

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ A  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCE DES PATES ET PAPIERS

PAR  
HASNAE HANNAOUI

STRATEGIES D'AMELIORATION DE LA QUALITE DES PAPIERS  
CANNELURES

Décembre 2001

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## Sommaire

Le Canada est un producteur important de papier journal, impression écriture et cartons. Les exportations de cartons atteignent 1 819 000 tonnes par an ce qui équivaut à 1 046 000 000 \$.

Les boîtes de carton sont fabriquées à partir de papier ondulé et de carton couverture. La compétitivité du marché et la conjoncture économique a orienté les producteurs de cartons vers les produits à valeur ajoutée. Ces derniers nécessitent de bonnes propriétés en compression, en tension et un fini de surface pour impression tout en réduisant les coûts de fabrication.

Le but de cette recherche est de comparer diverses technologies ayant pour but d'améliorer la qualité des cartons ainsi que de réduire leurs coûts de production.

Nous avons comparé les stratégies suivantes

1. Conditions de mise en pâte semi-chimique
2. Taux d'addition de fibres recyclées
3. Effet du pressage humide
4. Encollage

Les essais ont été faits sur des feuilles orientées ainsi que sur des feuilles standards afin d'évaluer l'effet des variables précédentes pour le papier cannelure, à savoir, le ring crush, le Concora, le STFI (short-span compressive strength), l'allongement, la longueur de rupture, l'éclatement, la déchirure.

Une étude économique a permis d'évaluer l'impact de ces paramètres et permet d'orienter les papetières canadiennes vers les choix les plus rentables.

## **Remerciements**

Mes remerciements vont en premier lieu au professeur Dr Michel C. Barbe, mon directeur de thèse ainsi que le professeur Dr Robert Lanouette, mon codirecteur.

Je tiens aussi à exprimer ma sincère reconnaissance à M. Gilles Fortin, à Mlle Hind Hannaoui, à Mr Gharbi Lasaad, et à tous le personnel du Centre de Recherche en Pâtes et Papiers de l'UQTR (CRPP).

Je tien aussi à remercier Gaston Michaud, ainsi que tout le personnel du Centre Spécialisé en Pâtes et Papiers (CSPP) du CEGEP de Trois-Rivières.

A toutes les personnes qui ont collaborées de près ou de loin au présent travail, à vous je dis merci.

**Note**

**CE RAPPORT DE RECHERCHE EST SOUMIS AU DÉCANAT DES ÉTUDES  
ET DE LA RECHERCHE SUR UNE BASE DE CONFIDENTIALITÉ POUR UNE  
PÉRIODE DE CINQ ANNÉES**

## Résumé

La présente recherche avait pour but de déterminer l'influence relative de différentes stratégies d'amélioration des papiers cannelures.

Les conditions optimales de mise en pâte semi-chimique à base de carbonate et de carbonate-hydroxyde pour l'érable, le bouleau et leur mélange (50 : 50), ont été établies à partir des propriétés en compression et en tension obtenues pour ces essences utilisant une modélisation statistique donnant la réponse de surface de certaines propriétés en fonction des variables dépendantes soit le rendement et l'énergie de raffinage.

Différentes stratégies d'amélioration du fourni servant à la fabrication de papier cannelure ont été évaluées; à savoir, l'addition de fibres recyclées, le pressage des nappes humides, et l'encollage à l'amidon. Celles-ci ont été comparées en termes de coûts avec l'approche consistant à modifier les conditions de mise en pâtes semi-chimiques qui furent déterminées dans le cadre du projet de recherche.

Le papier cannelure est fabriqué à partir de pâte semi-chimique et de pâte recyclée à un taux généralement de 20 à 25%. En Europe et en Amérique du Nord, on produit ce même papier à partir de 100% de fibres recyclées. Dans la présente étude, l'utilisation des fibres recyclées a été mise à profit pour améliorer certaines propriétés physiques.

La deuxième stratégie d'amélioration consistait à évaluer l'effet de la pression appliquée aux nappes humides formées à partir de pâtes semi-chimiques expérimentales. Les applications actuelles de presses industrielles telles que la presse à sabot allongé démontrent l'efficacité de cette stratégie. Les résultats ont démontré que le pressage humide améliore grandement les propriétés physiques des papiers cannelures.

L'encollage à l'amidon à l'aide d'une presse encolleuse de laboratoire a été expérimenté dans le présent travail. Vu l'envergure de l'encollage en industrie actuellement (hydrasizer), une étude de l'effet de l'encollage à l'amidon sur les propriétés physiques du papier cannelure était de mise.

**Mots clefs**

Papier cannelure, résistance en compression, résistance en tension, rendement de cuisson, pâte semi-chimique, concora, ring crush, STFI (short-span compressive strength), fibre recyclée, coûts de production, bouleau, tremble, érable, encollage, presse à sabot allongé (extended nip shoe press), presse encolleuse, pressage humide, amidon .

## Table des matières

Sommaire .....	ii
Remerciements .....	iii
Note .....	iv
Résumé.....	v
Listes de Figures.....	xi
Liste des Tableaux.....	xiv
Liste des abréviations .....	xv
 Chapitre 1 Introduction .....	 1
1.1    Contexte économique .....	1
1.1.1    Marché pour le carton cannelure .....	1
1.1.2    État du marché américain .....	1
1.1.3    État du marché canadien .....	1
1.1.4    Capacité de production .....	2
1.1.5    Prévisions à long terme.....	3
1.1.6    État de la production au cours des prochaines années .....	4
1.1.7    Prix de vente .....	6
1.2    Revue de la littérature scientifique .....	7
1.2.1    Définitions .....	7
1.2.1.1    Les divers types de cartons cannelures.....	7
1.2.1.2    Les essais physiques .....	9
1.2.2    Matières premières.....	11
1.2.2.1    Fibres.....	11
1.2.2.2    Sciures (fibres courtes).....	12
1.2.2.3    Écories .....	13

1.2.3	Effet du rendement .....	14
1.2.3.1	Type de liqueurs de cuisson .....	14
1.2.3.2	Cuissons avec liqueurs sans-soufre.....	15
1.2.4	Raffinage.....	16
1.2.4.1	Effet de l'énergie de raffinage.....	16
1.2.4.2	Effet de la consistance de raffinage.....	16
1.2.4.3	Effet du pH de raffinage .....	17
1.2.5	Facteurs reliés à la machine à papier .....	17
1.2.6	Encollage .....	18
1.2.7	Conclusions .....	20
1.3	Problématique .....	21
1.4	Objectifs.....	22
Chapitre 2	Méthodologie.....	23
2.1	Mise en pâte semi-chimique des copeaux de tremble, de bouleau et d'érable .....	23
2.1.2	Approvisionnement en bois .....	23
2.1.2	Qualité des pâtes commerciales de l'usine Norampac de Cabano .....	26
2.1.3	Mise en pâte semi-chimique .....	27
2.1.4	Conditions de raffinage.....	35
2.1.5	Analyse statistique des conditions de mise en pâte et de raffinage .....	38
2.1	Ajout de fibres recyclées.....	40
2.2.1	Pâtes semi-chimiques.....	40
2.2.2	Dilution, latence et ajout de recyclé.....	41
2.2.3	Formation des feuilles standards.....	41
2.2.4	Séchage .....	41
2.2	Pressage humide.....	42
2.3.1	Pâte Brute.....	42
2.3.2	Tamisage .....	42
2.3.3	Dilution, latence et ajout de recyclé.....	43
2.3.4	Formation des feuilles standards.....	43

2.3.5 Types de presses.....	43
2.3.6 Séchage et essais de papier .....	44
2.3 Encollage.....	44
2.4.1 Pâte Brute.....	44
2.4.2 Dilution, latence et ajout de recyclé.....	45
2.4.3 Formation des feuilles standards.....	45
2.4.4 Séchage .....	45
2.4.5 Cuisson et type d'amidon utilisé.....	45
2.4.6 Essais préliminaires sur la presse encolleuse.....	46
2.4.6.1 Essais de pression du rouleau coucheur.....	46
2.4.6.2 Essais sur la pression du rouleau applicateur.....	47
2.4.6.3 Essais sur la vitesse de rotation du cylindre .....	48
2.4.6.4 Essais de variation de la température de l'amidon .....	48
2.4.7 Enduction .....	49
2.4.8 Taux d'enduction : .....	50
2.4 Tests sur les pâtes et papiers .....	50
Chapitre 3 : Résultats et discussions .....	51
3.1 Effet du rendement et de l'énergie de raffinage sur les propriétés physiques du papier.....	51
3.1.1 Propriétés structurales .....	51
3.1.2 Propriétés en compression .....	52
3.1.3 Propriétés en tension .....	56
3.2 Effet de la composition du mélange de fibres.....	63
3.2.1 Propriétés structurales .....	64
3.2.2 Propriétés en compression .....	64
3.2.3 Propriétés en tension .....	66
3.3 Effet du Pressage humide .....	69
3.3.1 Les propriétés structurales .....	69
3.3.2 Les propriétés en compression .....	70
3.3.3 Les propriétés en tension.....	72

3.4 Effet de l'encollage .....	75
3.4.1 Propriétés structurales .....	75
3.3.2 Propriétés en compression .....	76
3.3.3 Propriétés en tension .....	78
Chapitre 4 : Étude technico-économique .....	81
4.1 Analyse des réponses de surfaces .....	81
4.2 Coûts de production de la mise en pâte semi-chimique .....	86
4.3 Conditions de mise en pâte semi-chimique .....	87
4.4 Coûts de production des stratégies d'amélioration de la qualité .....	90
5.0 Conclusions .....	91
Recommandations .....	93
References .....	94

## Listes de Figures

Figure 1.1	Fabrication des pâtes selon leurs types au Canada (3) .....	5
Figure 1.2	Production et consommation de carton cannelure des dernières années (3) .....	5
Figure 2.1	Classification Williams des copeaux pour les différentes essences utilisées.....	23
Figure 2.2	Classification Domtar des copeaux pour les différentes essences utilisées.....	24
Figure 2.5	Conditions de mise en pâtes semi-chimique des copeaux de l'usine NORAMPAC de Cabano .....	30
Figure 2.7	CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour le bouleau .....	35
Figure 2.8	CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour l'érable.....	36
Figure 2.9	CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour le mélange l'érable + bouleau.....	36
Figure 2.10	CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour le mélange tremble + bouleau.....	37
Figure 2.11	Énergie de raffinage requise pour la production de pâtes à 400 mL CSF .....	37
Figure 2.12	Énergie de raffinage requise pour la production de pâtes à 200 mL CSF .....	38
Figure 2.13	Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (X) et de l'énergie de raffinage (Y) pour le Bouleau.....	39
Figure 2.14	Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (Y) et de l'énergie de raffinage(X) pour l'érable.....	39
Figure 2.15	Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (X) et de l'énergie de raffinage (Y) pour le mélange Érable-Bouleau.....	39
Figure 2.16	Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (X) et de l'énergie de raffinage (Y) pour le mélange Tremble-bouleau .....	40
Figure 3.20	Effet des fibres recyclées sur le Concora .....	65
Figure 3.21	Effet des fibres recyclées sur le ring crush.....	65
Figure 3.22	Effet des fibres recyclées sur le STFI.....	66
Figure 3.25	Effet des fibres recyclées sur l'indice d'éclatement.....	67
Figure 3.26	Effet des fibres recyclées sur l'indice de déchirure.....	68

Figure 3.28 Variation du ring crush en fonction de la pression .....	70
Figure 3.30 Le STFI en fonction de la pression appliquée.....	71
Figure 3.31 L'indice d'éclatement en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide .....	72
Figure 3.32 Indice de déchirure en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide .....	73
Figure 3.33 Longueur de rupture en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide .....	74
Figure 3.34 Effet de la pression appliquée lors du pressage humide sur l'allongement.....	74
Figure 3.35 Effet de l'encollage à l'amidon sur le volume spécifique.....	75
Figure 3.36 Effet de l'encollage à l'amidon sur le STFI.....	76
Figure 3.37 Effet de l'encollage à l'amidon sur le concora .....	77
Figure 3.38 Effet de l'encollage à l'amidon sur le ring crush.....	77
Figure 3.40 Effet de l'encollage à l'amidon sur la longueur de rupture.....	78
Figure 3.39 Effet de l'encollage à l'amidon sur l'allongement.....	79
Figure 3.41 Effet de l'encollage à l'amidon sur la déchirure .....	80
Figure 3.42 Effet de l'encollage à l'amidon sur l'indice d'éclatement .....	80
Figure 4.1 Concora de la pâte semi- chimique d'érable à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y). ....	82
Figure 4.2 CSF de la pâte semi- chimique d'érable à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).....	82
Figure 4.3 Concora de la pâte semi- chimique de bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y). ....	83
Figure 4.4 CSF de la pâte semi- chimique de bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).....	83
Figure 4.5 Concora de la pâte semi- chimique du mélange érable- bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y). ....	84
Figure 4.6 CSF de la pâte semi- chimique du mélange érable- bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y). ....	84
Figure 4.7 Concora de la pâte semi- chimique du mélange tremble bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y). ....	85

Figure 4.8 CSF de la pâte semi-chimique du mélange tremble bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y). .....	85
Figure 4.9 Coûts de production de la pâte semi-chimique du mélange érable bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y). ....	87

## Liste des Tableaux

Tableau 1.1	Évolution du marché canadien pour le carton cannelure en kilotonnes () .....	2
Tableau 1.2	Production mondiale de carton cannelure en kilotonnes (3) .....	3
Tableau 1.3	Prix du carton cannelure en USD/t (3) .....	6
Tableau 1.4	Propriétés des fibres et bois de feuillus de l'Est du Canada .....	12
Tableau 1.5	Propriétés des amidons pour l'encollage (30) .....	19
Tableau 2.2	Comparaison des feuillus de l'Est du Canada .....	25
Tableau 2.4	Conditions de cuisson du bouleau .....	32
Tableau 2.5	Conditions de cuisson de l'éable .....	32
Tableau 2.6	Conditions de cuisson du mélange éable-bouleau .....	33
Tableau 2.7	Conditions de cuisson du mélange tremble-bouleau .....	33
Tableau 2.8	Essais de pression du rouleau à pression sur la presse encolleuse .....	47
Tableau 2.9	Essais de pression du rouleau applicateur sur la presse encolleuse .....	47
Tableau 2.10	Essais de vitesse de la size press .....	48
Tableau 2.11	Essais de température de l'amidon .....	49
Tableau 2.12	Méthodes standards utilisées .....	50
Tableau 3.2	Propriétés des pâtes semi-chimiques à 400 et 200 mL de CSF et 85% de rendement .....	62
Tableau 3.3	Propriétés des pâtes semi-chimiques à 400 mL et 85% de rendement .....	63
Tableau 4.1	Conditions de mise en pâte des copeaux d'éable et de bouleau comparées au valeurs cibles du mélange tremble et bouleau .....	88
Tableau 4.2	Conditions de mise en pâte et qualité des pâtes faites à partir des copeaux d'éable, des copeaux de bouleau et de leur mélange comparées au mélange tremble-bouleau .....	89
Tableau 4.3	Comparaison des coûts de production de différentes stratégies d'amélioration de la qualité du papier cannelure .....	90

## Liste des abréviations

ALENA : Association de Libre Échange Nord Américaine

CMT: Concora Medium Test

DCO : Demande chimique en oxygène

NSSC : (Neutral sulfur semi-chemical) semi-chimique au sulfite neutre

OCC : (Old Corrugated Containers) Vieilles boites de carton

ONP: (Old Newsprint) vieux papier journal

RCT: Test de compression en anneau (Ring Crush Test)

STFI : (short-span compressive strength). Essai de résistance à la compression développé par le (Swedish Technical Forestry Institute)

RBA: Surface de contact relative (Relative bounded area)

CATO : Amidon cationique de NACAN

HICAT : Amidon cationique de ROQUETTE

CSF : Indice d'égouttage (Canadian Standard Freeness)

CSPP : Centre Spécialisé en Pâtes et Papiers

CRPP : Centre de Recherche en Pâtes et Papiers

# **Chapitre 1 Introduction**

## **1.1 Contexte économique**

### **1.1.1 Marché pour le carton cannelure**

Le marché du carton cannelure est en perpétuelle évolution dans le monde depuis plusieurs années. Le carton cannelure est ainsi connu sous l'appellation anglo-phone de "corrugated medium". Le Canada est un producteur important de papier journal, impression écriture et cartons. Les exportations de cartons atteignent 1 819 000 tonnes par an ce qui équivaut à 1 046 000 000 \$ (1).

### **1.1.2 État du marché américain**

L'augmentation sans cesse grandissante de la demande dans le monde a eu un effet similaire sur la production de carton cannelure. Par exemple, chez nos voisins du sud, les États-Unis, le marché du carton cannelure est très compétitif et grandissant, en effet, 1600 usines produisent ce papier aux États-Unis et au Canada (2). En 1998, ils ont produit environ 9,7 millions de tonnes de carton cannelure, soit une baisse non-significative comparativement à 1997.

De cette production, environ 2,6% est destinée à l'exportation, ce qui représente pour les États-Unis approximativement 440 000 tonnes métriques. Ceci provient majoritairement des provinces Atlantiques et du Québec.

### **1.1.3 État du marché canadien**

Le marché au Canada est naturellement plus petit que celui des États-Unis. En 1998, la capacité de production se chiffrait à tout près de 1,1 millions de tonne métrique par an. La croissance de ce genre de papier est excellente au pays, connaissant une augmentation de 25,6% entre 1993 et 1998. Cette hausse est

due essentiellement à l'augmentation de la capacité de recyclage du carton. Le tableau 1.1 montre l'évolution du marché depuis quelques années.

**Tableau 1.1 Évolution du marché canadien pour le carton cannelure en kilo-tonnes (3)**

ANNÉE	SEMI-CHIMIQUE	RECYCLÉ	TOTAL
1998	712	374	1086
1997	702	371	1073
1996	637	384	1021
1995	630	338	972
1994	614	336	950
1993	739	177	916
1992	707	150	857

#### **1.1.4 Capacité de production**

L'augmentation de la capacité de production est due à plusieurs facteurs. Premièrement, le facteur principal est sans contredit la mondialisation globale des marchés. Prenons l'exemple de l'Europe, il est estimé que la croissance sera la plus élevé au cours des prochaines années, augmentant de 5% en Europe de l'est et de 2,8% en Europe de l'ouest en 2010 (1). Tout comme mentionné précédemment, la majeure partie de l'augmentation est attribuable à la fabrication de carton cannelure à partir de fibres recyclées.

En ce qui a trait à la production mondiale de ce type de carton, les analystes s'attendent à une hausse de près de 3% pour se chiffrer à 35,2 millions de tonnes en 2010. De ce total, la fabrication du carton cannelure à partir d'un procédé semi-chimique passera de 10,7 millions de tonnes en 2000 à 11 millions en 2010 (4). Pour ce qui est de la composante recyclée, on considère que la croissance de 1998 à 2000 passera de 14,6 millions à 15,2 millions de tonnes par année. Le tableau 1.2 donnent l'évolution mondiale au cours des dernières années.

**Tableau 1.2 Production mondiale de carton cannelure en kilotonnes (3)**

ANNÉE	EUROPE	AMÉRIQUE DU NORD	ASIE
1975	6 834	1 022	4 499
1980	12 589	20 223	6 585
1985	13 539	21 665	7 960
1990	16 491	26 528	12 742
1995	13 345	31 206	18 734

### 1.1.5 Prévisions à long terme

Comme nous avons pu constater jusqu'ici, la production globale de carton cannelure ne cesse d'augmenter. Le marché des cartons cannelures aux États-Unis, a augmenté de 1.7% en 2000 (4). La tendance à court terme semble démontrer un léger ralentissement, reflétant la baisse du volume des inventaires. Cependant, avec la hausse rapide de la capacité de croissance, les analystes s'attendent à ce que la production recommence à augmenter d'ici un an.

Durant la prochaine décennie, la portion des cartons recyclés dans le marché domestique devrait augmenter graduellement, partant de 38,5% en 1995 à 46,8%

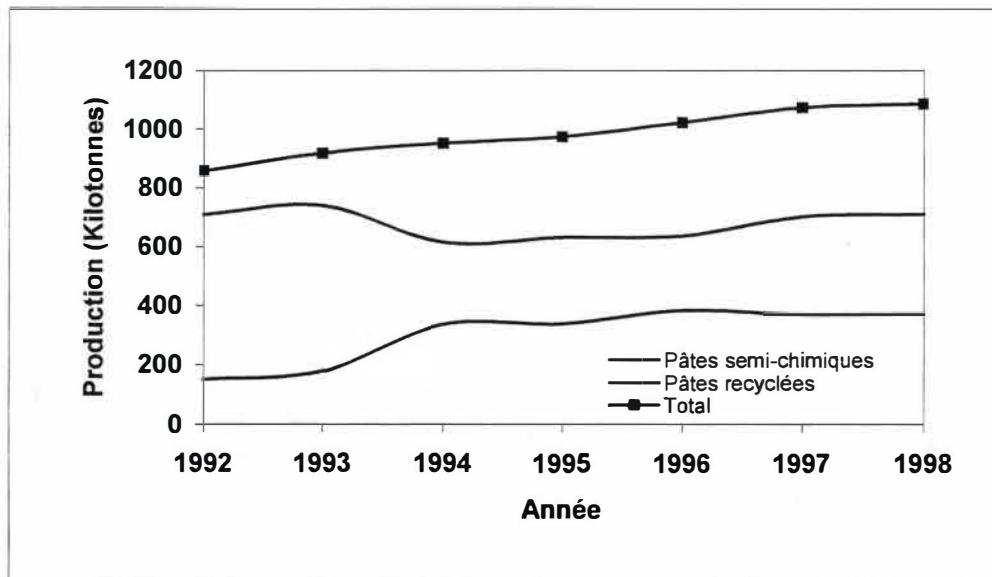
en 2010 selon les analystes (4). Conséquemment, la portion des cartons cannelures fabriqués à base de pâte semi-chimique déclinera de 61,5% à 54,3% entre 1995 et 2010. L'augmentation de la production domestique de carton cannelure recyclé sera de 4,1% annuellement entre 2000 et 2010, comparativement à 7% durant la dernière décennie.

Somme toute, l'ouverture des marchés internationaux avec les nombreux accords économiques contribuera sans doute à l'évolution des productions des produits papetiers, en l'occurrence ici, le carton cannelure. La dimension des nouvelles économies est très importante pour un pays exportateur comme le Canada car l'ALÉNA, l'accord de libre-échange en Amérique du Nord, que les principaux décideurs des pays nord américains veulent étendre jusqu'en Amérique latine, offre au Canada une chance unique d'établir une nouvelle clientèle ayant pour but l'augmentation de la production au cours des prochaines années.

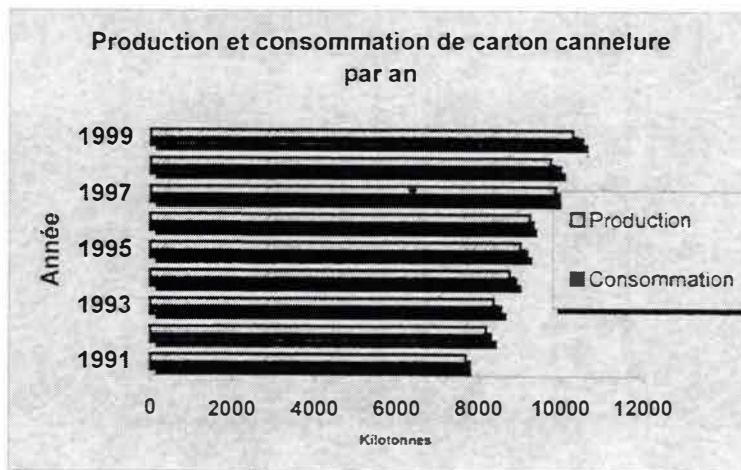
### **1.1.6 État de la production au cours des prochaines années**

Comme les faits mentionnés ci-haut, nous nous apercevons de la croissance constante et régulière du carton cannelure au Canada depuis quelques années. Ces chiffres montrent aussi la hausse constante de l'utilisation de vieux cartons (OCC) dans la fabrication du produit. Par conséquent, ceci reflète la baisse de la production de pâtes semi-chimiques. La figure 1.1 résume cette tendance globale du marché canadien.

Au cours des prochaines années, nous semblons nous diriger vers une sous production de carton cannelure tel que montré à la figure 1.2 qui montre l'évolution des productions versus la vente entre 1991 et 1999.



**Figure 1.1. Fabrication des pâtes selon leurs types au Canada (3)**



**Figure 1.2 Production et consommation de carton cannelure des dernières années (3)**

À la lumière de la figure 1,2, nous pouvons tirer comme conclusion que le marché est en période de sous-production et ce depuis 1991 avec un écart de plus en plus grand entre l'offre et la demande, l'offre étant la plus petite. Donc, nous posons l'hypothèse que le marché aura une cadence de production en croissance

au cours des prochaines années, si aucune autre construction d'usine ne se concrétise.

### **1.1.7 Prix de vente**

Le prix du carton cannelure varie grandement selon les années. Ce prix est bien sûr fonction des inventaires globaux des fabricants de carton et aussi de la loi de l'offre et la demande. On remarque que les prix sont variables selon les années. Le tableau 1.3 nous révèle ces faits.

**Tableau 1.3 Prix du carton cannelure en USD/t (3)**

Année	Prix	Année	Prix
1989	360	1994	375
1990	330	1995	500
1991	300	1996	320
1992	310	1997	300
1993	295	1998	320

Donc en moyenne, nous constatons que le prix du carton cannelure pour la dernière décennie se chiffre à environ 330\$US/t avec un sommet de 500\$US en 1995. Concentrons nous maintenant sur les causes possibles de la variation des prix. Tout d'abord, l'arrivée de nouveaux joueurs peut faire chuter les prix face à la concurrence additionnelle. Par ailleurs, la baisse du dollar canadien favorise les exportations canadiennes et force par le fait même les producteurs américains à baisser leurs prix pour continuer à concurrencer nos produits. Il ne faut pas

négliger non plus les niveaux d'inventaires des usines. Plus ceux-ci sont élevés, plus on assistera à la chute des prix car on a tout intérêt à liquider les inventaires.

On s'attend au cours des prochains mois, à la lumière des informations précédentes, que le prix du carton cannelure sera de l'ordre de 340-350 US\$. Cette estimation est essentiellement basée sur l'hypothèse que la production sera la même. En d'autre terme, nous supposons qu'aucun autre joueur ne viendra construire un nouveau plan ou qu'aucun investissement majeur ne sera effectué dans les usines existantes de carton cannelure.

