

**Etat des lieux de la production de pâtes à papier dans le monde.**  
***Quid de l'évolution vers la bio-raffineries ?***

Noms des encadrements :

- Raphael PASSAS
- Joceline ROUIS

Noms des élèves :

- Ibrahim GUIRO
- Ingrid YAPO

# Sommaire

## Introduction

### I. Environnement économique

1. Facteurs de développement
2. Analyse de la productivité de pâte

### II. Histoire De L'industrie Des Pâtes A Papier

1. Evolution De La Matière Première
2. Evolution des procédés de mise en pâte

### III. Fabrication de la pâte à papier de nos jours

1. Types de pâte selon le procédé utilisés
2. Le procédé Kraft le plus utilisé (plus 75%)
3. Le procédé au sulfite
4. Le procédé mécanique
5. Les fournisseurs de machines de pâtes à papier

### IV. Evolution vers la bioraffinerie

1. Aspect général d'une bioraffinerie
2. Bio raffinerie intégrée

### V. Caractéristique du marché

1. Identification des acteurs
2. Concurrents potentiels
3. Diagramme Porteur

### VI. Approche stratégique et perspectives

1. Variables essentielles
2. Diagnostic stratégique avec la matrice SWOT
3. Scénarios

## Conclusion

# Introduction

Depuis près d'une trentaine d'années, l'ampleur de la mondialisation occasionnant une concurrence rude entre les états dans tous les secteurs économiques ne laisse pas indifférent le monde de l'industrie papetière. En effet, la Chine avec sa demande exponentielle en pâte à papier (2 millions de tonnes en 1996 contre 23 millions de tonnes en 2017), les subventions gouvernementales et les grâces de la nature (un arbre d'eucalyptus pousse en 6 ans au Brésil contre 30 à 40 ans en Europe) ; hisse les Etats Unis, le Canada, le Brésil, la Chine au sommet des puissances papetières devant l'Europe et le reste du monde qui ne cesse de voir leur entreprise fermée. De plus vers les années 2000, en raison de l'avancée spectaculaire des technologies de l'information, le déclin de certains secteurs de l'industrie des pâtes et papiers, particulièrement le papier journal et les papiers d'impressions s'en suit.

Comme au 19<sup>ème</sup> siècle, ce secteur garde sa stabilité grâce à la mise en place de procédé industriel continu ; l'innovation va être encore une alternative avec la bioraffinerie lignocellulosique. Il s'agit d'intégrer dans l'usine des procédés de valorisation des résidus du bois c'est-à-dire l'hémicellulose, la lignine et les extractibles en bioénergie, produits chimiques ou biomatériaux. [cf figure 1 ]

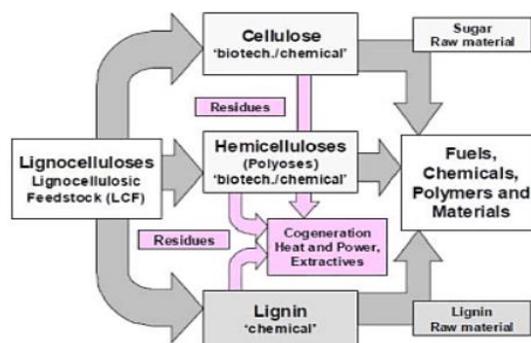


Figure1 – Vue synthétique des applications de la matière première lignocellulosique

Ainsi face à la renaissance de cette technologie qui fut auparavant mise de côté à cause du pétrole ; semble promettre une rentabilité au secteur et s'inscrit dans la tendance actuelle de bioéconomie, il incombe de se poser les questions suivantes :

Comment se positionne l'industrie de la pâte dans l'économie mondiale ?

Quelles peuvent être les scénarios pour les années à venir ? Et de ce fait, quel est l'état des lieux de ses technologies et comment se tourner vers une industrie en pleine transition vers la bioraffinerie ?

Dans la suite de nos propos, nous nous attèlerons à répondre à ces questions

# **I. Environnement économique**

L'analyse de l'environnement économique s'appuie sur les facteurs de développement et l'analyse de la production de pâte

## **1. Facteurs de développement**

Des facteurs tels qu'une population croissante, des perspectives économiques relativement meilleures et l'adoption continue des habitudes de consommation occidentales sur les marchés émergents continueront de stimuler la demande de pâte.

Le marché nord-américain de la pâte à papier s'est avéré être le plus actif au cours du dernier trimestre de 2016. En effet, il y a des plantations abondantes, principalement des fibres de résineux. Il y a suffisamment d'usines dotées d'une technologie supérieure dans la région pour convertir la fibre en pâte.

L'échange international et le développement de nouvelles technologies sont des facteurs de développement considérables.

## **2. Analyse de la productivité de pâte**

La demande mondiale de pâte à papier a augmenté de 2% en 2017, en raison de l'accélération de la consommation de papier tissu et de papier d'emballage, compensant ainsi la baisse de la demande de qualités d'impression et d'écriture.

La demande mondiale pour tous les papiers-mouchoirs a atteint 37,1 millions de tonnes en 2017. Le papier hygiénique est le principal secteur de croissance pour la Chine, elle utilise beaucoup plus qu'auparavant, de même que sa demande croissante pour d'autres articles, tels que les essuie-tout, les lingettes, les mouchoirs en papier et les couches.

La demande est également forte sur certains autres marchés émergents, tels que l'Indonésie, le Vietnam, la Turquie et le Mexique. Ces produits utilisent de la fibre vierge et compensent largement la baisse de la demande de pâtes d'impression et d'écriture.

La demande asiatique pour le vieux carton ondulé (OCC) est également forte. La demande mondiale de pâte à papier est également stimulée par le fait que le recyclage du papier est sur le point d'atteindre un sommet, les économies développées d'Amérique du Nord, d'Europe et du Japon consommant moins de papier imprimé que par le passé.

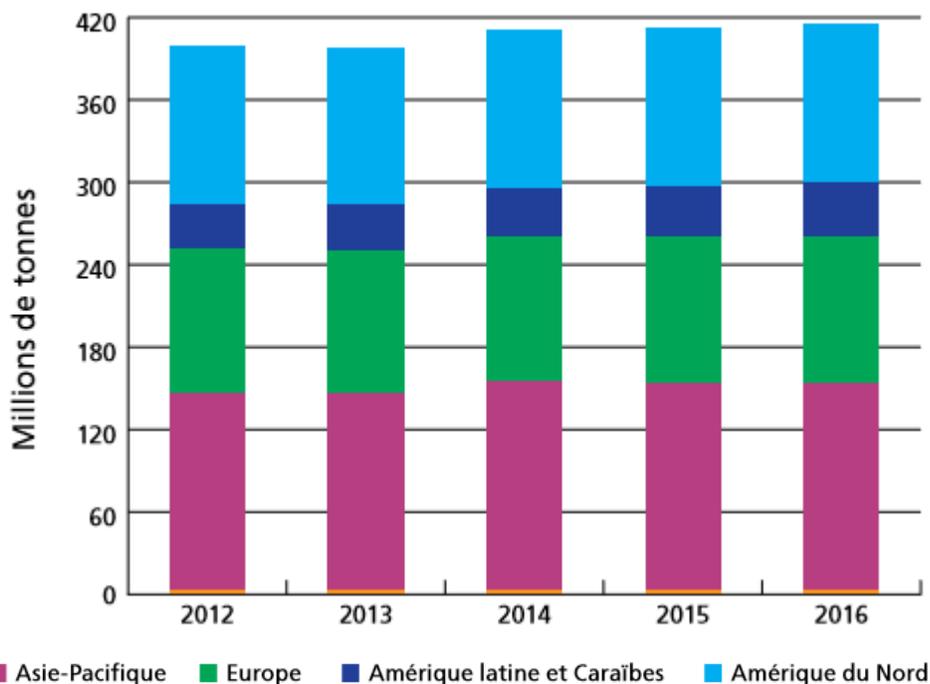


Figure 2 : Production mondiale de la pâte à papier, Source FAO, 2018

La production mondiale de pâte s'est élevée en 2016 à 415 millions de tonnes, une croissance inférieure de juste 1 pour cent à celle de l'année précédente. Au niveau mondial, la production de composition fibreuse a augmenté, passant de 400 millions de tonnes à 415 millions de tonnes en 2016.

