives ont un impact direct sur l'environnement. L'ensemble du personnel est également sensibilisé à l'environnement, pour prendre conscience des risques liés à certaines situations ou actions spécifiques.
- Des audits internes et externes sont réalisés sur le système afin de détecter les défauts et de corriger les écarts. internas y externas del sistema que permiten detectar fallos y corregir desviaciones.

APP RELATIVES À LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS D'EAU

La production d'effluents est étroitement liée à la consommation d'eau claire. Par conséquent, les mesures destinées à réduire les émissions aquatiques passent, en grande partie, par la réduction de la consommation d'eau claire.

La réduction de la consommation d'eau claire s'effectue via une série de mesures qui se traduisent, en général, par une gestion optimale de l'eau. Cette gestion permet de réduire au maximum la consommation d'eau claire tout en conservant la qualité de l'eau nécessaire à chaque étape du processus, afin que ce dernier se déroule correctement et conformément aux exigences de qualité du produit.

La machine à papier est la plus grande consommatrice d'eau claire, et en particulier les systèmes d'arrosage de la table. Les principales techniques utilisées et en cours de développement visent donc à réduire la consommation d'eau claire à cette étape du processus.

APP EN MATIÈRE DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU FRAÎCHE

Séparation des eaux les plus polluées/moins polluées et réutilisation des eaux de procédé

Une des mesures visant à économiser l'eau claire consiste à séparer les eaux les moins polluées de celles qui le sont davantage, afin de pouvoir les réutiliser en remplacement de l'eau claire aux étapes qui le permettent.

D'une part, les eaux de refroidissement disposent d'un circuit indépendant des eaux de procédé. Pour permettre la réutilisation de ces eaux, ces dernières passent dans des tours de refroidissement où leur température est abaissée afin de les remettre en circuit sans les mélanger aux eaux de procédé et par conséquent, sans les contaminer. La purge qui permet de conserver l'équilibre à l'intérieur des tours est acheminée vers le réservoir d'eau claire.

De même, les eaux d'étanchéité des pompes à vide disposent d'un circuit indépendant qui permet de les récupérer et de les réutiliser après leur passage dans les tours de refroidissement. Toutefois, lors de leur évacuation, ces eaux entraînent également des fibres qui les contaminent partiellement ; par conséquent, la purge est dirigée vers des réservoirs d'eau de procédé clarifiée.

D'autre part, toutes les eaux de procédé sont clarifiées à différents niveaux, comme nous pourrions l'observer un peu plus loin, au moyen de filtres à disques et d'équipements de micro-flottation. Ce procédé permet de séparer les eaux plus ou moins polluées et de les recycler ensuite en fonction du niveau de qualité exigé par la finalité envisagée.

Gestion optimale de l'eau (adéquation des circuits), clarification de l'eau par flottation et recyclage de l'eau à des diverses fins

Les lignes de fabrication des pâtes actuelles (DIP 2 et DIP 3) et futures (DIP 4 et DIP 5) ont été conçues avec deux circuits, de façon à permettre en bout de ligne, grâce à l'utilisation de filtres à disques et de presses à vis, l'épaississement de la pâte et la récupération de grandes quantités d'eau.

Les filtres à disques associés aux opérations de désencrage permettent d'extraire deux qualités d'eau, appelées filtrat trouble et filtrat clair. Ces deux types d'eau sont ensuite réutilisés dans le

procédé, notamment pour la dilution du papier de récupération employé comme matière première pour la production de pâte.

Dans la machine à papier, dans le modèle MP61 comme dans le modèle MP62 précédent, les eaux blanches obtenues dans la partie humide de la machine à papier sont épurées au moyen de filtres à disques et de systèmes de flottation (FAD) produisant trois types d'eau : trouble, claire et très claire. Les eaux claires et très claires sont réintégréées à plusieurs niveaux de la machine à papier, notamment dans plusieurs systèmes d'arrosage de la partie humide et pour la dilution de produits chimiques.

Ainsi, à certaines étapes du processus, l'eau recyclée peut remplacer l'eau claire et engendrer une réduction globale de la consommation d'eau. Cela se traduit également par une économie d'énergie : en effet, il n'est plus nécessaire d'utiliser la même quantité d'énergie pour chauffer l'eau provenant du procédé que pour l'eau claire, puisque l'eau recyclée est déjà à une température nettement supérieure.

En tout état de cause, ce type d'eau clarifiée n'est pas utilisable dans certains systèmes d'arrosage considérés comme des points particulièrement critiques, notamment dans la section de pressage.

HPM a pour objectif d'optimiser le recyclage de cette eau grâce à un projet de développement de techniques d'ultrafiltration, permettant de clarifier et de réintégrer les eaux de procédé dans certains systèmes d'arrosage qui ne l'autorisent pas actuellement. Cette technologie n'est pas considérée aujourd'hui comme une APP mais comme une technologie émergente.

Réduction de la consommation d'eau claire grâce à une séparation stricte des circuits associée à un flux à contre-courant

Comme indiqué précédemment, chaque ligne de pâte comporte deux circuits. L'eau utilisée dans chaque circuit ainsi que celle de la machine à papier s'écoulent à contre-courant ; autrement dit, le flux des eaux blanches de la machine à papier est acheminé vers la fabrique de pâtes dans le sens contraire de la circulation de la pâte.

Les eaux blanches sont employées pour la dilution de la pâte dans la cuve de mélange et dans la cuve de la machine ; l'excédent d'eau claire de la machine est envoyé vers la fabrique de pâtes en vue d'être réutilisé.

Les processus sont conçus afin d'éviter, autant que possible, que l'eau de la fabrique de pâtes ne passe dans la machine à papier à travers des filtres à disques et des presses positionnés au bout du second circuit. De cette manière, le flux de déchets anioniques et de matière colloïdale ou dissoute indésirable vers la machine à papier est minimisé, évitant ainsi toute contamination dans les étapes suivantes du processus.