## **1.2 Revue de la littérature scientifique**

Les travaux antérieurs qui donnent des indications sur les variables influençant grandement la qualité des cartons ondulés et ses coûts de fabrication dans le cadre de la présente étude ont été identifiés dans la littérature. Les items les plus pertinents sont les suivants :

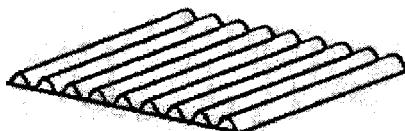
### **1.2.1 Définitions**

#### **1.2.1.1 Les divers types de cartons cannelures**

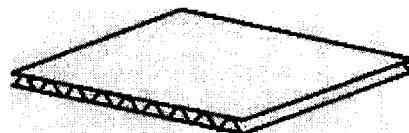
Le carton cannelure est la couche flûtée, ondulée qui se trouve entre deux couches de carton

Il existe 5 types de carton cannelures :

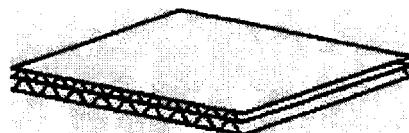
**1. Simple face-** Il consiste en une couche de carton collée à un côté de papier cannelure et est généralement utilisé comme papier d'emballage. Il peut être fabriqué sous forme de feuilles ou de rouleaux.



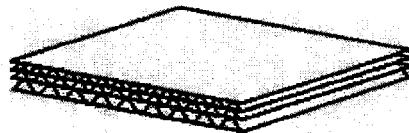
**2. Simple Couche** – Il consiste en un papier cannelure compris entre 2 cartons plats, qui peuvent être différent sur les faces intérieures et extérieures. Il est aussi appelé carton à doubles faces. Il est utilisé comme boîtes de cartons et pour d'autres utilisations.



**3. Double couches** – Il consiste en trois couches avec deux papiers cannelures collées entre elles. La couche ondulée extérieure est plus compacte que la couche ondulée intérieure. Il est utilisé pour l'emballage de grosses fournitures qui nécessitent une grande rigidité de carton..



**4- Triple couches** – Trois cartons cannelures et quatre couches plates de carton. Ce type de carton est utilisé pour les grands cartons comme les cartons de palettes.



Les flûtes de carton cannelure, dépendamment de leur direction et de la distance entre deux flûtes, présentent des rigidités différentes. "

Il existe trois formes de flûtes standards qui sont distinguées par la distance entre elles :

### **1.2.1.2 Sciures (fibres courtes)**

Le potentiel d'utilisation de sciures pour le papier ondulé présente plusieurs similarité avec les problèmes pouvant être anticipés avec l'érable qui possède une fibre courte (i). L'étude confirme que

- La présence de fibres courtes dans la matière première réduit la qualité Concora CMT (35% de réduction).
- Le Concora est plus élevé si des cuissons de copeaux et de sciures sont faites séparément pour des quantités de sciures jusqu'à 30%.
- Le rendement des cuissons avec sciures devrait être réduit à 70% pour atteindre le maximum de Concora pour compenser sa plus faible résistance. Le CSF de la pâte est aussi réduit à 200 mL. Avec une telle stratégie des augmentations de 66% sont obtenues.
- Le raffinage à une consistance moyenne de 6% donne les meilleurs résultats de Concora dans l'étude effectuée mais il est recommandé d'effectuer le raffinage à plus haute consistance.
- Des problèmes d'efficacité des machines à papier sont à prévoir avec les sciures basées sur des mesures de résistance humides. Ceux-ci peuvent être compensés par l'ajout de fibres longues. Pour 15% de pâte NSCC de sciures on recommande l'ajout de 45% de pâte NSCC de copeaux et 40% de fibres longues.

### **1.2.1.3 Écorces**

L'écorce réduit la qualité des papiers ondulés. Une réduction de 5% du Concora pour chaque 1% d'écorce dans la pâte est rapportée par Bublitz (ii).

Bryce rapporte une consommation accrue de carbonate de sodium dans les cuissons NSCC associée à la présence combiné d'érable et d'écorce dans la matière première : 10% de plus pour l'érable, 3% pour l'orme et 3% pour le peuplier.

Il est donc préférable de maintenir le niveau d'écorce à son minimum.

### **1.2.2 Effet du rendement**

Plusieurs publications démontrent sans équivoque que le Concora augmente avec une réduction du rendement des pâtes.

La mesure du rendement comme outil de contrôle du procédé de cuisson est difficile en usine. Le pH à la sortie du lessiveur est corrélé avec le Concora sur la machine et les bûchettes à partir d'essais et d'erreur (iii).

#### **1.2.2.1 Type de liqueurs de cuisson**

Il est d'un très grand intérêt de déterminer laquelle des liqueurs de cuissous donnerait la meilleure qualité de pâte e.g. NSSC, Kraft ou sans-souffre dont les ingrédients actifs sont respectivement l'hydroxyde et le sulfite, le carbonate et le sulfure d'hydrogène ou le carbonate et l'hydroxyde.

La transition des usines du procédé NSSC au cours des années vers les liqueurs vertes Kraft s'est effectuée sous la pression des environnementalistes. Toutes les usines ayant une usine Kraft adjacente ont opté pour ce choix. Les usines ne pouvant le faire ont converti leur opération au procédé sans soufre et ont investi dans des systèmes de récupération.

Plusieurs publications comparent les procédés NSSC, Kraft et Kraft liqueur verte. Becker (iv) et Shick (v) démontrent que la qualité des pâtes de feuillus NSSC est supérieure aux pâtes Kraft au même rendement (Concora et résistance

Nom Standard	Nombre de flûtes/pied	épaisseur
C	41	11/64"
B	49	1/8"
E	95	1/16"

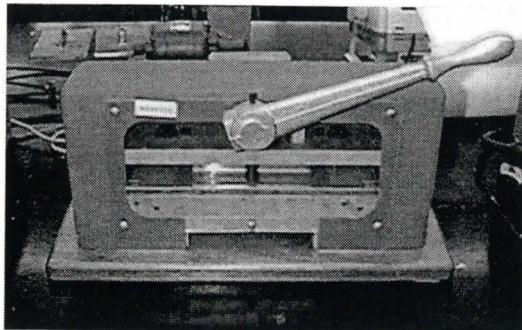
### 1.2.1.2 Les essais physiques

#### 1.2.1.2.1 Concora :

Le test Concora ou " flat crush " se réfère à la résistance à l'aplatissement d'une bande de carton cannelure ondulée au laboratoire. La rigidité de la structure ondulée est une des caractéristiques clefs du carton cannelure. Le test Concora (5) apporte une procédure de laboratoire pour prédire la résistance à l'aplatissement à plat d'une boîte de carton à partir de la valeur obtenue au laboratoire sur le carton cannelure.

#### 1.2.1.2.2 Ring Crush :

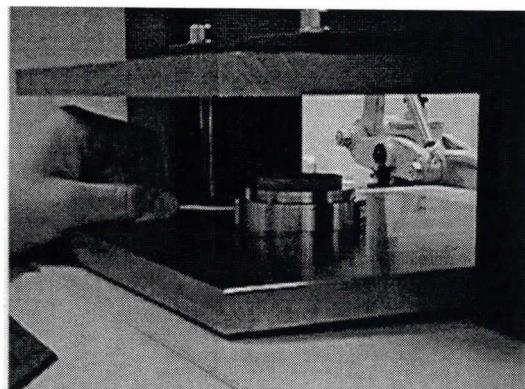
Le test ring crush est une mesure de la rigidité transversale du carton, une bande standard de papier cannelure de mêmes dimensions que celle du concora est mise dans un anneau pour lui donner une forme en cercle, celui-ci est soumis à une force perpendiculaire jusqu'à sa déformation. La figure 1.3 montre l'appareil de coupe de bande de carton. La figure 1.4 montre l'appareil d'ondulage des bandes de carton et la figure 1.4 montre l'appareil de test de ring crush..



**Figure 1.3    Appareil de coupage de bandes de carton pour le test Concora et Ring crush.**



**Figure 2.4    Appareil d'ondulage de carton pour le test Concora.**



**Figure 3.5    Appareil de test du ring crush.**

#### 1.2.1.2.3 STFI :

Instrument et méthode de test utilisés pour mesurer la force de compression latérale du carton ou papier cannelure sur une petite section. Les résultats du test

STFI corrèlent avec ceux du ring crush test du papier cannelure et de la résistance à la compression de la boîte de carton.

### **1.2.2 Matières premières**

#### **1.2.2.1 Fibres**

La fibre d'érable est la plus courte de tous les feuillus présentement utilisés pour la fabrication de pâtes vierges pour le carton ondulé dans l'est du Canada (Tableau 1.4).

Trois usines de l'Est rapporte utilisé de fort pourcentage d'érable en 1976 (6)

- Abitibi- Consolidated, Bathurst, N.B. avec 60% d'érable (Pandia)
- Norampac, Trenton, Ont. avec 40% d'érable (Defibrator)
- Norampac, Cabano, Qc. (Pandia)

Des résultats de qualité sont rapportés par Bryce (7). Comparativement au peu- plier l'érable possède des propriétés inférieures à un même rendement et un même CSF

- Concora de 16% inférieur
- STFI (short-span compressive strength) de 26% inférieur
- Indice d'éclatement de 80% inférieur

**Tableau 1.4 Propriétés des fibres et bois de feuillus de l'Est du Canada (8)**

NOM ANGLAIS USUEL/	NOM FRANÇAIS/ NOM SCIENTIFIQUE	LONGUEUR MOYENNE DES FIBRES (mm)	DENSITÉ (cm <sup>3</sup> /g)
Quaking Aspen/ Trembling Aspen	Peuplier/ <i>Populus Tremuloides</i>	1.04	0.40
Balsam Poplar/ Balm of Gilead	Peuplier/ <i>Populus Tacamahaca</i>	1.2	0.34
Yellow Birch/ Birch	Bouleau Jaune/ <i>Betula Lutea</i>	1.85	0.66
Paper Birch/ White Birch	Bouleau à papier/ <i>Betula papyrifera</i>	-	0.57
Red Maple/ Soft maple	Érable Rouge/ <i>Acer rubrum</i>	0.7	0.56
Sugar Maple/ Hard maple	Érable à Sucre/ <i>Acer Saccharum Marsh</i>	0.8	0.66
Silver Maple/ Soft Maple	Érable Argenté/ <i>Acer Saccharinum</i>	0.7	0.50
Black Maple/ Hard Maple	Érable noir/ <i>Acer Nigrum Michx.</i>	0.8	0.60
Beech/ American beech	Hêtre/ <i>Fagus grandifolia Ehrh.</i>	1.2	0.67
Oaks/	Chênes/ <i>Quercus</i>	1.4	0.70- 0.95
Black Ash/ Brown ash		1.3	0.53
American Elm/ White elm	Orme/ <i>Ulmus americana L.</i>	1.55	0.54
Sweetgum/ Red-gum (Sud USA)		1.7	0.52

### 1.2.2.2 Sciures (fibres courtes)

Le potentiel d'utilisation de sciures pour le papier ondulé présente plusieurs similitarité avec les problèmes pouvant être anticipés avec l'éryable qui possède une fibre courte (9). L'étude confirme que

- La présence de fibres courtes dans la matière première réduit la qualité Concora CMT (35% de réduction). En effet, des fibres courtes ont un plus

faible RBA que les fibres plus longues donc moins de ponts hydrogènes et ainsi moins de résistance à la compression.

- Le Concora est plus élevé si des cuissons de copeaux et de sciures sont faites séparément pour des quantités de sciures jusqu'à 30%.
- Le rendement des cuissons avec sciures devrait être réduit à 70% pour atteindre le maximum de Concora pour compenser sa plus faible résistance. Le CSF de la pâte est aussi réduit à 200 mL. Avec une telle stratégie des augmentations de 66% sont obtenues.
- Le raffinage à une consistance moyenne de 6% donne les meilleurs résultats de Concora dans l'étude effectuée mais il est recommandé d'effectuer le raffinage à plus haute consistance.
- Des problèmes d'efficacité des machines à papier sont à prévoir avec les sciures basées sur des mesures de résistance humides car les fibres courtes affectent grandement la capacité de drainage du papier.. Ceux-ci peuvent être compensés par l'ajout de fibres longues. Pour 15% de pâte NSSC de sciures on recommande l'ajout de 45% de pâte NSCC de copeaux et 40% de fibres longues.

#### 1.2.2.3 Écورces

L'écorce réduit la qualité des papiers ondulés. Une réduction de 5% du Concora pour chaque 1% d'écorce dans la pâte est rapportée par Bublitz (10).

Bryce (7) rapporte une consommation accrue de carbonate de sodium dans les cuissons NSCC associée à la présence combiné d'érable et d'écorce dans la matière première : 10% de plus pour l'érable, 3% pour l'orme et 3% pour le peuplier.

Il est donc préférable de maintenir le niveau d'écorce à son minimum.

### **1.2.3 Effet du rendement**

Plusieurs publications démontrent sans équivoque que le Concora augmente avec une réduction du rendement des pâtes.

La mesure du rendement comme outil de contrôle du procédé de cuisson est difficile en usine. Le pH à la sortie du lessiveur est corrélé avec le Concora sur la machine et les bûchettes à partir d'essais et d'erreur (11).

#### **1.2.3.1 Type de liqueurs de cuisson**

Il est d'un très grand intérêt de déterminer laquelle des liqueurs de cuissons donnerait la meilleure qualité de pâte e.g. NSSC, Kraft ou sans-souffre dont les ingrédients actifs sont respectivement l'hydroxyde et le sulfite, le carbonate et le sulfure d'hydrogène ou le carbonate et l'hydroxyde.

La transition des usines du procédé NSSC au cours des années vers les liqueurs vertes Kraft s'est effectuée sous la pression des environmentalistes. Toutes les usines ayant une usine Kraft adjacente ont opté pour ce choix. Les usines ne pouvant le faire ont converti leur opération au procédé sans soufre et ont investi dans des systèmes de récupération.

Plusieurs publications comparent les procédés NSSC, Kraft et Kraft liqueur verte. Becker (12) et Shick (13) démontrent que la qualité des pâtes de feuillus NSSC est supérieure aux pâtes Kraft au même rendement (Concora et résistance à l'éclatement). Inversement pour une même qualité le rendement est de 10-12% plus élevé pour les cuissons NSSC.

L'utilisation de liqueur verte Kraft oxydée, non-oxydée, avec sulfite et sans sulfite donne des qualités comparables de ring crush et Concora pour la fabrication de papier ondulé pour le marché. (40% Peuplier, 60%(bouleau, érable, orme)).

Virginia Fibre Corp. , Va est la seule usine qui a choisi le procédé de cuisson à la liqueur verte Kraft pour une usine à Greenfield. Ce choix fut fait sur des bases économiques associées au coût du système de récupération et à la simplicité d'opération et de contrôle du système. L'usine utilise du OCC, et des retailles de boîtes (14). La possibilité de faire des cuissons de pin avec la liqueur verte est notée donc possible. Cette approche, pour les essences québécoises, permettrait un approvisionnement en fibre longue dans le fourni (Cuisson séparée ou avec les feuillus).

Aucune étude, donnant des résultats comparatifs de tous les types de liqueurs avec des bois de l'Est du Canada, ne fut trouvée dans la littérature.

### **1.2.3.2 Cuissons avec liqueurs sans-soufre**

Il n'existe pas d'étude scientifique et systématique publiée reliant les conditions de cuisson pour les liqueurs sans soufre (température, temps, charge d'hydroxyde et de carbonate de sodium, ratio et pH) et la qualité des cartons ondulés CMT, RCT et STFI pour des bois de l'Est du Canada.

Une revue de la situation des usines sans soufre de 1978 est la plus objective (6). Les brevets de Temler (15)et de Dillard (16) sont les seuls résultats disponibles.

## 1.2.4 Raffinage

### 1.2.4.1 Effet de l'énergie de raffinage

Plusieurs publications démontrent que le Concora augmente avec l'énergie de raffinage de la pâte vierge ou une réduction du CSF. Il y a donc une balance entre la qualité et l'égouttage des pâtes sur la machine à papier.

Le ring crush et le STFI augmentent avec une réduction du CSF (17). Ces propriétés atteignent un plateau toutefois lorsque les liens inter-fibres ont atteint leur plein potentiel de liaison.

Le Concora augmente avec la réduction du CSF pour le OCC recyclé, 100% recyclé.

### 1.2.4.2 Effet de la consistance de raffinage

Il est généralement admis que le raffinage à basse consistance coupe les fibres alors qu'à haute consistance la longueur des fibres est préservée, le taux de bûchette est réduit et les fibres sont ondulées et micro-compressées. Ces dernières propriétés donnent un meilleur allongement et une meilleure déchirure des papiers en tension ce qui est important dans les opérations de transformation du papier cannelure.

Une publication Battan (11) donne des observations d'opération d'une usine produisant du carton cannelure. Il rapporte

- Une meilleure qualité avec un raffinage à une consistance supérieures à 10%.

- Une qualité inférieure pour un raffinage à une consistance inférieure à 7% résultant de la coupure des fibres. (Raffinage 2<sup>ème</sup> stade ou en approche de la machine à papier).
- Une meilleure qualité de Concora avec un raffinage en séries de basse intensité comparativement à un raffinage en un seul stade à haute intensité. L'usine de Weyerhauser possède donc 2 raffineurs L-42 Defibrator en série à la sortie du lessiveur Kamyr.

#### **1.2.4.3 Effet du pH de raffinage**

Une étude (17) rapporte que le raffinage de la pâte vierge, OCC et Kraft à pH plus haut que 9 réduit le Concora, le ring crush et le STFI du papier ondulé. Il est donc préférable de récupérer la liqueur de cuisson et de laver les pâtes avant le deuxième stade de raffinage.

#### **1.2.5 Facteurs reliés à la machine à papier**

Les facteurs d'opération de la machine à papier sont de la plus haute importance. Une réduction des tensions de tirage dans le sens machine permet d'obtenir un plus grand allongement du papier ce qui peut présenter certains avantages dans l'opération de conversion du carton cannelure.

Certaines publications relient spécifiquement les conditions d'opération de la machine à papier de type fourdrinier et la qualité du carton cannelure :

##### **1) Configuration de la toile de formation de la machine**

L'utilisation d'une toile supérieure augmente le ring crush (18).

##### **2) Type de toiles**

Une toile à 3 plis augmente le ring crush (18).

**3) Différence Jet/ toile**

L'orientation des fibres à une très grande importance sur les propriétés en compression des cartons. Un ratio de 1 sera utilisé pour l'étude.

**4) Pressage**

Le pressage augmente le ring crush, le Concora et le STFI (short span compressive strength) du papier ondulé (17). Des gains plus important sont obtenus avec un pressage en présence de vapeur à haute température.

**5) Consistance de la caisse d'arrivée**

La réduction de la consistance à la caisse d'arrivée augmente le ring crush (18) et le Concora (19) suite à une meilleure formation.

**6) Grammage**

L'augmentation du grammage augmente le ring crush et le concora (19) mais non le STFI. Ceci est dû au fait que le STFI mesure la résistance des liaisons entre les fibres sur une surface infiniment petite qui ne sera pas nécessairement affectée par le grammage.

**1.2.6 Encollage**

L'encollage de surface permet une meilleure force de surface (résistance au pelage et à l'arrachage), une meilleure résistance aux huiles, aux encres, aux solvants et à l'eau et une force interne du papier améliorée (éclatement, délamination).

L'amidon de patates et de maïs est celui qui fut utilisé pour ce projet, le tableau 1.4 donne quelques propriétés du type d'amidons utilisés à cette fin.

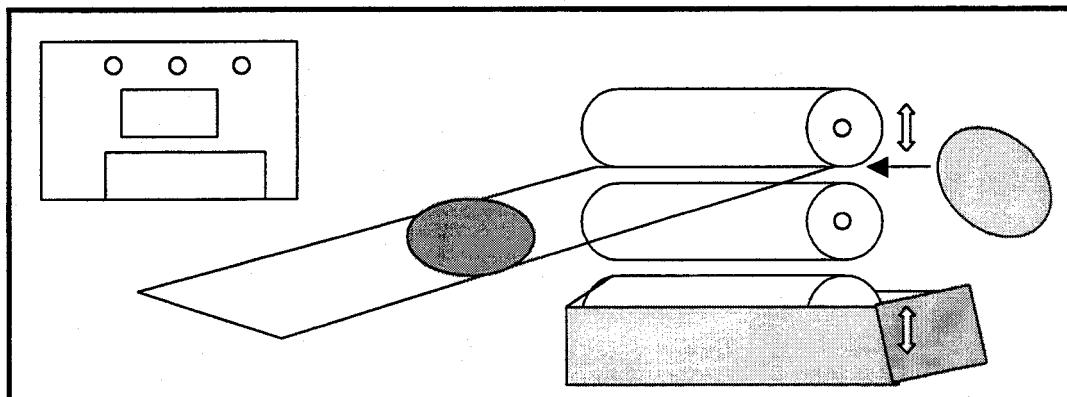
**Tableau 1.5 Propriétés des amidons pour l'encollage (30)**

TYPE D'AMIDON	%AMYLOSE	%AMYLOPECTINE	DEGRÉ DE POLYMÉRISATION
Mais	28	72	800
Patate	21	79	3000

L'encollage avec amidon de mais à la presse encolleuse permet d'augmenter le Concora, le ring crush et le "A-flute crush" du papier ondulé. Cette stratégie est utilisée pour permettre l'addition jusqu'à 35% de ONP permettant ainsi de conserver la qualité supérieure normalement obtenue avec la pâte vierge NSSC (20). Le A-flute est une ondulation de 4-5mm en hauteur aussi connue comme une ondulation grossière, le A-flute test est le test de compression fait sur un tel échantillon.

Il s'agit d'un amidon natif liquéfié *in situ* par voie enzymatique ou par voie thermochimique qui est utilisé aux concentrations de 4 à 8%. Le dépôt d'amidon est de 3 à 4%. On a observé une augmentation du CMT de 35% à créditer en partie à l'augmentation de poids et en partie à l'amidon. L'enduction d'amidon permet d'augmenter l'éclatement de 46% et le concora de 51% (19).

L'encolleuse utilisée est la 'Domtar size press' le schéma suivant la représente :



L'amidon cationique réduit la charge de l'effluent, remplace les fibres par des charges, augmente l'indice d'égouttage donc l'énergie de raffinage peut être réduite. Il améliore le drainage donc augmente la production et réduit le taux de vapeur utilisée de 5 à 10% (21).

La température est un facteur très critique dans l'opération d'une presse encolleuse. Une température trop élevée réduira la viscosité de l'amidon et le liquide pénétrera trop à l'intérieur du papier et ne restera pas en surface du papier pour lui donner les propriétés désirées. Une température trop basse nous amènera des problèmes de rétrogradation de l'amidon.

### **1.2.7 Conclusions**

Il existe très peu d'articles qui traitent des effets des variables sur la qualité des papiers cannelures en dépit de l'importance commerciale du domaine du carton ondulé et de son industrie en plein essor.

Une recherche sur l'utilisation de nouvelles essences moins chères, avec des coûts de production semblables sinon plus bas que les essences utilisées présentement, à savoir le tremble et le bouleau, permettra aux producteurs de cartons cannelures de réaliser des économies très importantes.

Ces économies pourraient être réalisées en utilisant la fibre d'éryable qui présente des propriétés physiques moyennes et de bouleau qui permet d'avoir de bonnes propriétés physiques avec une mise en pâte semi-chimique.

Il s'agit donc de prouver que les conditions de cette mise en pâte, les propriétés physiques obtenues suite à celle-ci et les façons d'améliorer ces propriétés qui seraient moins chères que l'énergie de raffinage.

### 1.3 Problématique

La présente étude vise à déterminer les propriétés physiques d'un papier fait à partir d'érable et de bouleau et à étudier les stratégies pour améliorer ces mêmes propriétés.

En effet, l'érable est un feuillu aux fibres courtes (0,7mm), il a ainsi résulté en un papier de piètres propriétés de résistance en compression et en tension, il s'agit alors d'améliorer ses propriétés en faisant une mise en pâte avec du bouleau qui lui a des fibres plus longues (1,85mm).

En premier lieu, la mise en pâte pourrait se faire suivant deux lignes séparées ou suivant une seule ligne, par contre un problème peut survenir dû à des densités différentes des deux essences. Puisque que les densités de ces deux essences ne sont pas très différentes (érable : 0,56 et bouleau 0,66g/cm<sup>3</sup>), on a opté pour une seule ligne.

Nous avons par la suite observer l'évolution de ces propriétés à travers l'énergie de raffinage en balayant de larges gammes de CSF.

Les propriétés physiques sont ensuite mesurées et évaluées pour obtenir ainsi une comparaison avec les normes de carton ondulé en ce qui attrait aux propriétés de résistance.

Différents procédés d'amélioration de ces propriétés sont mis en place; le presseage humide d'abord sur une large gamme de pressions, l'ajout de recyclé à différents taux dans la pâte et ensuite l'enduction à l'amidon à différents dosages.

Les propriétés physiques sont ensuite réévaluées et on note leur variation par rapport à la pression appliquée, au taux de recyclé ou au dosage de l'amidon, pour enfin arriver à des propriétés physiques acceptables et au procédé le plus bénéfique et le plus rentable.

## 1.4 Objectifs

L'objectif général du présent travail est de comparer différentes stratégies d'amélioration de la qualité des papiers cannelures.

Les objectifs plus spécifiques sont

1. Effet des conditions de mise en pâte semi-chimique
  - a. Effet du rendement
  - b. Effet de l'énergie de raffinage
2. Comparaison de la qualité de différentes essences : érable, bouleau et des mélanges tremble + bouleau et érable+bouleau
3. Évaluer l'effet de l'ajout de fibres recyclées dans le fourni
4. Évaluer l'effet du pressage humide
5. Évaluer l'effet de l'encollage à l'amidon

## Chapitre 2 Méthodologie

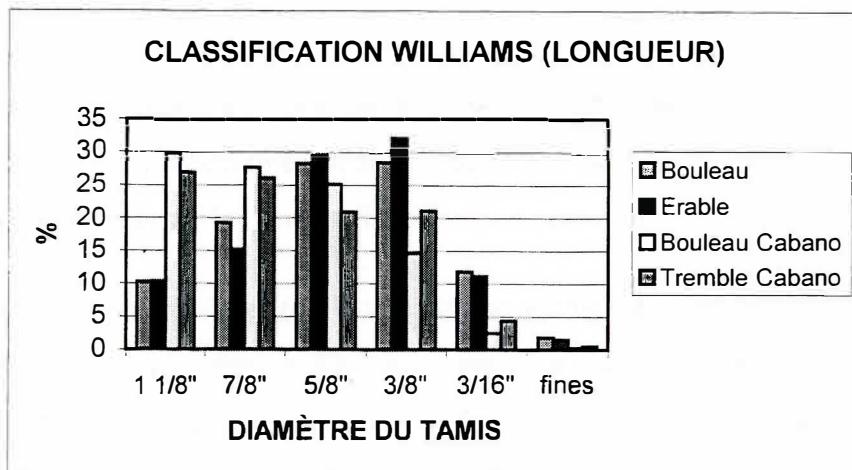
### 2.1 Mise en pâte semi-chimique des copeaux de tremble, de bouleau et d'érable

Les techniques et procédures suivantes ont été utilisées dans la présente étude.