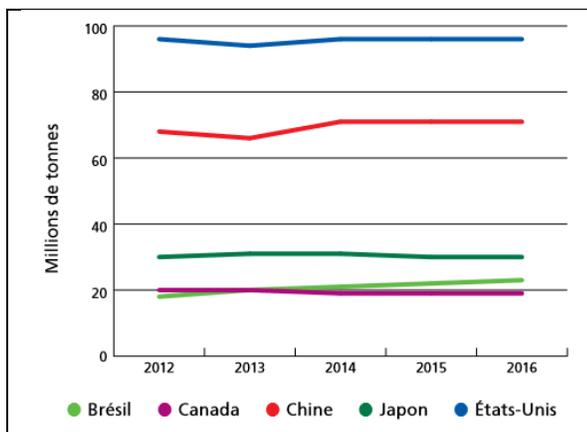


Figure 3 : Production de pâte des acteurs majeurs, Source FAO, 2018

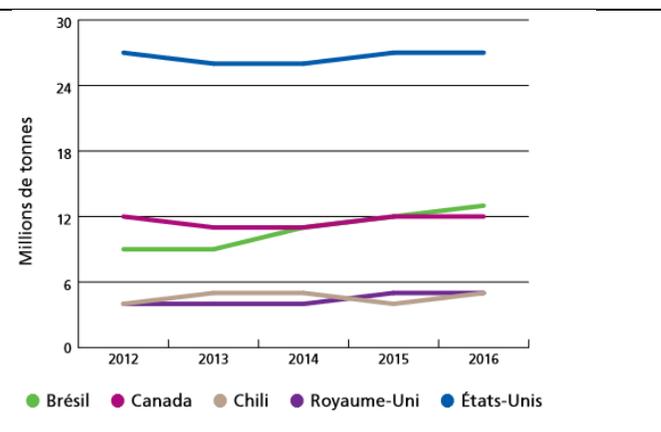


Figure 4 : Exportation de pâte des acteurs majeurs, Source FAO, 2018

La production et les exportations de pâte ont augmenté régulièrement au Brésil, où les plantations d'essences forestières à croissance rapide donnent au pays un avantage compétitif dans la fabrication de pâte de bois. En 2014, le Brésil a dépassé le Canada pour devenir le quatrième producteur de pâte à l'échelle mondiale, augmentant ultérieurement sa production de 6 pour cent en 2016 (de 28 pour cent entre 2012 et 2016)

Trois des principaux producteurs de pâte sont aussi les principaux exportateurs (États-Unis, Canada et Brésil), le Royaume-Uni occupant le quatrième rang et le Chili le cinquième. Ces cinq pays ont exporté 62 millions de tonnes (52 pour cent du total mondial) de composition fibreuse en 2016. Au cours de la période observée, les exportations se sont accrues de 52 pour cent au Brésil (qui a dépassé le Canada pour devenir deuxième exportateur en 2016) et d'environ 10 pour cent au Royaume-Uni et au Chili, et sont restées relativement inchangées au Canada et aux États-Unis.

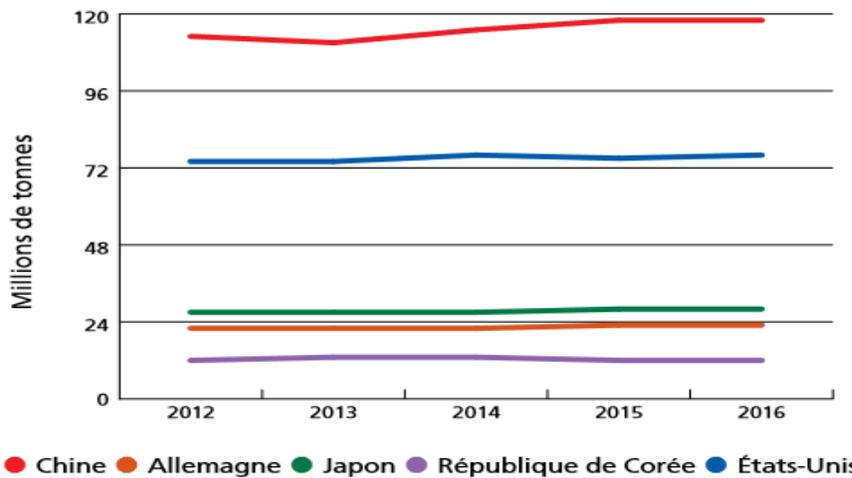


Figure 5 : Consommation de pâte des acteurs majeurs, Source FAO, 2018

Les cinq principaux consommateurs de composition fibreuse sont la Chine, les États-Unis, le Japon, l'Allemagne et la République de Corée qui, ensemble, ont consommé 256 millions de tonnes (62 pour cent du total mondial) de composition fibreuse en 2016. La consommation a été relativement stable dans ces cinq pays, avec une croissance de 1 à 5 pour cent au cours de la période.

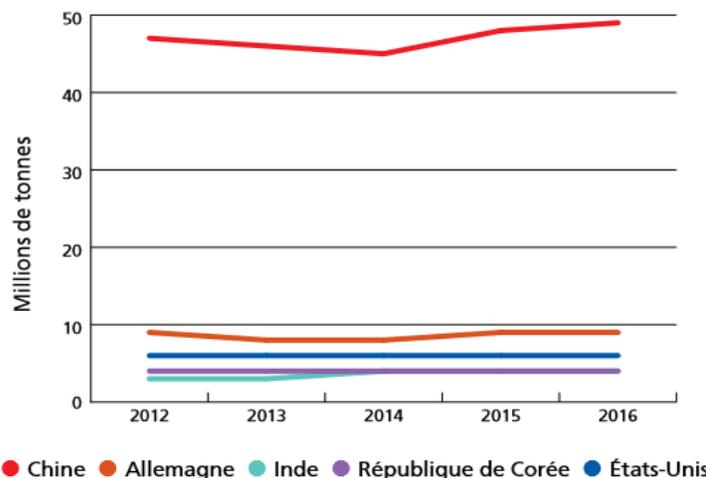


Figure 6 : importation de pâte des acteurs majeurs, Source FAO, 2018

Quatre des plus grands consommateurs de composition fibreuse sont aussi les principaux importateurs (Chine, Allemagne, États-Unis et République de Corée), l'Inde étant un autre importateur majeur. Les

importations de ces cinq pays se sont élevées à 72 millions de tonnes (62 pour cent du volume mondial total) en 2016. Si l'on compare ces deux chiffres, on s'aperçoit que dans plusieurs de ces pays la consommation dépend fortement des importations, qui représentent de 30 à 41 pour cent de la consommation en Chine, en Allemagne, en Inde et en République de Corée. Au cours de la période examinée, les importations ont augmenté en Inde (32 pour cent), tandis qu'elles sont demeurées stables dans les quatre autres pays.

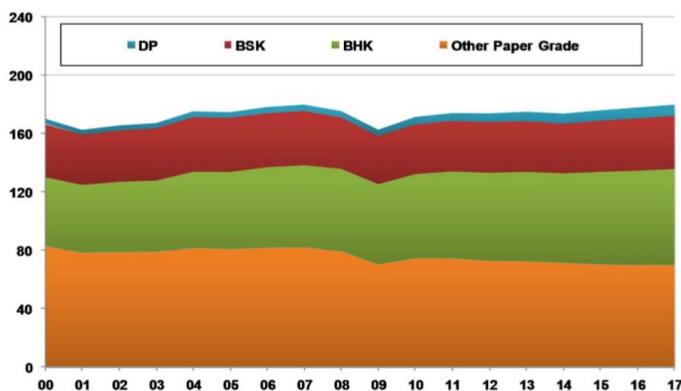


Figure 7 : Demande mondiale de pâte par degré majeur Source : RISI, 2016

Le bois dur blanchi gagne toujours des parts de marché, en millions de tonnes.

## II. Histoire de l'industrie des pâtes à papier

### 1. Evolution de la matière première

La fabrication du papier était jusqu'au VII<sup>e</sup>-ème siècle un secret gardé par la Chine et le Japon qui sera connu grâce à la capture d'artisans chinois par les Abbassides lors de la bataille de Talas.

En effet au II<sup>e</sup> siècle avant notre ère, la pâte utilisée pour la fabrication du papier était une bouillie avec des écorces qui un peu plus tard sera remplacé par le bambou et des fibres provenant de chiffons, cordages, filets de pêche etc. A partir de 756, le coton, le chanvre et le lin font leur entrée comme matière première. Notons que c'est seulement quatre siècles après que l'Europe connut ce procédé avec l'Espagne en 1056 et la France au XIII<sup>e</sup> siècle contre l'Egypte l'Irak et la Silice au VIII<sup>e</sup> siècle.

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, ayant une pénurie de chiffons, Heinrich Voelter, d'origine allemande, initia la pâte à papier issu de bois ce qui favorisa une grande production globale. C'est seulement après la deuxième guerre mondiale que les pâtes recyclées firent leur entrée.

### 2. Evolution des procédés de mise en pâte

Afin de pouvoir voir l'évolution des procédés de mise en pâte dans l'histoire, nous nous sommes focalisés sur le Canada qui est considéré comme l'Etat précurseur des technologies papetières dans le monde. Notons qu'il existe trois périodes majeures dans l'histoire :

- Années 1980 : le début de fabrication
- Années 1990 : l'âge d'or du secteur

- Années 2000 jusqu'à maintenant : au déclin du secteur et la renaissance de la bioraffinerie.

