

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

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

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DES PÂTES ET PAPIERS**

PAR

RICHARD PROULX

**PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DES PÂTES
DE TMP ET CTMP EN MÉLANGE
(SAPIN/ÉPINETTE ET BOULEAU)**

FÉVRIER 1991

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.

REMERCIEMENTS

Dans un premier temps, j'aimerais exprimer mes sincères remerciements à mon directeur de recherche, Dr. Jacques L. Valade, et à mon co-directeur de recherche, Dr. Kwei N. Law, pour leur précieuse collaboration, leur soutien et leurs conseils.

Mes remerciements s'adressent également à M. Robert Lanouette, technicien au Centre de Recherche en Pâtes et Papiers, pour son aide et ses conseils. Je désire remercier aussi M. Jimmy Prasakis, M. Martin Rondeau et M. Tommy Law pour leur contribution aux activités de recherche.

J'aimerais aussi remercier mon épouse, France Lavoie, pour l'appui et l'encouragement qu'elle m'a apporté et qui m'ont permis de mener mon mémoire à bon terme.

J'aimerais remercier également le personnel du Centre de Recherche en Pâtes et Papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières pour leur soutien ainsi que le Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec pour avoir contribué financièrement au projet de recherche.

SOMMAIRE

Au Québec, depuis plusieurs années, le problème d'approvisionnement de la matière première devient une source grandissante d'inquiétude. Les industries papetières augmentent constamment leur production de façon à répondre à la demande. Pourtant, l'inventaire de la ressource forestière nous indique que la matière première de résineux devient plus rare et moins accessible. Par contre, une substitution partielle ou totale du résineux par du feuillu offre une alternative intéressante au problème de l'approvisionnement de la matière première.

A cet effet, nous avons raffiné en mélange diverses séries de pâte chimico-thermomécaniques à partir de résineux (sapin/épinette) et d'un feuillu (bouleau blanc). A l'examen des propriétés papetières et optiques, nous pouvons affirmer qu'il existe des avantages à intégrer des essences feuillues lors de la mise en pâte de raffineur. Habituellement, l'utilisation du bouleau diminue la consommation d'énergie de raffinage comme avec le TMP, le CTMP-C (2,5% Na_2SO_3 + 2,5% NaOH) et le CTMP-D (5,0 Na_2SO_3 + 5,0 NaOH). Par contre, pour le CTMP-A (2,5% Na_2SO_3) et le CTMP-B (4,0 Na_2SO_3) qui n'emploient que du

sulfite de sodium, la consommation d'énergie de raffinage est augmentée. La soude est l'agent chimique influençant le plus la consommation d'énergie de raffinage.

Les propriétés papetières des différents mélanges produits par le CTMP-A et le CTMP-B sont comparables à celles du procédé TMP à l'exception d'une meilleure blancheur, d'une meilleure flexibilité et d'une meilleure souplesse observées lorsqu'on utilise le sulfite de sodium. Cependant, le CTMP-C et le CTMP-D permettent d'améliorer considérablement certaines propriétés papetières tels la longueur de rupture, l'indice d'éclatement et la densité des feuilles alors que la soude diminue la blancheur.

Les effets synergiques sont présents dans les mélanges uniquement quand il y a un prétraitement chimique sur les copeaux. En plus, ils semblent se créer seulement sur certaines propriétés papetières qui font intervenir des liaisons interfibres dominantes tels la longueur de rupture et l'indice d'éclatement. L'effet synergique est inexistant sur l'indice de déchirure. La comparaison entre les pâtes produites par les copeaux mélangés avant le raffinage et les pâtes pures mélangées après le raffinage, nous porte à croire que les effets synergiques sont produits uniquement lors du

raffinage dont le mélange contient différentes essences. Une action de raclage entre les fibres de différentes essences peut être à l'origine de ces phénomènes synergiques ceci prouve la dépendance des essences pendant le raffinage avec un traitement chimique sur les fibres.

On constate, également, que les mélanges où l'on remarque des effets synergiques peuvent potentiellement remplacer, en partie ou en totalité, la pâte kraft semi blanchie dans une composition de papier journal tout en diminuant le coût. Nous avons considéré la longueur de rupture comme critère de qualité des pâtes pour suggérer un remplacement partiel ou total de la pâte kraft semi blanchie par la pâte CTMP de bouleau.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	ii
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	xi
NOMENCLATURE ET ABREVIATIONS.....	xvii

CHAPITRES**1. INTRODUCTION**

1.1 Problématique.....	1
1.2 Solutions proposées.....	3
1.3 Approche de la recherche.....	4

2. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Caractéristiques de l'arbre (bouleau blanc).....	5
2.2 Habitat naturel.....	5
2.3 Disponibilité du bouleau.....	7
2.4 Propriétés physiques.....	8
2.5 Propriétés chimiques.....	10
2.6 Procédés de mise en pâte - généralités.....	12
2.7 Théorie du raffinage.....	13

2.8 Principe de la sulfonation.....	17
A) Imprégnation des copeaux.....	17
B) Chimie de la sulfonation.....	18
C) propriétés des pâtes sulfonées.....	20
2.9 Effet de produits alcalins.....	22
2.10 Procédé CTMP.....	24
A) essences résineuses.....	24
B) essences feuillues.....	29
2.11 Mise en pâte avec un mélange d'essences.....	31
A) Procédés chimiques.....	32
B) Procédés mécaniques.....	38
 3. TECHNIQUES EXPERIMENTALES	
3.1 Matières premières.....	51
3.2 Manipulation des copeaux.....	51
3.3 Prétraitement des copeaux.....	52
3.4 Condition de raffinage.....	53
3.5 Lavage des pâtes.....	53
3.6 Propriétés papetières.....	54

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Effets du bouleau dans les mélanges.....	55
4.1.1. Consommation d'énergie de raffinage.....	55
4.1.2. Longueur de rupture.....	67
4.1.3. Indice d'éclatement.....	77
4.1.4. Déchirure.....	88
4.1.5. Blancheur.....	107
4.1.6. Opacité.....	119
4.1.7. Volume spécifique.....	137
4.2 Effet synergique.....	148
4.2.1. Définition.....	148
4.2.2. Exemple.....	159
4.2.3. Longueur de rupture.....	163
4.2.4. Indice d'éclatement.....	171
4.2.5. Résistance de la bande humide.....	173
4.2.6. Indice de déchirure.....	177
4.2.7. Blancheur.....	181
4.2.8. Opacité.....	183
4.2.9. Coefficient de diffusion.....	185
4.2.10. Comparaison de pâtes produites par les copeaux mélangés avant le raffinage avec les pâtes pures mélangées après le raffinage.....	187
4.2.11. Hypothèse d'un raffinage en mélange.....	192

4.3 Aspect économique.....	198
4.3.1. Coût de la matière première.....	199
4.3.2. Coût de l'énergie de raffinage.....	201
4.3.3. Coût des produits chimiques.....	202
4.3.4. Coût du blanchiment.....	203
4.3.5. Coûts totaux des procédés.....	204
4.3.6. Intégration des pâtes CTMP dans un mélange expérimental de papier journal...	210
4. CONCLUSION.....	224
REFERENCES.....	228

LISTE DES TABLEAUX

tableaux:

1- Les principales cellules et leurs dimensions	8
2- La composition chimique des fibres	11
3- Prétraitement des copeaux	52
4- Propriétés papetières du TMP @ 300 ml (CSF)	149
5- Propriétés papetières du CTMP-A @ 300 ml (CSF) . .	150
6- Propriétés papetières du CTMP-B @ 300 ml (CSF) . .	151
7- Propriétés papetières du CTMP-C @ 300 ml (CSF) . .	152
8- Propriétés papetières du CTMP-D @ 300 ml (CSF) . .	153
9- Propriétés papetières du TMP @ 9,0 Mj/kg	154
10- Propriétés papetières du CTMP-A @ 9,0 Mj/kg . . .	155
11- Propriétés papetières du CTMP-B @ 9,0 Mj/kg . . .	156
12- Propriétés papetières du CTMP-C @ 9,0 Mj/kg . . .	157
13- Propriétés papetières du CTMP-D @ 9,0 Mj/kg . . .	158
14- La résistance de la bande humide @ 300 ml (CSF) .	176
15- Comparaison des propriétés avec un effet synergique maximal	205
16- Comparaison des coûts de chaque procédé @ 300 csf .	207
17- Les propriétés papetières d'un mélange expérimental	214