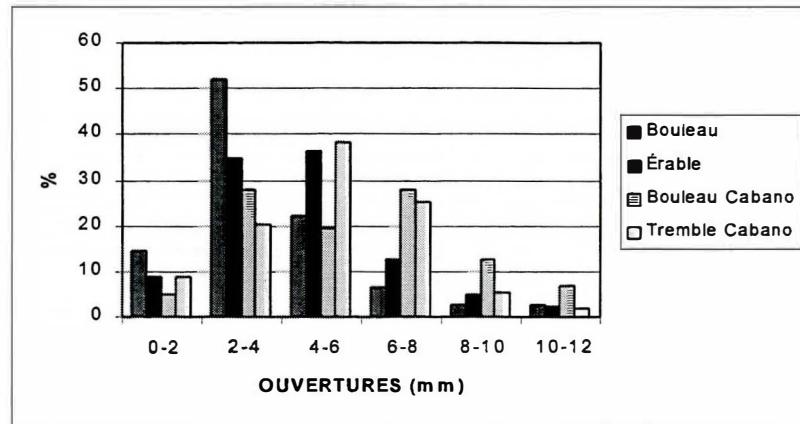
#### 2.1.2 Approvisionnement en bois

Des copeaux de bouleau et d'érable de la scierie "Les produits Forestiers Bellevue Ka'N' Enda Inc" de Mont-Laurier ainsi que des copeaux de bouleau et de tremble de l'usine de Norampac, Cabano ont été utilisés dans la présente étude.

Les figures 2.1 et 2.2 illustrent les classifications Williams et Domtar des copeaux tels que reçus à la réception. On note que les copeaux d'érable étaient plus petits en dimension. Ce phénomène est fréquent pour la mise en copeaux de bois de haute densité.



**Figure 2.1 Classification Williams des copeaux pour les différentes essences utilisées**



**Figure 2.2 Classification Domtar des copeaux pour les différentes essences utilisées**

La qualité des copeaux en terme d'écorce, densité et siccité est donnée au tableau 2.1. À l'exception du tremble les essences sont comparables.

On note toutefois que les copeaux du tableau 2.1 furent subséquemment classés sur un tamis vibrant et lavés dans un laveur à tambour avant d'être utilisés pour la mise en pâte (étapes d'imprégnation, cuisson et raffinage).

Des copeaux semblables de bouleau et d'érable, en provenance de Mont-Laurier seraient donc très acceptables pour les essais prévus à l'usine de Cabano ainsi que pour les essais sur la ligne de Sunds.

Les cuissions holocelluloses (cuisson dans une solution d'acide acétique à 50% et du peroxyde d'hydrogène à 50% en proportion de 1:1 à 90°C pendant 30 min) sur les copeaux reçus ont été effectuées afin de confirmer certaines propriétés des essences et de comparer ces valeurs avec celle rapporté dans la littérature. Le tableau 2.2 présente un sommaire des résultats obtenus.

**Tableau 2.1 Propriétés du bois et des copeaux**

SOURCE	Bois de Mont-Laurier		Bois de Norampac (usine de Cabano)	
Essence	Bouleau	Érable	Tremble	Bouleau
Nœuds (%)	0,96	1,03	2,33	2,83
Écorces collées sur le bois (%)	1,51	1,54	8,68	4,67
Écorces collées sur bois et présence de nœuds (%)	0,62	1,14	1,79	3,62
Écorce Libre (%)	1,72	0,61	3,79	0,85
Densité relative	0,78	0,62	0,37	0,79
Siccité (%)	34,9	33,5	54,7	40,0
Pâtes après cuisson holocellulose				
Longueur des Fibres pondérée en poids (mm)	1,48	0,84	1,06	1,32
Fines pondérées en poids (%)	1,61	4,47	2,8	1,49

**Tableau 2.2 Comparaison des feuillus de l'Est du Canada**

	LITTÉRATURE		BOIS DE MONT – LAURIER		BOIS DE NORAMPAC (USINE DE CABANO)	
Essence	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Longueur Fibre (mm)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Longueur Fibre (mm)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Longueur Fibre (mm)
Bouleau à papier	0,57 (17)	1,3 (11)				
Bouleau jaune	0,56 (12)	1,4 (11)	0,78	1,48	0,79	1,32
	0,66 (17)	1,85 (17)				
Érable à sucre	0,66 (17)	0,8 (17)				
	0,60 (12)	0,8 (11)	0,62	0,84		
Érable argenté	0,50 (17)	0,7 (17)				
	0,7 (11)					
Érable rouge	0,56 (17)	0,8 (11)				
	0,7 (17)					
Érable noir	0,60 (17)	0,8 (17)				
Peuplier faux tremble	0,37 (12)	1,1 (11)				
	0,40 (17)	1,04 (17)			0,37	1,06
Peuplier tremble		1,1 (11)				
Peuplier noir		1,2 (11)				
Peuplier baumier	0,34 (17)	1,2 (17)				
Hêtre commun	0,67 (17)	1,3 (11)				
		1,2 (17)				
Hêtre à grande feuille		1,2 (11)				
Chênes	0,70-0,95 (17)	1,4 (17)				
Chêne Blanc		1,3 (11)				
Orme	0,54 (17)	1,55 (17)				

### **2.1.2 Qualité des pâtes commerciales de l'usine Norampac de Cabano**

Les pâtes commerciales utilisées dans la présente étude sont

- Pâte semi-chimique de tremble- bouleau échantillonnée à la sortie du raffineur secondaire.
- Pâte recyclée échantillonnée à la sortie du raffineur des fibres recyclées.
- Pâte de la caisse d'arrivée et d'eau blanche échantillonnés à la machine à papier.

Les caractéristiques de ces pâtes sont présentées au tableau 2.3. La qualité des papiers cannelures obtenue à partir de ces pâtes est donnée et discutée au chapitre 3 de ce mémoire.

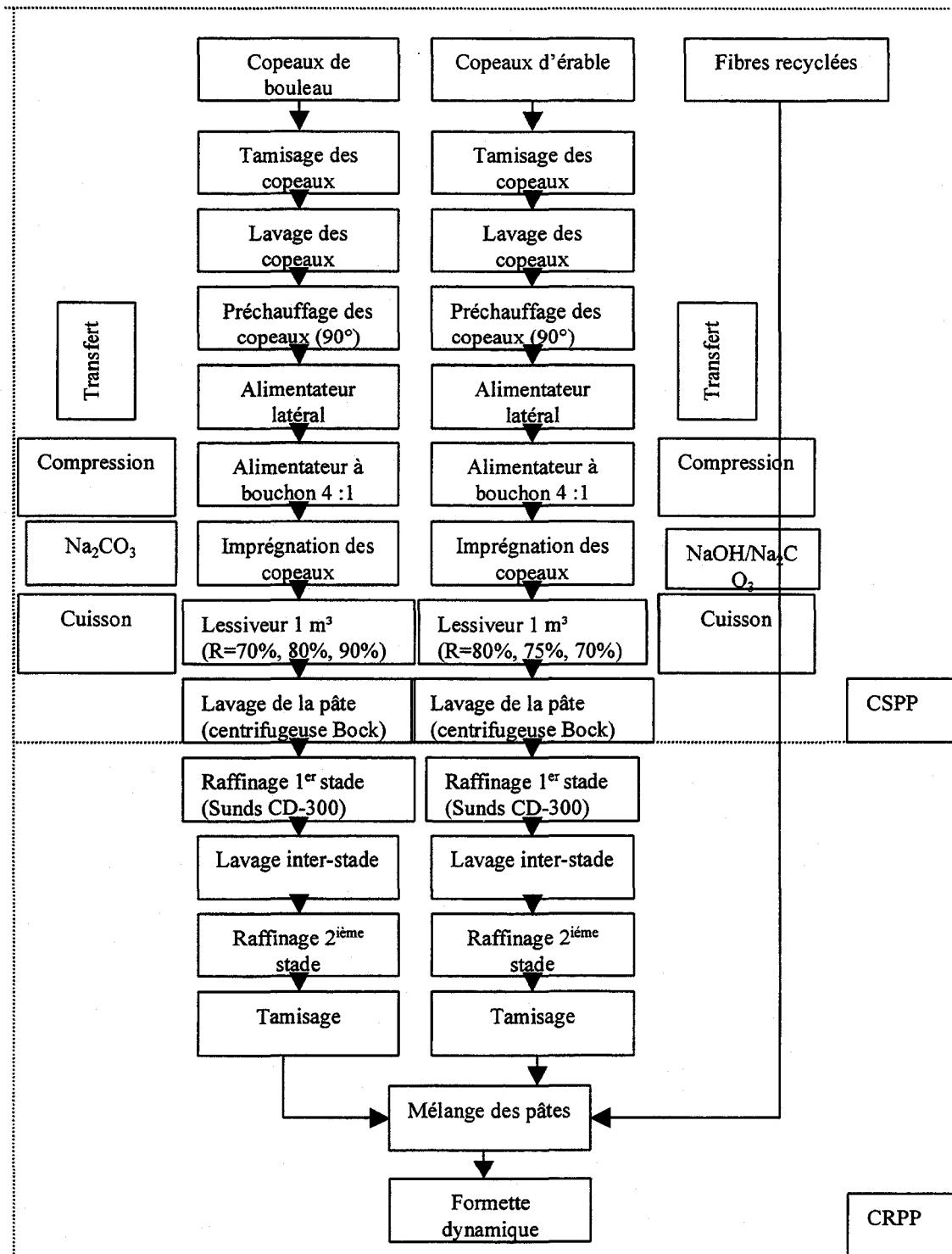
On note au Tableau 2.3 que la pâte recyclée possède une plus grande longueur de fibre. De plus, toutes les fibres (latence enlevée), sont droites impliquant que de faibles allongements des nappes humides sont à prévoir avec le fourni d'où la nécessité de supporter la feuille tout au long de sa fabrication sur la machine à papier de type fourdrinier ainsi que de limiter les tirages.

**Tableau 2.3 Qualités des pâtes commerciales de l'usine NORAMPAC,  
CABANO**

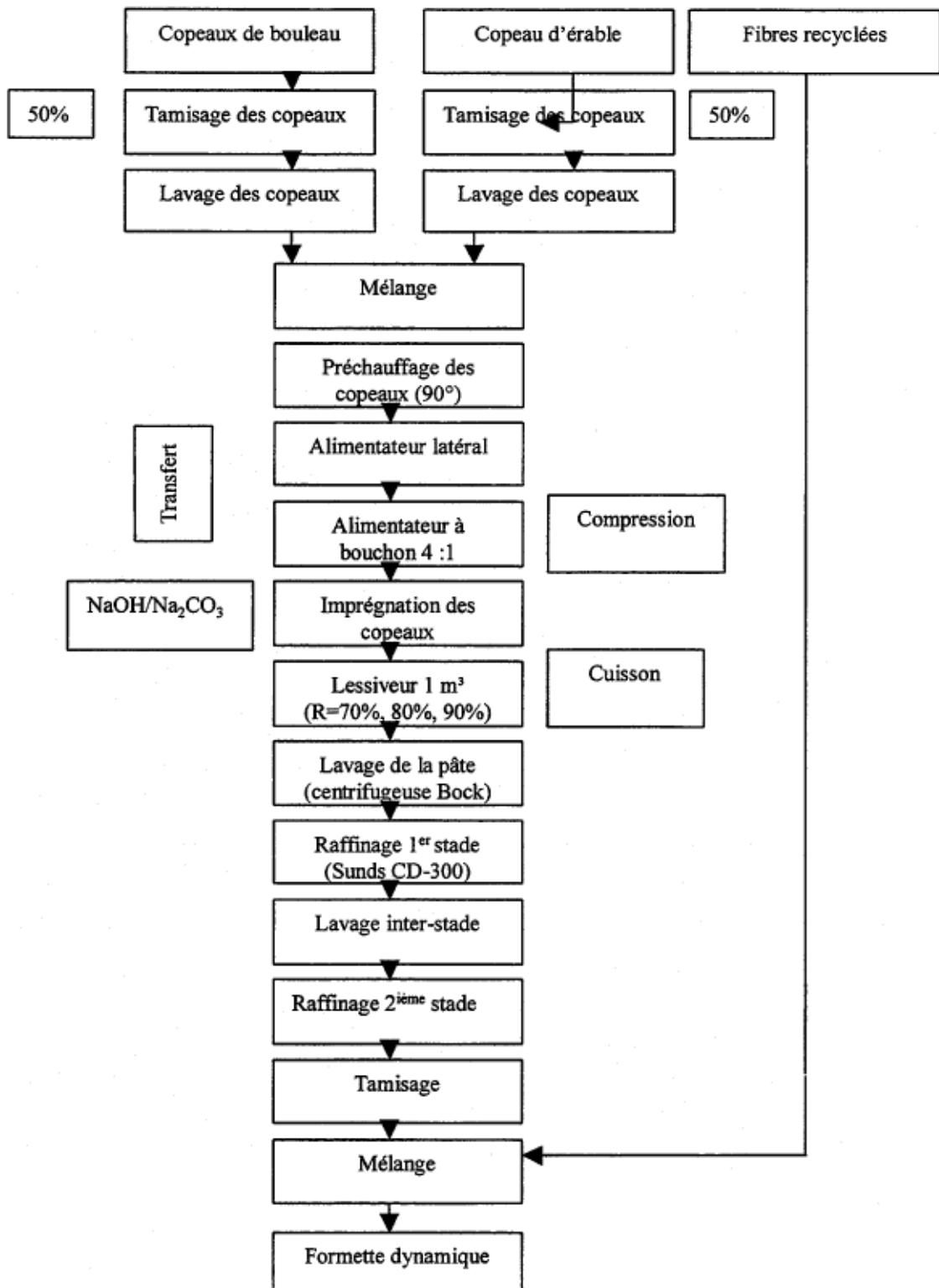
ESSENCES	CAISSE D'ARRIVÉE	SEMI- CHIMIQUE	RECYCLÉ
CSF (mL)	464	613	450
Bûchettes(%) (sommerville 0.006")	0,4	0,56	0,28
Longueur fibres (mm)	1,18	0,98	1,58
Fines (%)	5,24	3,50	6,2
"Kink index" (%)	0,98	1,06	0,85
"Curl index" (%)	0,06	0,06	0,06

### **2.1.3 Mise en pâte semi-chimique**

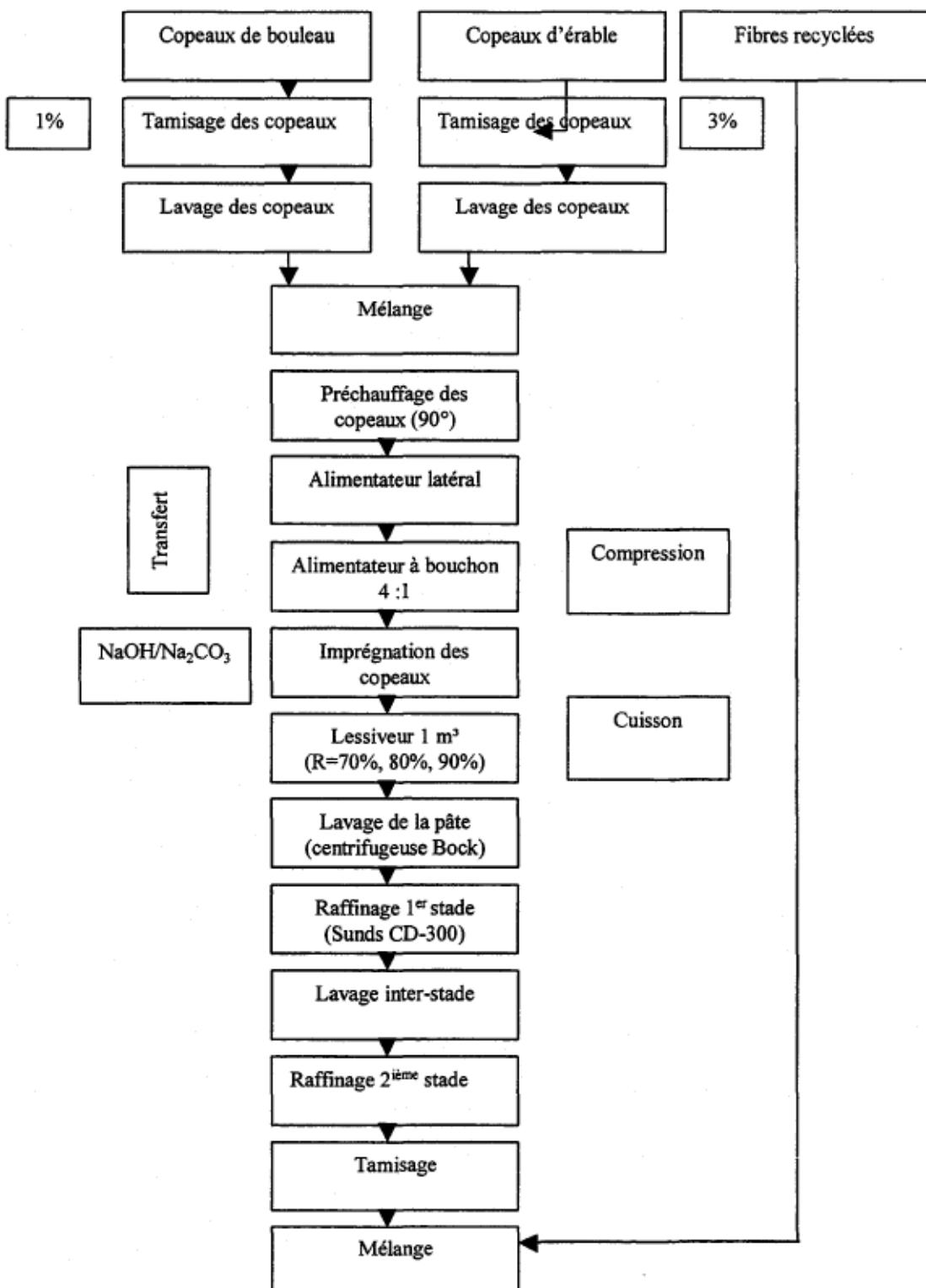
Les organigrammes suivants donnent tous les détails reliés à la préparation du bois, à l'imprégnation et à la cuisson des copeaux et au raffinage.



**Figure 2.3 : Conditions de mise en pâtes semi-chimique de l'éryable et du bouleau de Mont-Laurier**



**Figure 2.4 : Conditions de mise en pâtes semi-chimique de mélange d'éryable et de bouleau de Mont-Laurier**



**Figure 2.5 Conditions de mise en pâtes semi-chimique des copeaux de l'usine NORAMPAC de Cabano**

La recherche effectuée sur la mise en pâte de feuillus pour le carton cannelure nous a indiqué qu'une qualité de pâte acceptable pouvait être obtenue avec du carbonate de sodium pour le tremble et le bouleau mais que pour des essences de densité élevée telles que le chêne et l'érable, de l'hydroxyde de sodium est utilisé en ratio avec le carbonate.

Basé sur le brevet de Dillard (16) et les publications de J. Hanson (6) et Froissard (22) nous avons fixé la charge à 10% Na<sub>2</sub>O. Un ratio de carbonate/hydroxyde de 4 : 1 est approprié d'après ces auteurs.

Suite aux premières cuissons, il nous est apparu que le rendement des pâtes ne pouvait pas être réduit de manière appréciable en augmentant le temps de cuisson uniquement. De plus les résultats de cuissons de laboratoire nous ont révélé qu'un ratio carbonate/hydroxyde de 4 : 1 est insuffisant pour atteindre des rendements de l'ordre de 76%. Nous avons donc effectué une série de cuissons en laboratoire pour déterminer les conditions adéquates pour obtenir les 3 rendements visés. Suite à ce travail il fut déterminé que les rendements pouvaient être atteints en variant à la fois le temps de cuisson et la charge d'hydroxyde (Il n'existe aucune corrélation entre la charge de Na<sub>2</sub>O et le rendement des cuissons). Les tableaux 2.4 à 2.7 montrent les conditions de cuisson des essences de bois et de leur mélange, qui furent utilisés en usine pilote pour l'imprégnation des copeaux et le traitement thermique avant raffinage.

**Tableau 2.4 Conditions de cuisson du bouleau**

CODE	B1	B2	B3
Température de cuisson (°C)	170	170	170
Temps de cuisson (min)	45	120	120
Charges effectives			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (% p/p bois)	17,78	13,67	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (% p/p bois)	15,24	11,72	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	8,89	6,84	0
NaOH (% p/p bois)	0	4,41	14,58
NaOH Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	0	3,42	11,30
Na <sub>2</sub> O (% p/p bois)	8,89	10,26	11,30
NaOH/Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0	0,50	infime
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /NaOH	infime	2,00	0
Rendement (DCO) (%)	86,49	86,15	76,67

**Tableau 2.5 Conditions de cuisson de l'érable**

CODE	E1	E2	E3
Température de cuisson (°C)	170	170	170
Temps de cuisson (min)	45	120	120
Charges effectives			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (% p/p bois)	20,55	10,25	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (% p/p bois)	17,61	8,78	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	10,27	5,12	0
NaOH (% p/p bois)	0	3,31	10,71
NaOH Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	0	2,56	8,30
Na <sub>2</sub> O (% p/p bois)	10,28	7,68	8,3
NaOH/Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0	0,50	infime
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /NaOH	infime	2,00	0
Rendement (DCO) (%)	89,74	87,78	75,91

**Tableau 2.6 Conditions de cuisson du mélange érable-bouleau**

CODE	EB1	EB2	EB3
Température de cuisson (°C)	170	170	170
Temps de cuisson (min)	45	120	120
Charges effectives			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (% p/p bois)	18,83	6,42	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (% p/p bois)	16,14	5,50	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	9,41	3,21	0
NaOH (% p/p bois)	0	8,28	12,42
NaOH Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	0	6,41	9,63
Na <sub>2</sub> O (% p/p bois)	9,42	9,63	9,63
NaOH/Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0	2,00	infime
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /NaOH	infime	0,5	0
Rendement (DCO) (%)	91,81	87,61	75,8

**Tableau 2.7 Conditions de cuisson du mélange tremble-bouleau**

CODE	TB1	TB2	TB3
Température de cuisson (°C)	170	170	170
Temps de cuisson (min)	45	120	120
Charges effectives			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (% p/p bois)	21,18	4,57	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (% p/p bois)	18,15	3,92	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	10,59	2,29	0
NaOH (% p/p bois)	0	11,79	12,36
NaOH Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (en Eq. Na <sub>2</sub> O, % p/p bois)	0	9,14	9,584
Na <sub>2</sub> O (% p/p bois)	10,59	11,43	9,58
NaOH/Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0	4	infime
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /NaOH	infime	0,25	0
Rendement (DCO) (%)	91,4	83,9	78,50

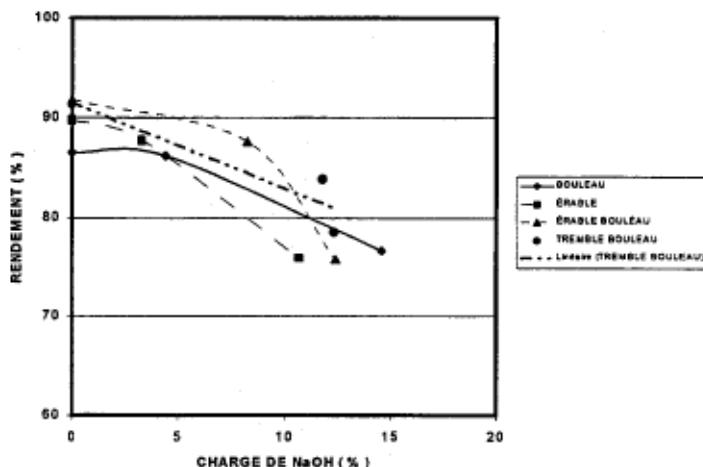
La figure 2.6 représente le rendement en fonction de la charge utilisée pour une charge effective approximativement constante de 10% Na<sub>2</sub>O. La corrélation entre le rendement et la charge de carbonate de sodium et le hydroxyde est donnée par l'équation suivante

$$\text{Rendement (\%)} = 69,2666 + 1,04502 * \text{Carbonate} + 0,026443 * \text{Hydroxyde} + 0,06753 * \text{Temps}$$

(Équation 1)

Avec les paramètres statistiques suivants

Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
CONSTANT	69,2666	9,30067	7,44748	0,0001
Carbonate	1,04582	0,480633	2,17593	0,0612
Caustique	0,026443	0,55639	0,047526	0,9633
Temps	0,0675391	0,0431776	1,56421	0,1564



**Figure 2.6 Rendement des cuissons en fonction de la charge de Hydroxyde pour une charge effective totale approximative de 10% Na<sub>2</sub>O.**

En règle générale, on peut observer que la charge de hydroxyde est le paramètre qui a le plus d'influence sur le rendement, suivi du temps de cuisson. Le taux de carbonate influence peu le rendement.

Une optimisation des conditions de mise en pâte en terme des variables dépendantes telles que le temps, la température, la charge de NaOH et le ratio carbonate/ hydroxyde devrait faire l'effet de travaux futurs. Il faut noter que la perte de rendement est fonction de ces variables mais elle est aussi inter-reliée avec les

équipements présents et leur opération : type et qualité de l'imprégnation, contact liquide vs vapeur, etc. Des charges moins élevées de hydroxyde sont à prévoir en usine puisque nous avons mesuré un pH plus élevé pour la liqueur de carbonate fabriquée à Cabano comparativement à celle utilisée pour les essais pilotes utilisant des produits chimiques de laboratoire. Ceci est dû à la production d'hydroxyde suite à la réduction de caustification en présence de chaux  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que l'on retrouve dans l'eau approvisionnant l'usine. De plus une opération à des températures supérieures à  $170^\circ\text{C}$  permettrait de réduire davantage les charges d'hydroxydes.