A partir de cette période, le procédé de la fabrication de pâte industriel s'est répandu dans le monde. On peut répartir les matières premières utilisées en fonction des localités. (cf Tableau 2)

Zones	Essences
Amérique du nord	Bois de feuillus et résineux du nord et sud de l'Amérique, papiers recyclés
Amérique du Sud	Bois de feuillus principalement Eucalyptus,
Europe	Feuillus, Résineux tel que l'eucalyptus, peuplier, coton, épicéa
Asia/ Afrique	Eucalyptus, abaca, bambou, papiers recyclés

Tableau 1- Tableau récapitulatif de la répartition géographique des matières premières du secteur des pâtes

Au vu de ce tableau, on peut constater que les pâtes produites mondialement peuvent localisées géographiquement par essence.

#### a. Le début de fabrication (1980)

Le début de ce secteur est caractérisé par la découverte des deux types de procédé majeurs de mises en pâte. Nous avons le début de l'utilisation de piles hollandaises actionnées par l'énergie hydraulique par les entreprises Acquecartier Mill et Argenteuil Paper Manufactory pour la défibrillation et la mise en pâte entre 1805 et 1810. Pour le procédé chimique, s'opère la découverte du procédé de fabrication de pâte à la soude par l'entreprise Windsort Mills.

#### b. L'âge d'or du secteur (1990)

Années	Innovations	Rôle	Entreprises	Inventeurs
1907	Procédé Kraft		Brompton pulp and Paper maintenant Kruger	
1910-1914	Adoption de section de presse sous vide	Séchage de la pâte commerciale		
1924-1925	La première chaudière de récupération pour le procédé Kraft	Récupération des produits chimiques utilisés	Howard Smith Paper Company maintenant Domtar	Georges Herbert
1933	Cuisson au bisulfite à haut rendement		Pulp and Paper Mill	
1946	Blanchiment de la pâte à ClO <sub>2</sub>		Centre de recherche CIP	
1958	Utilisation de copeaux au lieu de la bille de bois (usine kraft)		Thurso Pulp	

1960	-Création du premier lessiveur Kamy pour la production en continue -Blanchiment de la pâte à l'oxygène			
1970	Ajout de l'antraquinone lors de la cuisson Kraft	Amélioration du rendement	Centre de Recherche CIL	Hutch Hlton
1972-1977	Première ligne de production de pâte TM avec la création d'épurateurs à gaz et système de contrôle des disques raffineurs		Kruger à Bromptville	
1978	Pâte chimico-mécanique		CIP	
1983	Pâte CTMP		North Shore Paper Co	
1984	Précurseur de la bioraffinerie forestière		Tembec	

Tableau 2- Tableau récapitulatif des innovations dans l'industrie des pâtes dans les années 1900

Cette période est marquée par de nombreuses découvertes dans les deux procédés mais en particulier dans le procédé chimique avec le procédé Kraft ce qui joue un rôle prépondérant dans la croissance de ce secteur.

### c. L'avènement des bioraffineries lignocellulosiques

Face au nouveau concept de bioéconomie, les dirigeants des industries des pâtes cherchent à améliorer la production de leurs usines. Le bois se compose de fibres de cellulose, de lignine et d'hémicellulose. L'extraction de ces composantes et leur transformation ouvre la voie à une renaissance de l'industrie des pâtes et papiers. Notons qu'il s'agit d'un retour à une solution exploitée bien auparavant mais délaissée à cause de la pétrochimie.

Cette ère est marquée par l'inauguration d'une multitude de bioraffineries lignocellulosiques dans le monde avec par exemple au Canada avec la société Tembec en 2012 par la production de biométhane ; la coentreprise CelluForce formée par Domtar et par FPInnovations par l'entrée en exploitation en 2012 de la première usine de nano cellulose cristalline (NCC) au monde. La société multinationale Schlumberger s'est jointe à cette dernière en mars 2015 et la société Fibria du Brésil fit de même en novembre 201

## III. Fabrication de la pâte à papier de nos jours

La fabrication des pâtes consiste à diviser le bois en fibres primaires tout en les désintégrant le moins possible. Cette division est obtenue par des procédés bien différents : soit par des moyens mécaniques, soit par action de réactifs chimiques ou une combinaison de ces deux procédés.

Les pâtes peuvent classifiées selon plusieurs critères dont le procédé de fabrication, le rendement obtenu, la longueur des fibres, les matières premières utilisées et le blanchiment ou pas. Cependant nous allons nous baser sur la classification selon le procédé de fabrication.

## 1. Types de pâte selon le procédé utilisé

### a. Types de pâte

Selon le procédé utilisé on distingue plusieurs catégories de pâtes cellulosiques :

- Les pâtes mécaniques, thermo-chimiques, chimico-thermiques et chimico-mécaniques, obtenues par simple désintégration des copeaux de bois dans des défibreurs à meules ou à disques, associée ou non à un traitement thermique, et/ou chimique. On obtient dans le cas de ces procédés des rendements de l'ordre de 80-90 % ce qui explique le nom commercial "pâte à haut rendement".
- Les pâtes chimiques sont obtenues par cuisson des copeaux de bois en présence de produits chimiques. Ces produits ayant pour but principal de dissoudre la lignine située dans la lamelle moyenne. Pour ce type de procédé, le rendement est d'environ 50%. Il existe deux types de procédés de fabrication : en milieu alcalin avec le procédé Kraft et le procédé soude anthraquinone et en milieu acide avec le procédé au bisulfite.

### b. Les principaux procédés utilisés aujourd'hui

Les principaux procédés utilisés pour la fabrication de pâte à papier dans le monde sont :

- Le procédé Kraft le plus utilisé (plus 75%)
- Le procédé au bisulfite (5%)
- Le procédé mécanique (moins de 20 %)

## 2. Les procédés Chimiques

Les étapes de production de la pâte chimique peuvent être regroupées comme suit :

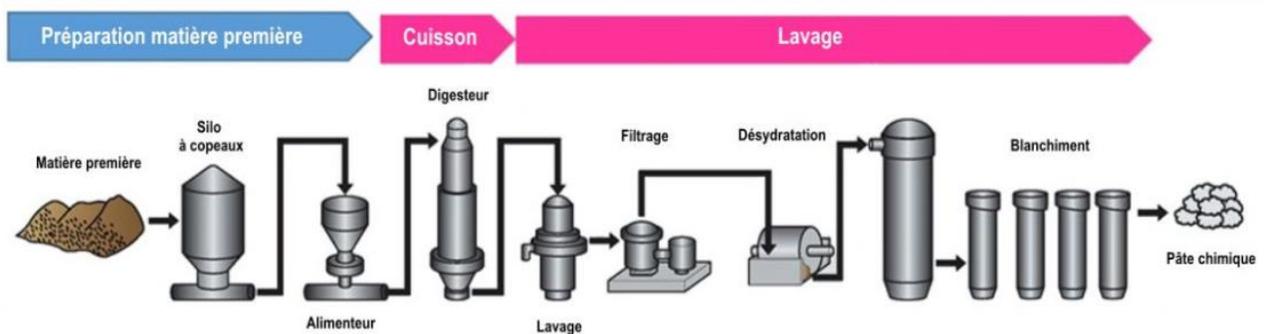


Figure 8 : Schéma des étapes de production de la pâte chimique

### a. Préparation de la matière première

Le processus de production de la pâte commence par la manipulation de la matière première qui se produit dans le parc à bois, où les grumes sont reçues de la forêt. Les grumes sont acheminées vers un chantier de stockage ou directement vers la déchiqueteuse.

Les grumes sont déchargées sur des tables d'alimentation, lavées et transportées par des convoyeurs jusqu'à la déchiqueteuse. Un disque rotatif transforme les bûches en quelques secondes en petits copeaux, qui sont déposés sur un parc à copeaux.

Le déchiquetage est effectué en vue de la taille de copeaux idéale (environ 2-3cm pour la longueur et largeur, et de quelques millimètres pour l'épaisseur) pour la phase de cuisson pour éviter des incuits (copeaux non cuits). La séparation des copeaux par taille se produit sur un tamis vibrant avant leur entrée dans le silo à copeaux du digesteur continu. Les copeaux conformes aux spécifications sont acheminés vers le silo à copeaux du digesteur en continu sur des convoyeurs équipés de systèmes de détection des métaux pour éviter tout dommage.

## b. Cuisson

À ce stade, l'objectif est de dissoudre toute lignine présente entre les fibres du bois. Ces fibres sont la pulpe de cellulose. Les copeaux de bois sont soumis à une action chimique avec de la liqueur blanche et de la vapeur dans le digesteur continu (récipient sous pression) à température, pression et temps de rétention contrôlés.

Après la cuisson, la pulpe subit le premier lavage dans le digesteur continu et est ensuite déchargée dans un réservoir de décharge (réservoir de soufflage), où elle est stockée pour être transférée à l'étape suivante du lavage.