18- Les propriétés papetières d'un mélange expérimental avec le CTMP-A	216
19- Les propriétés papetières d'un mélange expérimental avec le CTMP-B	217
20- Les propriétés papetières d'un mélange expérimental avec le CTMP-C	218
21- Les propriétés papetières d'un mélange expérimental avec le CTMP-D	219
22- Coût des procédés avec longueur de rupture constante	222

LISTE DES FIGURES**Figures:**

1-A Distribution du bouleau à papier (Canada)	6
1-B Distribution des essences (Québec)	7
1-C Unité d'imprégnation et de raffinage primaire Sunds-Defibrator	54
1- Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	57
2- Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	59
3- Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	61
4- Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	63
5- Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	65
6- Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	68
7- Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	70
8- Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	72

9-	Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	74
10-	Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	76
11-	Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	79
12-	Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	80
13-	Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	82
14-	Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	84
15-	Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	86
16-	Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	89
17-	Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	90
18-	Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	92
19-	Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	95
20-	Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	97

21- Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	98
22- Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	100
23- Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	102
24- Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	104
25- Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage	106
26- Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	108
27- Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	110
28- Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	113
29- Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	115
30- Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	118
31- Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	120
32- Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	123

33- Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	124
34- Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	126
35- Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	128
36- Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	129
37- Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	131
38- Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	132
39- Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	134
40- Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	136
41- Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du TMP	138
42- Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A	151
43- Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B	142
44- Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C	144

45- Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D	146
46- Exemple d'un effet synergique	160
47- Variation de la longueur de rupture en fonction du pourcentage de bouleau du CTMP-D	162
48- Variation de la longueur de rupture en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)	164
49- Variation de l'indice d'éclatement en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)	172
50- Variation de la résistance de la bande humide en fonction du pourcentage de bouleau	175
51- Variation de l'indice de déchirure en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)	178
52- Variation de la longueur des fibres en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)	179
53- Variation de la blancheur en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)	182
54- Variation de l'opacité en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)	184

55- Variation du coefficient de diffusion en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)	186
56- La longueur de rupture en fonction du pourcentage de bouleau du TMP copeaux mélangés versus pâtes mélangées	188
57- La longueur de rupture en fonction du pourcentage de bouleau du CTMP-B copeaux mélangés versus pâtes mélangées	189
58- La longueur de rupture en fonction du pourcentage de bouleau du CTMP-D copeaux mélangés versus pâtes mélangées	190
59- Analyse de sensibilité du procédé CTMP-C	209

NOMENCLATURE ET ABREVIATIONS

TMP : Pâte thermo-mécanique; le raffinage est sous pression et sans addition d'agent chimique.

CTMP : Pâte chimico-thermomécanique; le raffinage est sous pression après un traitement chimique.

RMP : Pâte mécanique de raffineur; le raffinage est à pression atmopshérique et sans addition d'agent chimique.

CMP : Pâte chimicomécanique de raffineur; le raffinage est à pression atmosphérique après un traitement chimique sur les copeaux.

CSF : Indice d'égouttage de la pâte en ml (Canadian Standard Freeness).

SBK : Pâte kraft semi blanchie

SGW : Pâte de meule

Chapitre I

INTRODUCTION

1.1 Problématique

Au Québec, la forêt occupe une place prépondérante dans le développement économique de plusieurs industries comme celle des pâtes et papiers. La forêt étant une ressource naturelle renouvelable, elle représente une source inépuisable de matières premières dans la mesure où une exploitation responsable est planifiée. Depuis quelques années, la demande sans cesse croissante des produits papetiers, de concert avec l'indice économique, a considérablement augmenté. Cette situation a eu pour effet de diminuer cette richesse naturelle sans, pour autant, qu'il y ait une prise de conscience que la pérennité de cette ressource était en péril.

Pour pallier à cette situation, le gouvernement du Québec a adopté le projet de Loi 84, modifiant la Loi 150 sur les forêts, en introduisant un nouveau système de gestion de la ressource forestière. Ce nouveau projet de loi respecte l'économie et l'écologie en fonction des principes du rendement

soutenu de la forêt. Les mesures prises par le gouvernement provincial visent à assurer la continuité de la ressource forestière tout en contrôlant les volumes et les méthodes d'exploitation et de reboisement.

Cette loi ayant été adoptée en décembre 1988, il faudra attendre plusieurs années avant d'en voir apparaître les effets bénéfiques. D'ici là, il faut garder à l'esprit que l'équilibre de la forêt québécoise est encore précaire. Nous devons entreprendre des efforts soutenus afin de trouver des alternatives intéressantes qui amélioreraient la situation de l'approvisionnement de la matière première.

Depuis plusieurs années, le problème de l'approvisionnement de la matière première devient une source grandissante d'inquiétude; les sites d'exploitation forestière sont de moins en moins accessibles et la disponibilité de la ressource résineuse devient de plus en plus incertaine. De plus, la pratique de la coupe à blanc a amené certains problèmes de régénération naturelle des forêts. L'approvisionnement de la matière première devient donc une source limitative qui compromet une éventuelle augmentation de la capacité de production des papetières du Québec.

1.2 Solutions proposées

Un des moyens, pour élargir l'approvisionnement de la matière première et pour diminuer la dépendance des essences résineuses, serait d'intégrer des essences feuillues dans les procédés de mise en pâte. Les essences feuillues représentent environ 29% du volume marchand brut disponible au Québec. Cependant, peu de ces essences sont utilisées dans l'industrie des pâtes et papiers.

Depuis quelques années, l'industrie favorise de plus en plus les procédés à haut rendement afin d'économiser la matière première. Cependant, des actions supplémentaires devraient être entreprises pour augmenter la production et améliorer les procédés à haut rendement. Malgré cela, la quantité des essences feuillues utilisée dans l'industrie Québécoise est peu volumineuse même s'il y a une grande disponibilité de ces essences dans les forêts publiques et privées. De plus, on connaît le comportement des résineux et des feuillus dans les procédés à haut rendement, mais peu d'études ont tenté de vérifier le comportement de ces essences en mélange lors d'un procédé chimico-thermomécanique tel que le CTMP (rendement 88-94%).

Une des solutions proposée, pour aider à résoudre les problèmes éminents d'approvisionnements en matière ligneuse, est d'utiliser des essences résineuses avec une certaine proportion d'une essence feuillue, comme le bouleau blanc.

1.3 Approche de la recherche

La première partie de ce travail portera sur les effets de l'addition du bouleau, en différentes proportions, dans un mélange de copeaux. Cette opération aura pour but de déterminer les caractéristiques des différentes pâtes produites.

Dans un deuxième temps, nous discuterons des effets synergiques obtenus lors des essais en laboratoire et cela, afin de comprendre l'origine et la cause du synergisme dans un mélange de copeaux.

Et pour terminer, nous effectuerons une étude économique afin de vérifier si l'emploi de copeaux en mélange est une solution viable tant en terme de qualité de pâte qu'en terme de coûts de production.

CHAPITRE II

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Caractéristiques de l'arbre (bouleau blanc)

Le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) est une essence à port variable dont il existe plusieurs variétés connues. Le tronc de l'arbre est souvent sinueux et grêle. La cime se compose généralement de nombreuses branches ascendantes qui se terminent en bouquets (1). De dimension moyenne, il peut atteindre 80 pieds (24 mètres) de hauteur et 2 pieds (0.6 mètre) de diamètre (1).

2.2 Habitat naturel

La distribution du bouleau à papier s'étend à presque tout le Canada (figure 1-A). Le bouleau pousse dans des sols fort variés, mais il croît davantage en glaise sableuse ou en glaise limoneuse bien drainée.

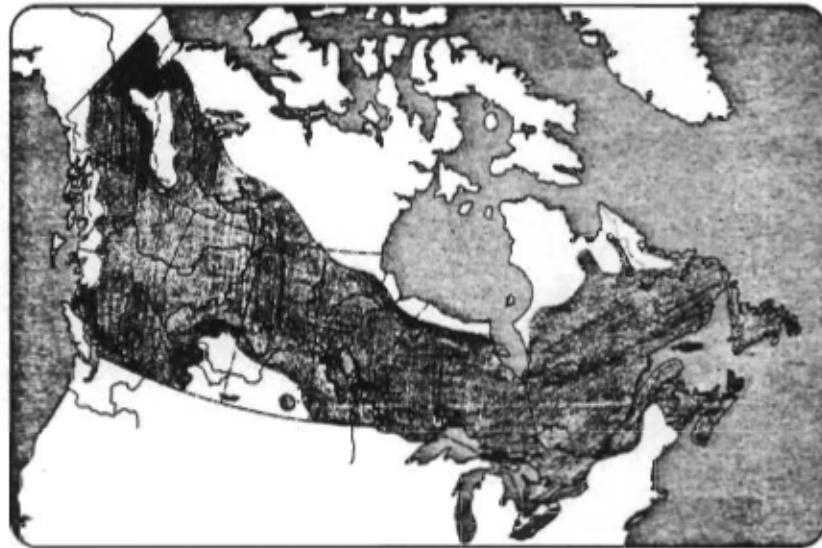


Figure 1-A Distribution du bouleau à papier (Canada) (1)

Le bouleau ne supporte pas les espaces ombragés. Il se développe très bien dans les aires rasées par le feu ou coupées à blanc où il forme fréquemment des peuplements purs. Le tronc est recouvert d'une mince couche inflammable et pour cette raison l'arbre succombe facilement au feu. Il peut se reproduire rapidement par rejet au pied du tronc. De cette façon, le bouleau a pu conserver la place importante qu'il occupe dans les forêts canadiennes (1).