#### 2.1.4 Conditions de raffinage

Les conditions de raffinage sont décrites aux figures 2.7 à 2.10 donnant la variation du CSF, mesuré sur les pâtes immédiatement après raffinage, en fonction de l'énergie de raffinage.. Tous les copeaux ont été raffinés en deux stades avec un lavage inter- stade. Les figures 2.11 et 2.12 illustrent l'énergie requise pour raffiner chaque espèce de feuillus et des mélanges à des valeurs de 400 et 200 mL CSF.

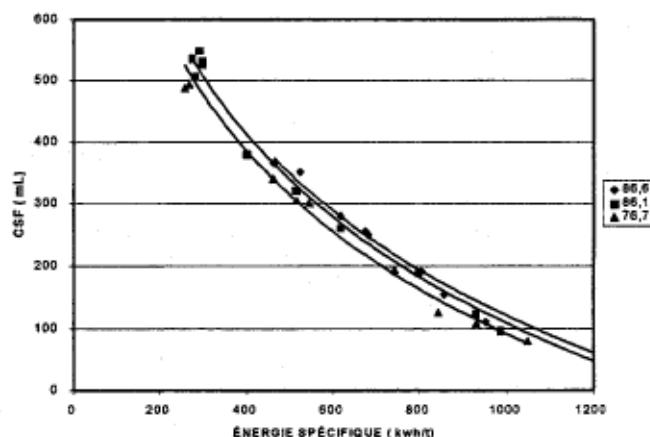
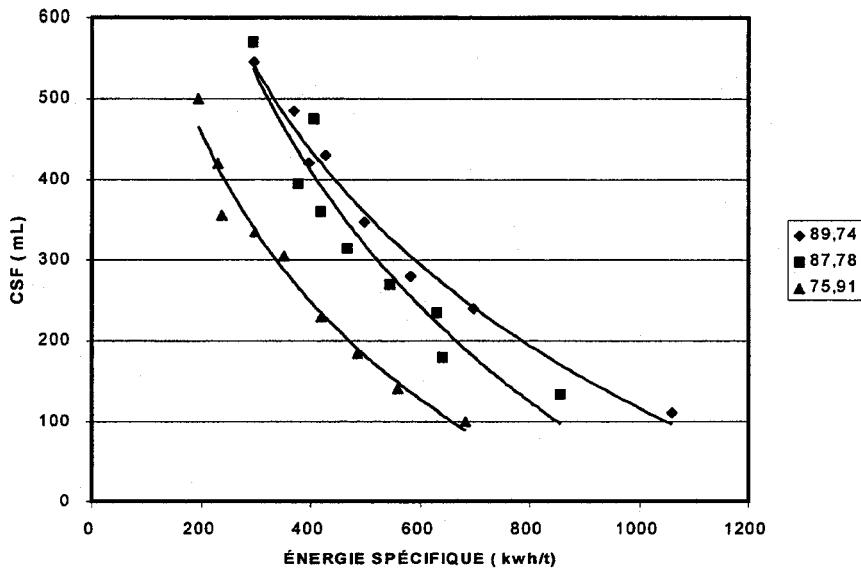
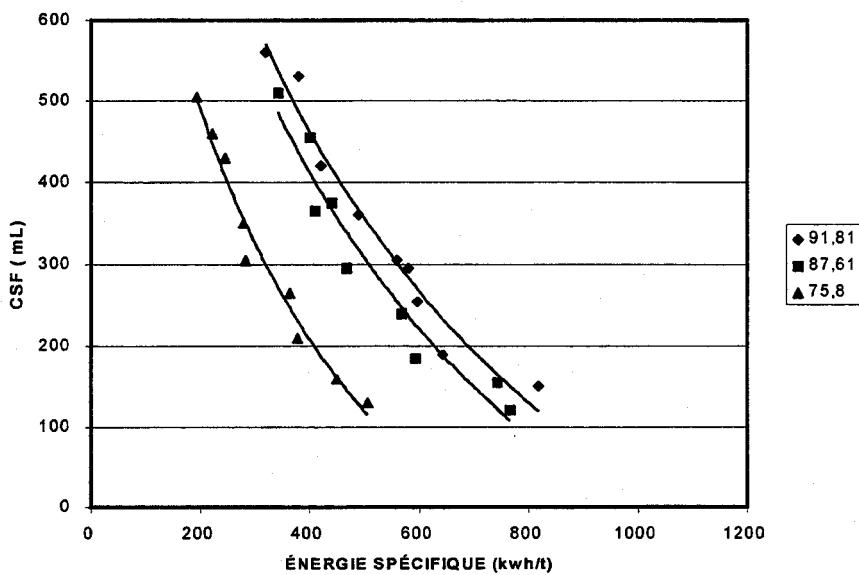


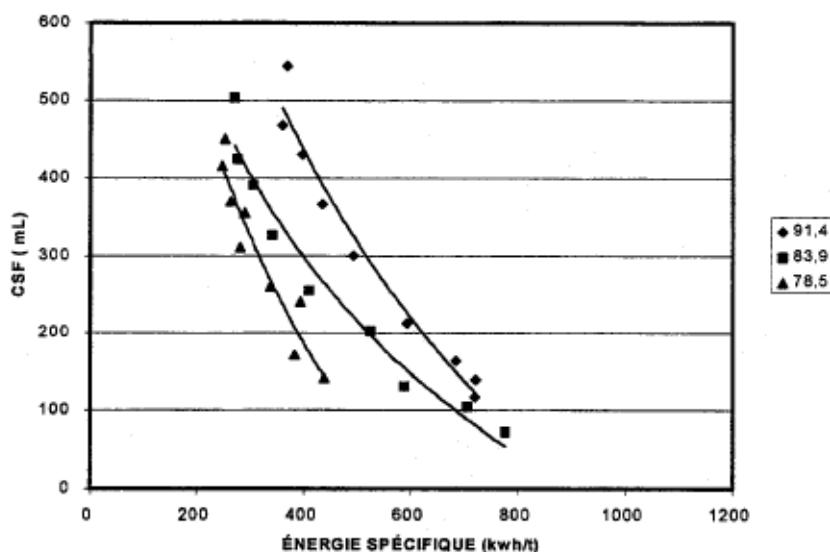
Figure 2.7 CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour le bouleau



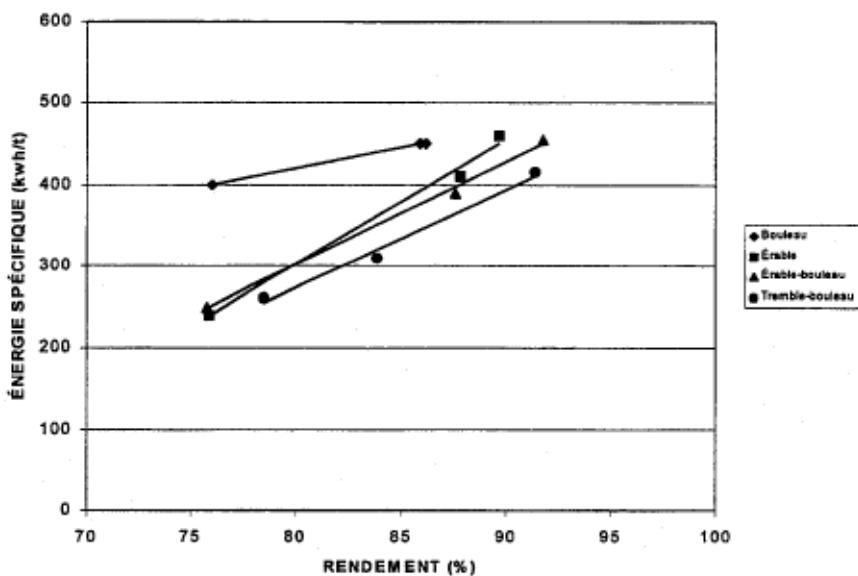
**Figure 2.8 CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour l'érable**



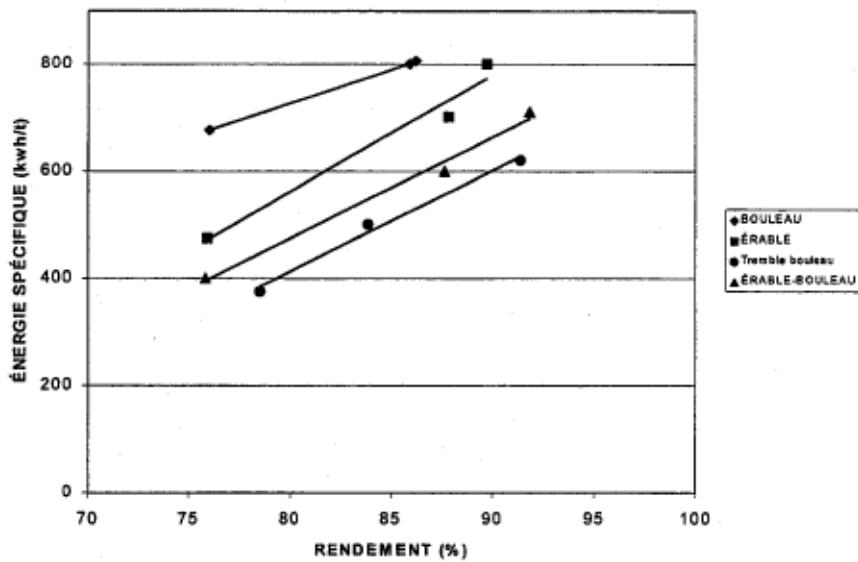
**Figure 2.9 CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour le mélange l'érable + bouleau**



**Figure 2.10 CSF en fonction de l'énergie de raffinage pour le mélange tremble + bouleau**



**Figure 2.11 Énergie de raffinage requise pour la production de pâtes à 400 mL CSF**

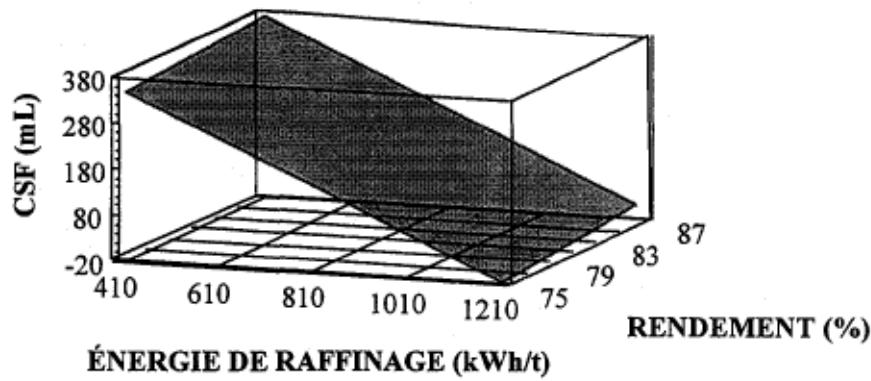


**Figure 2.12 Énergie de raffinage requise pour la production de pâtes à 200 mL CSF**

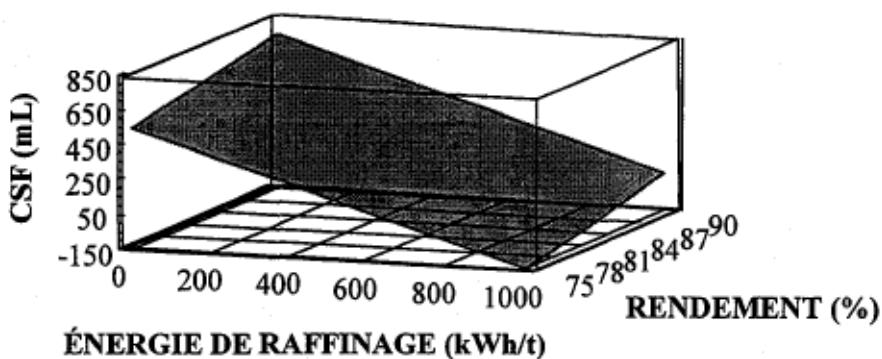
L'on peut observer de façon générale pour toutes les essences que l'indice d'égouttage décroît de façon logarithmique avec l'énergie de raffinage. Le bouleau demande une plus grande énergie de raffinage pour le même rendement que le mélange érable-bouleau, d'érable et du mélange tremble-bouleau.

### 2.1.5 Analyse statistique des conditions de mise en pâte et de raffinage

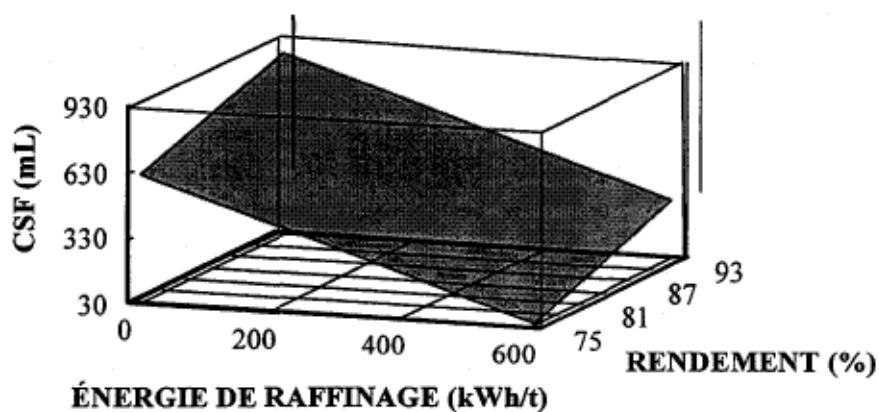
Les figures 2.13 à 2.16 représentent des réponses en surfaces pour les différentes essences utilisées de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage et du rendement.



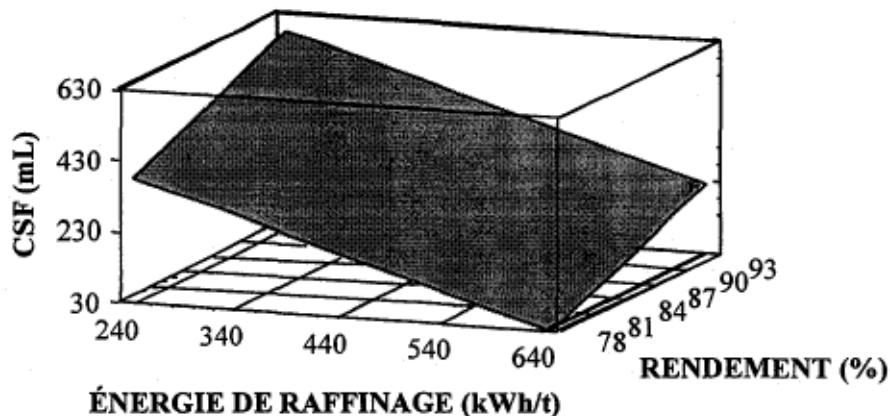
**Figure 2.13 Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (X) et de l'énergie de raffinage (Y) pour le Bouleau**



**Figure 2.14 Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (Y) et de l'énergie de raffinage(X) pour l'érable**



**Figure 2.15 Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (X) et de l'énergie de raffinage (Y) pour le mélange Érable-Bouleau**



**Figure 2.16 Réponse en surface de l'indice d'égouttage en fonction du rendement (X) et de l'énergie de raffinage (Y) pour le mélange Tremble-bouleau**

On peut observer que pour obtenir par exemple un rendement de 75% avec un indice d'égouttage de 200 mL, nous devons appliquer une énergie de 700 kWh/TMSA pour le bouleau, de 440 kWh/TMSA pour l'érable, de 300 kWh/TMSA pour le mélange érable-bouleau et de 400 kWh/TMSA pour le mélange tremble-bouleau.

## 2.1 Ajout de fibres recyclées

### 2.2.1 Pâtes semi-chimiques

Deux pâtes semi-chimiques ont été sélectionnées à des rendements différents

- (1) Une pâte semi-chimique produite à partir de mélange de copeaux d'érable et de bouleau dont le rendement est de 91,8% et le CSF est de 305 mL (Code EBC-15)
- (2) Une pâte semi-chimique produite à partir de mélange de copeaux d'érable et de bouleau dont le rendement est de 75,8% et le CSF est de 305 mL (Code EBC-35)

### **2.2.2 Dilution, latence et ajout de recyclé**

Les pâtes brutes sont désintégrées dans un désintégrateur standard à une température de 90°C et à une concentration  $\approx 12\text{g/L}$  pendant 5 minutes. Une fois les pâtes brutes désintégrées, la consistance est portée à 0,7% approximativement et maintenue à la température de la pièce jusqu'à la fin du travail. La procédure est similaire pour le recyclé, sauf que la température à la désintégration est inférieure ( $\approx 50^\circ\text{C}$ ). La consistance de départ dans la chaudière étant d'environ 3%, l'ajout d'eau bouillante ne permet pas d'obtenir la température ciblée de 90°C, tout en maintenant une consistance de travail acceptable pour le travail ultérieur. Pour cette raison la température de désintégration a été diminuée.

Une fois les désintégrations à chaud et les dilutions obtenues, le recyclé est mélangé dans une proportion massique de 20, 40, 60, 80, 100%.

### **2.2.3 Formation des feuilles standards**

Les feuilles sont formées sur formette anglaise standard selon la procédure standard TAPPI T205sp, avec un grammage de  $128\text{g/m}^2$ , ce qui représente le grammage du papier cannelure fabriqué à Cabano.

Les feuilles sont ensuite pressées sur presse standard à 60 psig.

### **2.2.4 Séchage**

Le séchage se fait à une température de 23°C et une humidité relative de 50%. Les feuilles sont conditionnées au moins 24 heures avant de les peser pour déterminer leur masse (grammage).

Les feuilles fabriquées pour cette expérience ont un grammage moyen de  $128\text{g/m}^2$ .

## 2.2 Pressage humide

L'expérience réalisée consiste à examiner l'effet de la pression appliquée aux nappes humides formées à partir de pâtes semi-chimiques expérimentales destinées à former des feuilles isotropiques standards ( $200 \text{ mm}^2$ ) d'un grammage moyen de  $128 \text{ g/m}^2$ . Les pressions appliquées varient de 15 psig jusqu'à 1200 psig en 7 points (15, 60, 90, 300, 500, 800, 1200 psig).

Les feuilles ainsi formées sont ensuite soumises aux différents appareils de mesure pour examiner leurs propriétés physiques en fonction de la pression appliquée sur ladite nappe humide.

### 2.3.1 Pâte Brute

Trois pâtes aux caractéristiques différentes furent utilisées.

- Contrôle : Pâte composée de 30% de tremble et 70% de bouleau au rendement de 87,6%; et au CSF de 436 mL, sans tamisage (Code TBC2-2)
- Pâte composée de 50% d'éryable et 50% de bouleau au rendement de 91.8%; et au CSF de 360 ml, sans tamisage (Code EBC1-4)
- Pâte composée de 50% d'éryable et 50% de bouleau au rendement de 87.6%; et au CSF de 295 ml, sans tamisage (Code EBC2-5)

### 2.3.2 Tamisage

Les pâtes brutes utilisées contiennent une quantité substantielle de bûchettes (5 à 15%)

Afin d'optimiser les propriétés physiques de ces pâtes, un tamisage avec recyclage de l'eau blanche s'est fait, nous assumons que les pertes de fines sont négligeables.

### **2.3.3 Dilution, latence et ajout de recyclé**

Les pâtes brutes sont désintégrées dans un désintégrateur standard à une température de 90°C et à une concentration  $\approx 12\text{g/L}$  pendant 5 minutes. Une fois les pâtes brutes désintégrées, la consistance est portée à 0,7% approximativement et maintenue à la température de la pièce jusqu'à la fin de l'expérience. La procédure est semblable pour le recyclé, sauf que la température de désintégration est inférieure ( $\approx 50^\circ\text{C}$ )

Une fois les désintégrations à chaud et les dilutions obtenues, le recyclé est mélangé dans une proportion massique de 20% aux pâtes citées précédemment.

### **2.3.4 Formation des feuilles standards**

Les feuilles sont formées sur formette anglaise standard selon la procédure standard TAPPI T205sp.

### **2.3.5 Types de presses**

Deux types de presses furent utilisés pour le pressage. Le pressage à des pressions inférieures à 100 psig est effectué sur les presses pneumatiques standards au laboratoire humide (un régulateur de pression d'air situé avant l'entrée de la presse permet de régler avec une bonne précision la pression de 0 à 90 psig). Pour les pressions supérieures à 100 psig, une presse manuelle hydraulique fut utilisée (graduation de 0 à 50 tonnes métriques).

Pour tous les pressages inférieurs à 500 psig, la procédure standard TAPPI T205sp est appliquée.

Pour les pressages supérieurs à 500 psig des pâtes du mélange érable-bouleau, l'utilisation des papiers buvards a été omise, car il y avait « *adhésion* » du papier buvard sur la feuille humide. Cependant, une absorption de l'eau dans la nappe humide a été faite préalablement sur presse pneumatique standard pendant 1 mi-

nute à 60 psig pour permettre le pressage ultérieur sur presse hydraulique manuelle à plus de 500 psig.

Pour les pressages du contrôle (Pâte composée de 30% de tremble et 70% de bouleau au rendement de 87,6%; et au CSF de 436 ml), la procédure standard a été respectée sur toute la gamme des pressages, ce qui était permis par l'absence « *d'adhésion* » du buvard sur la feuille humide pour les pressions jusqu'à 1200 psig.

Les temps de pressage sur la presse hydraulique sont similaires aux temps de pressage standards pneumatiques, soient 5 minutes pour un premier pressage et 2 minutes pour un deuxième pressage avec changement des buvards avant le deuxième pressage.

### **2.3.6 Séchage et essais de papier**

Le séchage se fait à température ambiante et les échantillons sont conditionnés au moins 24 heures avant les essais. Le tout s'effectue selon les procédures standards.

Les tests effectués sont l'éclatement, la rupture, la déchirure, le Concora, le Ring crush, et le STFI (short-span compressive strength).

## **2.3 Encollage**

### **2.4.1 Pâte Brute**

Une seule pâte a été utilisée pour fabriquer les 176 feuilles destinées à être testées, puis comparées.

EBC-13 (mélange d'érable et de bouleau au rendement de 91,8% et au CSF de ml), mélangée à 20% de pâte recyclée.

#### **2.4.2 Dilution, latence et ajout de recyclé**

Les pâtes brutes sont désintégrées dans un désintégrateur standard à une température de 90°C et à une concentration  $\approx 12\text{g/L}$  pendant 5 minutes. Une fois les pâtes brutes désintégrées, la consistance est portée à 0,7% approximativement et maintenue à la température de la pièce jusqu'à la fin du travail. La procédure est similaire pour le recyclé, sauf que la température à la désintégration est inférieure ( $\approx 50^\circ\text{C}$ ).

Une fois les désintégrations à chaud et les dilutions obtenues, le recyclé est mélangé dans une proportion massique de 20%.

#### **2.4.3 Formation des feuilles standards**

Les feuilles sont formées sur formette anglaise standard selon la procédure standard TAPPI T205sp.

Les feuilles sont ensuite pressées sur presse standard à 60 psig.

#### **2.4.4 Séchage**

Le séchage se fait à une température de 23°C et une humidité relative de 50%. Les feuilles sont conditionnées au moins 24 heures avant de les peser pour déterminer leur masse (grammage). Ces mesures serviront notamment pour calculer le taux d'enduction moyen des séries de feuilles enduites.

Les feuilles fabriquées pour cette expérience ont un grammage moyen de 128g/m<sup>2</sup>.

#### **2.4.5 Cuisson et type d'amidon utilisé**

Avant d'être versé dans le réservoir d'amidon de la presse encolleuse, l'amidon doit être mis en solution et cuit préalablement. Le réservoir du montage expérimental à notre disposition a une capacité maximale de 1,5 litres approximativement. Un litre environ de solution furent utilisés pour chaque concentration

utilisée (40, 50, 60, 70, 80g/L). L'amidon, sous forme de poudre, est incorporé à l'eau tiède en agitant, puis est chauffé jusqu'à ébullition en agitant continuellement (barreau magnétique ou agitateur externe) pour obtenir l'homogénéité de la solution. Une mauvaise agitation entraîne la formation d'agglomérations qui faussent la concentration. Les cuissons durent en moyenne 15 à 20 minutes.

Les solutions suivantes ont ainsi été préparées

- Les solutions d'amidon natif de maïs commerciaux (4, 5, 6, 7 et 8%).
- Les solutions d'amidon modifié cationique CATOSIZE 270A, distribué par NACAN inc.
- Les solutions d'amidon de maïs et de pomme de terres HI-CAT 5283A, distribué par ROQUETTE.

Les solutions sont préparées individuellement immédiatement avant d'être utilisées pour l'enduction.

#### **2.4.6 Essais préliminaires sur la presse encolleuse**

La presse encolleuse comporte plusieurs paramètres qui influencent l'enduction et qu'il faut fixer avant de commencer l'enduction. Des essais ont été faits sur ces différents paramètres.

##### **2.4.6.1 Essais de pression du rouleau coucheur**

Les résultats de cette expérience sont représentés dans le tableau 2.8

**Tableau 2.8 Essais de pression du rouleau à pression sur la presse encolleuse.**

P1 (rouleau applicateur), psig	P2 (rouleau à pression), psig	Vitesse, m/min	Enduction, %
20	20	1	1,73
20	30	1	1,59
20	40	1	1,15
20	50	1	1,11

La pression varie de 20 à 50 psi tous les autres paramètres étant constants, le taux d'amidon enduit varie de 1.73 à 1.11% cette variation n'est pas significative par rapport à la variation de la pression. La pression du rouleau à pression varie inversement au taux d'enduction.

#### **2.4.6.2 Essais sur la pression du rouleau applicateur**

Les résultats de cette expérience sont présentés dans le tableau 2.9.

**Tableau 2.9 Essais de pression du rouleau applicateur sur la presse encolleuse.**

P1 (rouleau applicateur), psig	P2 (rouleau à pression), psig	Vitesse, m/min	Enduction, %
30	20	5	1,34
40	20	5	1,35
50	20	5	1,35
60	20	5	1,28

On voit clairement que la pression du rouleau applicateur n'a pas vraiment d'effet sur le taux d'enduction, car le seul rôle de ce rouleau est de transporter l'amidon vers le rouleau à pression, il comprend des rainures qui déterminent la quantité maximale à transporter.

#### **2.4.6.3 Essais sur la vitesse de rotation du cylindre**

Les résultats de cette expérience sont présentés dans le tableau 2.10.

La vitesse varie de 2 à 10 m/min, tous les autres paramètres étant constants. Le taux d'amidon enduit varie de 1,11 à 1,93%. Cette variation n'est pas significative par rapport à la variation de la vitesse. La vitesse du rouleau à pression varie dans le même sens que le taux d'enduction.