## • Le procédé Kraft

Dans la fabrication de la pâte kraft, de la liqueur blanche, contenant principalement des produits chimiques actifs (hydroxyde de sodium et sulfure de sodium) est utilisée pour cuire les copeaux à haute température (150–170 ° C) et sous pression. Environ la moitié de la composition du bois se dégrade et se dissout pendant la cuisson. La liqueur de cuisson usée (liqueur noire) contient des produits de réaction de lignine et hémicelluloses. Elle est concentrée et brûlée dans une chaudière de récupération qui récupère les produits chimiques de cuisson et génère de l'énergie. La fonte est dissoute dans de l'eau pour former une liqueur verte principalement constitué de carbonate de sodium et de sulfure de sodium, qui réagit ensuite avec de la chaux pour convertir le carbonate de sodium en hydroxyde de sodium régénérant la liqueur blanche. Après cuisson et lavage, on obtient une pulpe brune.

Ainsi pour obtenir une pâte totalement blanche, on procède par la suite à des séquences de blanchiment pour éliminer l'excès de lignine et de chromophores contenu dans la pâte cuite et qui lui confèrent cette couleur.

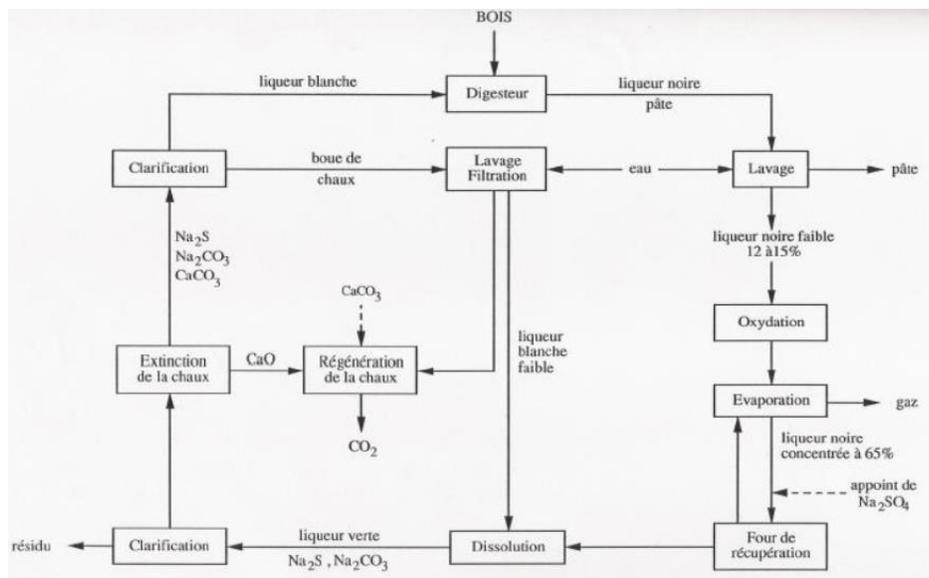


Figure 9 : Schéma du procédé de fabrication de la pâte kraft, Source Cours procédé Kraft

## • Le procédé au sulfite

Le procédé au sulfite se fait en milieu très acide de l'ordre de 3, permettant une grande flexibilité des fibres en termes de rendement et de propriétés de la pâte. Le processus de cuisson implique l'utilisation d'anhydride sulfureux

(SO<sub>2</sub>) et d'une base : calcium, sodium, magnésium ou ammonium. La réduction en pâte au sulfite a été développée dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle et, pendant plusieurs décennies, le procédé au sulfite de calcium était la méthode la plus courante. Cependant, depuis 1950, l'utilisation de bases autres que le calcium constitue un développement majeur. La base spécifique utilisée déterminera le système de récupération chimique et énergétique du processus ainsi que l'utilisation de l'eau. L'utilisation de la base de calcium relativement peu coûteuse est devenue obsolète car les produits chimiques de cuisson ne peuvent pas être récupérés. Les bases de magnésium et de sodium permettent la récupération chimique, et les bases de magnésium constituent actuellement le choix dominant dans le procédé de fabrication de la pâte au bisulfite. On obtient des pâtes de blancheur de l'ordre de 60 à 65% ISO et plus facile à blanchir.

- **Lavage et purification**

À ce stade, l'objectif est de séparer les fibres de la pulpe de la lignine dissoute lors de la cuisson.

Dans le lavage, la pâte est lavée à contre-courant dans des filtres rotatifs. La désignation à contre-courant est appliquée car la pâte entre dans le premier filtre et progresse vers le filtre final, tandis que l'eau ou le condensat pénètre dans le filtre final et progresse vers le premier, concentrant ainsi la liqueur noire (lignine dissoute et produits chimiques utilisés en cuisine) et en laissant les fibres nettoyées.

- **Blanchiment**

La couleur naturelle de la pâte est blanche, mais lors de l'élimination de la lignine dans les premiers stades de la production, elle passe au brun clair en raison de l'oxydation de la matière organique dans le bois.

Pour éliminer cette coloration et la rendre blanche, la pâte est soumise à un traitement chimique avec des agents oxydants tels que le dioxygène, le peroxyde d'hydrogène, l'oxyde de chlore dans des réacteurs à température, pH et temps de rétention contrôlés. Et ensuite, toute la pâte blanchie est stockée dans une tour de stockage avant d'être envoyée à l'étape du pressage, séchage et embobinage pour les usines de pâtes marchandes et au cuvier de stockage pour les usines intégrées.

### 3. Le procédé mécanique

Dans ce processus, le bois sous forme de billes ou de rondins est forcé contre une pierre en rotation tournant à des vitesses périphériques très grandes, dans des conditions spécifiées de pression et de température. Le meulage atmosphérique, le meulage sous pression et le thermo-meulage pourraient être effectués en fonction de la température et de la pression appliquées. Dans tous les cas, les niveaux de température obtenus par la chaleur appliquée ou par le frottement des bûches sur la pierre ramollissent et décomposent la structure des fibres ; et fissure les fibres de la matrice de bois.

Une autre méthode courante est la réduction en pâte mécanique par raffinage (Refining Mechanical Pulp). Les copeaux de bois sont tirés entre deux disques en rotation. Nous avons également la mise en pâte thermomécanique qui fonctionne comme une RMP mais à des températures et des pressions plus élevées. La température et les pressions élevées ramollissent la lignine encore plus que la chaleur de friction, facilitant ainsi la séparation des fibres. La pâte thermomécanique est plus résistante que la pâte mécanique raffinée (RMP) et conserve toujours le rendement élevé et la rentabilité des pâtes mécaniques.

Procédé  
mécanique

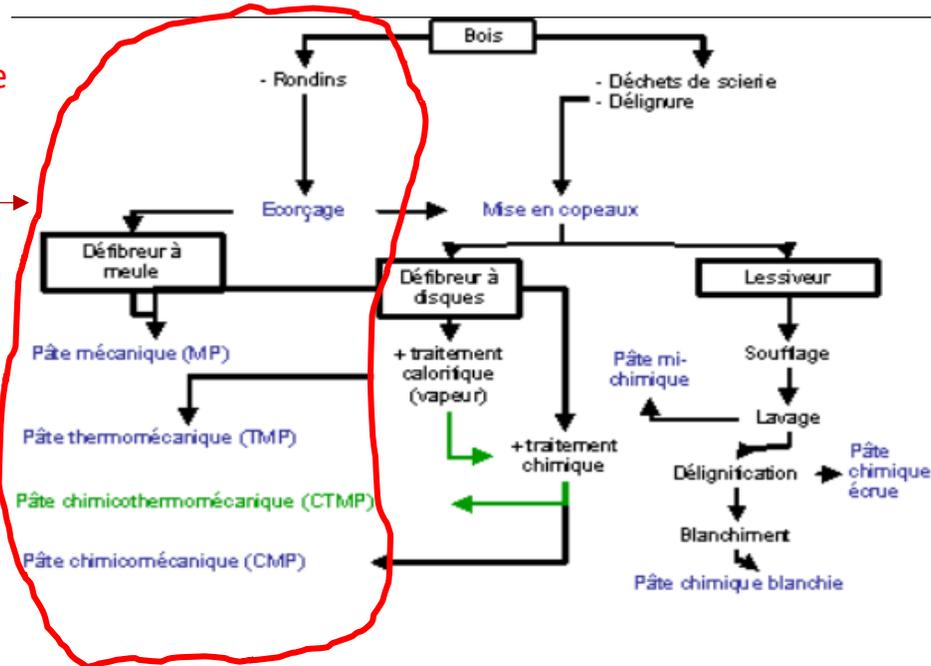


Figure 10 : Schéma résumant les différents procédés de mise en pâte.