Production d'eaux claires à partir des eaux de procédé de la fabrique de pâtes (flottation)

Toutes les lignes de la fabrique de pâtes, ainsi que l'eau de la partie humide de la machine, sont équipées de deux systèmes de flottation à air dissous (FAD).

À l'aide de flocculants, les fines et les déchets anioniques sont agglomérés et forment des flocules. Ces flocules, accolés aux bulles d'air formées dans la FAD, flottent à la surface et sont retirés à l'aide de raclours. L'eau clarifiée est évacuée par la partie inférieure de l'unité de FAD.

Le nettoyage de l'eau effectué après ce traitement permet de la réutiliser dans le procédé.

Contrôle des inconvénients potentiels liés à la fermeture des systèmes d'eau

Afin de contrôler les inconvénients liés à la fermeture des circuits, les mesures suivantes méritent d'être soulignées :

- Une bonne séparation des circuits, afin de minimiser la quantité d'eau provenant de la fabrique de pâtes qui s'achemine vers la machine.
- Un traitement adéquat des eaux blanches qui alimentent les systèmes d'arrosage de la machine, pour éviter toute usure ou obturation due à l'encrassement des équipements de la machine (traitement FAD).
- Un refroidissement suffisant des eaux d'étanchéité purgées, dans les tours de refroidissement.
- Un lavage suffisant de la pâte incorporée dans la machine, afin de réduire l'usage de produits chimiques dans la machine (floculants, coagulants ou bactéricides). Pour y parvenir, des presses à vis interviennent après les filtres à disques lors du désencrage.
- Un dispositif de surveillance adéquat des circuits d'eau, via des mesures prises en ligne grâce aux instruments placés à différents points des circuits et des mesures périodiques effectuées en laboratoire.

À l'aide de ces systèmes, le personnel de la fabrique assure un suivi de l'état des processus et évite les situations potentiellement problématiques qui empêchent le recyclage correct des eaux de procédé.

Construction de systèmes équilibrés d'eaux blanches, d'eaux claires et de chutes. Utilisation de constructions, d'aménagements et d'équipements à basse consommation d'eau

En cas de panne prolongée, un système de chutes, utilisant un filtrat clair, permet de diluer avec l'eau clarifiée la pâte qui tombe dans les pulpeurs du système de chutes (situés en-dessous de la machine et reliés entre eux). La pâte diluée est envoyée vers la cuve de mélange puis acheminée de nouveau vers la table.

La MP61 est équipée de :

- Réservoir à filtrat clair (ramasse-pâte ou *save all*) de 1 500 m³
- Cuve à chutes humides de 1 000 m³
- Cuve à pâte épaisse de 250 m³

La nouvelle machine à papier 62 est équipée des cuves suivantes :

- Réservoir à filtrat clair (ramasse-pâte ou *save all*) de 4 000 m³
- Cuve à chutes humides de 5 000 m³
- Cuve à pâte épaisse de 100 m³

Prétraitement à part des effluents provenant de la préparation du couchage

La MP61 est conçue pour la fabrication de papier couché. La préparation de cette sauce de couchage produit des effluents avec des pigments et des liants, provenant principalement des lots de sauces de couchage non-utilisables, des restes de productions et des eaux de lavage. Ces effluents sont soumis à un prétraitement, qui permet, d'une part, d'éviter que ceux-ci ne nuisent au traitement biologique ultérieur et, d'autre part, de réutiliser les matières obtenues via l'épuration.

Le traitement approprié consiste en un système d'ultrafiltration qui sépare l'eau et les produits de couchage à l'aide de membranes semi-perméables. Les pores de ces membranes autorisent uniquement le passage des petites molécules telles que l'eau, les ions métalliques, les sels et les monomères d'amidon, tandis que les autres éléments comme les composés de la sauce de couchage, pigments et liants, sont retenus.

Une fois traitées, les eaux sont acheminées vers le processus de traitement primaire puis vers le traitement biologique pour être épurées.

Les pigments et liants récupérés peuvent être réutilisés dans le processus afin de réduire la production de déchets (voir les APP relatives à la réduction des déchets solides de couchage).

Choix de substances et de produits chimiques moins nocifs

L'entreprise dispose d'une procédure d'homologation des produits : avant de pouvoir être commandé, un produit nouveau doit être homologué par le service Systèmes de gestion, responsable également de la gestion de l'environnement. Pour être homologué, un produit doit répondre à certains critères de biodégradabilité, de toxicité et de bioaccumulation ; ces données sont fournies par chaque fournisseur.

Lorsque deux produits comparables présentent des résultats techniquement et économiquement similaires, la préférence ira à celui qui présente le meilleur profil en termes de protection de l'environnement.

Mesures de réduction de la fréquence et des conséquences des fuites accidentelles

Tous les dépôts qui stockent des produits chimiques sont équipés de dispositifs de mesure et d'un bac de récupération des fuites accidentelles potentielles. De même, les nouveaux dépôts construits dans le cadre d'un agrandissement de la fabrique sont équipés de systèmes de contention des fuites.

Les zones de chargement de produits chimiques des nouvelles installations sont conçues pour éviter, en cas de fuite accidentelle, tout risque d'atteinte des réseaux d'eau qui les véhiculeraient vers l'extérieur : réseau des eaux pluviales, eaux noires ou eaux de procédé.

Les instructions spécifiques aux fuites ont été introduites dans le plan d'urgence des installations actuelles et futures. En outre, les responsables des usines ont reçu une formation spécifique, et suivent une formation continue, pour pouvoir réagir correctement dans un tel cas de figure.