**Tableau 2.10 Essais de vitesse de la size press**

P1 (rouleau applicateur), psig	P2 (rouleau à pression), psig	Vitesse, m/min	Enduction, %
20	20	2	1,11
20	20	4	1,26
20	20	6	1,30
20	20	8	1,32
20	20	10	1,93

#### **2.4.6.4 Essais de variation de la température de l'amidon**

Le tableau 2.11 montre les variations de température pour l'amidon Actim045 à 5%.

**Tableau 2.11 Essais de température de l'amidon**

Température, °C	Enduction, %
44	1,48
45	1,32
46	1,62
47	1,33
48	1,65
50	1,18
52	1,36
54	1,67
60	1,79

#### **2.4.7 Enduction**

Puisque les expériences préliminaires ont déterminé que la vitesse de rotation du rouleau n'influence pas significativement le taux d'enduction, une vitesse de rotation a été fixée à 5 m/min. La pression, qui n'a eu guerre plus d'influence, a été fixée à 20 psig pour les 2 rouleaux. Ces expériences permirent aussi d'observer l'effet de l'immersion du « rouleau applicateur » dans le réservoir d'amidon de l'encolleuse. Il semble selon ces expériences que le degré d'immersion n'a pas d'effet sur le taux d'enduction mais que l'immersion être suffisante pour assurer une répartition uniforme de l'amidon sur toute la surface du « rouleau applicateur ».

Les feuilles enduites à la sortie de la presse encolleuse sont ensuite insérées dans des anneaux puis expédiées dans la chambre à humidité/température contrôlée pendant 24 heures pour ensuite être testées.

#### **2.4.8 Taux d'enduction :**

Le taux d'enduction est défini et calculé comme suit

$$\text{Taux d'enduction} = \frac{\text{masse de la feuille enduite} - \text{masse de la feuille initiale}}{\text{masse de la feuille sèche}}$$

#### **2.4 Tests sur les pâtes et papiers**

Les tests utilisés dans la présente étude sont représentés au tableau 2.12.

**Tableau 2.12 Méthodes standards utilisées**

TEST	METHODE TAPPI
STFI (short-span compressive strength)	T826pm-92
RING CRUSH	T472wd-76
CONCORA	T809om-93
Longueur de rupture	T404cm-92
Allongement	T404cm-92
Éclatement	T403om-97
Déchirure	T414om-98

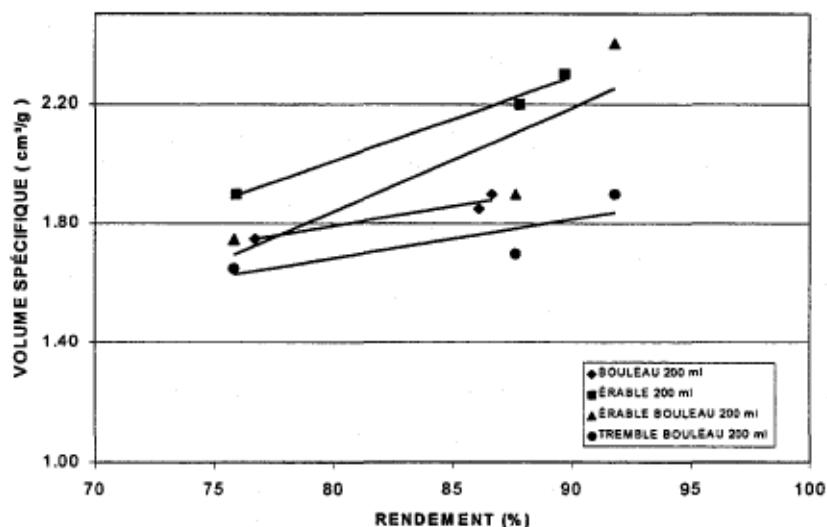
Ces propriétés ont été mesurées dans le sens machine (MD) et le sens travers (CD) et leur moyenne géométrique ( $\sqrt{MD * CD}$ ) a été calculée. Le facteur de roulement est défini comme :  $\sqrt{longueur de rupture (MD) * Déchirure (CD)}$

## Chapitre 3 : Résultats et discussions

### 3.1 Effet du rendement et de l'énergie de raffinage sur les propriétés physiques du papier

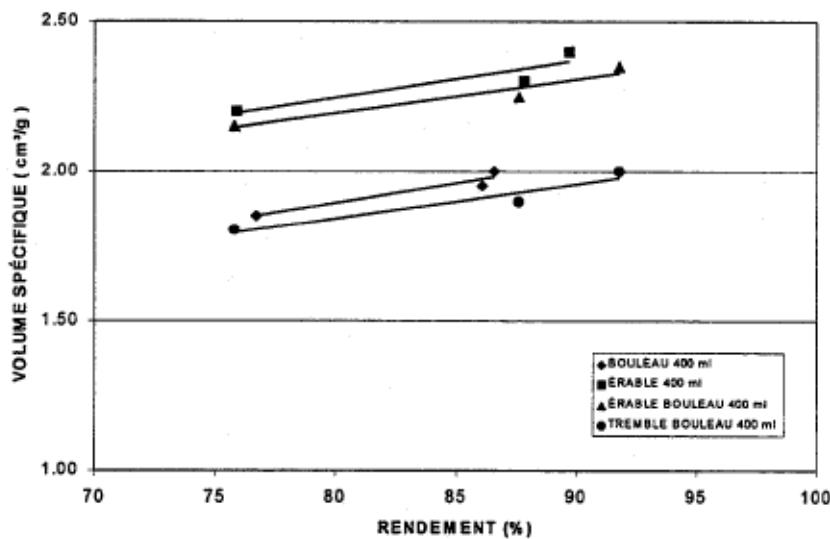
Les figures 3.1 à 3.18 représentent les différentes propriétés physiques en fonction du rendement à 200 et à 400 mL d'indice d'égouttage. Les valeurs des propriétés physiques à 85% de rendement et aux mêmes indices d'égouttages ont été reportées dans les tableaux 3.2 et 3.3.

#### 3.1.1 Propriétés structurales



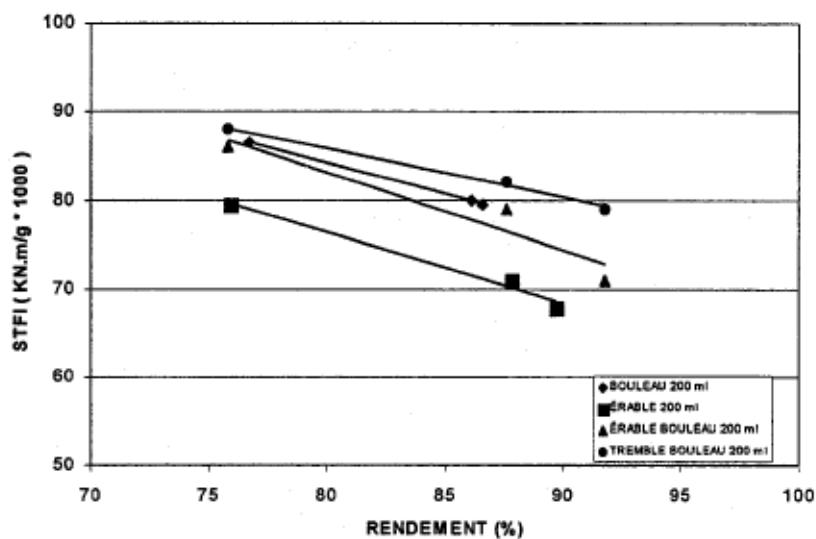
**Figure 3.1 Volume spécifique en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).**

On peut observer aux figures 3.1 et 3.2 que le volume spécifique augmente avec le rendement pour toutes les essences. Ceci est dû à l'épaisseur des fibres qui est plus grande lorsque le rendement est élevé car il y a moins de lignine dissoute. Le volume spécifique de l'érable est de 20 à 25% supérieur et de 5% supérieur pour le bouleau comparé au mélange tremble bouleau.

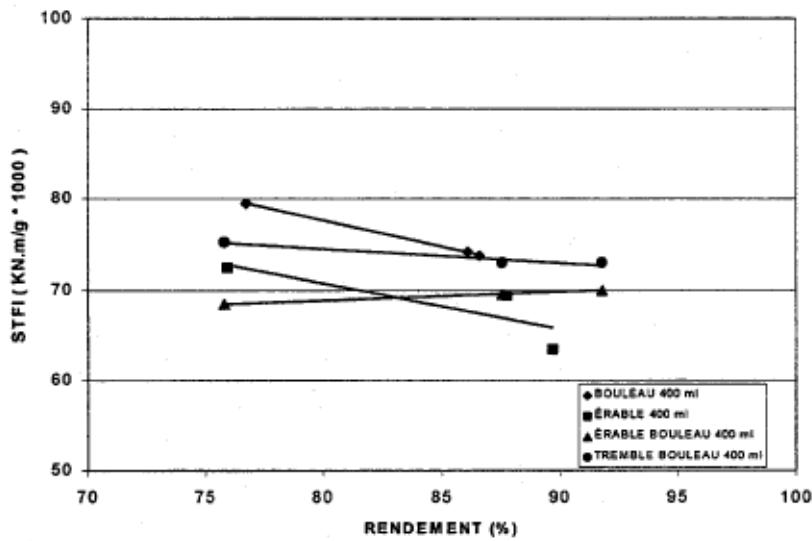


**Figure 3.2** Volume spécifique en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).

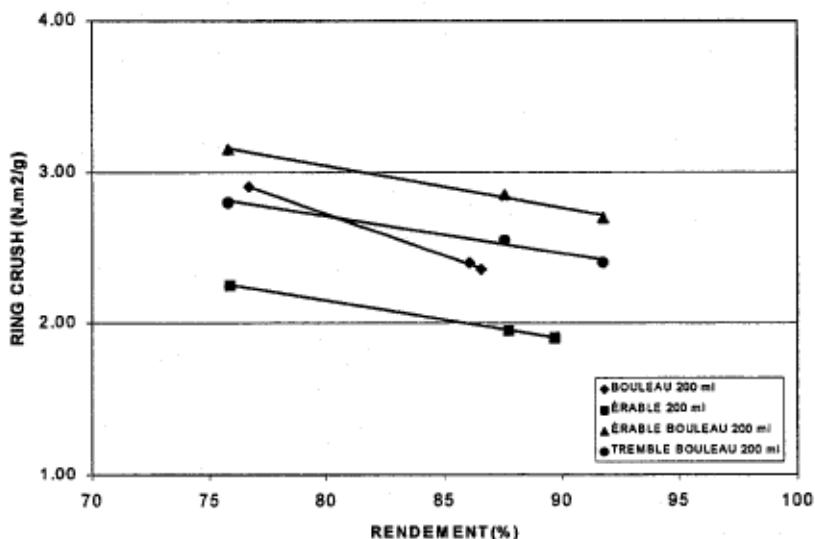
### 3.1.2 Propriétés en compression



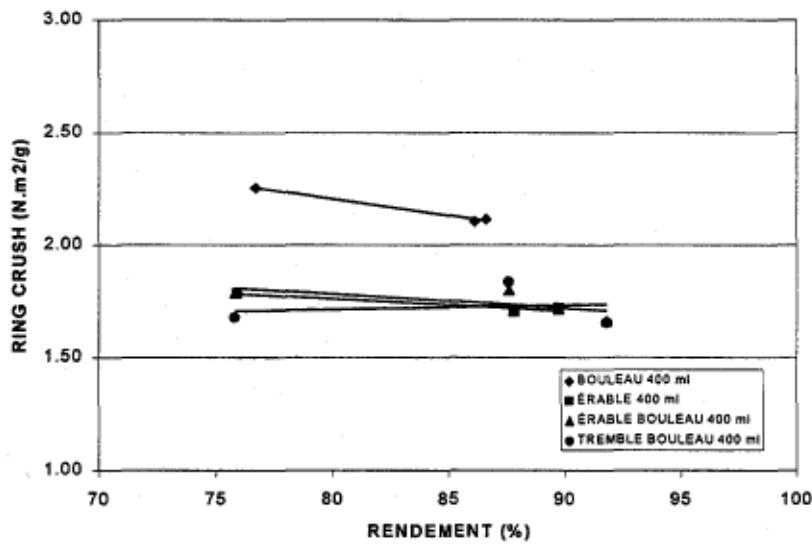
**Figure 3.3** STFI en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).



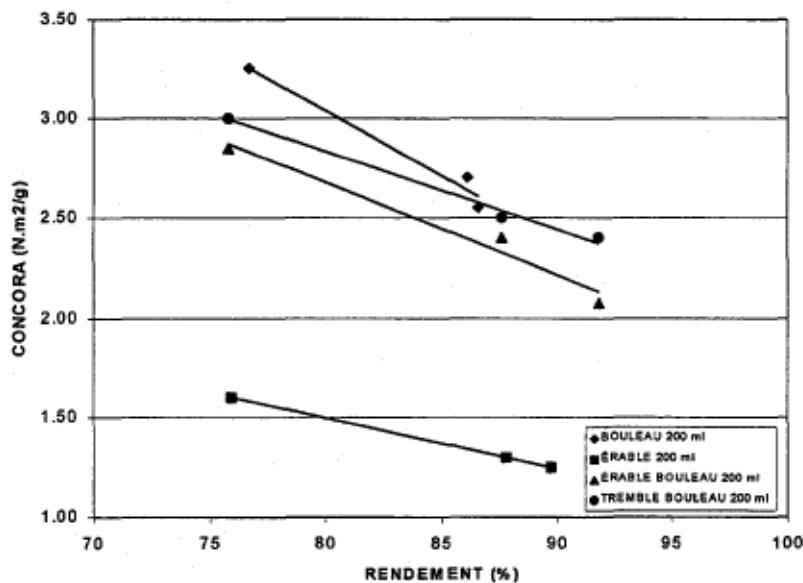
**Figure 3.4** STFI (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).



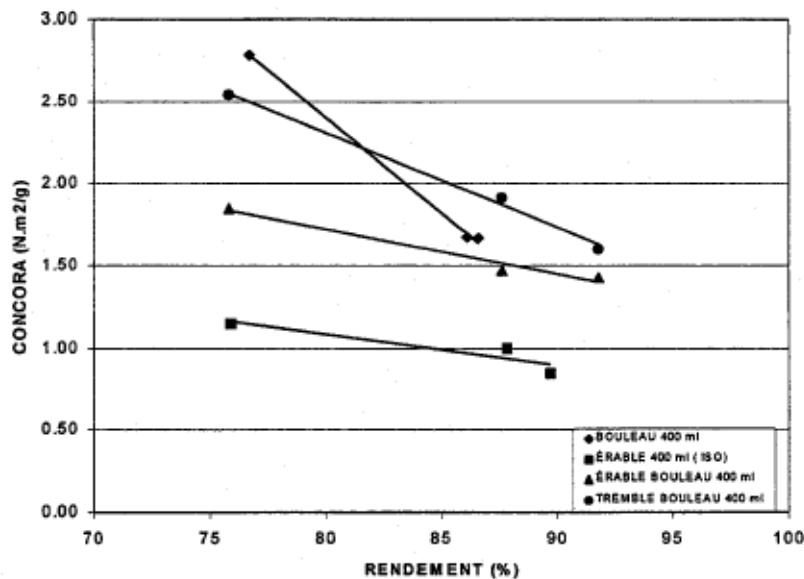
**Figure 3.5** Ring crush en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).



**Figure 3.6** Ring crush (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).



**Figure 3.7** Concora en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).

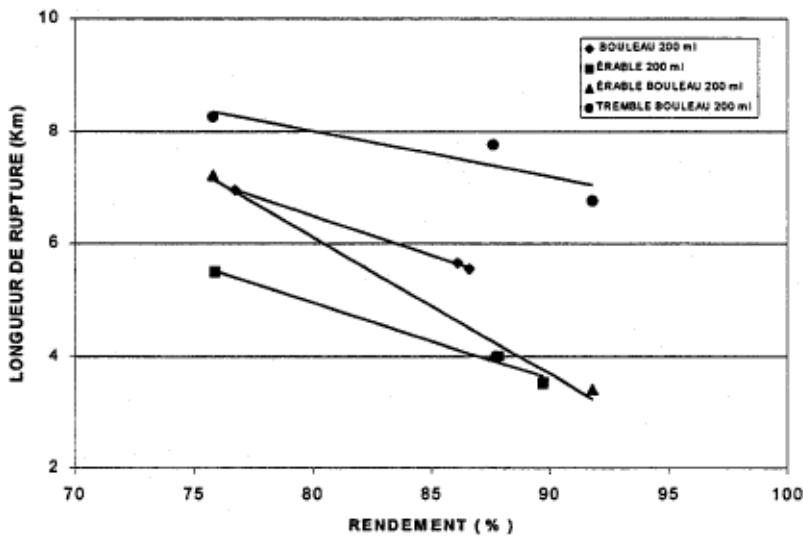


**Figure 3.8 Concora (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).**

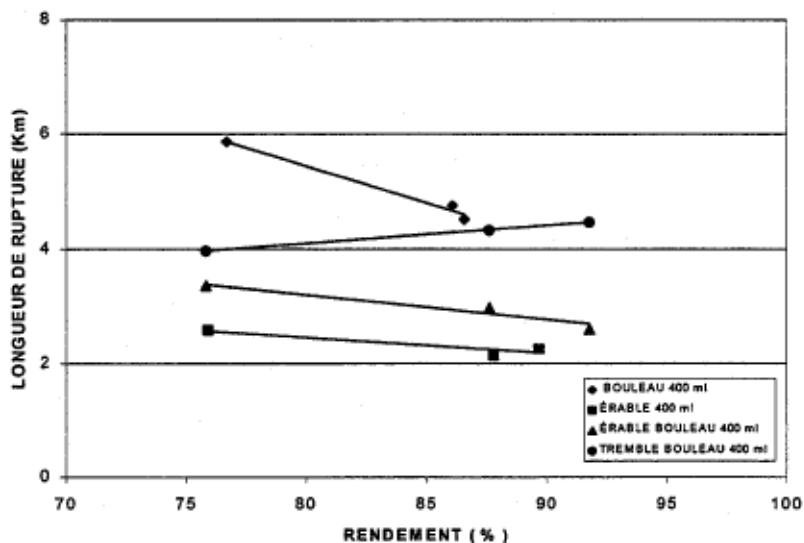
On peut observer d'une façon générale que toutes les propriétés en compression pour les quatre essences augmentent avec la baisse du rendement. Ceci est du à la flexibilité des fibres plus grande à un rendement plus bas qui augmente ainsi les chances de liaisons hydrogène entre les fibres et augmente aussi le RBA. Les propriétés en compression de l'érable sont les plus faibles des quatre essences. Le mélange tremble-bouleau présente les meilleures propriétés en compression par rapport aux trois autres essences.

Les propriétés de STFI et Ring Crush en compression sont de 10 à 15% inférieures pour l'érable comparées au mélange de tremble-bouleau alors que le Concora est inférieur de 50% environ. Les propriétés de STFI et de Ring Crush en compression sont de 0 à 25% supérieur pour le bouleau comparées au mélange de tremble bouleau. Le concora est inférieur de 10%.

### 3.1.3 Propriétés en tension



**Figure 3.9 Longueur de rupture en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).**



**Figure 3.10 Longueur de rupture (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).**

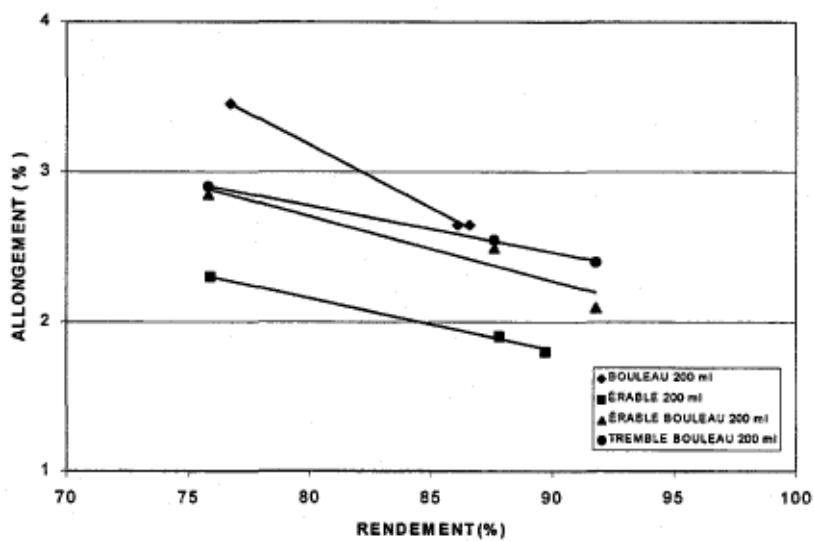


Figure 3.11 Allongement en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).

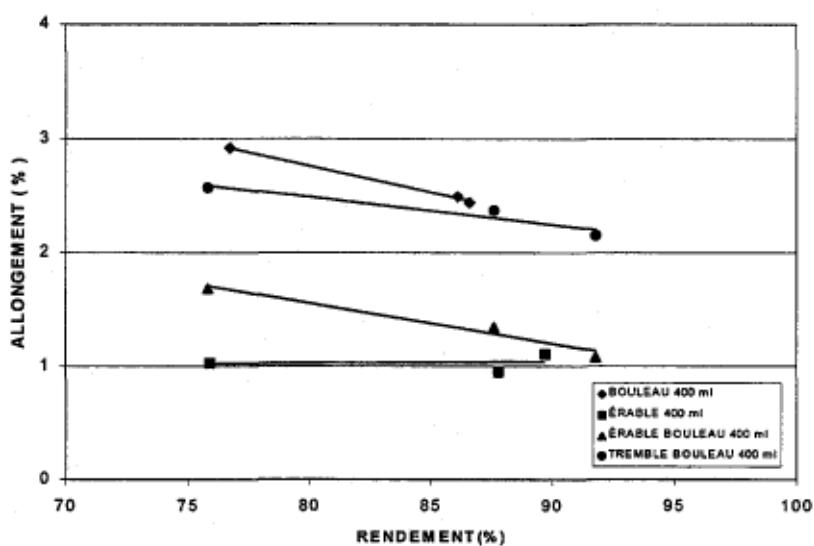
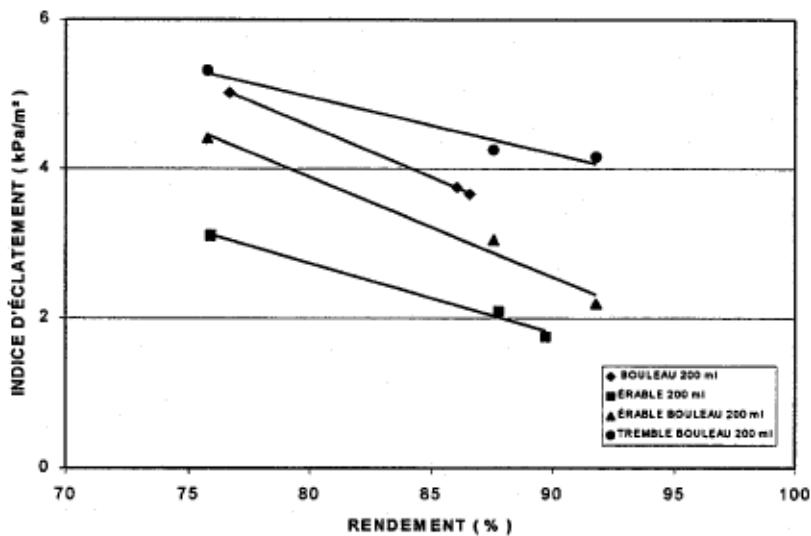
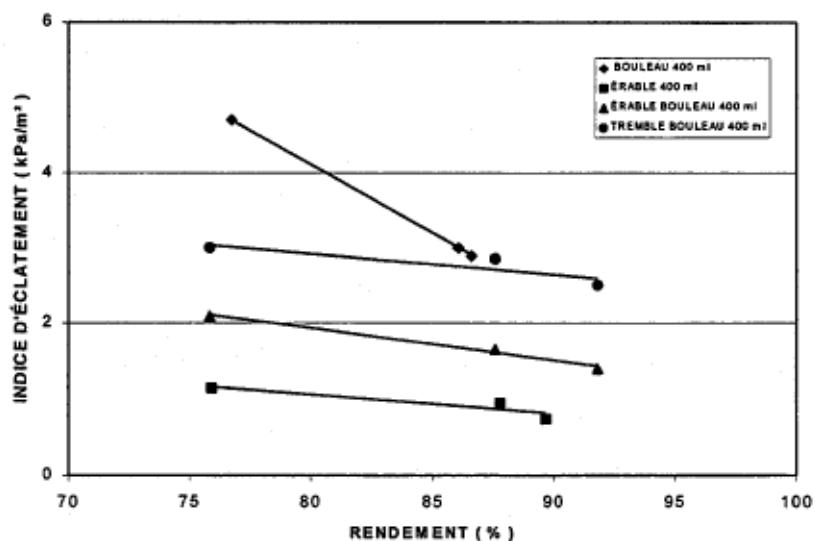


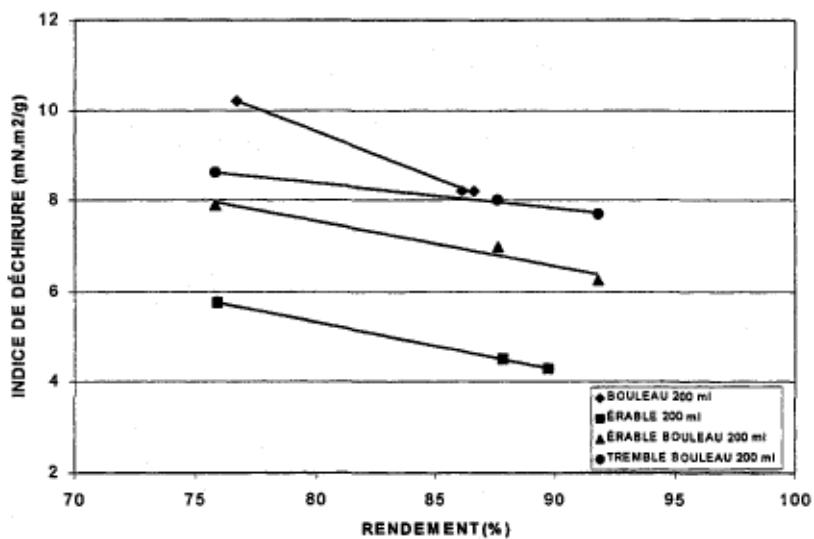
Figure 3.12 Allongement (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).