2.3 Disponibilité du bouleau

Selon l'inventaire du territoire de la forêt commerciale au Québec, l'essence feuillue la plus répandue est le bouleau à papier avec 9,1% du volume marchand brut. Il faut cependant spécifier, dans un premier temps, que la forêt commerciale au Québec comprend la forêt publique fédérale, la forêt publique provinciale et la forêt privée. Dans un second temps, le volume marchand brut est constitué du volume ligneux du tronc et de branches de 9 cm et plus au fin bout (incluant l'écorce) (2).

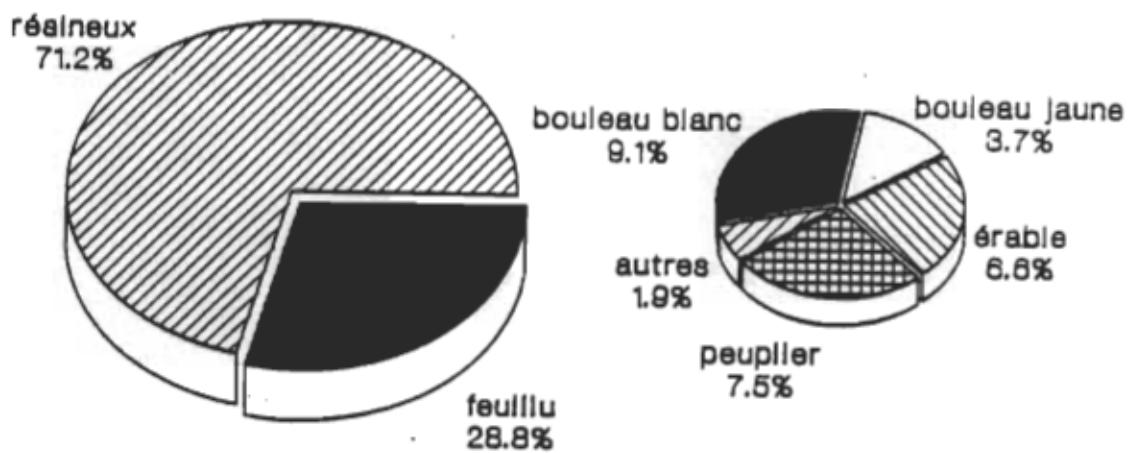


Figure 1-B Distribution des essences (Québec) (2)

2.4 Propriétés physiques

Le bois du bouleau blanc est caractérisé par une densité d'environ 0,53 g/cm³, supérieure à celle du sapin et de l'épinette (0,35-0,40 g/cm³). La différence de densité représente une économie potentielle au niveau de la consommation du bois; avec un rendement constant, le bouleau peut produire de 25% à 30% plus de pâte par mètre cube que les essences résineuses.

	SAPIN/EPINETTE		BOULEAU BLANC		
	TRACHEIDE	PARENCHYME	FIBRE	VAISSEAU	PARENCHYME
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	3,5	0,12	1,5	1,0	0,12
DIAMETRE (μm)	35	12	20	65	12
FACTEUR L/D	100	10	70	15	10
EPAISSEUR DE PAROI (μm)	1,5	1,0	3,8	2,7	1,0
VOLUME CELLULE (%)	90	10	76	11	13
DENSITE (g/cm ³)	0,35 - 0,40		0,53		

tableau 1: LES PRINCIPALES CELLULES ET LEURS DIMENSIONS (3)

La longueur moyenne des fibres du bouleau est peu comparable aux trachéides des résineux puisque la longueur des fibres du bouleau se situe à près de 1,5 mm tandis que les trachéides ont une longueur de 3,5 mm.

La longueur des trachéides chez les résineux est plus de deux fois la longueur des fibres du bouleau. Cette différence a des conséquences importantes sur les propriétés papetières avec des pâtes chimiques. Dans un procédé de mise en pâte chimico-thermomécanique, la longueur moyenne des fibres de résineux est légèrement supérieure à celle du bouleau. Lors du raffinage, la longue et mince fibre des résineux est rapidement divisée en deux ou trois parties tandis que les fibres du bouleau, plus courtes et plus rigides, résistent plus facilement à l'action des plaques du raffineur (3).

Le diamètre des fibres du bouleau se situe à 20 μm tandis que le diamètre des trachéides des résineux est d'environ 35 μm . Le rapport de la longueur sur le diamètre (L/D) est plus important pour les résineux (100) que le bouleau (70); ce qui signifie que les fibres des résineux sont plus élancées que celles du bouleau.

De même, l'épaisseur des parois du bouleau se distingue par rapport à celle des résineux; le bouleau se caractérise par une épaisseur de paroi de 3,8 μm tandis que les résineux ont une épaisseur de paroi de seulement 1,5 μm .

Chez les résineux, il y a principalement deux types de cellules soit les fibres trachéides et les parenchymes de rayon. La structure des résineux se compose en volume à 90% de trachéides et à 10% de parenchymes de rayon. L'arrangement des cellules étant très uniforme, la structure des résineux est simple. Il en est autrement pour la structure du bouleau qui est plus complexe étant donné qu'un plus grand nombre de cellules entrent dans sa composition. Ces cellules montrent plus de variation dans la forme et la grandeur ainsi que dans la disposition à l'intérieur d'un anneau de croissance (4). Le bouleau blanc se compose en volume à 76% de fibres, 11% d'éléments de vaisseaux et 13% de cellules de parenchyme.

2.5 Propriétés chimiques

La composition chimique et la structure du bois influencent fortement l'imprégnation chimique lors d'un prétraitement. Dans le cas des bois mous (résineux), la concentration de la lignine à l'intérieur de la paroi cellulaire est d'environ 16% alors qu'elle est de 73% dans la lamelle moyenne. La différence de la concentration de la lignine se fait principalement à l'extérieur de la paroi secondaire.

Chez les feuillus, la concentration de la lignine est relativement supérieure, dans la lamelle moyenne, comparativement aux résineux. Elle est également inférieure, dans la paroi cellulaire, avec une zone de transition encore plus claire. Chez les résineux, un taux de lignification plus important dans la paroi cellulaire, signifie une certaine restriction dans le gonflement des fibres. C'est pourquoi l'utilisation de la soude caustique est principalement employée pour les feuillus (5).

Voici un tableau représentant la composition chimique des fibres. On remarque une différence dans la composition des résineux et du bouleau blanc.

	SAPIN	EPINETTE	BOULEAU
α -CELLULOSE	49,4	50,2	41,0
HEMICELLULOSE (%)	15,4	16,4	27,3
LIGNINE (%)	27,7	27,0	18,5

tableau 2: LA COMPOSITION CHIMIQUE DES FIBRES (28)

Il faut cependant spécifier que les taux d'alpha-cellulose, d'hemicelluloses et de lignine ne représentent qu'une partie de la composition chimique totale des fibres. Le taux d'alpha-

cellulose n'illustre qu'une partie de la cellulose totale du bois. Il faut noter de plus que les taux d'extractibles ont été omis.

2.6 Procédés de mise en pâte - généralités

Une différence majeure existe entre le procédé de mise en pâte thermomécanique (TMP) et le procédé de mise en pâte chimico-thermomécanique (CTMP). Cette différence caractérise, de façon significative, les propriétés des pâtes (6). Le CTMP comprend, dans son procédé, une imprégnation chimique des copeaux précédant le procédé TMP.

L'imprégnation chimique avec le sulfite de sodium permet de retenir une plus grande proportion de longues fibres et d'en réduire le contenu en bûchettes.