Quant aux éventuelles fuites vers les eaux de procédé, l'unité de traitement des effluents dispose d'un réservoir de régulation d'une capacité de 1 500 m³ qui doit permettre de stocker la fuite et de contrôler son dosage vers la station d'épuration, afin de ne pas affecter le fonctionnement de cette dernière. La MP62 est pourvue d'un réservoir de même type, d'une capacité de 3 000 m³.

APP EN MATIÈRE DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS

Instauration d'un traitement primaire pour les effluents

Avant l'introduction des effluents dans l'unité de traitement biologique, les eaux sont soumises à un traitement par flottation à air dissous, qui réduit le niveau de solides en suspension et leur charge organique.

Les installations actuelles incluent déjà une unité de clarification des effluents par flottation (appelée en interne FAD2) qui réalise ce prétraitement. De même, les futures installations seront équipées d'une autre unité pour le traitement des nouveaux effluents produits.

Les effluents clarifiés sont acheminés vers un réservoir intermédiaire de 20 m³, d'où ils pourront être pompés à tout moment afin d'alimenter l'unité de traitement des effluents ou tout point du processus où le besoin s'en fera sentir.

Les boues ou les solides provenant de la FAD sont envoyés vers les unités d'épaississage des boues : grâce aux meilleures techniques disponibles, l'extraction de l'eau est optimisée, réduisant ainsi la production de déchets solides tout en facilitant leur manipulation ultérieure.

Installation d'un traitement biologique pour les effluents

Dans la MP61, après le prétraitement des effluents par la FAD2, les eaux sont acheminées vers l'unité de traitement biologique. La fabrique dispose d'une unité de traitement biologique de type aérobie à travers un système de boues activées. Une fois traitées, les eaux atteignent des teneurs en solides en suspension, en DCO et DBO₅ qui garantissent un coefficient de K = 1, selon la législation espagnole (K est un facteur qui dépend de la charge polluante, et la valeur K se multiplie par la taxe du déversement (€/m³)).

Les installations récentes produisent une plus grande quantité d'effluents mais présentant les mêmes caractéristiques, d'où la construction d'une nouvelle unité de traitement biologique identique à l'unité actuelle, avec un traitement primaire identique également. Les deux unités pourront traiter conjointement tous les effluents produits dans la fabrique, en maintenant des valeurs de paramètres de déversement pouvant garantir un coefficient de K = 1.

La nouvelle unité va disposer en outre d'échangeurs de chaleur qui permettront d'exploiter la chaleur résiduelle des effluents dès leur introduction dans l'unité d'épuration, afin de chauffer une partie de l'eau claire introduite dans la fabrique, assurant ainsi une certaine économie d'énergie.

Les unités sont contrôlées en continu au moyen d'appareils de mesure et d'essais périodiques en laboratoire qui fournissent les informations nécessaires à leur bon fonctionnement.

APP EN MATIÈRE DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES

Application de la production combinée de vapeur et d'énergie électrique

La fabrique obtient 100 % de l'énergie thermique et électrique dont elle a besoin en se fournissant chez Peninsular Cogeneración (entreprise détenue à 50 % par Holmen Paper et 50 % par Iberdrola). Peninsular Cogeneración dispose aujourd'hui d'une centrale de cogénération avec turbine à gaz et turbine à vapeur de 41,5 MW situées au même endroit.

Pour la nouvelle machine MP62, l'approvisionnement électrique doit être fourni, en principe, par le réseau général et l'approvisionnement thermique par les chaudières auxiliaires existantes et les centrales de cogénération.

Réduction des émissions de SO₂ grâce à l'utilisation de gaz naturel dans les chaudières

Toutes les chaudières actuelles et futures, ainsi que la centrale de cogénération de 5,5 MW, se servent du gaz naturel comme unique combustible.

Les émissions de soufre sont très faibles par rapport à d'autres combustibles fossiles.

Sélection judicieuse des produits utilisés pour le couchage du papier

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'entreprise dispose d'une procédure d'homologation des produits qu'elle utilise comme matières premières.

Lors de l'homologation d'un produit, il est impératif de garder à l'esprit que les substances qui entrent dans la fabrication de la sauce de couchage doivent minimiser la production éventuelle de composés organiques volatils et être exemptes de tout composé cancérigène.

APP EN MATIÈRE DE RÉDUCTION DES DÉCHETS SOLIDES

Minimisation de la production de déchets solides et optimisation de la récupération, de la réutilisation et du recyclage des matériaux

Comme indiqué dans la section relative aux techniques de réduction des émissions aquatiques, au sein de l'usine, diverses techniques permettent de récupérer les fibres et les charges des

circuits d'eau afin de réintégrer celles-ci dans le processus. Dans le cas contraire, ces fibres provoqueraient une augmentation de la quantité finale de déchets solides.

Pour minimiser la quantité finale de déchets de procédé, les boues et les rejets sont soumis à des traitements d'élimination d'eau par le biais d'opérations d'égouttage et de pressage.

Par ailleurs, le processus de fabrication produit des résidus de papier inutilisables. Ces résidus proviennent de produits défectueux qui n'ont pas répondu aux exigences du contrôle qualité ou sont des restes de bobines et de pertes. Tous ces résidus de papier sont recyclés dans le processus. Cette opération s'effectue selon deux méthodes : la dilution dans les pulpeurs installés sous la machine à papier, qui font partie du système de chutes, ou l'envoi des résidus de papier au stock de matière première (papier de récupération).

La mesure décrite au point 5 de cette section constitue une autre méthode contribuant à la minimisation des déchets : celle-ci porte sur la récupération des charges contenues dans les effluents de couchage.