- **Les fournisseurs de machines de pâtes à papier**

Les fournisseurs de machines mondiaux de ce secteur peuvent être regroupés comme suit :

- Fournisseurs de machines de pâtes chimiques : VALMET (spécialisé dans la fourniture de machines complètes ou partiel et dans l'automatisation des procédés), ANDRITZ, KAMYR, METSO
- Fournisseurs de machines pour procédés mécaniques : VALMET, METSO

Les fournisseurs peuvent être également classés par géographiquement :

Continent	Pays	Entreprises
Amérique	USA	Kadant (Anciennement Thermo Noir Clawson)
	Canada	GL & V Groupe Pâtes et Papiers
Asie	Inde	JMC Paper Tech. Pvt. Ltd, Ahmedabad
	Chine	Papier haïtien Machinery Co
	Japon	Maruishi Co, Ltd Maruishi
Europe	Suède	Alfa Laval AB
	Italie	A.Celli Papier Spa
	Norvège	Aker Solution
	Allemagne	BHS Corrugated
	Suisse	Asea Brown Boveri (ABB)

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des fournisseurs de machines de fabrication de pâtes repartis par continent

## IV. Evolution vers la bioraffinerie

Une bioraffinerie peut exister en tant que procédé à part entière, être intégrée à un procédé existant ou encore être à la base d'une grappe éco-industrielle. Par bioraffinerie intégrée, on entend l'intégration d'un ou plusieurs bioprocédés aux procédés habituels de fabrication de la pâte à papier dans le but de valoriser les déchets issus de la production de la pâte, de réduire les coûts d'investissements et de production. Dans un tel complexe, les infrastructures sont partagées. Habituellement, les usines de pâtes à papier disposent par exemple de réseaux d'énergie et de systèmes de traitement des eaux, de capacité excédentaire pour certains, qu'il est possible d'adapter en vue de l'intégration de bioprocédés.

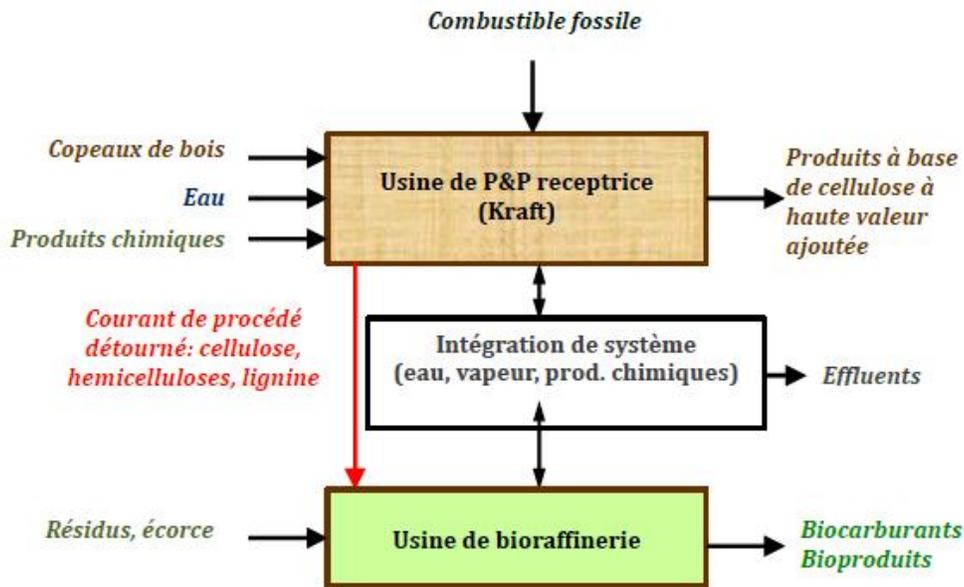


Figure 11 : aspect général de la répartition des ressources dans une bioraffinerie intégrée

La plupart des usines de pâtes dans le monde utilisent comme utilise le procédé Kraft. Nous nous focaliserons donc dans l'amélioration de ce process pour tendre vers la bioraffinerie.

### 1. Récupération des extractives

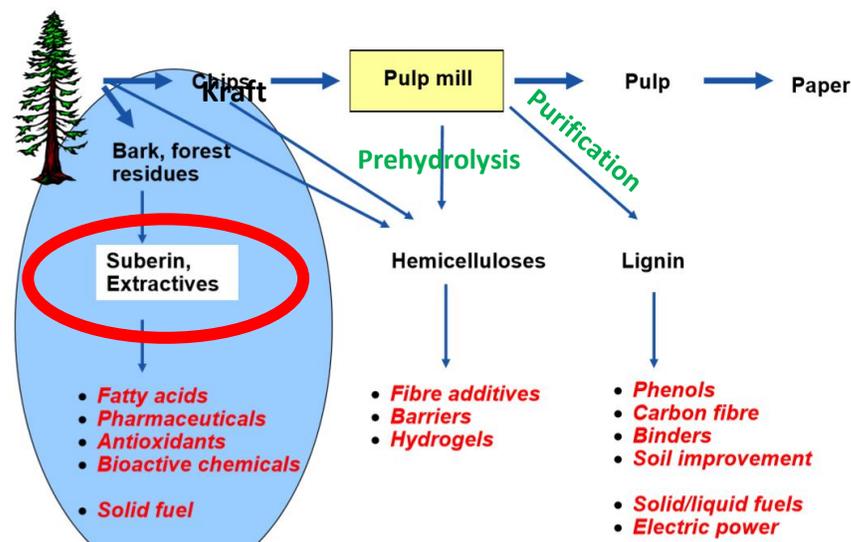


Figure 12 : Schéma d'une bioraffinerie intégrée et produits dérivés

Les terpènes contenus dans le bois peuvent être récupérée sous forme de turpentes qui peuvent être brûlé ou transformé par l'industrie chimique en solvant, adhésives.

Après cuisson de la pâte, on retrouve à la surface de la liqueur noire, un mélange d'acide résinique, alcool gras, stérol qui constituent le tall oil. On peut donc les extraire par évaporation de la liqueur noire.

## 2. Récupération de la lignine

La récupération de la lignine se fait actuellement à travers le procédé LignoBoost. Dans la lignoBoost, la liqueur noire est prise par évaporation dans le procédé et le pH diminue avec le CO<sub>2</sub>.

Ce procédé est actuellement mis en route industriellement par deux entreprises Stora Enso Sunila Mill et Domtar Plymouth Mill avec une production respective de 370 kton/an pate de feuillus ; 50 kton/an de lignine et de 466 kton/an en pâte de feuillus ; 25kton/ an de lignine.

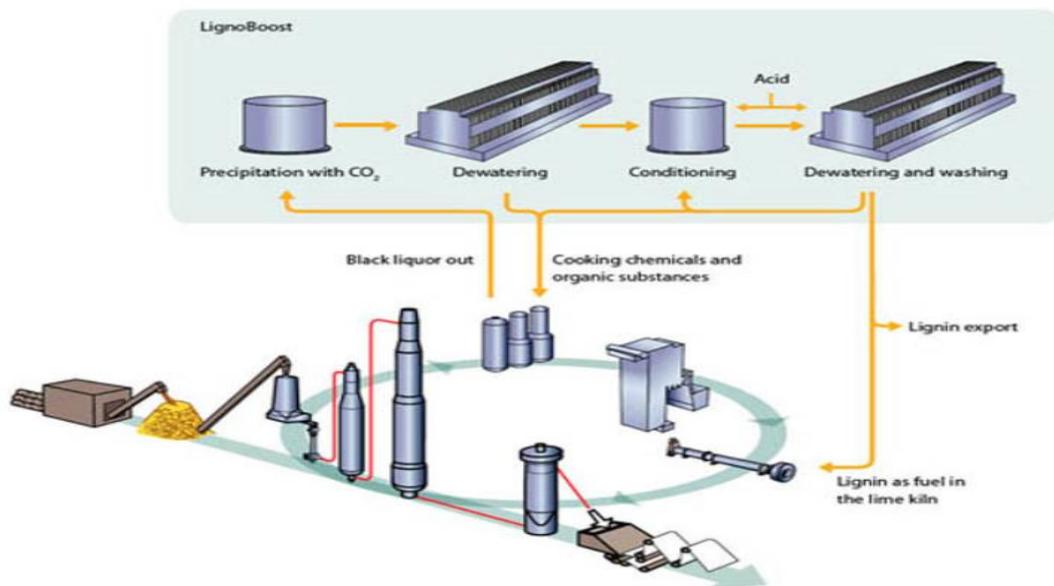
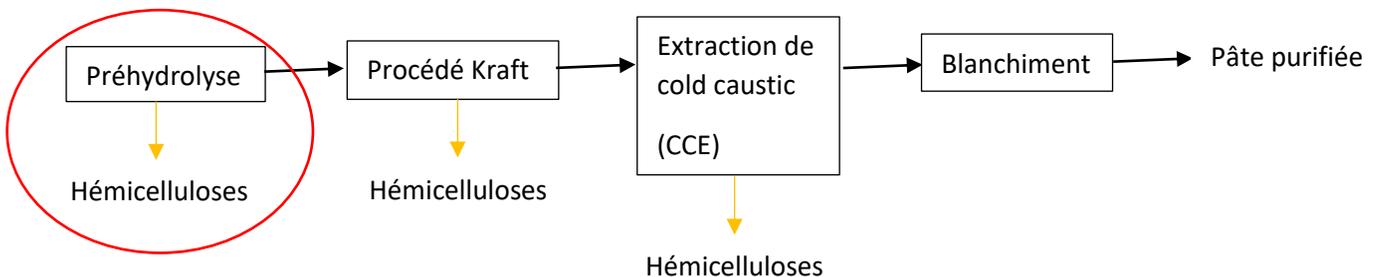