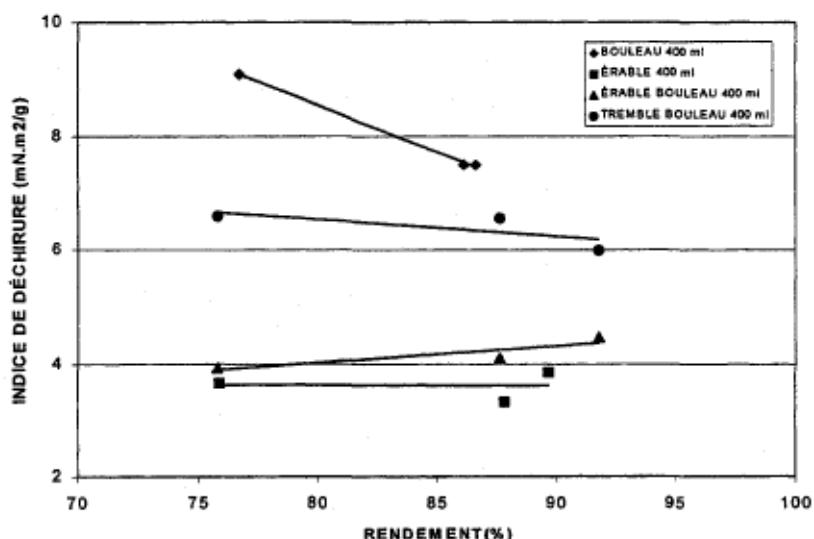
**Figure 3.13** Éclatement en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).



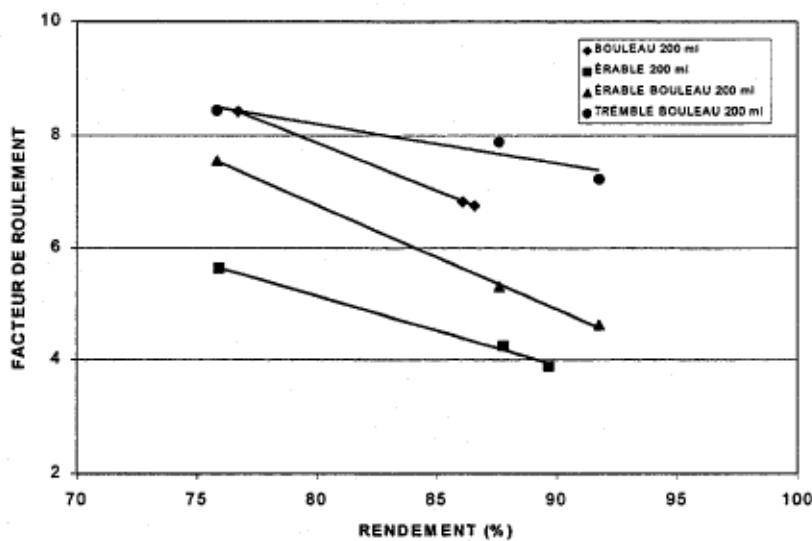
**Figure 3.14** Éclatement (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).



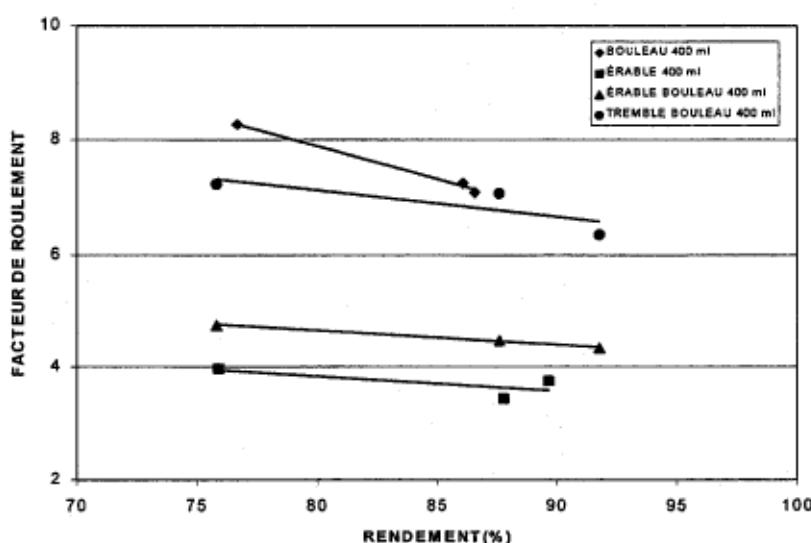
**Figure 3.15 Déchirure en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).**



**Figure 3.16 Déchirure (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).**



**Figure 3.17 Facteur de roulement en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 200 mL CSF).**



**Figure 3.18 Facteur de roulement (AVG) en fonction du rendement (Valeurs extrapolées à 400 mL CSF).**

Ces résultats démontrent que

- Les propriétés en tension pour l'érable sont de l'ordre de 40% à 60% inférieures comparées au mélange tremble- bouleau.
- Les propriétés en tension pour le bouleau sont de 5-15% supérieures pour le bouleau à haut CSF alors qu'à plus bas CSF la longueur de rupture, l'éclatement et le facteur de roulement sont inférieurs de 10-20%. Toutefois on observe une meilleure déchirure avec le bouleau du au fait que les fibres de tremble sont plus courtes que celle du bouleau.

Ces résultats sont cohérents avec les qualités des pâtes soient

- La longueur des fibres d'érable est de 40% inférieure au mélange tremble bouleau
- La longueur des fibres du bouleau est 15% supérieure comparée au mélange tremble bouleau.

**Tableau 3.2 Propriétés des pâtes semi-chimiques à 400 et 200 mL de CSF et 85% de rendement**

Essences	Érable, %				Bouleau, %				Tremble-Bouleau, %	
Conditions de mise en pâtes										
Rendement (%)	85		85		85		85		85	85
Énergie Spécifique (kWh/t)	357	28%	600	41%	515	84%	900	112%	280	425
Qualité des pâtes										
CSF (mL)	400	-	200	-	400	-	200	-	400	200
Bûchettes (%)			-				-		3,5	-
Longueur fibres (mm)	0,65	-40%	0,55	-42%	1,25	-16%	1,10	-16%	1,08	0,95
Vol. Spécifique (cm <sup>3</sup> /g)	2,30	+24%	2,15	+19%	1,95	+5%	1,90	+6%	1,85	1,80
Qualité des cartons en compressions										
STFI (MD) (KNm/g)	70,5	-6%	-	-	76,0	-1%	-	-	75,0	-
STFI (CD) (KNm/g)	65,5	-9%	-	-	73,5	+2%	-	-	72,0	-
STFI (AVG) (KNm/g)	68,0	-8%	72,5	-14 %	74,7	+1,6%	80,5	-4%	73,5	84,0
Ring Crush (MD) (Nm <sup>2</sup> /g)	2,15	-7,5%	-	-	2,4	+20%	-	-	2,0	-
Ring Crush (CD) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,45	0%	-	-	1,9	+31%	-	-	1,45	-
Ring Crush (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,77	-4 %	2,25	-17 %	2,15	+27%	2,45	-10%	1,7	2,7
Concora (MD) (Nm <sup>2</sup> /g)	-	-	-	-	2,0	-13%	-	-	2,3	-
Concora (CD) (Nm <sup>2</sup> /g)	-	-	-	-	1,65	-6%	-	-	1,75	-
Concora (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,05	-48%	1,34	-49%	1,82	-9%	2,75	-4 %	2,0	2,65
Qualité des cartons pour opérations de conversions (Tensions)										
L. Rupture (MD) (km)	3,25	-51%	-	-	6,5	-1,5%	-	-	6,6	-
L. Rupture (CD) (km)	1,65	-61%	-	-	3,5	+27%	-	-	2,75	-
L. Rupture (AVG) (km)	2,32	-56%	4,25	-39%	4,8	+13%	5,75	-18 %	4,25	7,0
Allongement (MD) (%)	0,8	-73%	-	-	2,25	-25%	-	-	3,0	-
Allongement (CD) (%)	1,35	-36%	-	-	2,8	+33%	-	-	2,1	-
Allongement (AVG) (%)	1,04	-58%	2,0	-23%	2,5	0%	2,75	+10%	2,5	2,6
Éclatement (kPa/m <sup>2</sup> )	1,0	-64%	2,25	-53%	3,2	+14%	3,85	-20%	2,8	4,8
Déchirure (MD) (mN.m <sup>2</sup> /g)	3,1	-56%	-	-	7,1	0%	-	-	7,1	-
Déchirure (CD) (mN.m <sup>2</sup> /g)	4,1	-28%	-	-	8,3	+46%	-	-	5,7	-
Déchirure (AVG) (mN.m <sup>2</sup> /g)	3,57	-44%	4,85	-40%	7,7	+20%	8,4	+4%	6,4	8,1
Facteur de roulement	3,65	-48%	4,5	-43%	7,4	+6%	7,0	-11%	7,0	7,9

**Tableau 3.3 Propriétés des pâtes semi-chimiques à 400 mL et 85% de rendement**

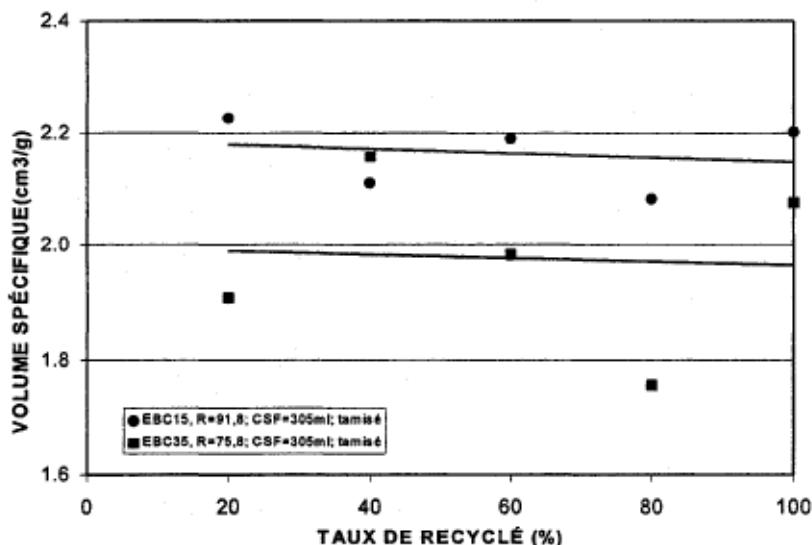
Essences	Érable, %	Bouleau, %	Mélange de pâtes (50:50), %	Tremble bouleau, %
Conditions de mise en pâtes				
Rendement (%)	85	85	85	- 85
Énergie Spécifique (kWh/t)	357	515	436	56% 280
Qualité des pâtes				
CSF (mL)	400	400	400	- 400
Bûchettes (%)	-	-		-
Longueur fibres (mm)	0,65	1,25	0,95	-12% 1,08
Vol. Spécifique (cm <sup>3</sup> /g)	2,30	1,95	2,13	+15% 1,85
Qualité des cartons en compressions				
STFI (AVG) (kNm/g)	68,0	74,7	71,35	-3% 73,5
Ring Crush (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,77	2,15	1,96	15% 1,7
Concora (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,05	1,82	1,44	-28% 2,0
Qualité des cartons pour opérations de conversions (Tensions)				
L. Rupture (AVG) (km)	2,32	4,8	3,56	-16% 4,25
Allongement (AVG) (%)	1,04	2,5	1,77	-29% 2,5
Éclatement (kPa/m <sup>2</sup> )	1,0	3,2	2,1	-25% 2,8
Déchirure (AVG) (mN.m <sup>2</sup> /g)	3,57	7,7	5,64	-12% 6,4
Facteur de roulement	2,88	6,08	4,48	-14% 5,22

### 3.2 Effet de la composition du mélange de fibres

Le papier cannelure est fabriqué à partir de pâte semi-chimique et de pâte recyclée à un taux généralement de 20 à 25%. En Europe et aux États-Unis on produit ce même papier avec du 100% recyclé. Les graphiques qui suivent montrent

l'effet du taux de chacune de ces pâtes dans le mélange sur les propriétés physiques.

### 3.2.1 Propriétés structurales

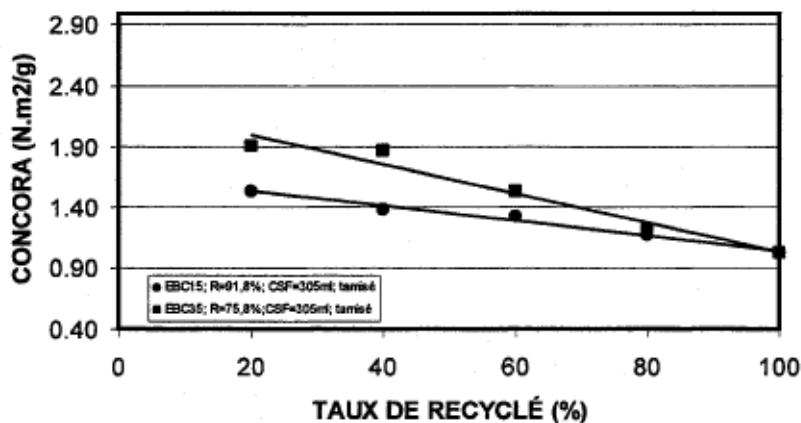


**Figure 3.19 Effets des fibres recyclées sur le volume spécifique**

Le volume spécifique (figure 3.19) n'est pas influencé significativement par une variation du taux des fibres recyclées de 20 à 100%. Le volume spécifique de la pâte EBC15 est cependant plus élevé que celui de la pâte EBC35. En effet, le premier a un rendement plus haut que le deuxième.

### 3.2.2 Propriétés en compression

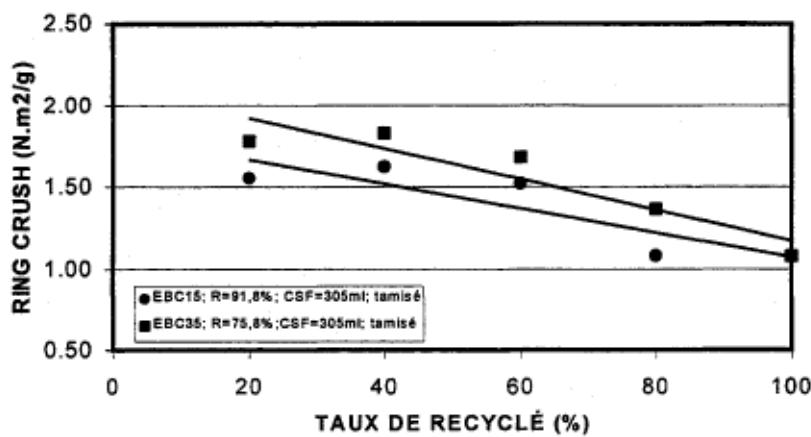
Sur la figure 3.20, le concora baisse d'environ 34% pour le mélange EBC15 et de 47% pour le mélange EBC35 quand le taux de recyclé varie de 20 à 100%, avec l'ajout de fibres recyclées, ceci est du principalement aux faibles propriétés physiques de ces dernières.



**Figure 3.20 Effet des fibres recyclées sur le Concora**

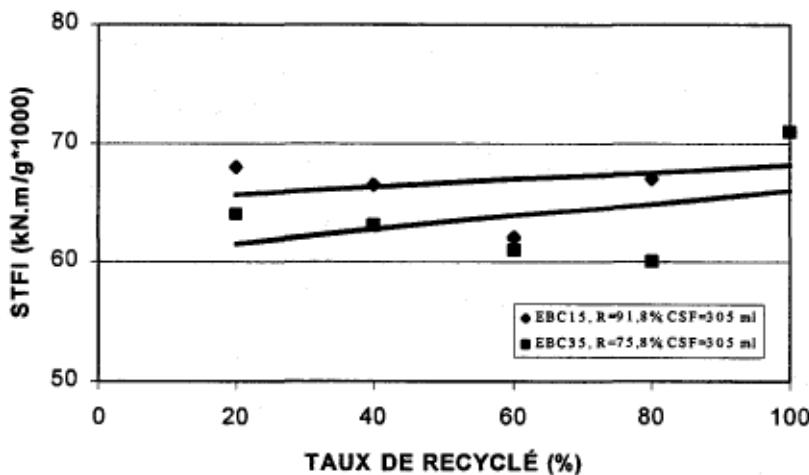
Le concora de la pâte EBC15 est plus faible que EBC35, ceci est du au fait qu'à bas rendement, les fibres sont plus flexibles, elles ont donc une surface de contact plus grande ce qui résulte en une plus grande force.

On voit aussi que les fibres recyclées ont plus d'effets sur la pâte EBC35 que sur la pâte EBC15. En effet, il y existe une plus grande différence dans la longueur des fibres entre la pâte EBC35 et la pâte recyclée qu'entre la pâte EBC15 et la pâte recyclée.



**Figure 3.21 Effet des fibres recyclées sur le ring crush**

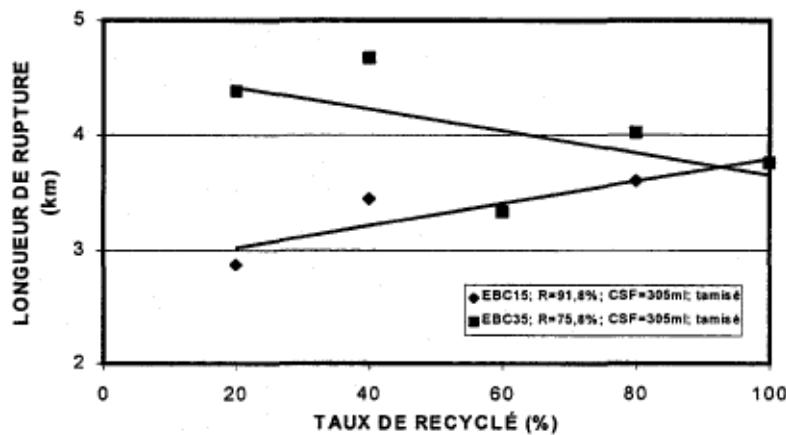
Le ring crush se comporte de la même façon que le concora. En effet, cette propriété baisse de 32% pour le mélange EBC15 et de 35% pour le mélange EBC35 quand le taux de recyclé varie de 20 à 100%.



**Figure 3.22 Effet des fibres recyclées sur le STFI**

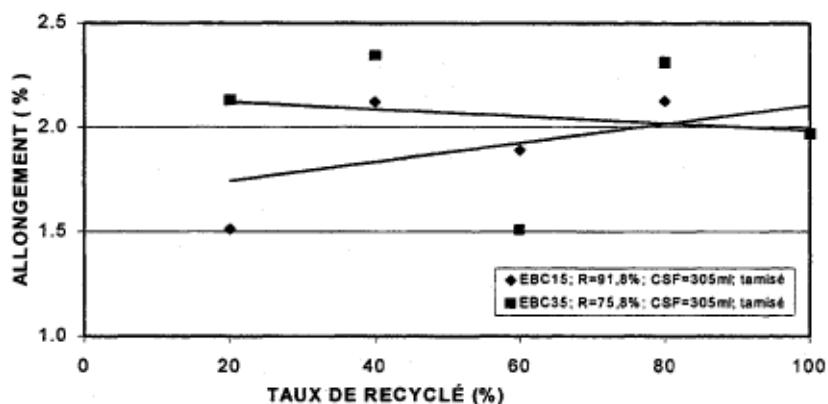
En général, le STFI augmente légèrement avec l'ajout des fibres recyclées, ceci peut être dû au taux de fines élevé dans le recyclé.

### 3.2.3 Propriétés en tension



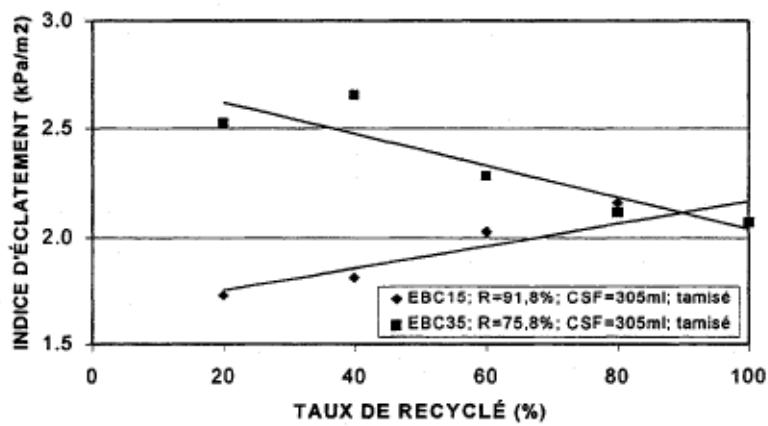
**Figure 3.23 Effet des fibres recyclées sur la longueur de rupture**

Les fibres recyclées ont un effet contraire sur les deux pâtes. En effet, pour la pâte EBC35, la longueur de rupture diminue de 23% avec l'ajout de fibres recyclées de 20 à 100%, tandis que pour la pâte EBC15 la longueur de rupture augmente de 16% avec l'ajout de fibres recyclées de 20 à 100%. Les propriétés en tension de la pâte EBC15 sont plus faibles que le recyclé, ceci est dû au fait que les fibres de ce mélange sont plus courtes que celles du recyclé.



**Figure 3.24 Effet des fibres recyclées sur l'allongement**

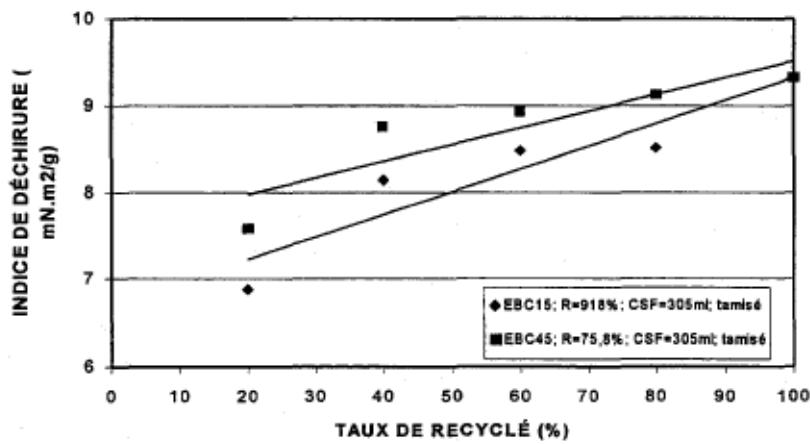
L'allongement augmente de 23% pour le mélange EBC15 et diminue de 9% quand le taux de recyclé varie de 20 à 100%.



**Figure 3.25 Effet des fibres recyclées sur l'indice d'éclatement.**

L'indice d'éclatement se comporte de la même façon que l'allongement et la longueur de rupture, en effet, il augmente de 20% pour le mélange EBC15 et diminue de 23% pour le mélange EBC35 lorsque le taux d'addition du recyclé varie de 20 à 100%.

L'indice de déchirure augmente de 34% pour le mélange EBC15 et de 18% pour le mélange EBC35 avec un taux d'addition de fibres recyclées variant de 20 à 100%, ceci est du à l'augmentation du taux de fines au fur et à mesure que le recyclé est ajouté. La pâte EBC35 a un indice de déchirure plus haut que la pâte EBC15, en effet, le mélange EBC35 a un rendement plus bas que le mélange EBC15. Ce comportement s'applique alors dans le cas des propriétés en tension. La pâte EBC15 est plus sensible à la variation du taux de recyclé que EBC35.



**Figure 3.26 Effet des fibres recyclées sur l'indice de déchirure**

### 3.3 Effet du Pressage humide

Le pressage humide permet de modifier les propriétés physiques du papier avec de faibles apports énergétiques. Les applications industrielles permettant de varier de manière appréciable le pressage humide sont les presses à pinces, les presses jumbo et les presses à sabots allongée. L'effet du pressage humide sur les propriétés des papiers cannelures fut investigué sur deux types de mélanges à savoir le mélange tremble-bouleau et le mélange érable-bouleau.

#### 3.3.1 Les propriétés structurales

La figure 3.27 suivant montre la variation du volume spécifique en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide pour trois pâtes.

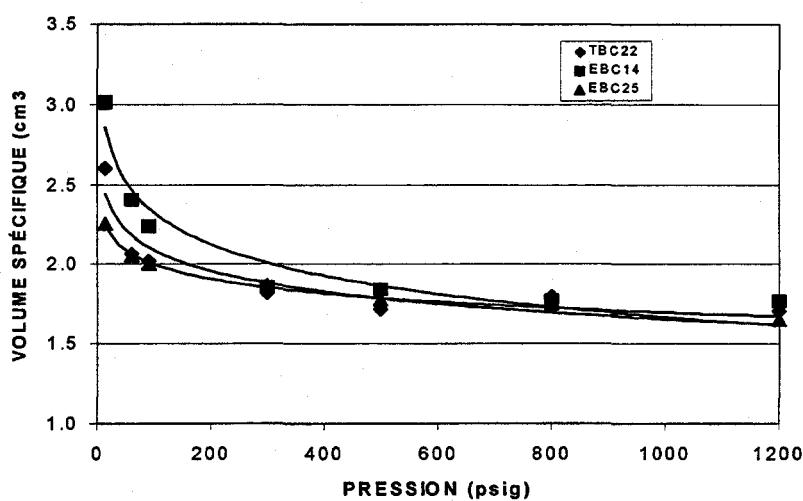


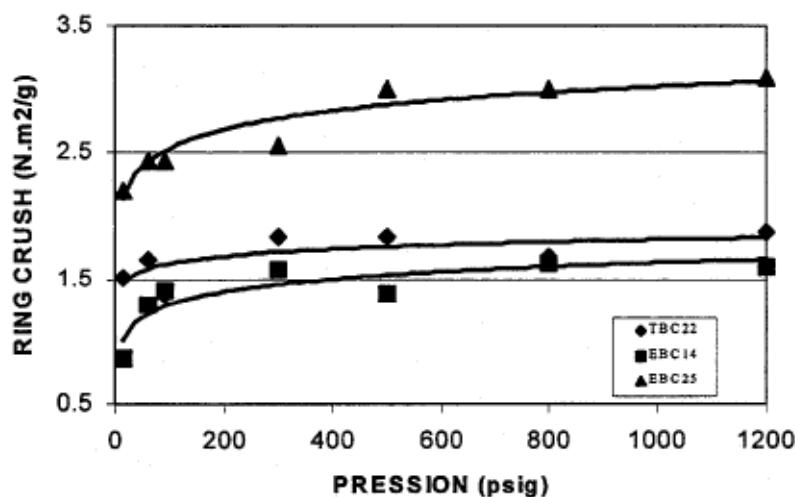
Figure 3.27 Volume spécifique en fonction de la pression

On voit que le volume spécifique baisse de 17% pour le mélange TBC22, de 23% pour le mélange EBC14 et de 17% pour le mélange EBC25. avec le pressage, il atteint un plateau lorsqu'il ne reste que les matières solides et que tout l'air a été enlevé, le mélange EBC14 (rendement 91,8% et CSF de 360 mL) a un volume spécifique plus haut que EBC25 (rendement de 87,6% et CSF de 295 mL) car ce dernier a un rendement plus bas et donc les fibres contiennent moins

de lignine et sont plus flexibles . Le mélange de tremble et de bouleau TBC22 (rendement de 87,6% et CSF de 436 mL) a un volume spécifique plus faible que le mélange bouleau-érable, ceci est du au bouffant qu'a la feuille d'érable par rapport au bouleau et au tremble.