De plus, l'utilisation du sulfite développe les liaisons interfibres et améliore la densité des feuilles ainsi que la blancheur. Il est à noter que le développement des liaisons interfibres diminue le coefficient de diffusion de la lumière de la pâte. Il y a aussi le fait qu'il y a moins de particules fines dans les pâtes CTMP. Celles-ci contribuent également à

la diminution du coefficient de diffusion.

2.7 Théorie du raffinage

D'après Pearson (7), le raffinage est constitué d'un premier mécanisme de compression qui écrase le lumen de la fibre et d'un deuxième mécanisme qui induit un roulement alors que la fibre est en compression. L'action répétée de compression et de relaxation sur la fibre cause une absorption d'énergie qui contribue à la rupture des liaisons, dans la paroi secondaire, en produisant des fibres plus souples et plus flexibles.

La longueur de la fibre, le diamètre et la grandeur du lumen sont des paramètres importants qui gouvernent, en quelque sorte, les caractéristiques du papier produit. Généralement, la matière première idéale est celle qui possède une faible densité, une bonne longueur de fibre, une paroi mince et un lumen assez grand (29).

Le choix des plaques de raffineur est un autre paramètre important. Il n'existe pas un type de plaque qui correspond à toutes les essences de bois. Les barres, à l'intérieur des

plaques, appliquent de la pression sur les fibres. Tandis que les rainures, à l'intérieur des plaques, favorisent la relaxation des fibres et acheminent l'eau en excès et la vapeur à la périphérie des plaques. La largeur des rainures doit être inférieure à la longueur des fibres sinon les fibres s'entassent dans les rainures. Les plaques peuvent alors s'entrechoquer et causer de violentes vibrations dans le raffineur (29).

La largeur de la barre ne doit pas être plus grande que la longueur de la fibre; une barre plus étroite offre plus d'opportunité aux fibres d'entrer dans la zone de raffinage. Le volume de matériel fibreux exerce une certaine pression entre les plaques et empêchent les chocs de se produire. À ce moment, les plaques se séparent et cèdent une certaine quantité de matériel fibreux à l'extérieur du raffineur. Les digues (dams) de la plaque de raffineur ne contribuent pas à l'action du raffinage. Les digues sont plutôt considérées comme des éléments restrictifs qui réduisent l'écoulement à travers la plaque. Les digues augmentent la charge du moteur, et conséquemment, induisent un raffinage inefficace (29).

Des plaques avec un design approprié, c'est-à-dire sans digues, produisent une pâte avec moins de bûchettes que des

plaques qui contiennent des digues. Cependant, des digues sous la surface (sub-dams) peuvent être requises afin de répondre aux très grandes forces de cisaillement dans le raffineur.

Atack et May (8) ont étudié les aspects pratiques du raffinage. Dans leurs études, ils ont montré que le développement de la fibre, pendant le raffinage, était en relation avec sa position radiale entre les plaques du raffineur.

Par la suite, Atack (30) a fait des observations sur l'écoulement du matériel fibreux dans le raffineur à l'aide d'un appareil photo à haute vitesse. Les échantillons de pâte ont été recueillis en diverses positions radiales dans l'aire du raffinage. Ils furent acheminés dans un récipient sous pression en s'écoulant par de petites ouvertures pratiquées dans la base des rainures des segments de la plaque fixe.

Voici les observations de cette recherche:

- une réduction rapide des copeaux à une pâte grossière dans la partie de l'alimentation du raffineur.

- un écoulement turbulent très complexe et une recirculation considérable de la pâte grossière et des

bûchettes au début de la zone de raffinage avec un écoulement en retour (forward flow) dans les rainures de la plaque rotative et un écoulement inversé (back flow) dans les rainures de la plaque stationnaire.

- un brochage (stapling) des fibres en direction tangentielle sur les barres des plaques rotative et stationnaire.

- un écoulement vers l'extérieur avec très peu de raccourcissement des fibres dans la zone des barres fines.

- un développement graduel de la latence indiquant une application graduelle de l'énergie sur les fibres.

Il est raisonnable de croire que les fibres, qui sont influencées par la force centrifuge, entrent dans la zone de raffinage avec une vitesse qui est près de la vitesse tangentielle de la plaque rotative. Les fibres vont s'attacher préférentiellement aux barres de la plaque rotative à cause des vitesses qui sont semblables.

Les fibres ont tendance à se brocher (stapler) dans une direction tangentielle aux barres. L'action de brochage est

opposée par la friction tangentielle produite par les barres de la plaque stationnaire. L'action opposée au brochage est le débrochage (doctoring). L'équilibre des actions de brochage et de débrochage peut être responsable des valeurs intermédiaires de la longueur des fibres, de résistance à la déchirure et d'égouttement de la pâte.

2.8 Principe de la sulfonation (9)

La fabrication des pâtes CTMP comprend deux étapes importantes: la sulfonation des copeaux, principalement, avec du sulfite de sodium (Na_2SO_3) et le raffinage sous pression à haute consistance. Ces pâtes nécessitent un traitement servant à enlever la latence tout comme les pâtes thermomécaniques (TMP).

A) Imprégnation des copeaux

La première étape consiste à introduire le sulfite de sodium à l'intérieur des copeaux. Pour sulfonner la lignine, il faut que le sulfite puisse se diffuser à l'intérieur de la paroi cellulaire et qu'il atteigne la lamelle moyenne. Une

siccité élevée du bois ralentit cette diffusion. De plus, la présence d'air dans le lumen des copeaux entraîne la décomposition du sulfite en sulfate.

Il existe plusieurs techniques pour accélérer la pénétration du sulfite: 1) le déchiquetage, pour réduire la grosseur des copeaux; 2) le pré-chauffage des copeaux à la vapeur, pour chasser l'air dans les lumens des fibres et ainsi éviter l'oxydation du sulfite, c'est-à-dire sa transformation en bisulfate et sulfate; 3) la compression des copeaux préchauffés à la vapeur, suivie d'une expansion en phase liquide où ils absorbent la liqueur comme des éponges. La pression hydrostatique, la température et la concentration du sulfite ont des effets positifs sur l'augmentation du taux d'absorption.

B) chimie de la sulfonation

Dans la fabrication des pâtes à très haut rendement, la lignine ne doit pas être dissoute mais plutôt sulfonée pour améliorer les caractéristiques papetières des fibres. La sulfonation se produit quand on introduit de l'acide sulfonique à l'intérieur du réseau ramifié de la lignine. Après la

sulfonation, la lignine devient hydrophile et permet ainsi une flexibilité accrue des fibres.

Selon plusieurs chercheurs (31), la sulfonation serait différente selon le niveau d'alcalinité.

A pH acide, deux mécanismes régissent le taux de sulfonation: l'un dépend du nombre de sites disponibles (les structures phénoliques et non phénoliques des éthers phénylpropane B-aryles, les groupes coniféraldéhydes terminaux et les structures aryles et carbonyles substituées) pour un temps de réaction donné, l'autre mécanisme dépend de la concentration totale en dioxyde de soufre.

Avec des conditions habituelles de sulfonation douce, la perte de rendement et la dissolution de la lignine sont indépendantes de la concentration en dioxyde de soufre, mais doublent, ou presque, pour chaque augmentation de 10°C de la température de traitement (9).

Il est donc préférable d'utiliser un traitement prolongé à basse température, avec une liqueur concentrée, de façon à obtenir une sulfonation optimale et une perte de rendement minimale (9).

A pH neutre, le taux de sulfonation dépend principalement de la concentration totale en dioxyde de soufre (SO_2). Comme dans le cas précédent, le taux de dissolution de la lignine est principalement relié à la température. Il est possible d'obtenir un contenu de sulfonation de 1,95% avec des rendements de 93% et plus.

A pH alcalin, la concentration totale en SO_2 agit aussi sur le taux de sulfonation. De plus, d'autres réactions concurrentes telles que l'hydrolyse et des réactions d'enchaînement par liaisons transversales se produisent.

Dans le cas des bois feuillus, l'amélioration des propriétés physiques est reliée non seulement à la quantité des ions sulfonates contenus dans la lignine, mais aussi à celle des ions carbonyles dans les hémicelluloses.

C) Propriétés des pâtes sulfonées

L'influence de la sulfonation sur l'énergie de raffinage doit être considérée de deux points de vue. Premièrement, à un rendement et à un indice d'égouttage donnés, une pâte sulfonée requiert plus d'énergie qu'une pâte non sulfonée.