Figure 13 : Schéma du procédé LignoBoost d'extraction de la lignine de la liqueur noire kraft, Source : Metso

## 3. Récupération des hémicelluloses : Etape de purification

### a. Préhydrolyse

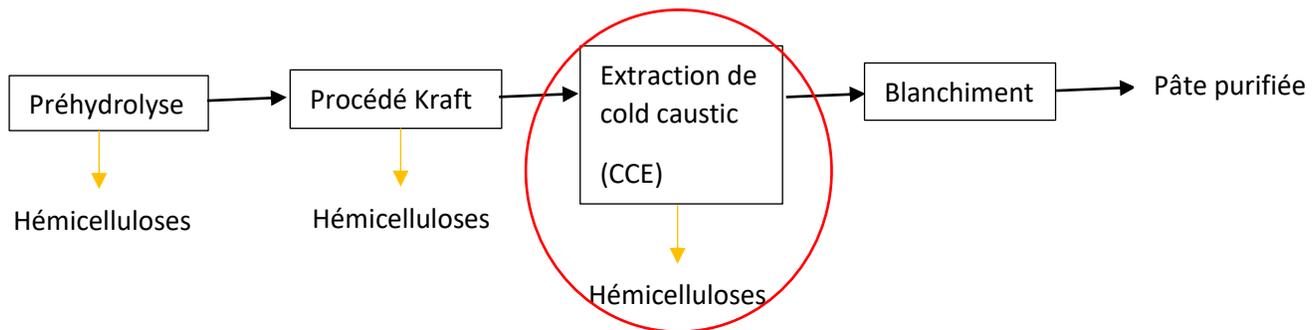


La préhydrolyse est une réaction d'hydrolyse qu'on fait subir au bois pour récupérer les hémicelluloses avant de faire la cuisson qui a tendance à détruire totalement le DP de la cellulose et la solubiliser complètement.

Il existe pour l'instant, l'hydrolyse par vapocraquage. On injecte directement la vapeur à faible et moyenne pression à une température de 160-180°C. L'effet de cette autohydrolyse sont les acides provenant du bois perd des protons pendant le vapocraquage. Cependant, l'effet de ce procédé dépend de l'essence du bois, de son âge, l'humidité et de la température. Cette préhydrolyse peut durer de 20-60 minutes.

### b. Extraction de Cold Caustic (CCE)

Cette étape permet de purifier la pâte après cuisson. A une température de 25-45°C, on envoie une pâte à une concentration de 10-15% et une soude entre 30-100% NaOH/pâte pendant 30-60 minutes.



Grâce au concept de bioraffinerie intégrée, les papeteries sont en mesure de produire de nouveaux produits tels que des biocarburants et des produits chimiques de spécialité via le bioraffinage, en plus des produits ordinaires. On note toutefois que l'intégration de bioprocédé dans une usine de pâtes Kraft peut avoir un impact sur le procédé de mise en pâte. Ces répercussions peuvent être décrites comme étant techniques, économiques, environnementales ou encore sociales et peuvent être positives ou négatives.

## V. Caractéristique du marché

Pour comprendre le marché de la production de pâte, il est judicieux d'identifier les acteurs qui interviennent, les concurrents potentiels et d'analyser les tensions concurrentielles de ce marché grâce au digramme Porter.

### 1. Identification des acteurs

Cette étude porte sur le marché mondial de pâtes et les perspectives d'extension des usines vers la bioraffinerie pour la valorisation de leurs résidus. Les usines à forte capacité de production ont tendance de plus en plus à valoriser les résidus contrairement aux usines à faible production. Cela parce que la quantité de produits valorisables est importante et surtout la conquête d'un nouveau type de marché qui en même temps leur fera rentrer dans l'économie circulaire.

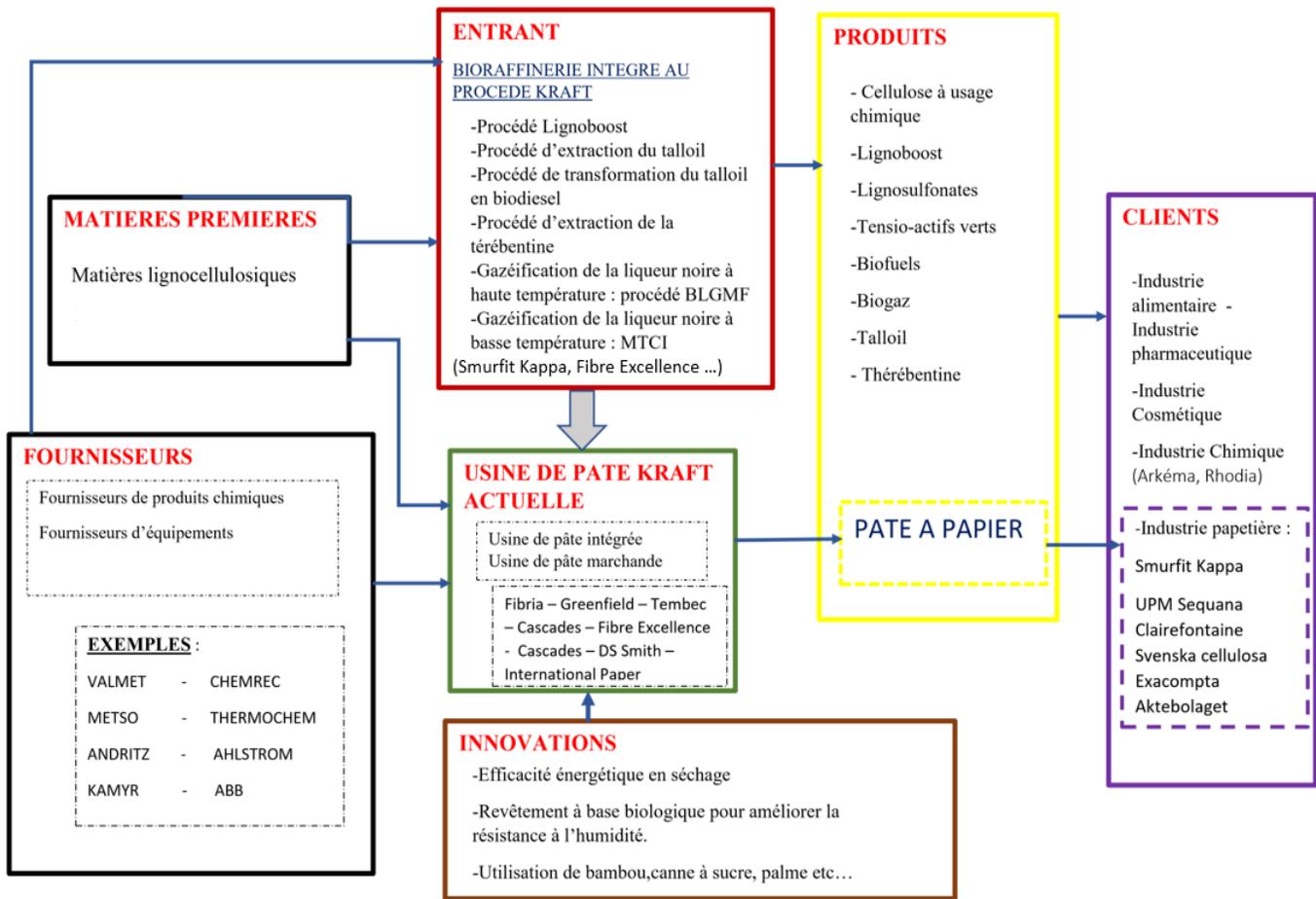
Amont	Aval
<p>Producteurs majoritaires de pâtes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amérique du nord : International Paper...</li> <li>• Asie : APP, Nippon paper, Nine Dragon Paper Holdings...</li> <li>• Europe : Stora Enso, UPM, Smurfit Kappa, Fibre Excellence...</li> </ul> <p>Producteurs intégrés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tembec Tartas (France)</li> <li>• Tembec Témiscaming (Canada)</li> <li>• Fibre Excellence</li> </ul> <p>Projets :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innventia</li> <li>• FPIInnovation</li> <li>• Paprican</li> <li>• Sucrol</li> </ul>	<p>Producteurs majoritaires de papier :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asie : Oji Paper...</li> <li>• Amérique du nord : International Paper...</li> <li>• Europe : Smurfit Kappa...</li> </ul> <p>Autres :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie alimentaire</li> <li>• Industrie cosmétique</li> <li>• Industrie chimique (Arkéma, Rhodia)</li> </ul>

## 2. Concurrents potentiels

Le marché de la pâte à papier est un domaine où la concurrence est assez rude. Les producteurs sont en permanente concurrence pour accroître leur part de marché dans le monde.