### 3.3.2 Les propriétés en compression

Le graphique suivant montre la variation du ring crush en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide pour trois pâtes.



**Figure 3.28 Variation du ring crush en fonction de la pression**

On voit que le ring crush augmente de 12% pour le mélange TBC22, de 20% pour le mélange EBC14 et de 19% pour le mélange EBC25 quand la pression augmente de 60 à 1200 psi. Le mélange EBC25 a un ring crush plus haut que le mélange TBC22 et EBC14. En effet, en pressant, les fibres sont mises en contact plus intime, on augmente alors la surface de contact (RBA), ce qui encourage les liaisons hydrogènes entre les fibres et augmente ainsi leurs propriétés physiques.

La figure 3.29 montre la variation du Concora en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide pour trois pâtes.

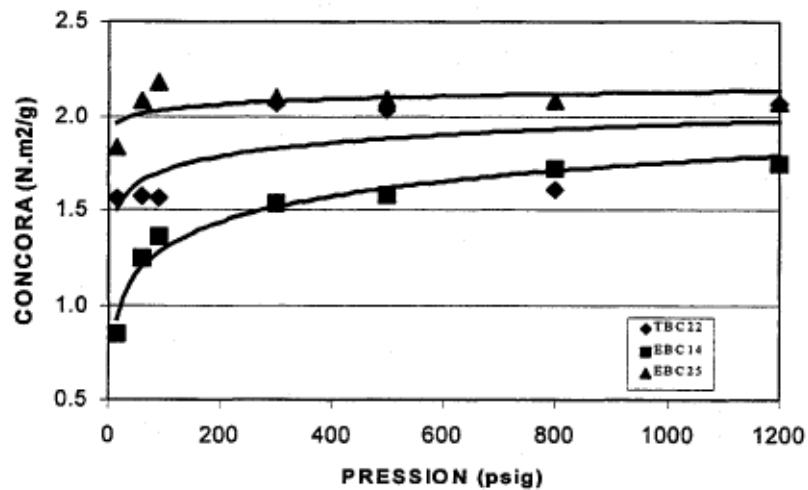


Figure 3.29 variation du concora en fonction de la pression

De la même façon que le ring crush, le concora augmente avec le pressage, les taux d'augmentation sont de 24% pour le mélange TBC22, de 27% pour le mélange EBC14 et de 20% pour le mélange EBC25 quand la pression varie de 60 à 1200 psi.

La figure 3.30 décrit le STFI en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide.

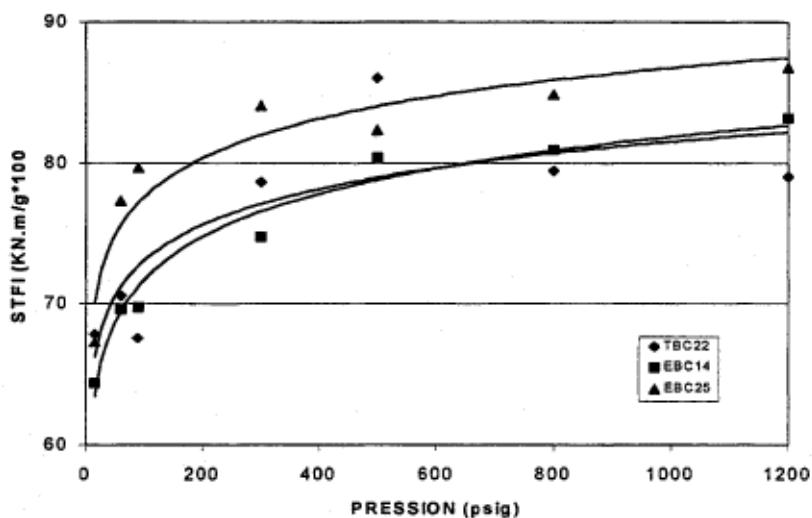


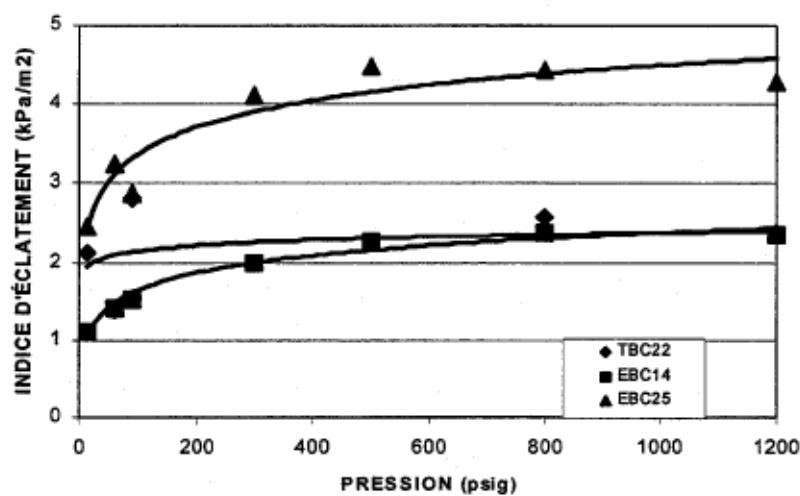
Figure 3.30 Le STFI en fonction de la pression appliquée

On voit que le STFI augmente de 13% pour le mélange TBC22, de 14% pour le mélange EBC14, de 10% pour le mélange EBC25 quand la pression appliquée varie de 60 à 1200 psig. Le STFI augmente rapidement au début mais plus lentement à partir de 500 psig environ.

On peut voir aussi que le pressage a plus d'effet sur le mélange TBC22 et EBC14 que sur le mélange EBC25, ceci peut être attribué au fait que les fibres de EBC25 sont plus minces et plus aplatis avant de commencer le pressage humide.

Pour les mêmes raisons citées précédemment le mélange EBC25 a un plus haut STFI que les deux autres mélanges.

### 3.3.3 Les propriétés en tension

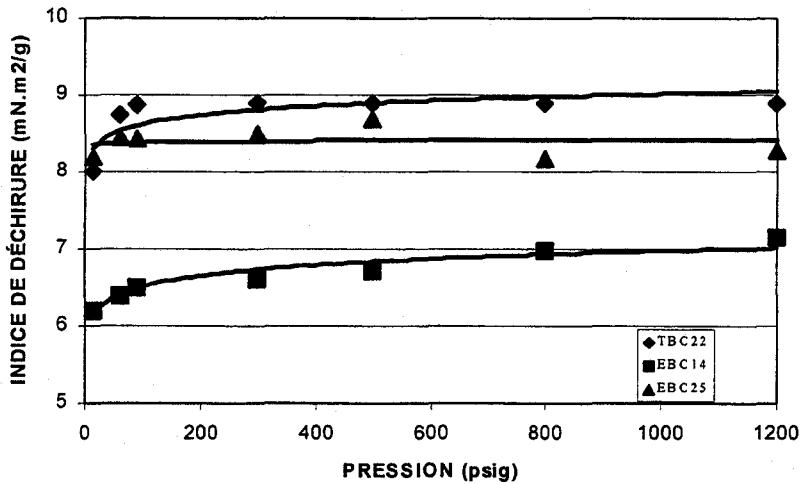


**Figure 3.31 L'indice d'éclatement en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide**

L'indice d'éclatement augmente de 18% pour le mélange TBC22, de 40% pour le mélange EBC14 et de 30% pour le mélange EBC25 lorsque la pression appliquée varie de 60 à 1200 psi. Il atteint un plateau aux hautes pressions.

Le mélange EBC14 est plus sensible au pressage que le mélange EBC25, ceci est dû à la différence de rendement. En effet, les fibres du EBC25 sont plus flexibles

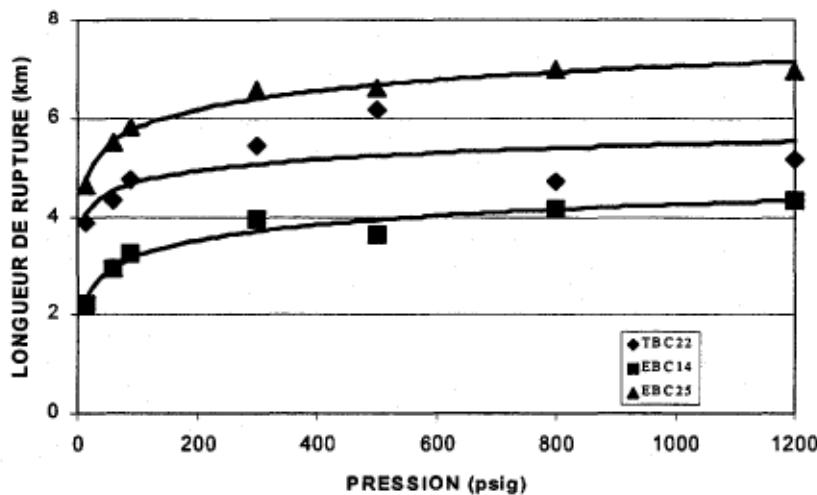
et plus aplatis que celles du mélange EBC14 qui elles, vont être aplatis grâce au pressage.



**Figure 3.32 Indice de déchirure en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide**

On voit une augmentation de l'indice de déchirure de 1,6% pour le mélange TBC22, de 9% pour le mélange EBC14 et de 2% pour le mélange EBC25 avec la variation de la pression appliquée de 60 à 1200 psig.

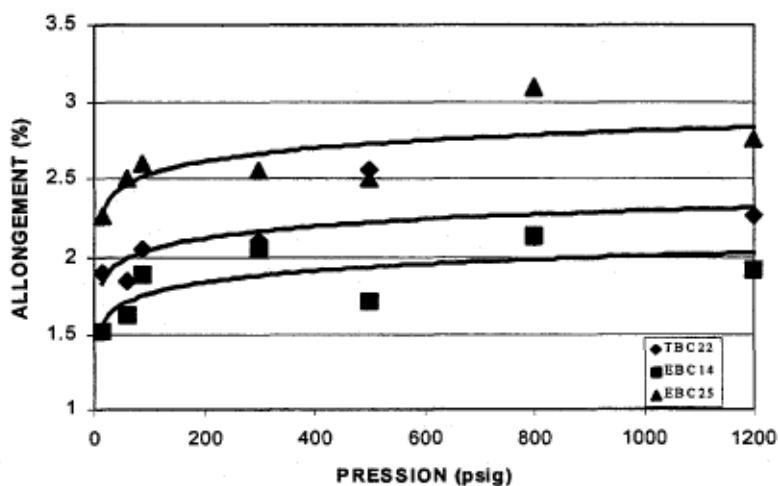
Par rapport aux autres propriétés on peut dire que l'indice de déchirure est le moins affecté par le pressage humide. Néanmoins, le mélange EBC14 est le plus sensible au pressage humide, il a aussi le plus faible indice de déchirure par rapport aux deux autres mélanges.



**Figure 3.33 Longueur de rupture en fonction de la pression appliquée lors du pressage humide**

En général, la longueur de rupture augmente de 17% pour le mélange TBC22, de 29% pour le mélange EBC14, de 21% pour le mélange EBC25 pour une pression appliquée variant de 60 à 1200 psi, le mélange EBC14 présente la plus basse longueur de rupture alors que le mélange EBC25 présente la plus haute.

Pour les mêmes raisons citées précédemment, le mélange EBC14 est le plus influencé par le pressage humide et le TBC22 le moins sensible à ce dernier.



**Figure 3.34 Effet de la pression appliquée lors du pressage humide sur l'allongement**

Comme pour la longueur de rupture, l'allongement augmente de 20% pour le mélange TBC22, de 19% pour le mélange EBC14 et de 15% pour le mélange EBC25 avec l'augmentation de la pression appliquée de 60 à 1200 psi.

### 3.4 Effet de l'encollage

Il existe une panoplie de presses encolleuses qui mettent en application l'encollage du papier. L'amidon est un agent d'encollage de choix du fait de son abondance et de son faible coûts, de plus il permet d'améliorer les propriétés physiques de façons appréciables. Les résultats suivants montrent l'effet de l'encollage à l'amidon pour différents types d'amidons de cationicités différentes sur les propriétés physiques du papier cannelure.

#### 3.4.1 Propriétés structurales

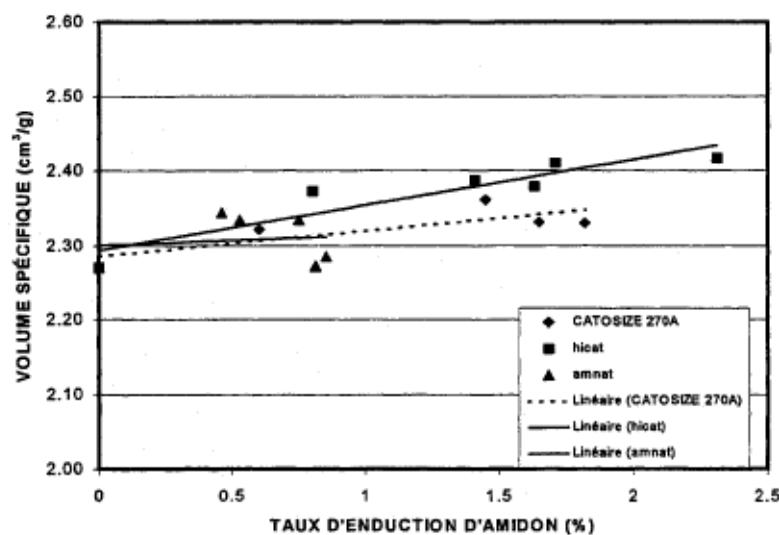
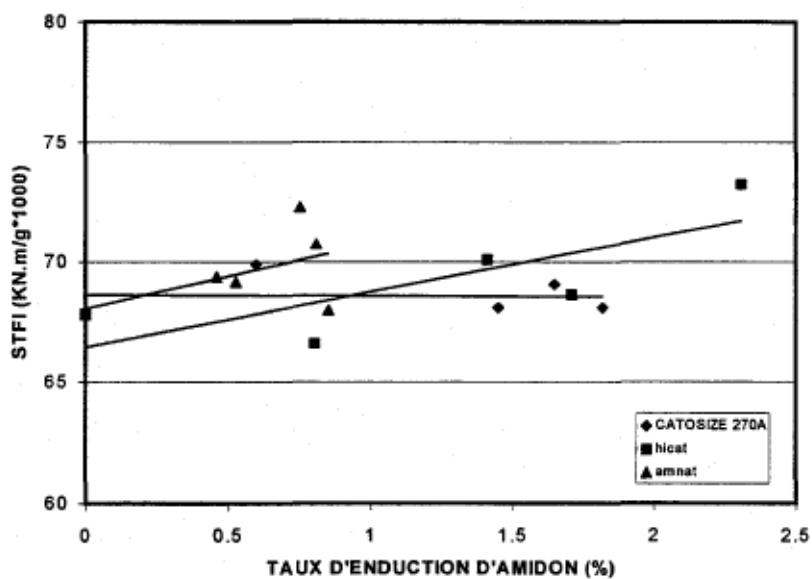


Figure 3.35 Effet de l'encollage à l'amidon sur le volume spécifique

varie de 0 à 1,8% et de 2,4% respectivement, ceci est dû à l'augmentation de la masse de la feuille suite à l'ajout d'une couche d'amidon. L'amidon natif ne subit aucune augmentation du volume spécifique, à cause que le taux d'enduction maximal était moins de 1%.

### 3.3.2 Propriétés en compression

En général, le STFI augmente de 4% pour l'amidon AMNAT, de 1,75% pour le CATO et de 7,5% pour le HICAT quand le taux d'enduction varie respectivement de 0 à 0,8%, 1,9% et de 2,4%. Cette augmentation est d'autant plus marquée pour l'amidon Hicat.



**Figure 3.36 Effet de l'encollage à l'amidon sur le STFI**

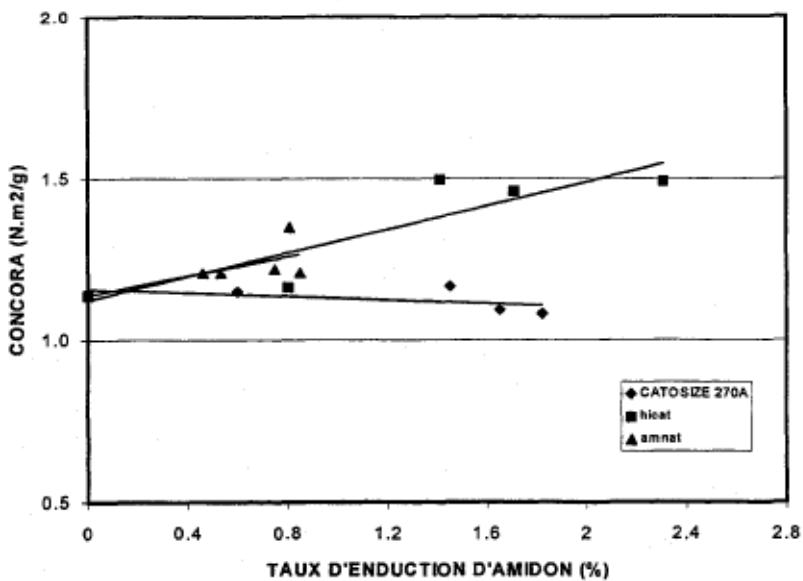


Figure 3.37 Effet de l'encollage à l'amidon sur le concora

On note que le concora augmente de 8% pour l'amidon AMNAT et de 20% pour le HICAT pour des variations de taux d'enduction de 0 à 0,9% et 2,4% respectivement. Dans le cas de l'amidon Cato size, on ne voit aucune influence du taux d'enduction sur le Concora.

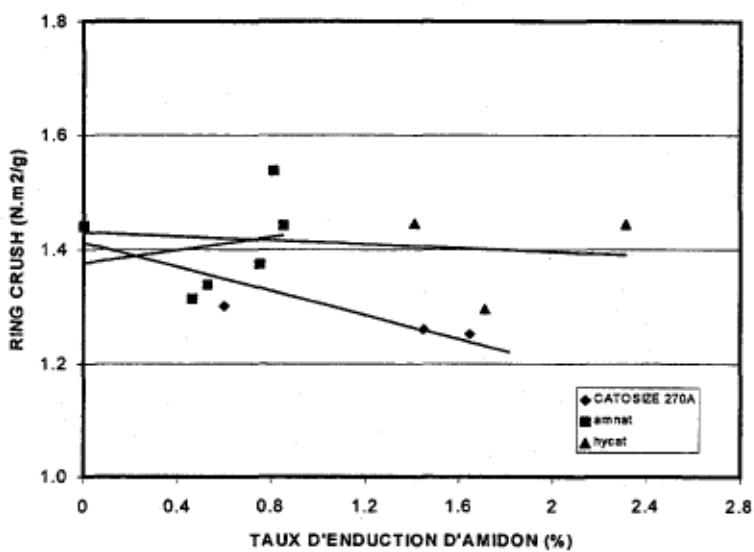
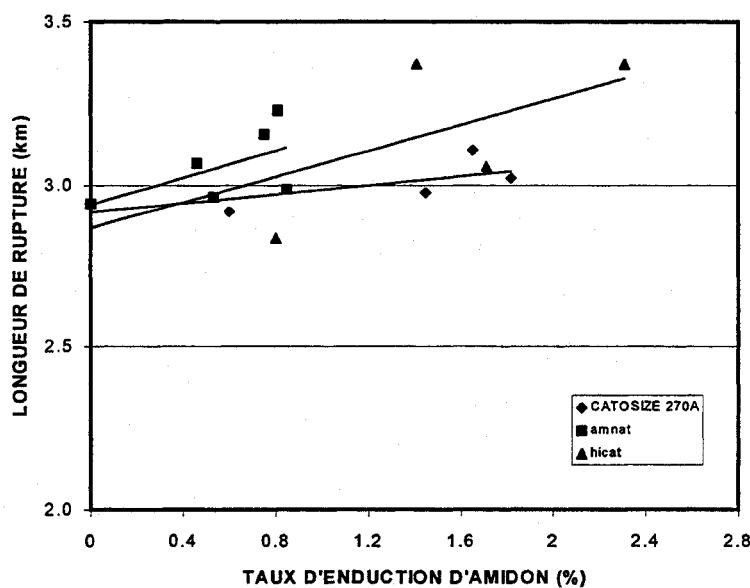


Figure 3.38 Effet de l'encollage à l'amidon sur le ring crush

On note une augmentation de Ring crush de 3,5% quand le taux d'enduction varie de 0 à 0,9% pour l'amidon AMNAT, aucune augmentation dans le cas de Hicat mais par contre on note une baisse de 12% lors d'une variation du taux d'addition de 0 à 1.8% dans le cas de l'amidon Cato size.

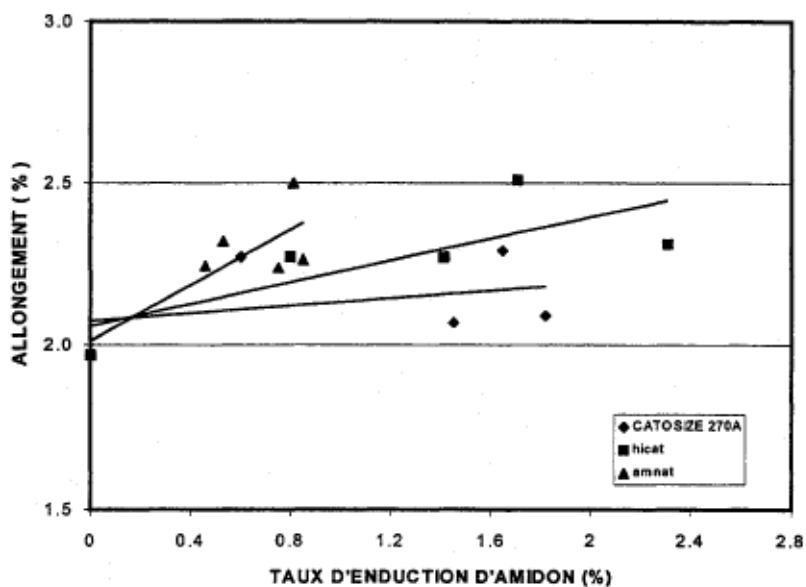
### 3.3.3 Propriétés en tension

Comme dans le cas de l'allongement, la longueur de rupture augmente avec le taux d'enduction pour les trois amidons. On note une augmentation de 9% pour le Amnat, de 6% pour le Cato et de 14% pour le Hicat quand le taux d'enduction varie respectivement de 0 à 0,8%, 1,9% et de 2,4%. On voit que les deux amidons natif et Hicat permettent une grande augmentation de l'allongement.



**Figure 3.40 Effet de l'encollage à l'amidon sur la longueur de rupture**

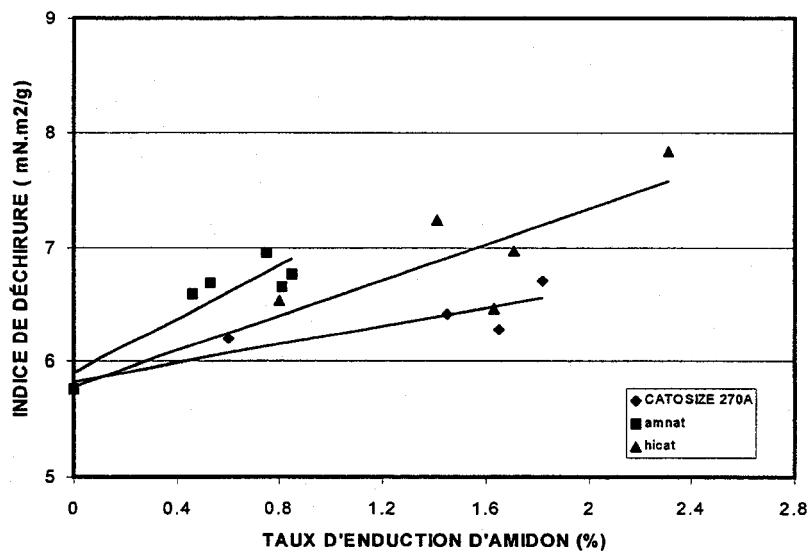
En général, l'allongement augmente avec le taux d'enduction, cette augmentation est de 22% pour l'amidon Amnat, de 7.6% pour le Cato et de 22% pour le Hicat quand le taux d'enduction varie respectivement de 0 à 0,8%, 1,9% et de 2,4%. On voit que les deux amidons natif et Hicat permettent une grande augmentation de l'allongement.



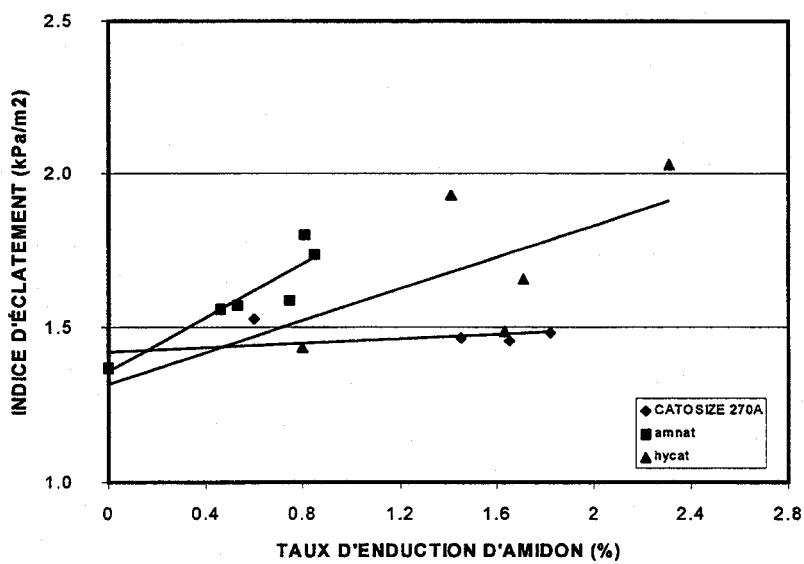
**Figure 3.39 Effet de l'encollage à l'amidon sur l'allongement**

La déchirure augmente de 21% pour le Amnat, de 16% pour le Cato et de 36% pour le Hicat avec l'augmentation du taux d'enduction respectivement de 0 à 0,8%, 1,9% et à 2,4%.