Avec une consommation d'énergie de raffinage équivalente, la pâte non sulfonée produit une quantité plus importante de matières fines que la pâte sulfonée. Ce comportement se traduit, pour la pâte non sulfonée, par une diminution plus importante de l'indice d'égouttage. La pâte chimico-thermomécanique aura donc des résistances mécaniques en fonction de son taux de sulfonation. Le taux de sulfonation de la pâte CTMP se traduit par une augmentation de la longueur de rupture de 15 à 25% comparativement à la pâte TMP.

En second lieu, si l'on compare les pâtes au même niveau de densité ou à une même longueur de rupture, la pâte sulfonée nécessite moins d'énergie de raffinage et possède un indice d'égouttage plus élevé. La sulfonation a permis d'améliorer les caractéristiques papetières des fibres en rendant la lignine hydrophile. Les fibres non sulfonées requièrent une énergie de raffinage plus importante pour atteindre les mêmes caractéristiques papetières que la pâte sulfonée (9).

Le raffinage sous pression des fibres sulfonées produit une pâte qui possède une bonne résistance à la déchirure. A une énergie spécifique constante, la pâte a un indice d'égouttage plus élevé. Ce traitement chimique protège la longueur des fibres en produisant une pâte ayant une bonne

cohésion interfibre, d'où une longueur de rupture élevée. Les deux effets sont cumulatifs (9).

En résumé, la sulfonation des copeaux améliore la résistance physique de la pâte, réduit le taux de débris et de bûchettes et facilite la densification de la feuille. Des effets positifs de faibles applications (moins de 0,5%) de sulfite sur le bois ont été rapportés (15).

La blancheur du CTMP peut être supérieure à celle d'une pâte mécanique classique par un choix judicieux des conditions de traitement. Cependant, les taux élevés de sulfonation du bois réduisent souvent la brillance de la pâte produite. Pour une brillance donnée, l'opacité et le coefficient de dispersion de la lumière des pâtes sulfonées sont inférieures à celles des pâtes mécaniques (11).

2.9 Effet de produits alcalins

Une façon d'augmenter la résistance des pâtes est d'employer un traitement alcalin. En effet, un traitement alcalin sur la pâte suscite un certain gonflement de la paroi cellulaire ce qui la rend plus flexible et favorise de

meilleurs contacts interfibres (10).

L'augmentation de la résistance des pâtes mécaniques par un traitement à la soude se produit quand il y a une augmentation des groupements acidiques dans la pâte (10). Ces groupements acidiques sont probablement créés par une certaine hydrolyse des esters ou des lactones pré-existants à l'intérieur de la fraction d'hémicellulose de la fibre. Il est reconnu que la principale source de groupements acidiques dans le bois sont les acides gluco-uroniques qui forment une partie des hémicelluloses. La plupart de ces acides gluco-uroniques se trouvent sous forme d'esters et de lactones à l'état naturel. Un traitement alcalin augmente de façon substantielle le nombre de groupements acidiques dans la pâte.

Considérons, pour un instant, que la paroi cellulaire est constituée d'un gel macromoléculaire dans lequel les groupements acidiques sont liés. En présence d'eau, une partie des groupements acidiques sont dissociés en libérant des ions. Une concentration d'ions plus importante dans la paroi cellulaire que dans la phase aqueuse externe est ainsi créée. Cette concentration introduit une pression osmotique et amène une quantité d'eau encore plus importante dans la paroi. Le gonflement se poursuit jusqu'à ce que la différence de pression

soit balancée. Alors en augmentant le nombre des groupements acidiques à l'intérieur de la pâte, le gonflement peut être intensifié et ainsi améliorer les liaisons interfibres.

A remarquer que les pâtes de résineux donnent des résultats similaires mais avec des tendances moins prononcées. La différence de gonflement, pour les résineux, est limitée par une plus forte concentration de lignine dans la paroi cellulaire.

2.10 Procédé CTMP

A) Essences résineuses (sapin/épinette)

Beath et Mihelich (11) ont présenté des résultats concernant la mise en pâte mécanique de raffineur avec des copeaux qui ont été prétraités chimiquement:

- L'indice d'éclatement demeure constant à un pH acide, mais il augmente rapidement alors que la pH augmente. (11, figure 1)

- La blancheur de la pâte augmente légèrement avec le pH jusqu'à occurrence d'un pH de 12, mais elle diminue rapidement avec un pH plus élevé. (11, figure 2)
- Le contenu en bûchettes décroît rapidement à un pH de 7 et plus lentement avec des valeurs plus hautes de pH. (11, figure 3)
- Le rendement diminue très lentement en augmentant le pH mais une fois que le pH atteint 12-13, le rendement diminue rapidement. (11, figure 4)
- Le taux de bûchettes diminue avec une augmentation du % de Na₂SO₃, mais le taux de réduction est moins accentué avec une forte concentration de Na₂SO₃.(11, figure 5)
- L'indice d'éclatement augmente avec le % de Na₂SO₃ mais de façon moins accentué si la concentration de Na₂SO₃ est trop forte. (11, figure 6)
- La quantité de matières extractibles solubilisées est faible à 4% de Na₂SO₃ mais augmente rapidement avec un taux élevé de Na₂SO₃. (11, figure 7)

Suite aux conclusions de ces auteurs, il semble que la concentration idéale pour favoriser les résistances mécaniques, la blancheur, le rendement, le contenu en bûchettes et le niveau de solubilisation des extractibles serait d'environ 5% de sulfite de sodium.

Atack et Heitner (12) ont produit des cuissons expérimentales afin d'étudier la réaction de sulfonation sur des copeaux de différentes formes et grandeurs. Les copeaux (3 mm d'épaisseur et 18 mm²), produits par un prototype à alimentation axiale de Domtar, donnait les meilleurs résultats.

Les auteurs indiquent que peu de changements se produisent sur la longueur de rupture quand le taux de sulfonation est inférieur à 1,2% (g HSO₃ / 100 g de pâte sèche). Cependant, une augmentation du taux de sulfonation de 1,2 à 2,2% permet à la pâte de doubler la résistance de la longueur de rupture.

A cause d'une dissolution importante de la lignine, l'introduction d'un taux de sulfonation supérieur à 2.2% entraîne des pertes de rendement considérables.

L'augmentation des liaisons interfibres dans les pâtes sulfonées est principalement causée par une augmentation de

souplesse et un meilleur écrasement des fibres qui est induit principalement par une plus grande proportion de longues fibres. Une comparaison de la surface spécifique hydrodynamique à partir de différentes fractions de pâte (14, 14/28, 28/48, 48/100, 100/200) pour les pâtes CMP et TMP, a démontré que la sulfonation avant raffinage ne suscite pas le développement de la surface spécifique dans aucune fraction de pâte.

L'augmentation du niveau de sulfonation est accompagnée par une réduction du coefficient de diffusion de la lumière ou de l'opacité. Ceci est dû à l'augmentation des liaisons interfibres de la fraction des longues fibres et aussi à la diminution de la quantité de matières fines dans les pâtes sulfonées.

Un léger traitement chimique avec le sulfite de sodium (1-5%) sur les copeaux de résineux démontre une amélioration significative sur les caractéristiques de la pâte en comparaison avec la pâte TMP (6).

Ces améliorations révèlent une augmentation de la densité des feuilles, des liaisons interfibres ainsi que de la blancheur avec un contenu inférieur en bûchettes.

De manière négative, l'énergie spécifique de raffinage, pour atteindre un niveau d'écoulement (CSF), est quelque peu augmentée avec le sulfite de sodium. De plus, l'amélioration des liaisons interfibres se produit aux dépens d'une réduction du coefficient de diffusion et de l'opacité.

Le niveau du pH de la liqueur d'imprégnation a une influence significative sur les caractéristiques de la pâte de CTMP. Avec un pH se situant entre 9,0 et 9,5, l'énergie spécifique de raffinage augmente pour atteindre un niveau d'égouttage donné. Ce niveau tend à maximiser la densité et à améliorer la résistance de la pâte tout en gagnant quelques points de blancheur.

Avec un pH se situant entre 6,0 et 7,5, ce niveau maximise les gains en blancheur, mais donne des densités et des résistances de pâtes inférieures; ce qui implique une certaine flexibilité du procédé de CTMP. Les conditions d'imprégnation utilisées permettent d'ajuster la qualité de la pâte en fonction des demandes et des besoins.

B) Essences feuillues (bouleau blanc)

L'étude de Law et al. (13) avait pour but d'étudier le comportement du bouleau blanc au cours du procédé de mise en pâte chimico-thermomécanique (CTMP).