Séparation des différentes fractions de déchets à la source afin de favoriser la récupération ou le recyclage par rapport au dépôt final dans un site d'enfouissement

Tous les déchets produits au cours du processus sont triés afin d'être gérés correctement par la suite. Les lignes de l'usine de fabrication de pâtes classent les déchets (plastiques, ficelles, métaux, etc., provenant du papier de récupération utilisé comme matière première) en les séparant des boues de procédé. De cette manière, les boues peuvent être séparées pour être traitées selon les procédés décrits aux points 6 et 7 de cette section, tandis que les déchets sont acheminés vers un site d'enfouissement.

La nouvelle installation doit être dotée d'un système de séparation des déchets en deux grandes familles : les déchets du pulpeur à tambour et les déchets issus de l'épuration à haute consistance.

Les premiers, les plus gros, peuvent inclure des métaux qui seront retirés à l'aide d'un séparateur magnétique pour pouvoir être récupérés. Une fois débarrassés de tout élément métallique, les déchets peuvent être broyés afin de réduire leur taille et favoriser ainsi leur incinération. Une fois broyés, ils seront associés à la seconde famille de déchets. Tous les déchets sont soumis au processus d'élimination de l'excédent d'eau afin d'atteindre un niveau de siccité autorisant leur gestion ultérieure (dans un site d'enfouissement ou une usine d'incinération).

Outre les déchets les plus répandus déjà mentionnés (boues et rejets), d'autres déchets moins fréquents sont produits : le bois, ainsi que les fils métalliques et autres métaux, sont séparés et remis à des gestionnaires compétents en vue de leur recyclage ; les conteneurs de 1 000 l de produits chimiques peuvent être directement retournés au fournisseur pour être réutilisés ou remis à un gestionnaire intermédiaire pour être recyclés ou réutilisés.

Optimisation du nombre d'étapes intervenant dans l'épuration de la pâte

Les lignes de fabrication de pâte incluent une série d'étapes d'épuration en cascade afin de minimiser la production de déchets.

L'épuration en cascade consiste à faire passer les déchets d'un épurateur à une autre étape d'épuration qui consiste à trier de façon plus précise les matières à éliminer des fibres, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière étape. Les rejets de la dernière étape constituent le rejet final.

Ceci s'applique aux *cleaners* (cyclones) comme aux *screen* (épurateurs rotatifs à trous ou à rainures). Ainsi, l'épuration grossière (cyclones et épurateurs à trous) inclut 3 étapes, tout comme l'épuration à rainures ; l'épuration tourbillonnaire en compte 4, tout comme l'épuration fine à rainures.

Les nouvelles lignes de fabrication de pâte seront également conçues sur ce même principe, de façon à minimiser les rejets ainsi que la quantité de fibres de cellulose qu'ils contiennent.

Systèmes de flottation pour la réduction des pertes de fibres et de charges

Les lignes de pâtes actuelles (DIP 2 et DIP 3) ainsi que les lignes futures (DIP 4 et DIP 5) disposent de filtres à disques et de presses à vis qui permettent de séparer les fibres et les charges des eaux afin de favoriser leur récupération. Les eaux récupérées sont envoyées vers des unités d'épuration par flottation intercalées à chaque ligne (FAD).

Ces fibres et charges sont récupérées pour le processus de production, en étant exploitées de nouveau dans la production de papier et réduisant ainsi la production de déchets. Les eaux clarifiées, comme nous l'avons indiqué précédemment, sont réutilisées dans des étapes préalables au processus proprement dit.

D'autre part, les eaux blanches de la machine à papier s'orientent vers les filtres à disques et unités d'épuration par flottation spécifiques FAD qui offrent une séparation efficace des fibres et des charges et permettent de récupérer les eaux en vue de les réutiliser dans les étapes préliminaires.

Récupération et recyclage des charges contenues dans les effluents découlant de la cuisine de couchage

La MP61 est conçue pour la fabrication de papier couché. Ces types de papier sont fabriqués grâce à l'application en surface d'une couche de particules sur un papier de base. Cette application en surface s'effectue dans la presse encolleuse (*size press*) et la sauce de couchage est préparée dans la « cuisine du couchage ».

Dans cette cuisine, la sauce est préparée à base de carbonate de calcium, kaolin, latex et amidon. La préparation de cette sauce produit des effluents riches en éléments mentionnés précédemment, provenant principalement des lots de sauces de couchage non-utilisables, des restes de productions et des eaux de lavage.

Ces effluents doivent être soumis à un prétraitement afin d'éviter, d'une part, que les substances utilisées dans le couchage ne nuisent au traitement biologique et, d'autre part, de minimiser la consommation de produits auxiliaires en récupérant une partie, et ainsi éviter qu'ils ne soient finalement considérés comme des déchets.

Le traitement employé pour cela est la station d'ultrafiltration. Ce traitement, le plus répandu, est défini comme une APP par le BREF.

Épaississage et assèchement des boues avant leur mise au rebut finale

Les boues produites au cours des étapes de désencrage et par les unités de flottation à air dissous (FAD) sont traitées dans des stations d'épaississage afin d'extraire la plus grande quantité d'eau possible.

Cette étape est réalisée à l'aide de tables à gravité et de presses à vis qui permettent d'atteindre un niveau de siccité des boues de 55 %. Cette méthode minimise la quantité en poids de boues produites et augmente leur taux de siccité, réduisant ainsi le nombre de transports nécessaire à leur évacuation de la fabrique et augmentant leur pouvoir calorifique.

Les eaux extraites sont soumises à un traitement primaire (FAD 2) en vue d'être épurées.

Réduction de la quantité de déchets destinés aux sites d'enfouissement. Identification des possibilités d'opérations de récupération et d'utilisation des déchets en vue de les recycler ou de les incinérer avec récupération d'énergie

Comme indiqué précédemment, les installations actuelles de Holmen Paper Papelera Peninsular produisent environ 65 000 tonnes de boues par an. Ce volume passe à 83 000 t/an une fois

l'usine optimisée. Le développement prévu doit augmenter cette quantité jusqu'à 270 000 tonnes de boues au total.