Comme dans le cas de la déchirure, on remarque une augmentation de l'indice d'éclatement de 27% pour Amant, de 8% pour Cato et de 48% pour Hicat avec l'augmentation du taux d'enduction respectivement de 0 à 0,8%, 1,9% et à 2,4%. L'amidon Hicat présente la plus haute augmentation de l'indice d'éclatement.



**Figure 3.41** Effet de l'encollage à l'amidon sur la déchirure



**Figure 3.42** Effet de l'encollage à l'amidon sur l'indice d'éclatement

## Chapitre 4 : Étude technico-économique

### 4.1 Analyse des réponses de surfaces

Suite à cette première analyse nous avons effectué une régression des résultats à l'aide du logiciel STATGRAPHICS afin de déterminer les conditions optimales de mise en pâte. Avec cette approche les variables dépendantes sont reliées aux qualités des papiers cannelure à l'aide d'une équation de type

$$P_i(R, E) = C_1 + C_2(R) + C_3(R^2) + C_4(E \cdot R) + C_5(E) + C_6(E^2) \quad (\text{équation 2})$$

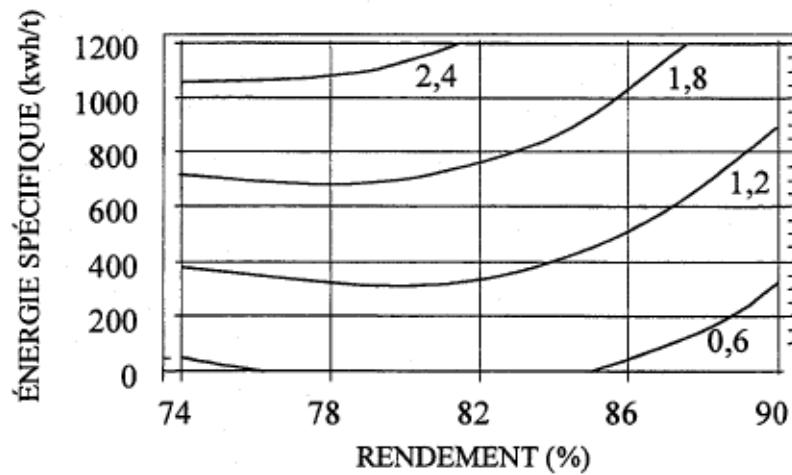
Où,  $P_i(R, E)$  sont les propriétés des papiers cannelures et

$C_i$  sont les coefficients de la régression

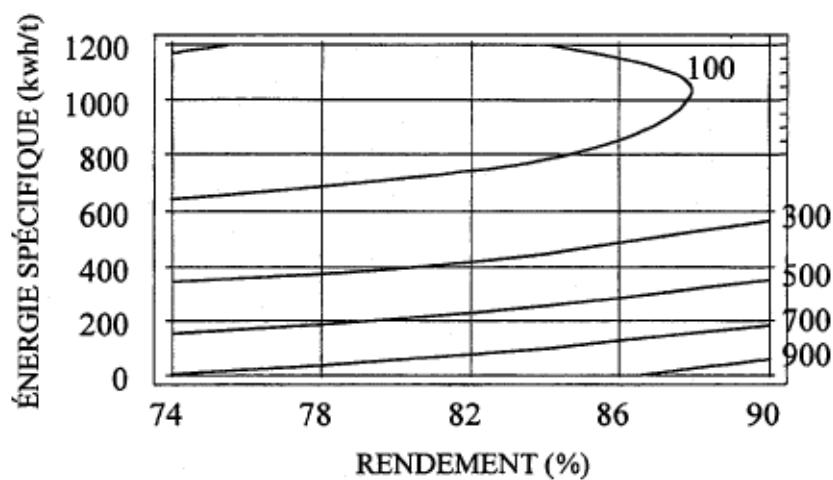
$E$  est l'énergie spécifique de raffinage (kWh/t),

$R$  est le rendement des cuissons (%)

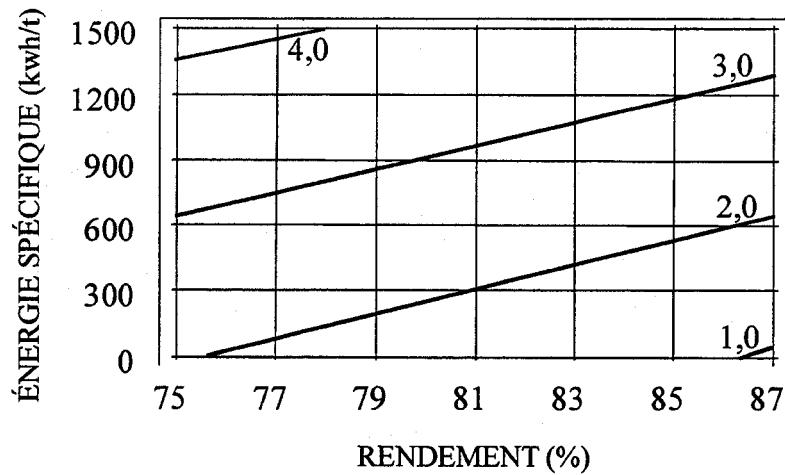
Les résultats obtenus pour le Concora et le CSF sont représentés dans les pages qui suivent.



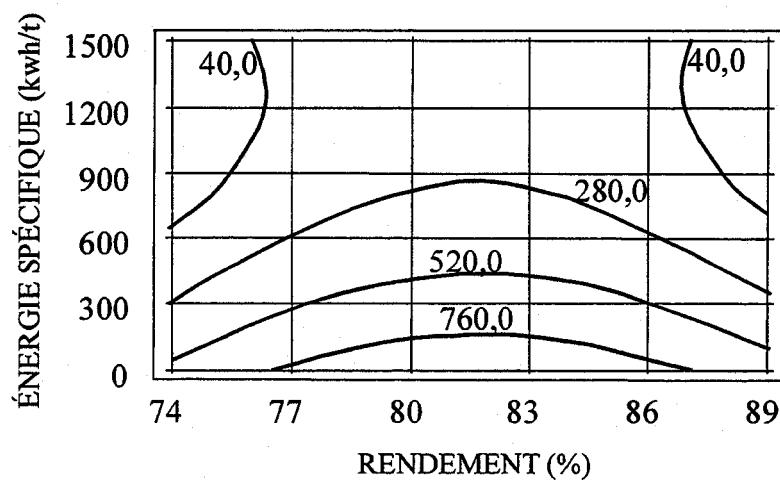
**Figure 4.1** Concora de la pâte semi-chimique d'érable à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).



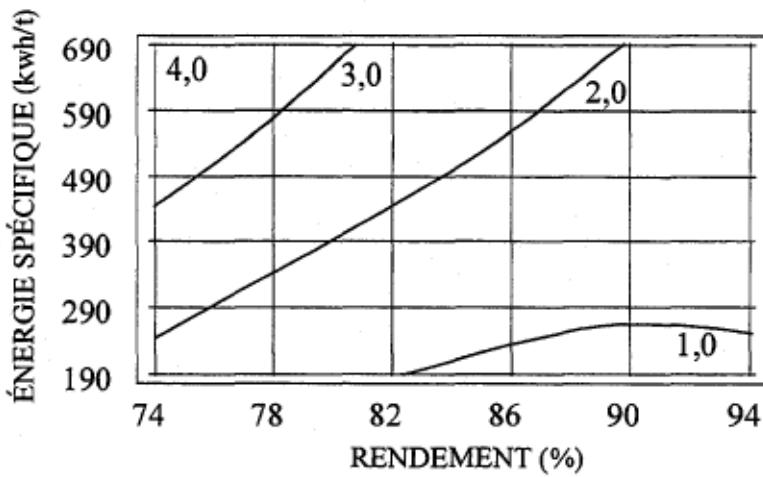
**Figure 4.2** CSF de la pâte semi-chimique d'érable à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).



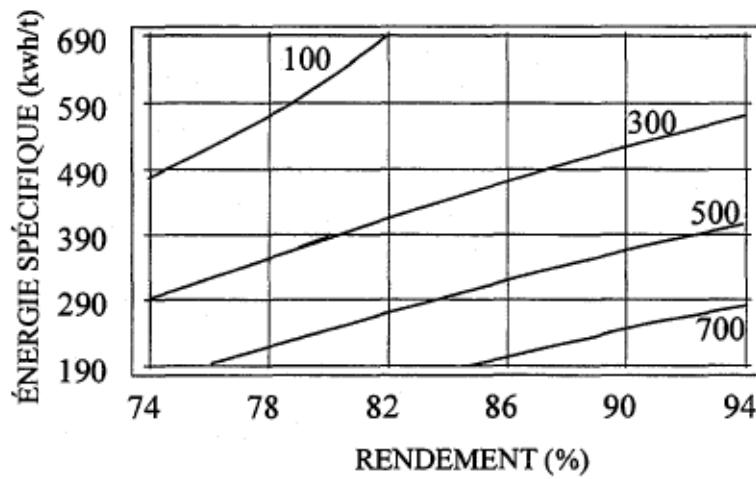
**Figure 4.3** Concora de la pâte semi- chimique de bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).



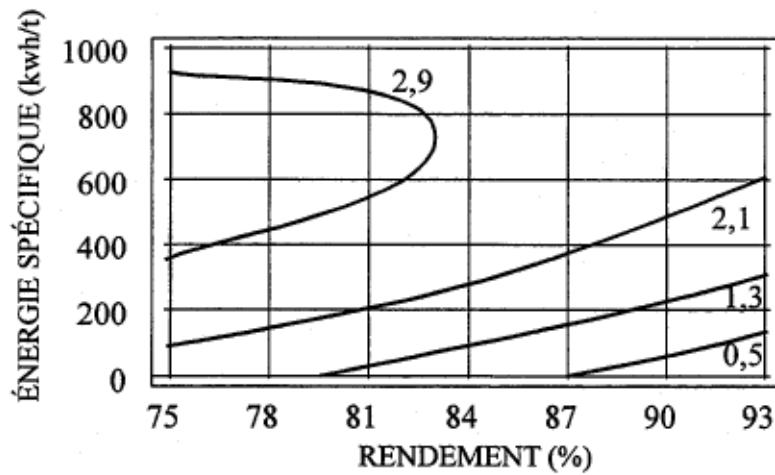
**Figure 4.4** CSF de la pâte semi- chimique de bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).



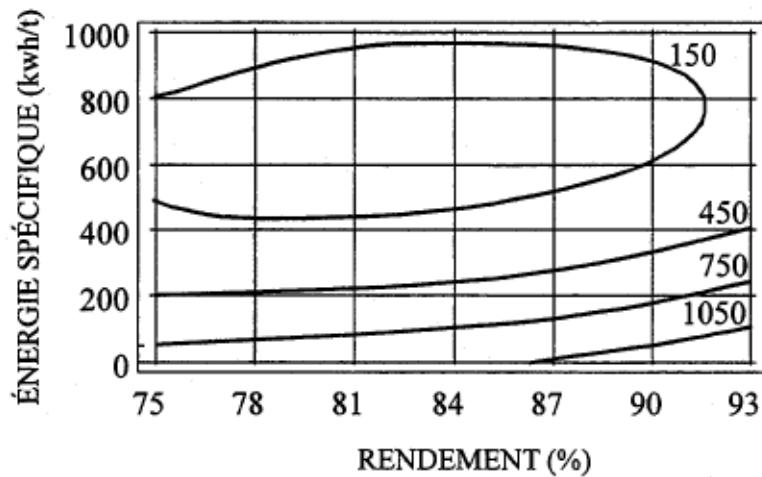
**Figure 4.5** Concora de la pâte semi- chimique du mélange érable- bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).



**Figure 4.6** CSF de la pâte semi- chimique du mélange érable- bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).



**Figure 4.7** Concora de la pâte semi- chimique du mélange tremble bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).



**Figure 4.8** CSF de la pâte semi- chimique du mélange tremble bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).

## 4.2 Coûts de production de la mise en pâte semi-chimique

Les coûts de production de la pâte semi-chimique utilisés dans la présente étude ont été calculés à partir des coûts unitaires suivants

- Bois : \$ 86.40 / tma
- Hydroxyde : \$ 600/ tonne
- Carbonate : \$ 300/ tonne
- Électricité : \$ 0.025/ kWh

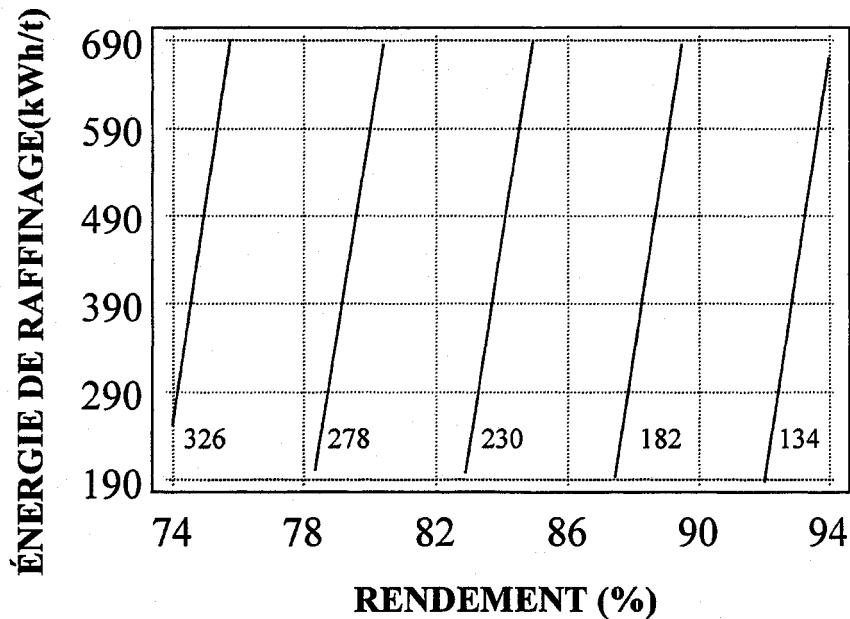
On assume de plus que les copeaux utilisés ont 7,5% d'humidité (sec à l'air) et qu'il y a une perte de 0.5% de fibres dans le circuit de la machine à papier.

Il est donc important de noter que les coûts cités dans la présente étude sont relatifs et ne servent qu'à établir l'interdépendance entre l'énergie spécifique de raffinage, le rendement et la qualité des pâtes semi-chimiques produites. De plus il est assumé être le même pour toutes les pâtes semi-chimiques produites indépendamment de l'essence de bois. Des coûts révisés seront utilisés dans un rapport subséquent sur la rentabilité du projet d'usine à Mont Laurier.

La corrélation entre les coûts de production, le rendement et l'énergie spécifique de raffinage est donnée par l'équation suivante, déduite à partir du traitement statistique des données.

$$\text{Coûts de production (\$/t)} = 791.69 + 0,02933 (E) - 7.19877 (R) \quad (\text{équation 3})$$

La figure 2.27 illustre l'interdépendance des variables sur les coûts de production de la pâte semi-chimique. On observe qu'une variation de 2 points (en %) sur le rendement produit la même variation en coûts de production qu'une variation de 600 kWh/t en énergie de raffinage.



**Figure 4.9** Coûts de production de la pâte semi-chimique du mélange érable bouleau à différents rendements (X) et énergies spécifiques de raffinage (Y).

L'on peut observer à titre d'exemple qu'une augmentation du rendement de 85 à 87% engendrerait une baisse des coûts de production de 24\$/t alors qu'une augmentation de l'énergie de raffinage de 290 à 390 kWh/tmsa pour un rendement de 86% engendrerait une augmentation des coûts de production de 2\$/t. On peut dire que l'augmentation de l'énergie de raffinage engendre un coût plus faible qu'une chute du rendement, ceci est attribué principalement aux coûts des produits chimiques.

#### 4.3 Conditions de mise en pâte semi-chimique

Pour arriver aux mêmes propriétés physiques en compression que le mélange tremble-bouleau, les conditions de mise en pâte du mélange érable-bouleau sont

représentées au tableau 4.1. Le tableau 4.2 représente les conditions de mise en pâte et les propriétés physiques de l'érable, du bouleau et de leur mélange 50/50.

**Tableau 4.1 Conditions de mise en pâte des copeaux d'érable et de bouleau comparées au valeurs cibles du mélange tremble et bouleau**

<b>Essences</b>	<b>Copeaux érable-bouleau</b>	<b>Valeurs cible de tremble- bouleau</b>	
		<b>Diff., %</b>	
<b>Conditions de mise en pâtes</b>			
Rendement ( % )	88,5	-	
Énergie Spécifique ( kWh/t )	531	-	
<b>Coûts de production ( \$/t )</b>	170		
<b>Qualité des pâtes</b>			
CSF ( ml )	275	-48%	525
Bûchettes ( % )	-	-	0,56
Longueur fibres (mm)	-	-	0,98
Vol. Spécifique (cm <sup>3</sup> /g)	2,24	+6%	2,12
<b>Qualité des cartons en compressions</b>			
STFI (AVG) (kNm/g)	71,28	-3%	73,8
Ring Crush (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	2,07	+10%	1,91
Concora (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,75	0%	1,75
<b>Qualité des cartons pour opérations de conversions (Tensions )</b>			
L. Rupture (AVG) (km)	3,59	-8%	3,91
Allongement (AVG) (%)	1,78	-26%	2,4
Éclatement (kPa/m <sup>2</sup> )	2,01	-18%	2,45
Déchirure (AVG) (mN.m <sup>2</sup> /g)	5,41	0%	5,4
Facteur de roulement	4,40	-4%	4,59

**Tableau 4.2    Conditions de mise en pâte et qualité des pâtes faites à partir des copeaux d'érable, des copeaux de bouleau et de leur mélange comparées au mélange tremble-bouleau**

Essences	Copeaux Érable	Copeaux Bouleau	Mélange de pâtes (50:50)	Valeurs cibles tremble bouleau	
				Diff., %	
<b>Conditions de mise en pâtes</b>					
Rendement ( % )	85,9	85,0	85,5	-	-
Énergie spécifique ( kWh/t )	510	725	617	-	-
<b>Coûts de production ( \$/t )</b>	188	201	195	-	-
<b>Qualité des pâtes</b>					
CSF ( ml )	275	276	275	-36%	525
Bûchettes ( % )	-	-	-	-	0,56
Longueur fibres (mm)	-	-	-	-	0,98
Vol. Spécifique (cm <sup>3</sup> /g)	2,21	1,85	2,03	-4%	2,12
<b>Qualité des cartons en compressions</b>					
STFI (AVG) (kNm/g)	71,35	71,97	71,66	-3%	73,8
Ring Crush (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,81	2,25	2,03	+6%	1,91
Concora (AVG) (Nm <sup>2</sup> /g)	1,21	2,30	1,76	0%	1.75
<b>Qualité des cartons pour opérations de conversions (Tensions )</b>					
L. Rupture (AVG) (km)	3,08	4,55	3,81	-2%	3,91
Allongement (AVG) (%)	1,38	2,63	2,01	-16%	2,4
Éclatement (kPa/m <sup>2</sup> )	1,50	2,72	2,11	-14%	2,45
Déchirure (AVG) (mN.m <sup>2</sup> /g)	3,88	8,15	6,02	+12%	5,4
Facteur de roulement	3,46	6,09	4,77	+4%	4,59

#### **4.4 Coûts de production des stratégies d'amélioration de la qualité**

Le tableau suivant résume les coûts de production pour toutes les stratégies d'amélioration citées précédemment à savoir, la variation de l'énergie et de rendement, l'ajout de fibres recyclées, le pressage humide et l'encollage.

**Tableau 4.3 Comparaison des coûts de production de différentes stratégies d'amélioration de la qualité du papier cannelure**

Mélange tremble-bouleau	Valeurs cibles	Variation énergie et rendement	Ajout de fibres recyclées	Pressage humide	Encollage
CSF (ml)	600	275	-	450	425
Ring Crush	1,3	2,0	-	1,6	1,65
Concora	1,75	1,75	-	1,75	1,75
Coûts (\$/tm pâte)	185	160	-	142	160

Pour obtenir des propriétés physiques similaires aux valeurs cibles (pâte de qualité commercialisable) le pressage humide est la stratégie qui donne les coûts de production les plus bas.

## 5.0 Conclusions

1. Les propriétés de papiers cannelures en compression et en tension fabriqués à partir des pâtes semi-chimiques d'éable, de bouleau et du mélange des deux espèces varient en fonction du rendement et de l'énergie spécifique de raffinage.
2. Les propriétés en compression, par rapport au mélange tremble-bouleau, sont pour:
  - a. L'éable : 10 à 15% inférieures en STFI et en Ring Crush et 50% inférieures en concora
  - b. Le bouleau : 25% supérieures
3. L'encollage améliore les propriétés physiques, ce principe est très utilisé en Europe.
4. Le pressage améliore les propriétés physiques, ce principe est beaucoup utilisé en Europe.
5. Les conditions optimales de mise en pâtes semi-chimiques du mélange éable-bouleau ont été déterminées telles que
  - a. Rendement: 88,5%
  - b. Énergie spécifique : 531 kWh/t
  - c. Coût de production : 170 \$/tonne
  - d. CSF = 275 mL
  - e. Concora = 1,75 N.m<sup>2</sup>/g
  - f. Ring Crush=2,07 N.m<sup>2</sup>/g

6. La fibre recyclée a un impact sur la qualité du produit fini. En effet, on observe
  - a. Une réduction des propriétés en compression
  - b. Une augmentation des propriétés d'allongement et de déchirure
  - c. Une augmentation du facteur de roulement
7. Le pressage améliore les propriétés en compression, en effet, on observe une réduction du volume spécifique de 35% et une augmentation des propriétés en compression de 25%
8. L'encollage améliore les propriétés en compression du papier cannelure avec l'amidon naturel (augmentation de près de 8%) et Hicat (augmentation de près de 20%) ainsi que les propriétés en tension qui augmentent de 20 à 25%
9. Les conditions de mise en pâtes semi-chimiques impliquent une flexibilité pour des cuisson à des rendements plus bas et une puissance disponible des raffineurs plus élevée

## Recommandations

1. Une validation à l'échelle industrielle des conditions optimales de mise en pâte déterminées en usine pilote par la présente étude est nécessaire
2. L'optimisation des conditions de recyclage des fibres recyclées est requise
3. L'addition d'une presse à sabots allongée (extended nip shoe press) mène à des réductions de 43 \$/t pour une qualité comparable au mélange tremble-bouleau
4. Les usines Nord américaines devraient considérer attentivement le pressage humide, procédé déjà utilisé en Europe.
5. L'addition d'une presse encolleuse mène à des réductions de 25 \$/t pour une qualité comparable au mélange tremble bouleau
6. Les usines nord-américaines devraient considérer attentivement l'encollage, procédé déjà utilisé en Europe.

## Références

- 1 [http://www.paperloop.com/pp\\_mag/paperhelp/3\\_8\\_1.shtml/](http://www.paperloop.com/pp_mag/paperhelp/3_8_1.shtml)
- 2 <http://www.corrugated.org/aboutcorrugated/QuickFactsCorrugated.htm>
- 3 '*North American Factbook, Paperboard Corrugating medium*', Pulp and paper, 1999.
- 4 Richardson L., '*Unwrapping the future of packaging grades*', PPI this week, 31jan - 4feb, p.4, 2000.
- 5 McGrattan, W. "*Key characteristics of linerboard, corrugating medium, and roll stock mechanical condition and their influence on the manufacture of corrugated products, part 1.*" Tappi Journal, Vol. 73.No. 11, 99-108, 1990.
- 6 Hanson, J.P., '*No- Sulfur pulping pushing out NSSC process at Corrugating medium mills*', Pulp and paper, Vol no: 116-119, March 1978.
- 7 Bryce, J.R.G., Temler, J. et Whittle, D.J., '*Chemical Consumption in the production of NSSC pulp for Corrugated Medium*', Pulp and paper Magazine of Canada, Vol. 75, No. 2., 95-98, 1974.
- 8 Isenberg, I.H., '*The pulpwoods of the United States and Canada*', 2<sup>nd</sup> Edition, The institute of Paper Chemistry, Appleton, Wisconsin,. 1951.
- 9 McClelland, J.O. et Kukolich, S., '*Hardwood sawdust pulp is tested for use in paperboard*', Pulp and Paper, 90-93, 1974.
- 10 Bublitz, W.J. et Hull, J.L., '*Kraft Green liquor pulping of red alder for Corrugating medium*', Tappi Alkaline Pulping Conference, 89- 95, 1979.

- 
- 11 Battan, H.R., Ahlquist, G.J. et Snyder, E.J., '*Green liquor pulping of southern oak for corrugated medium*', Tappi Alkaline Pulping Conference, 17- 31, 1975.
  - 12 Becker, E. et Caldwell, H.G., '*An evaluation of NSSC and Kraft pulping of Ecuarian Hardwoods for Corrugating medium*', Tappi Pulping Conference, 131-137, 1974.
  - 13 Shick, P.E. et Snow, R.W., '*Further Studies of Sulfite- Sulfide- Carbonate for High- Yield Pulping of Southern pine*', Tappi, 1488- 1494, Vol. 54, No. 9, 1971
  - 14 Evans, J.C.W., '*Virginia Fibers's new corrugating medium mill nears design capacity*', Pulp and Paper, Vol no: 56- 59, Mai 1976.
  - 15 Temler, J., '*High yield pulping process*', Canadian Patent 1042159 , 1978.
  - 16 Dillard, B., Gilmer, R. et Kennedy, J.. '*Non sulfur pulping process for corrugated medium using sodium carbonate and sodium hydroxide* ', US Patent 3,954,553 , 1976.
  - 17 Demler, C.L. et Berger, T.H., '*Relationship between Concora, Ring crush, Short Span Compressive Strength and refining conditions*', Tappi Pulping Conference, 127-140, 1994.
  - 18 El-Hosseiny, F., Schiher, S.C. and Patell, T., '*Effect of wet- end variables on edgewise compressive strength of corrugating medium*', Tappi Journal, Vol no: 127-131, July 1989.
  - 19 Fortier, L., '*Optimisation des caractéristiques du carton ondulé*', Conférence technologique estivale, Vol no : 137-143, 1996.

- 
- 20 Koning, J. W., ' *Waste Newspapers can be fiber source for corrugating medium*' , Paper Trade Journal, Vol no: 63, Juin 1975.
  - 21 Ingruber, O.V., M.J. Kocurek and Wong, Pulp and paper manufacture, volume 4 :Sulfite science & Technologie, Third edition, Montréal, pp.352, 1983.
  - 22 Froissart, J.C, ' *L'amidon dans les papiers d'ondulé – Pulvérisation - Enduction sur size press*' , revue A.T.I.P, vo.32, n 8 , 1978.