Les auteurs indiquent que la concentration de NaOH est le paramètre de traitement le plus important; son effet est très significatif sur toutes les propriétés étudiées aussi bien mécaniques qu'optiques.

La présence de Na_2SO_3 est un des facteurs positifs les plus importants en ce qui à trait à la blancheur de la pâte.

On peut également noter que le temps de cuisson (à 126°C) des copeaux n'affecte pas, de façon significative, les propriétés étudiées des pâtes produites. Un temps de cinq minutes est donc suffisant lors de la cuisson des copeaux.

Le NaOH a une influence positive très importante sur les propriétés mécaniques de la pâte de bouleau blanc. En effet, la température et un certain ramollissement dans les parois des fibres, par le NaOH, favorisent une meilleure défibration dans les couches S_1 et S_2 . Cette défibration idéale augmente

la souplesse et la surface spécifique des fibres tout en améliorant les liaisons fibres à fibres.

Un taux de 5% de NaOH (en poids par rapport au bois sec) suffit donc pour développer les propriétés mécaniques du papier.

Généralement, le NaOH a des effets néfastes sur les propriétés optiques et le volume spécifique du papier. La blancheur de la pâte est très sensible au taux de NaOH et ce dernier devrait être gardé au minimum, soit environ 5%. Nous notons aussi que l'opacité et le volume spécifique du papier diminuent avec une augmentation du taux de NaOH tandis que la densité des feuilles s'accroît.

En ce qui concerne le Na_2SO_3 , son influence sur les propriétés de la pâte ne semble pas avoir d'importance, exception faite pour la blancheur du papier où le Na_2SO_3 agit comme un agent de blanchiment.

Une des caractéristiques intéressantes, concernant le CTMP, est son très haut rendement (91-93%) qui se situe très près de celui de la pâte TMP ou de la pâte mécanique de meule. Ce haut niveau d'utilisation de la matière première deviendra de plus

en plus une condition essentielle pour la conservation des ressources forestières.

L'énergie spécifique de raffinage de la pâte de TMP de bouleau blanc est d'environ 7,5 MJ/kg pour l'obtention d'un indice d'égouttage de 200 ml. L'application de NaOH et de Na₂SO₃ a tendance à nécessiter considérablement moins d'énergie de raffinage car ces agents chimiques ont pour effet de ramollir la paroi cellulaire et de la rendre plus souple; ce qui facilite le défibrage.

2.11 Mise en pâte avec un mélange d'essences

Plusieurs auteurs ont étudié l'aspect de la mise en pâte, avec un mélange de plusieurs essences, lors d'une cuisson chimique ou encore lors d'un procédé mécanique. Quelques auteurs ont procédé à des mélanges de résineux (14-15), d'autres à des mélanges de feuillus (16-18), tandis que certains ont combiné des essences résineuses et feuillues (19-24).

Somme toute, les effets d'un mélange d'essences lors d'un traitement chimique ou mécanique sont peu connus et les études

sur le raffinage en mélange de copeaux sont relativement peu nombreuses.

A) Procédés chimiques

Selon Wang et al. (20), un mélange de pâte a des effets négatifs, après une cuisson chimique de type kraft, qui amènent une certaine diminution des propriétés papetières.

Ce dernier a développé une théorie linéaire, pour un mélange de pâte, en considérant que les propriétés physiques pour une pâte pure peuvent être exprimées en fonction des caractéristiques des fibres. Il a donc tout simplement avancé que les propriétés physiques des pâtes en mélange étaient proportionnelles à la fraction de la pâte pure dans le mélange.

Ces auteurs se sont basés sur les caractéristiques des fibres pour évaluer les propriétés des pâtes telles l'épaisseur des parois, le diamètre des lumens, la longueur de la fibre et le ratio de Runkel.

Les conclusions apportées par Wang et al. avec la théorie linéaire en mélange indiquent qu'il est possible de prévoir

les propriétés papetières en se basant sur le comportement des pâtes pures. Par exemple, l'indice de déchirure est de 159 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ pour une pâte pure de sapin Douglas à 400 ml (CSF) alors que l'indice de déchirure, pour l'éryable à grande feuille (bigleaf maple) est de 73 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$.

L'indice de déchirure, avec un mélange de pâte composé à 50% de sapin et 50% d'éryable, devrait normalement se situer à un niveau intermédiaire soit à 120 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$. Par contre, l'expérimentation a montré un indice de déchirure de 125 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$.

L'auteur (20) obtient des résultats très intéressants, mais pour des raisons inconnues, il a omis les autres propriétés papetières telles l'indice d'éclatement et la longueur de rupture. Le fait d'accepter la théorie linéaire en mélange revient à dire, d'une part, que les propriétés physiques du mélange sont en relation avec la fraction des pâtes pures et d'autre part, que les essences qui composent le mélange sont indépendantes l'une de l'autre puisqu'elles ne modifient en rien la structure de la feuille.

Hunt et al. (24) ont également expérimenté une certaine diminution dans les valeurs des pâtes kraft lorsqu'elles

étaient mélangées avec du feuillu. La quantité de pâte pour diminuer la résistance des pâtes semble dépendante de l'espèce utilisée; de 5% à 50% de feuillus étaient nécessaires avant d'observer une diminution. Les auteurs signalaient des pertes minimes de résistance avec une proportion de 10% et 20% de feuillu. L'indice de pliage et l'indice de déchirure, à un degré moindre, étaient les propriétés où l'on remarquait les premiers effets de diminution de résistance avec l'addition du feuillu.

Ces observations rejoignent, en quelque sorte, la théorie linéaire en mélange proposée par Wang. Cette théorie dit que la combinaison des deux essences en mélange donne un produit intermédiaire entre les deux pâtes pures; ce qui indique l'indépendance des essences en mélanges.

Les auteurs ont également observé des taux de cuisson différents pour les feuillus et les résineux. En effet, les feuillus ont un contenu en lignine plus faible et une composition chimique différente des résineux dont résulte une cuisson plus rapide pour les feuillus.

En ce qui à trait à la cuisson kraft, composée d'un mélange de résineux et de feuillu, elle donne généralement un rendement

supérieur comparativement à un mélange composé uniquement d'un résineux. Cependant, le rendement dépend du type de pâte désirée, c'est-à-dire du facteur H.

Le rendement est supérieur pour un feuillu comparativement à un résineux quand une pâte a un taux de délignification et un facteur H élevés. Cependant, pour obtenir une pâte à haut rendement, le taux de délignification et le facteur H doivent être plus faibles. Le rendement devient donc supérieur pour un résineux comparé avec un feuillu.

Nault et al. (18) ont produit avec un mélange de feuillu, composé de tremble et de bouleau, une pâte au sulfite à très haut rendement. La pâte a été alimentée au raffineur, à l'imprégnateur chimique et à un autre défibrage, cette fois-ci au PFI. Nault et al. ont observé plusieurs paramètres dont le pH de la liqueur de cuisson, la proportion en poids de tremble, le % de SO₂ total ainsi que le rendement de la pâte.

Les auteurs indiquent que le paramètre le plus important afin de développer les résistances physiques et le rendement des pâtes est le pH.

Avec un pH d'environ six, les pâtes possèdent de faibles valeurs pour la longueur de rupture et l'indice de déchirure. De plus, la production de ces pâtes requièrent une énergie de raffinage assez importante. Avec un pH inférieur ou supérieur à six, ces pâtes montrent des améliorations sur les propriétés mécaniques.

Le rendement moyen d'environ 85% se produit pendant que la concentration de dioxyde de soufre et le pourcentage de tremble sont constants; ce qui indique une relation étroite entre le pH de la liqueur de cuisson et le rendement.

Il est important de mentionner qu'une proportion (en poids) de tremble supérieure à 50% dans le mélange amène une diminution du rendement.

Wilson et al. (21) ont, eux aussi, produit une pâte au sulfite avec un mélange de résineux et de feuillus. Le mélange de résineux est composé de 40% de sapin beaumier et, à proportions égales d'épinette blanche, d'épinette noire et d'épinette rouge. Le mélange de feuillus est composé de 25% d'érable rouge, 25% d'érable à sucre et 10% d'hêtre.

Les auteurs ont démontré qu'une proportion de 50% de feuillus pouvait amener des améliorations telles la formation et le lissage de la surface (surface smoothness) tout en gardant des résistances satisfaisantes pour le papier fin.

L'expérimentation a montré que la cuisson des feuillus était plus rapide que celle des résineux. Comme l'a déjà indiqué Hunt et al., la température de cuisson a été baissée afin de produire des cuissons plus uniformes.