HPM a lancé un programme de développement qui recherche des utilisations alternatives des boues destinées aux sites d'enfouissement. Ce programme a porté ses fruits : au cours de l'année 2003, pas une tonne de boues n'a été envoyée vers un site d'enfouissement, ce qui s'explique par l'adoption des alternatives suivantes :

- **Emploi des boues dans l'industrie céramique**
L'ajout de boues papetières aux argiles pour la fabrication de thermo-argile a permis d'améliorer certaines propriétés de produits.

Les boues sont riches en carbonate de calcium et fibres de cellulose. En mélangeant les boues aux argiles, les fibres de cellulose renforcent la résistance du matériau. De même, elles améliorent ses propriétés isolantes, et le carbonate optimise sa stabilité dimensionnelle.

Actuellement, Holmen Paper Madrid approvisionne en boues 8 entreprises de céramique situées dans les communautés autonomes de Castilla La Mancha et d'Extremadura.

Concernant les nouvelles installations, l'entreprise a lancé un plan de développement de nouvelles céramiques, dont certaines sont déjà à l'essai, afin de pouvoir absorber une partie des nouvelles quantités qui seront produites dans le futur.

- **Emploi des boues à des fins agricoles**
En janvier 2002, Holmen Paper Madrid, conjointement avec les entreprises de compostage de boues, a commencé à démontrer la viabilité de l'utilisation de ses boues dans le domaine agricole.

Les résultats de ces recherches ont montré que les boues papetières proprement dites ne conviennent pas au compostage, puisque leur teneur en éléments fertilisants est faible. Toutefois, le mélange des boues papetières à des boues provenant de stations d'épuration biologiques permet d'en augmenter le taux de siccité et de compenser les insuffisances en fertilisants par un apport en substrat. Cette technique facilite le compostage ultérieur du produit qui en découle.

HPPP figure dans la section relative aux stations d'épuration du Registre des applications de boues en agriculture de la communauté de Madrid. Cette inscription autorise HPP à utiliser ses boues à des fins agricoles, toujours conformément à la réglementation en vigueur. Actuellement, toutes les boues destinées à cet usage sont gérées par une entreprise inscrite au Registre des entreprises de commerce de l'application des boues dans l'agriculture de la communauté de Madrid.

Pour gérer les boues produites dans les nouvelles installations, l'entreprise étudie la possibilité d'approvisionner de nouvelles entreprises de céramique et du secteur agricole. Elle étudie également de nouveaux secteurs comme la cimenterie, où les premières investigations ont fourni des résultats positifs.

Parallèlement, Peninsular Cogeneración étudie la viabilité d'un nouveau site d'incinération de boues avec récupération d'énergie. Elle envisage pour cela l'installation d'une chaudière à lit fluidisé, fonctionnant avec du gaz naturel comme combustible auxiliaire.

APP EN MATIÈRE D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

Mise en œuvre et principe de fonctionnement d'un système de gestion de l'utilisation de l'énergie

Dans les installations actuelles, l'approvisionnement d'énergie s'effectue à partir des installations de Peninsular Cogeneración, déjà mentionnées. La salle de contrôle de l'usine permet de surveiller constamment les paramètres les plus importants afin d'évaluer la consommation énergétique, et notamment la consommation de gaz, la production de vapeur, la production d'électricité, etc.

Un bilan énergétique est établi tous les jours, afin de déterminer les consommations de gaz de chaque installation en fonctionnement, les heures de fonctionnement, l'énergie achetée auprès du réseau (le cas échéant), les enthalpies de la vapeur et de l'eau chaude fournies à l'usine, l'énergie électrique qui alimente l'usine, l'énergie vendue au réseau, entre autres.

L'analyse et la révision quotidiennes et mensuelles des données de ces paramètres visent à évaluer les tendances et à mettre en place les mesures judicieuses pour conserver les proportions adéquates.

Utilisation des technologies efficaces d'un point de vue énergétique

La réalisation d'économies d'énergie passe par l'utilisation de technologies efficaces d'un point de vue énergétiques.

Parmi les technologies considérées comme efficaces et actuellement implémentées sur la MP61, il convient de citer : la désintégration à haute consistance qui s'effectue dans les pulpeurs (avec une consistance de pâte entre 17 et 18 %) ; la table de formation à double toile ; les systèmes à vide appropriés ; la récupération d'un grand pourcentage de condensats de vapeur (60 à 80 %), et l'échange de chaleur des sorties de vapeur des séchoirs avec l'air extérieur afin d'exploiter la chaleur résiduelle ; l'utilisation de variateurs de fréquence au niveau des équipements, notamment des pompes et des ventilateurs, pour un ajustement continu de la demande d'énergie.

Le développement des installations prend en compte tous les aspects précédents ainsi que ceux qui ont été révélés par le fonctionnement de la MP61. Par exemple, les tours de refroidissement des effluents, servant à diminuer la température du déversement avant son entrée dans les réacteurs biologiques, ont été remplacées par des échangeurs de chaleur qui emploient de l'eau claire comme fluide réfrigérant. Par conséquent, la température de l'eau d'entrée augmente, d'où une diminution du besoin d'énergie nécessaire pour la porter à la température de fonctionnement.

Les installations existantes de la MP61 devront également tenir compte de ces améliorations au moment des modifications ou du remplacement des équipements.