Les pâtes constituent une industrie clé dans le monde et les produits de papier comptent parmi les principaux produits d'exportation dans de nombreux pays. L'Amérique du Nord, l'Asie et l'Europe représentent la majeure partie du papier et de la pâte à papier du monde. Les autres principaux producteurs de papier et de pâte à papier au monde sont l'Allemagne, le Japon, la Finlande et le Canada. La Chine possède le plus grand papier au monde et la production de pâte après que sa production ait dépassé celle des États-Unis, qui occupaient la première place depuis de nombreuses années.

## 3. Diagramme Porteur



## VI. Approche stratégique et perspectives

### 1. Variables essentielles

Plusieurs paramètres rentrent en ligne de jeu d'une part pour les usines de pâtes classiques et d'autre part pour d'éventuelles évolution vers la bioraffinerie.

#### 1.1 Approvisionnement en matières premières

La matière première de base est la cellulose sous forme de fibres. Les fibres de cellulose se trouvent dans beaucoup de tissus végétaux dont elles peuvent être extraites facilement par des moyens mécaniques ou chimiques. Leurs sources sont aussi nombreuses que les espèces de plantes dont on peut les extraire et le nombre d'espèces productrices de fibres pouvant être utilisées en papeterie se compte par milliers. Cependant, bien qu'il y ait de nombreuses sources possibles de fibres, en pratique, celles qui sont aptes à faire du papier ne peuvent être extraites que de quelques - unes d'entre elles, car le rendement en fibres de la plupart des espèces est si faible que leur extraction n'est pas rentable.

Les plantes productrices de fibres vont des graminées communes aux arbres les plus exotiques, mais on n'en utilise facilement qu'une demi - douzaine comme source de fibres. Ce sont : les bois résineux et feuillus, la paille, l'alfa, la bagasse et le bambou. En outre, des fibres papetières sont tirées du coton et des tissus sous forme de chiffons, ainsi que de l'abaca, du sisal et d'autres fibres dures sous forme de cordages.

Parmi ces sources, le bois constitue depuis longtemps la plus importante, et les conifères à eux seuls fournissent une beaucoup plus grande contribution à l'approvisionnement total du monde en matières premières servant à la fabrication du papier que toutes les autres matières réunies.

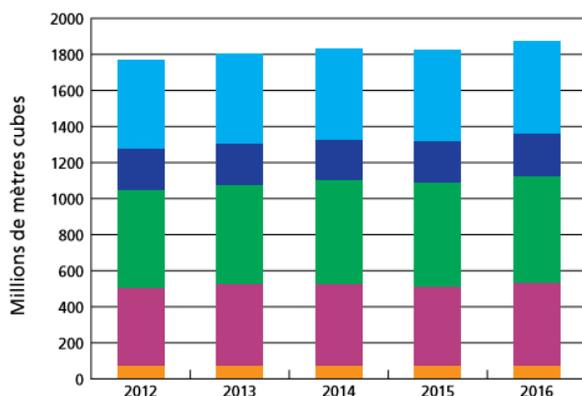


Figure 14 : Production mondiale de bois industriel, Source FAO, 2018

Le bois rond industriel comprend tout le bois rond utilisé pour n'importe quel usage autre que l'énergie. Il inclut la pâte de bois, les grumes de sciage et de placage, et d'autres types de bois rond industriel (le bois rond utilisé, par exemple, pour les piquets d'enceintes et les poteaux télégraphiques ou électriques).

En 2016, la production mondiale de bois rond industriel s'est élevée à 1 874 millions de m<sup>3</sup>. Il s'agit d'une augmentation de 2,6 pour cent par rapport à 2015 (1 826 millions de m<sup>3</sup>) et de 5,9 pour cent par rapport au niveau de 2012 (figure 1a).

La majorité de la croissance a eu lieu en Asie-Pacifique, en Europe et en Amérique du Nord, qui ont produit conjointement 7 pour cent de plus en 2016 qu'en 2012. La production de l'Afrique et de la région Amérique latine et Caraïbes n'a pas changé de manière significative durant cette période.

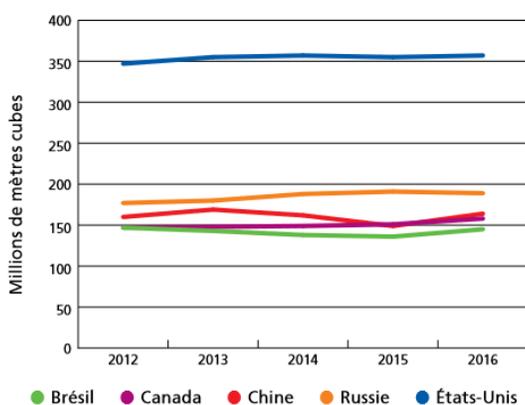


Figure 15 : Production de bois industriel, Source FAO, 2018

Au niveau national, les cinq plus grands producteurs de bois rond industriel sont les États-Unis, la Fédération de Russie, la Chine, le Canada et le Brésil. Ensemble, ces pays ont produit 1 022 millions de m<sup>3</sup> en 2016, soit 55 pour cent de la production mondiale totale. Les États-Unis sont de loin les plus grands producteurs à l'échelle mondiale (357 millions de m<sup>3</sup> en 2016); la production a augmenté chaque année depuis 2012. La production de la Fédération de Russie et du Canada augmente depuis 2012. La production de la Chine et du Brésil a décliné en 2015 mais s'est redressée en 2016.

Les forêts sont gérées durablement de façon à prévenir d'éventuelle insuffisance et en termes d'environnement durable.

## 1.2 Coût de la pâte

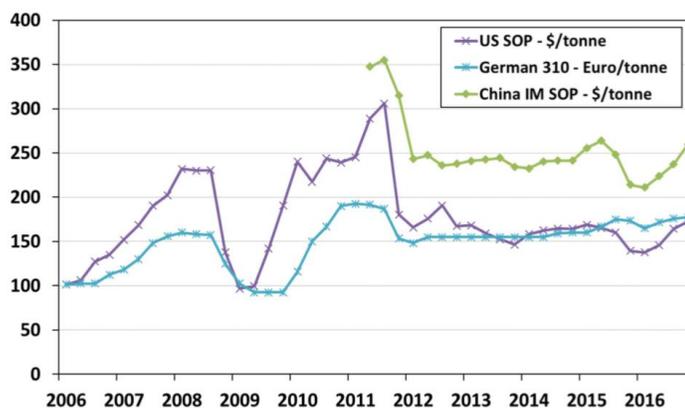


Figure 16 : Prix de la pâte vierge dans le monde Source : RISI, 2016

Le prix de la pâte vierge fluctue énormément mais avec une augmentation de façon générale.

## 1.3 Coût de l'énergie

L'industrie papetière consomme beaucoup d'énergie. La facture énergétique représente 10 à 30 % des coûts de production de l'industrie des pâtes.

Pour minimiser la consommation en énergie les usines de pâtes ont tendance à brûler les déchets et boues pour récupérer de l'énergie.

Exemple de consommation énergétique du secteur pâte (France) :

Consommation d'énergie (production de pâtes à papier)

ÉNERGIE CALORIFIQUE EN TERA JOULE (TJ)	2009	2010	2011	variation 2011/2010 (%)
Fioul	1 083	1 044	937	-10,3
Gaz	972	2 035	1 743	-14,4
Autres énergies	33 213	33 273	33 684	1,2
<b>TOTAL</b>	<b>35 268</b>	<b>36 352</b>	<b>36 363</b>	<b>0,0</b>

Figure 17 : Consommation d'énergie, Source Copacel/Insee, 2011

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN GIGA WATT HEURE (GWH)	2009	2010	2011	variation 2011/2010 (%)
Secteur	1 525	2 353	2 178	-7,4
Hydraulique	0	0	0	ns
Thermique	734	790	797	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>2 259</b>	<b>3 143</b>	<b>2 975</b>	<b>-5,3</b>

ns : non significatif

Figure 18 : Consommation d'électricité, Source Copacel/Insee, 2011

### 1.4 L'influence du pétrole

Le développement de la bioraffinerie est fortement influencé par la quantité de pétrole disponible et le prix du pétrole.