Dans cette étude, le pH de la liqueur de cuisson était de l'ordre de six, cette donnée contredit les conclusions de Nault et al. qui favorisent un pH inférieur ou supérieur à six.

Un des avantages, en utilisant un mélange de 50% de feuillus, est l'amélioration de l'écoulement de la pâte dans les départements des laveurs et du blanchiment. La production des machines ne diminue pas avec l'addition de feuillus dans la pâte, au contraire, l'amélioration de l'écoulement permet d'augmenter la consistance des feuilles par 2% ou 3% dans les presses.

Les résistances mécaniques, telles la déchirure et l'éclatement, diminuent légèrement, mais l'amélioration de

l'opacité, de la surface et de la formation ont nettement avantagé l'utilisation de ce type de pâte dans la fabrication d'un papier fin.

B) Procédés mécaniques

Hatton et al.(19) mentionnent que les copeaux de feuillu et de résineux agissent indépendamment l'un de l'autre durant le raffinage des mélanges de copeaux. Dans ce même article cette affirmation est contredit par la conclusion de Ohls qui avance que les copeaux de résineux protègent ceux du feuillu (fibres courtes) durant le raffinage, et l'expérience de Pearson, qui dit que les fibres de feuillu sont broyées en une fine poudre.

Mais Hatton et al. formulent cette conclusion lorsqu'ils procèdent à des expériences de mise en pâte mécanique de raffineur (RMP) sans traitement chimique. L'auteur remarque que la résistance des pâtes diminue avec une augmentation du contenu en feuillu. Les essences pures d'épinette et de tremble, mélangées après le raffinage, ne montrent aucune différence avec le mélange précédent le raffinage. Hatton et al. concluent donc que les copeaux de résineux et de feuillu

agissent indépendamment l'un de l'autre à l'étape du raffineur.

Quand les auteurs (19) emploient un traitement chimique avec du sulfite de sodium, lors du procédé CMP, la déchirure augmente considérablement avec la pâte résineuse et le mélange composé à 75% de résineux et 25% de feuillu.

La longueur de rupture et l'indice d'éclatement ont augmenté également mais les auteurs n'élaborent pas sur les résultats. Pourtant, avec un traitement chimique sur les copeaux, il aurait été intéressant de vérifier si effectivement des essences différentes agissent indépendamment l'une de l'autre pendant l'étape du raffinage.

Avec un autre traitement chimique (sulfite de sodium + soude), les auteurs remarquent des effets synergiques sur l'indice d'éclatement, la longueur de rupture et l'indice de déchirure. Ces effets sont observés quand la pâte est composée de 25% de feuillu et 75% de résineux en comparaison avec la pâte de résineux (100%). L'addition de la soude dans la phase du prétraitement a pour effet de diminuer le rendement et la blancheur ainsi qu'augmenter la densité des feuilles et les caractéristiques physiques des fibres tout en ayant une consommation d'énergie réduite.

Généralement, l'addition de feuillu, dans la composition du papier, amène une augmentation de la blancheur et une diminution de l'énergie spécifique du raffinage.

On signale un effet synergique seulement lorsqu'un traitement chimique sur les copeaux des feuillus est employé.

Quand il n'y a aucun traitement chimique sur les copeaux, la résistance des pâtes diminue avec une augmentation du contenu de feuillu. Dans ces conditions, le principe de la théorie linéaire en mélange proposé par Wang (20) pourrait s'appliquer même si un procédé mécanique est employé puisque les essences semblent indépendantes l'une de l'autre.

Laliberté et al. (14) ont étudié l'effet de l'addition d'un autre résineux (pin gris) provenant de résidus de sciage qui a été incorporé avec de l'épinette pour les procédés TMP et CTMP. Les auteurs obtiennent des résultats similaires à ceux trouvés par Hatton et al. (19).

Un mélange de copeaux, composé d'épinette et de pin, amène une diminution de la longueur de rupture accompagnée d'une augmentation du contenu en pin pour le TMP. Avec un traitement chimique, l'augmentation du contenu en pin entraîne un effet

synergique sur la longueur de rupture, et ce, même si le pin demande plus d'énergie lors du raffinage. Les auteurs constatent aussi qu'un traitement chimique léger (contenu sulfoné = 0,5%), avant le raffinage, augmente l'énergie de raffinage pour amener les pâtes de CTMP au même CSF que les pâtes de TMP.

Cependant, les pâtes de CTMP demandent moins d'énergie de raffinage pour atteindre les mêmes résistances d'éclatement et de tension que les pâtes de TMP.

Un traitement chimique léger augmente la résistance des pâtes, mais diminue de quelques points l'opacité tandis que la blancheur augmente de quelques points. De plus, la sulfonation des copeaux a tendance à diminuer le contenu en bûchettes et d'augmenter la proportion des longues fibres.

L'indice de peluchage ne change pas avec un traitement chimique et la résistance de la bande humide ne montre aucune amélioration significative.

Axelson et al. (15) ont étudié l'effet du sulfite de sodium sur un mélange composé de 80% d'épinette et 20% de pin gris. Les auteurs remarquent que la sulfonation pour le mélange est

plus facile que pour la pâte d'épinette. Ce résultat s'explique par une plus grande accessibilité à l'imprégnation par le bois de pin gris que le bois d'épinette.

A l'aide d'un graphique, montrant l'indice en tension en fonction du contenu sulfoné de la pâte en % pour un niveau d'énergie constant, les auteurs indiquent un point maximum et un point minimum de la résistance en tension. Un contenu sulfoné de 0,4% représente le point maximum de la résistance en tension tandis que le point minimum est atteint avec un contenu sulfoné de 0,8%. Les points maximum et minimum pour la pâte pure se situent à 0,2% et 0,5% respectivement.

Le point maximum en tension, avec un contenu de 0,4% de sulfonation, démontre que le défibrage des fibres produit une bonne fibrillation et une amélioration de la souplesse des fibres alors qu'à 0,8% le développement de la surface des fibres n'est pas optimal.

Une imprégnation chimique trop importante sur les fibres risque de provoquer un point critique alors que la sulfonation de la lignine et le ramollissement des fibres influencent de façon prédominante une séparation dans la lamelle moyenne. Cette situation produit une fibre plus difficile à raffiner et

un indice en tension plus faible pour un niveau d'énergie constant.

Les auteurs apportent une remarque intéressante en soulignant que l'indice en tension du mélange est d'environ 15% supérieur à la pâte pure (effet synergique!).

Jackson et al. (23) ont procédé à l'optimisation de la mise en pâte de tremble. Pour des raisons d'ordre morphologique, de composition chimique et de structure, le tremble ne peut être comparé avec des résineux qu'à la condition d'envisager un traitement chimique dans la mise pâte.

Le TMP de tremble produit des résistances en traction inférieures au procédé mécanique conventionnel de meule à base de résineux. Avec le CTMP, le tremble produit des propriétés comparables aux pâtes mécaniques à base de résineux.

Jackson et al. (23) poursuivent leur expérimentation en comparant un mélange de pâte, après le raffinage, à un mélange de copeaux, avant le raffinage. Les auteurs procèdent à trois mélanges de pâte après le raffinage soit 70/30, 50/50 et 30/70 qu'ils ont comparé avec un seul mélange de copeaux avant raffinage soit 50/50.

Les auteurs indiquent que la différence dans la qualité des pâtes et des copeaux mélangés est minime, que ce soit dans les propriétés mécaniques ou optiques. Ils concluent en affirmant que le raffinage des essences pures est préférable afin de produire une amélioration du coefficient de diffusion de la lumière et de l'opacité pour le produit final. Par contre, il existe une incohérence entre les conclusions formulés par Jackson et al. et les résultats qu'ils ont obtenus. Au tableau 7 (23), les auteurs indiquent que la différence entre pâtes mélangées et copeaux mélangés est minime. Pourtant, avec un raffinage qui utilise des copeaux de différentes essences en mélange, on constate une amélioration sur les propriétés de la longueur de rupture et de l'indice d'éclatement.

Dans sa thèse de maîtrise, Mondor (22) formule une hypothèse qui expliquerait les effets synergiques lors du raffinage d'un mélange épinette/mélèze.

On peut définir un effet synergique comme étant un résultat positif ou négatif sur une propriété papetière qui ne suit pas la théorie linéaire en mélange proposé par Wang et al. (20).