Optimisation de l'égouttage au niveau de la section de pressage via l'utilisation de la presse à sabot

Au niveau de la section de pressage, la nouvelle machine à papier MP62 sera dotée de la meilleure technologie (probablement une presse à sabot). Ce procédé optimisera l'extraction de l'eau de la feuille de papier pour atteindre de meilleurs taux de siccité en augmentant la zone de pression, ainsi que le temps de contact, par rapport aux presses traditionnelles.

Cette technologie permettra d'obtenir, à la sortie de la section de pressage, un taux de siccité compris entre 45 % et 50 %, améliorant ainsi le taux de siccité obtenu au niveau de la section de pressage de la MP61 (autour de 43 %).

Un plus grand taux de siccité de la feuille de papier implique une plus faible quantité d'énergie (moins de vapeur) nécessaire au séchage de la feuille jusqu'au séchage final, autour de 8,5 %.

En outre, cette technologie de pressage augmente la durée de vie des tissus de la section de pressage, ce qui entraîne une réduction de ce type de déchets.

APP EN MATIÈRE D'UTILISATION DES PRODUITS CHIMIQUES

Bases de données regroupant tous les produits chimiques et additifs utilisés

Il est important de connaître la composition de toutes les substances et préparations chimiques utilisées dans le processus, ainsi que le potentiel de dégradation, la toxicité pour l'homme et pour l'environnement ainsi que le potentiel d'accumulation biologique.

Actuellement, ces informations sont recueillies et communiquées aux personnes concernées au moyen de fiches de sécurité spécifiques à chaque produit. Parfois, ces fiches de sécurité ne contiennent pas toutes les données signalées précédemment, car elles sont sollicitées directement auprès du fournisseur.

La mise à disposition d'une base de données regroupant toutes les informations signalées antérieurement est prévue pour l'année prochaine. Cette base de données est élaborée par le groupe HOLMEN, en particulier pour les produits utilisés dans nos fabriques. Ce système facilite la récupération systématique et la mise à jour des informations, ainsi que leur accessibilité dans la mesure où celles-ci seront disponibles via le réseau *intranet* de la fabrique.

Application du principe de substitution : utilisation des produits les moins dangereux, le cas échéant

Lorsque de nouveaux produits sont testés, que ce soit en vue de les intégrer dans le processus ou de remplacer ceux utilisés, il faut tenir compte des caractéristiques décrites précédemment. L'objectif est de favoriser, lorsque cela est techniquement possible, le remplacement de produits dangereux par d'autres qui ne le sont pas.

Mesures d'élimination des fuites accidentelles sur le sol et dans l'eau dans le cadre du déchargement ou du stockage des produits chimiques

Les installations de chargement, de déchargement et de stockage de produits chimiques en vrac comprennent des récipients étanches pour récupérer, au moins, la majorité du contenu de chaque récipient en cas de rupture. Les produits chimiques livrés dans des conteneurs (en règle générale, de 1 000 ou 200 litres) sont stockés dans une zone spécifique équipée de rayonnages appropriés pour ce type de stockage. Cette zone comprend une gouttière compartimentée pour la récupération des fuites éventuelles afin d'empêcher qu'elles n'atteignent les réseaux d'assainissement.

9. CONCLUSIONS

Aujourd'hui, le principal défi de l'industrie papetière est d'atteindre un développement durable, dans le respect de l'environnement, tout en maintenant la compétitivité des entreprises.

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de minimiser la consommation de ressources naturelles et l'impact sur l'environnement des installations papetières, tout en augmentant la productivité et/ou la qualité des produits finaux. Pour cela, il est impératif d'optimiser chaque étape du processus par une vision intégrée des ressources nécessaires, des facteurs mécaniques des équipements, des phénomènes chimiques et des émissions produites. Une fois les mesures nécessaires adoptées pour la prévention de la pollution à la source, il est nécessaire de mettre en œuvre le traitement final des émissions des usines afin de limiter leur impact sur l'environnement.

Depuis des décennies, l'industrie papetière applique à ses caractéristiques spécifiques certains concepts associés au développement durable comme, par exemple, le recyclage de ses produits, la réutilisation des boues, la fermeture des circuits d'eaux, la régénération des liqueurs noires, etc., toujours motivée par les bénéfices économiques que ces mesures engendrent. Ceci prouve donc que la mise en œuvre d'améliorations environnementales visant à prévenir la pollution, peut également se traduire par d'importants bénéfices économiques. Plus encore, les alternatives proposées dans le présent manuel pour la prévention de la pollution reposent sur les évolutions techniques disponibles répondant aux exigences de viabilité tant techniques qu'économiques.

Dans les pays de la région méditerranéenne, la production de pâte est de 7 millions de tonnes par an (40 % de la production en France et de 30 % en Espagne), soit 3,78 % de la production mondiale de pâte. La production de papier est de 28 millions de tonnes par an, dont 58 % de papier de récupération (87 % dans le Nord, 10 % dans l'Est et 3 % dans le Sud) ; cette production correspond à 9 % de la production mondiale de produits de papier et de carton. La consommation totale de papier est de 36,5 millions de tonnes (84 % dans le Nord, 11 % dans l'Est et 5 % dans le Sud) avec une consommation par habitant et par an qui varie entre 3 et 204 kg.

Au cours de ces deux dernières décennies, les industries papetières les plus innovantes ont adopté de nombreuses mesures qui ont permis de réduire de plus de 80 % leurs émissions atmosphériques, via l'optimisation de la consommation énergétique, l'utilisation de combustibles à faible teneur en soufre, l'utilisation de meilleurs systèmes de contrôle dans les processus, etc. La pollution atmosphérique est principalement liée à la fabrication de pâte de cellulose ou à l'obtention d'énergie. L'application des meilleures techniques disponibles permet de réduire dans une large mesure les principales émissions de CO₂ (0,36 kg/t) ; SO₂ (0,45 kg/t) et les émissions de NO_x (1,12 kg/t). Enfin, les mauvaises odeurs représentent également un grave problème dans les fabriques de pâte et, dans une moindre mesure, dans les fabriques de papier.