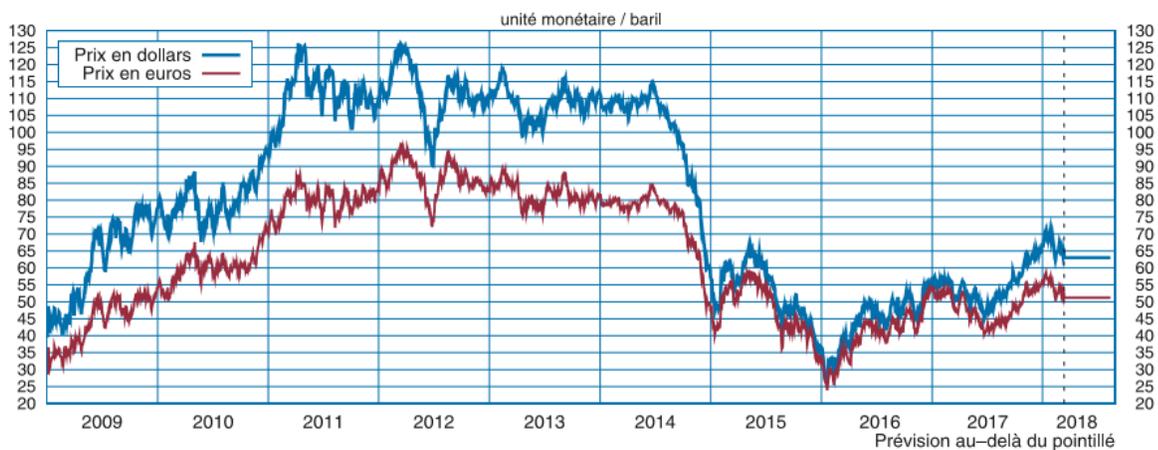


Figure 19 : Prix Brent en dollars et en euros, Source Commodity Research Bureau, 2018

Plusieurs projets ont vu le jour pendant la période 2009 à 2015 et cela à cause de l'augmentation du prix du pétrole.

## 2. Diagnostic stratégique avec la matrice SWOT

Un diagnostic externe identifiant les opportunités et les menaces présentes dans l'environnement et un diagnostic interne identifiant les forces et les faiblesses du marché mondiale de la pâte à papier sont réalisés dans l'analyse SWOT suivante.

<b>Forces</b>	<b>Faiblesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressources forestières importantes et gérées durablement par les papetiers</li> <li>• Industrie papetière ancienne, bien implantée, avec du savoir-faire et des partenariats intéressants (ex. approvisionnement en matières premières)</li> <li>• Projets sur les techniques de bioraffinerie ou de valorisation des co-produits lignocellulosiques</li> <li>• Potentiel d'émargement important sur les produits à haute valeur ajoutée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu de R&amp;D dans les usines de pâte, propriétés de groupes internationaux dont les priorités sont ailleurs, et par manque d'investisseurs.</li> <li>• Pas assez d'expérience à l'échelle industrielle de techniques de bioraffinerie.</li> </ul>
<b>Opportunités</b>	<b>Menaces</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte demande en pâte</li> <li>• Hausse du prix du pétrole et intérêt pour les produits de substitution issus de la chimie "verte".</li> <li>• Volonté sociétale et politique d'amorcer un virage vers des produits biosourcés.</li> <li>• Alliances entre industrie papetière et industrie chimique pouvant attirer les investisseurs.</li> <li>• Fermeture de petits sites de production</li> <li>• Nouvelles technologiques</li> <li>• Politique industrielle favorable pour le développement de bioraffinerie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte concurrence des usines qui développent massivement des technologies de bioraffinerie.</li> <li>• Hausse du niveau de vie</li> <li>• Morcellement du territoire forestier détenu en grande partie par des propriétaires privé dans certains pays d'où l'exploitation insuffisante des ressources forestières.</li> <li>•</li> </ul>

La mise en parallèle des résultats du diagnostic externe avec les résultats internes permet de d'anticiper sur l'avenir de l'industrie papetière mondiale.

### 3. Tendance

De nombreux projets sont en cours afin de développer des bioraffineries intégrées. Ces projets portent sur les produits qu'on peut extraire et l'intégration dans les procédés existants. Pour que ce soit efficace les pays ont tendance à se regrouper c'est l'exemple de la zone euro avec la Eurobioref.



Figure 20 : Consortium du projet Eurobioref, Source : Eurobioref, 2019

Ce phénomène commence à prendre de l'ampleur. De plus les papetiers et les chimistes commencent à tisser des partenariats afin de travailler ensemble pour avancer plus vite.

### 4. Scénarios et analyse des risques

Deux scénarios peuvent être envisagées.

#### 4.1 En 2030, la majorité des usines de pâtes seront intégrées : la rationalisation

Hypothèse :

- Ralentissement de la croissance de la demande de pâte à papier
- Chute du prix de la pâte
- Nécessité de valoriser les résidus, conquête de nouveau marché

La demande en pâte n'a cessé de croître ces années et cela à cause de la forte demande dans les pays en voies de développement. Tandis qu'il a été constaté que les livraisons de papier d'impression et d'écriture en provenance des marchés dits "matures" ont considérablement chuté au cours de la dernière décennie, passant des 20 millions de tonnes enregistrées au premier trimestre 2004 à près de 13 millions de tonnes livrées au cours de la même période. On peut envisager donc un scénario où tous les papetiers vont transformer leur usine pour une usine intégrée. En effet, vu que la demande de pâte dans des années à venir pourrait baisser considérablement et qu'il y a beaucoup de papetier, le prix de la pâte risque de chuter. Un bon nombre de papetiers n'auront d'autres choix que de conquérir d'autres marchés pour continuer à exister et être rentable. La seule solution raisonnable et intéressante serait de valoriser les résidus en des produits de forte valeur ajoutée d'où l'intégration d'une bioraffinerie.

Probabilité du scénario : 50 %

#### **4.2 D'ici 2050, le pétrole serait une menace importante : la fin pour les bioraffineries intégrées**

Hypothèse :

- Découverte d'une source abondante de pétrole
- Forte demande en pâte
- Hausse importante du prix de la pâte

La recherche pour trouver des gisements de pétrole est assez soutenue par les états et aussi par les géants du monde de la raffinerie pétrolière. On peut envisager une nouvelle découverte de source de pétrole qui rendrait la matière première abondante et la chute du prix du baril de pétrole. Ce qui pourrait stopper toute démarche de bioraffinerie non seulement parce que le prix des produits issus de ces bioraffineries ne pourrait pas concurrencer celui des dérivés du pétrole mais et surtout parce que les lobbies du pétrole auront une forte pression.

De plus, il est très probable que la demande pâte continue de croître fortement ce qui ferait que le prix de la pâte va augmenter donc un avantage pour les papetiers d'investir afin d'augmenter leur production que dans la bioraffinerie qui d'ailleurs nécessite des investissements lourds.

Tous ces prévisions n'auront d'autre effet qu'impacter négativement l'avènement des bioraffineries.

Probabilité du scénario : 20 %

## **Conclusion**

Le marché de la pâte est un secteur en forte croissance et occupe une place importante dans l'économie mondiale. La matière première qui est le bois regorge de nombreux produits valorisables qui malheureusement sont brûlés par les papetiers.

La bioraffinerie intégrée est certes pas la solution totale pour éradiquer la dépendance en pétrole. Mais c'est plutôt une alternative intéressante pour valoriser les résidus issus des procédés papetiers en des produits de haute valeur ajoutée qui de plus sont biosourcés. Cependant les coûts d'investissement élevés et le prix du pétrole relativement bas constituent un réel frein pour son développement technique et sa mise en pratique.

Des progrès restent encore à mettre en œuvre pour trouver des technologies qui permettront d'augmenter le rendement, la gamme de produits extractibles et qui seront facilement accessibles.

## Références bibliographiques

Les statistiques de l'industrie papetière, Copacel 2011, P50

Pétrole et matières premières, Commodity Research Bureau, mars 2018

Produits forestiers mondiaux faits et chiffres, FAO 2018, P2-3

The pulp and paper sector is not dead yet, Roberto Carminati, may 2017

Eurobioref. European multilevel integrated biorafinery design for sustainable biomass process. CONSORTIUM [En ligne]. Disponible sur : <http://www.eurobioref.org/index.php/consortium>

ANDRITZ GROUP [En ligne], disponible sur "<https://www.andritz.com/group-en/products/search-our-products#page=1>"

Nicolas LEROY, Blanchiment des pâtes cellulosiques utilisant l'oxygène comme principal réactif de traitement, Thèse de doctorat, le 15/01/2002, page 27-30.

VALMET FORWARD [En ligne], disponible sur "<https://www.valmet.com/pulp/>"

Metso [En ligne], disponible sur : "<https://www.metso.com/industries/valves-for-process-industries/>"

CITEO, 2017 disponible sur :

[https://www.eco-ecole.org/wp-content/uploads/CITEO-KIT\\_LeoFolio\\_FICHES\\_2017.pdf](https://www.eco-ecole.org/wp-content/uploads/CITEO-KIT_LeoFolio_FICHES_2017.pdf)

Jean-paul Gilbert, l'industrie des pâtes et papiers un bref historique d'innovation, Printemps 2018 disponible sur <https://shfq.ca/wp-content/uploads/2018/06/Industrie-des-pates-et-papiers.pdf>

María Noel Cabrera, Pulp Mill Wastewater: Characteristics and Treatment, 29 mars 2017