Au cours de ces dix dernières années, le changement des systèmes de blanchiment a permis d'éliminer les AOX à plus de 90 % ainsi que la totalité des dioxines.

La fermeture des circuits d'eau présente de nombreux avantages économiques et environnementaux mais également de nombreux problèmes découlant de la quantité de polluants qui s'accumulent dans le processus. La volonté de fermer davantage les circuits d'eaux entraîne la nécessité d'effectuer des traitements internes de certains flux de sorte que l'eau traitée puisse être réutilisée dans l'usine. La recirculation de l'eau et l'utilisation des traitements internes ont permis de fermer les circuits d'eau à plus de 90 %. Les principaux polluants présents dans les eaux de procédé sont des solides en suspension et la matière dissoute et colloïdale de nature organique et inorganique ; pour cette raison, les effluents finaux peuvent facilement subir un traitement primaire et secondaire et, si nécessaire, un traitement tertiaire pour éliminer les nutriments.

La production de déchets solides est principalement due à la production d'énergie, à la récupération de liqueurs noires, aux traitements des eaux et à la production de papier de récupération, notamment au désencrage. En raison des coûts élevés associés aux sites d'enfouissement et des tendances actuelles de la législation, ces déchets sont en majorité recyclés, leur potentiel énergétique est exploité ou ils sont réutilisés dans d'autres processus.

L'industrie papetière étant une grande consommatrice d'énergie, les coûts énergétiques peuvent représenter plus de 25 % du coût de production. Par conséquent, il est important de réduire cette consommation, au moyen, par exemple, d'équipements qui consomment moins d'énergie, et par le biais de systèmes à cycle combiné.

En résumé, il existe actuellement de nombreuses alternatives techniquement et économiquement viables visant à prévenir et réduire la pollution à la source. L'éventail d'alternatives de production plus propre est vaste, et la plupart d'entre elles s'adaptent à la majorité des différentes typologies d'entreprises du secteur.

10. BIBLIOGRAPHIE

- Changements à venir relatifs au papier Towards a Sustainable Paper Cycle. Préparé par l'Institut international pour l'environnement et le développement, sous l'initiative du World Business Council for Sustainable Development, mai 2004.
- American Chamber of Commerce in Egypt. BSAC (Business Studies & Analysis Center). Egypt-US Trade Statistics, mars-avril 2004.
- A. Blanco, C. Negro, C. Monte E. Fuente et J. Tijero. The challenges of Sustainable Papermaking. *Env. Sci. and Tech.*, 2004, 21, 414A-420A.
- C. Negro, R. Schilemans, A. Blanco and J. Tijero, "Towards ZLE in papermaking. State of the art in water consumption". Seminar towards clean closed water loops, Doorwerth NL, 12 septembre 2002.
- "The forest and paper industry-on its way to sustainability", ICFPA, août 2002.
- Casos Exitosos. Ahorros obtenidos por la aplicación de recomendaciones. CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía), mars 2002.
- Analyse de la conjoncture de l'année 2002 du secteur industriel public. Algérie, année 2002.
- Industrial Environmental Control. Pulp and Paper; A.M. Springer. Ed. Tappi 3e édition, 2002.
- Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones en el sector de la Pasta y el Papel. Elaborado por la Sociedad Pública de Gestión Ambiental, IHOBE, perteneciente al Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. Année 2001.
- Integrated pollution Prevention and control (IPPC). Reference Document on best Available Techniques in the Pulp and Paper Sector. European Commission, décembre 2001.
- Technical Guidance for the Pulp and Paper Sector. Integrated Pollution and Control (IPPC).
- B. Carré et G. Galland. Overview of deinking Technology. CTP-PTS 5th Advance Training Course on Deinking Technology. March 27-29, 2001, Grenoble, France.
- A. Blanco, C. Negro et J. Tijero. Desafíos medioambientales en la Industria de Papelera. *Ing. Quím.*, 2001, 378, 105-110.
- G. Lindholm. Water consumption in the pulp and paper industry. *Paper technology*, 2000, mai 57-61.
- C. Negro, A. Blanco, B. Viced et J. Tijero. Overview ZLE for pulp and paper mills. *Inv. y técnica del Papel*, 1999, 142, 413-417.
- C. Negro, A. Blanco, B. Viced et J. Tijero. Hacia el vertido cero en la obtención de pastas químicas blanqueadas. *Ing Quím.* 1999, 356, 171-178.
- Paper sludge - waste disposal problem or energy opportunity (1999), D. M. Albertson; K. M. Pope Engineering/Process and product quality conference and trade fair, [Atlanta, vol. 2, p. 779-785 TAPPI Press, 1999.
- Bark and sludge combustion in a bubbling fluidized bed (BFB) boiler (1999), Kinni J; Remes K 53rd Appita annual conference, Rotorua, New Zealand, 19-23 Apr. 1999, vol. 2, p. 701-708, Appita, 1999.
- Biotechnology for Environment Protection in the Pulp and Paper Industry P Bajpai, 1999 Edn DM.
- Water management in Paper Mills, F. Zippel, Voith Paper 1999.
- Energy for paper mills from sludges (1998), *Energia* vol. 14, n° 8, 1998, p. 74.
- J. Caron and L. Williams. Design and Integration of the Bleach. Filtrated Recycle Process. Tappi Press, janvier 1996.

- Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper: Mill Effluents Mark R. Servos, Kelly R. Munkittrick, John H. Carey, Glen J. Van Der Kraak "St. Lucie Press 1996.
- Pulp Bleaching, Principles and Practice, C.W. Dence et D.W. Reeve, Editores, Tappi Press, 1996.
- C. Negro, A. Blanco I. Gaspar et J. Tijero. El agua en la industria papelera. Ing. Quim., 1995, 10, 137-147.
- Water use reduction in the pulp and paper industry. Paprican 1994.
- Handbook on pollution prevention opportunities for bleached kraft pulp and paper mills, U.S. Environmental Protection Agency.

INFORMATION DE LA FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) :

- Pulp and Paper capacities. Capacités de la pâte et du papier. Capacidades de pasta y papel. Study 2000-2005.
- Pulp and Paper Capacities. Survey 1998-2003. Capacités de la pâte et du papier. Enquête 1998-2003. Capacidades de pasta y papel. Estudio 1998-2003.
- Pulp and Paper Capacities. Capacités de la pâte et du papier. Capacidades de pasta y papel. Survey 1996-2001.
- Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry. FAO, año 1996.

INFORMATION DU TAPPI (The leading association for the worldwide pulp, paper, and converting industries) :

- Papermaking Science and Technology. Recycled Fibre and De-inking. TAPPI PRESS 2000.
- Papermaking Science and Technology. Papermaking Part 1, Stock preparation and Wet-end. TAPPI PRESS 2000.
- Papermaking Science and Technology. Mechanical Pulping. TAPPI PRESS 1999.
- Papermaking Science and Technology. Chemical Pulping. TAPPI PRESS 1999.
- Papermaking Science and Technology. Environmental Control. TAPPI PRESS 1998.
- Pulp Bleaching. Principles and Practice. TAPPI Press 1996.
- Pulp and paper Manufacture: Secondary fibres and non-wood pulping. TAPPI Press 1993.
- Industrial Environmental Control. Pulp and Paper Industry. TAPPI Press 1993.
- Pulp and paper Manufacture: Stock preparation. TAPPI Press 1992.
- Pulp and Paper Manufacture: Raw Materials. TAPPI Press 1983.

INFORMATION DU PIRA (The leading online business resource for the printing, packaging, publishing & paper industries) :

- P. Bajpai. Treatment of Pulp and Paper Mill Effluents with Anaerobic Technology. PIRA International, 2000.
- P. Bajpai and P. K. Bajpai. Recycling of Process Water in a Closed Mill System. PIRA International, 1999.
- P. Bajpai and P.K. Bajpai. Organochlorine Compounds in Bleach Plant Effluents. PIRA International, 1996.

INFORMATION DU CEPI (Confederation of European Paper Industries):

- Discovering the High Potential of Pulp and Paper Production Residues. CEPI, décembre 2004.
- Special Recycling 2003 Statistics. CEPI, octobre 2004.
- The European Declaration of paper Recovery. Annual report 2003. CEPI, septembre 2004.
- CEPI Annual statistics 2003. CEPI, août 2004.
- European Pulp and Paper Industry. Annual Statistics 2003 Incorporating Key statistics. CEPI, juin 2004.
- Wood and paper Products Store greenhouse Gases. CEPI, décembre 2003.
- The European Paper Industry on the Road to Sustainable Development. CEPI, novembre 2003.
- Renewable Raw Material Versus Renewable Energy. CEPI, novembre 2003.
- EPI Environmental Report 2002. CEPI, novembre 2002.
- CEPI Annual Report 2002. CEPI, novembre 2002.
- Sustainability. CEPI, août 2002.
- EU Enlargement and the European Paper Industry. CEPI, mai 2002.
- Climate change. CEPI, octobre 2000.

INFORMATION DE L'ASPAPEL (Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón):

- Perfil energético del sector del papel: eficiencia. ASPAPEL, mars 2004.
- Perfil económico de la industria papelera española: competitividad y crecimiento. ASPAPEL, mai 2003.
- Competitividad y Crecimiento. ASPAPEL, avril 2003.
- Diagnóstico de la Recuperación de Papel y Cartón en España. ASPAPEL, mars 2003.
- Contribución Inicial del Sector Papelero a la Reducción de las Emisiones de CO2 en España. ASPAPEL, février 2003.
- Informe Medio Ambiental. El Ciclo Sostenible del Papel. ASPAPEL, mars 2002.

INFORMATION DE COPACEL (Confederation of the French Pulp, Paper and Board and Industry)

- Les chiffres de l'économie papetière. L'industrie papetière française. COPACEL, année 2004.
- Recueil mensuel d'informations statistiques, COPACEL, novembre 2004.
- Les principaux papetiers mondiaux en 2003. COPACEL, janvier 2004.
- Rapport annuel, COPACEL, année 2003.
- L'industrie papetière française : une industrie consciente de sa responsabilité sociale, COPACEL, décembre 2003.

INFORMATION DE L'ASSOCARTA (L'industria italiana della carta, del cartone e delle paste per carta)

- Rapporto ambientale del l'industria cartaria. ASSOCARTA, janvier 2004.
- Industria della Carta. Organo ufficiale di Assocarta. ASSOCARTA, 2004.

SITES INTERNET

Guide to Middle East Directory. <http://middleeastdirectory.com/>

Swedish Trade Council. Trade profiles. <http://tradeprofiles.swedishtrade.se/>

International Trade Center. <http://www.intracen.org/menus/countries.htm>

Paper magazines online. <http://www.paperloop.com/>

Newest renewable fuel technology biomass gasification: Legislation and Policy. American Paper & Forest Association, www.afandpa.org.

Eco-Management and Audit scheme, www.emas.org.uk.



**Centre d'activités régionales
pour la production propre (CAR/PP)**

Paris, 184, 3^a planta - 08036 Barcelona (Espagne)
Tél. : + 34 93 415 11 12 - Fax : + 34 93 237 02 86
Courriel : cleanpro@cema-sa.org
<http://www.cema-sa.org>