Selon Mondor, les effets synergiques pourraient s'expliquer par des interactions de copeaux et de fibres à l'intérieur de la zone de raffinage. Il mentionne qu'un effet de raclage des fibres de résineux, par les fibres plus rigides du mélèze ou encore par le mélange des pâtes raffinées de différentes façons, amèneraient des modifications dans la structure de la feuille.

Mondor formule ces observations à partir du fait qu'aucun effet synergique n'est apparu avec l'indice de déchirure alors qu'il a été remarqué avec la longueur de rupture et l'indice d'éclatement. Ces résultats suggèrent que l'effet synergique n'est pas occasionné par une protection des fibres d'épinette sur les fibres du mélèze dans le raffineur. Dans ce cas, la déchirure, qui dépend en grande partie de la longueur moyenne des fibres, aurait bénéficié d'une amélioration; ce qui n'est pas le cas.

Il explique les effets synergiques par une action de raclage ou de frottement des fibres d'épinette par les fibres plus rigides du mélèze pendant l'opération du raffinage. Cette action de raclage ou de frottement des fibres augmenterait ainsi la surface spécifique, contribuant à développer de meilleurs contacts interfibres et ainsi des résistances

supérieures à la rupture et à l'éclatement.

Pour vérifier l'hypothèse qu'il vient d'émettre, il suggère de mesurer les résistances en traction de la bande humide (wet web) de façon à observer si effectivement la surface spécifique des fibres voit une amélioration quand il y a un effet synergique. La résistance en traction humide, ainsi que l'allongement humide, dépendent surtout de la surface spécifique des fibres que l'on mesure indirectement par des propriétés physiques comme la longueur de rupture et l'indice d'éclatement.

Miller et al. (17) ont procédé à des expérimentations de mise en pâte de CTMP à partir d'essences de feuillus à haute densité. Le mélange de copeaux était composé d'une proportion de 70% de chêne, 10% de caryer et 20% d'autres essences feuillues de haute densité.

L'objectif de cette étude était d'identifier les caractéristiques fondamentales des fibres qui influencent favorablement les propriétés du papier dans le procédé de CTMP.

Plusieurs pâtes, avec des caractéristiques différentes, sont produites en utilisant des combinaisons différentes de

produits chimique, de température et de temps de rétention.

Le traitement à la soude est plus efficace qu'un traitement au sulfite ou un traitement combiné de sulfite et de soude. Comme la concentration de soude augmente, les propriétés de la pâte augmentent, également, mais le changement le plus notable survient quand la concentration de soude est passe de 3% à 9%.

Le FSI (fiber strength indicator) est un facteur qui se révèle efficace pour évaluer la qualité de la pâte. Par contre, l'évaluation de la pâte nécessite des facteurs additionnels parce qu'un FSI élevé ne résulte pas toujours en une résistance en tension correspondante. Un FSI faible peut être le résultat de la rupture des fibres, un trop grand % de fibres courtes ou des liaisons interfibres insuffisantes.

Le développement de la surface spécifique, mesuré par l'appareil PULMAC, augmente avec la concentration de caustique, mais diminue alors que les temps de rétention augmentent. La variation de la surface spécifique des fibres est un bon indicateur de la qualité des fines contenues dans la pâte et démontre également l'aptitude du raffineur à développer la surface spécifique des fibres.

Quand la concentration de caustique augmente, la quantité de matières fines hausse sa qualité et ces fines possèdent une surface spécifique élevée. Quand les temps de rétention augmentent, la qualité des fines demeure constante, mais il devient plus difficile pour le raffineur de développer la surface spécifique des fibres puisque les fibres se détachent plus aisément.

L'énergie de raffinage des pâtes de CTMP à base de feuillus à haute densité diminue, normalement, avec une augmentation de la concentration des produits chimiques et des temps de rétention. Le contenu ionique des pâtes au sulfite a une bonne corrélation avec le développement de la résistance des pâtes. Plusieurs des caractéristiques fondamentales des fibres, comme la longueur, la distribution, la surface spécifique et le volume de gonflement, sont interreliés entre elles. Par contre, le contenu ionique des fibres est complètement indépendant des autres caractéristiques à l'exception du volume de gonflement.

Law et al. (16) ont étudié la mise en pâte de CTMP à base de feuillus, dans le but de savoir si des essences pouvaient être traitées ensemble et donner des rendements satisfaisants dans le même procédé. De cette façon, l'approvisionnement de la matière première serait moins restrictif. Les auteurs ont

choisi comme essence: le tremble, le bouleau blanc et le bouleau gris.

Le tremble est assez bien distribué à travers le Canada. Le tremble est utilisé dans la mise en pâte mécanique principalement à cause de sa blancheur initiale et de sa faible densité s'apparentant à celle des résineux. Le bouleau blanc, pour sa part, connaît une distribution plus importante que le tremble, mais il est rarement utilisé comme matière première dans l'industrie des pâtes et papiers. Le bouleau gris connaît une distribution moins importante et, en plus, il atteint rarement le volume commercial.

En ce qui concerne le rendement, peu de différences sont notées entre les trois essences avec les mêmes conditions de mise en pâte, soit à 92-93%.

Les propriétés physiques pour le tremble sont normalement supérieures à celles des deux autres essences de feuillus. La supériorité du tremble, par rapport aux autres essences, est due à l'épaisseur de la paroi cellulaire qui est plus étroite et qui favorise les liaisons interfibres. Les deux bouleaux, quant à eux, montrent des caractéristiques similaires même si le bouleau blanc possède une longueur de fibre et un % de

fibres en volume plus important que le tremble.

La classification des fibres montre une concentration plus importante en matières fines, ce qui se traduit par une meilleure opacité.

Les trois essences donnent des résultats similaires pour la déchirure.

Dans un mélange de pâte (tremble/bouleau blanc) avec une proportion 50/50%, il est possible d'obtenir une pâte sans altérer la qualité. Normalement, le bouleau gris se comporte de manière similaire.

Une bonne qualité de pâte de CTMP peut être obtenue avec un mélange égal (tremble/bouleau blanc/bouleau gris).

Les propriétés physiques des pâtes de CTMP de feuillu semblent dépendantes de la concentration de NaOH et indépendantes de la concentration de Na_2SO_4 au-dessus de 5%.

CHAPITRE III

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

3.1 Matières premières

L'expérimentation a consisté en la préparation d'un mélange commercial de résineux (25% de sapin/ 75% d'épinette) combiné avec des proportions différentes de bouleau blanc. Les copeaux de résineux proviennent de l'usine de Kruger de Trois-Rivières tandis que les billes de bouleau blanc viennent de la région d'Yamaska (Québec).

3.2 Manipulation des copeaux

Les billes de bouleau sont écorcées avec un écorceur à anneaux de 26 pouces de type Forano et mises en copeaux avec une déchiqueteuse de copeaux à six couteaux également de type Forano. Les copeaux sont classés avec un classificateur à disque de type Rader en acceptant les copeaux de 2 mm à 8 mm d'épaisseur.

Par la suite, les copeaux de résineux (sapin et épinette) et de feuillu (bouleau blanc) sont lavés séparément et mélangés en poids (sec) avec des proportions de 0% à 100% de bouleau.

3.3 Prétraitement des copeaux

Les essais de raffinage comportent une ligne de base où le mélange de copeaux est raffiné sous pression, mais sans traitement chimique (TMP). Les essais de raffinage comportent quatre autres essais, mais cette fois-ci avec un traitement chimique; soit avec du sulfite de sodium seul, à 2.5% en poids (CTMP-A) et à 4.0% en poids (CTMP-B) ou avec un traitement chimique comprenant du sulfite de sodium et de la soude, soit à 2.5% de sulfite + 2.5% de soude (CTMP-C) et à 5.0% de sulfite + 5.0% de soude (CTMP-D) (voir Tableau 3).

PROCEDES	% sulfite de sodium	% soude caustique	pH de la liqueur	Etuvage pression atmos.	cuisson 128°C.
TMP	0	0	-	10 min.	-
CTMP-A	2,5	0	10,15	10 min.	6 min.
CTMP-B	4,0	0	10,20	10 min.	6 min.
CTMP-C	2,5	2,5	12,20	10 min.	6 min.
CTMP-D	5,0	5,0	12,00	10 min.	6 min.

Tableau 3: PRÉTRAITEMENT DES COPEAUX

Un étuvage à la vapeur est effectué, sur les copeaux des cinq procédés, pour une période de 10 minutes à pression atmosphérique. La cuisson des pâtes CTMP est maintenue à 128°C pendant six minutes.

3.4 Condition de raffinage

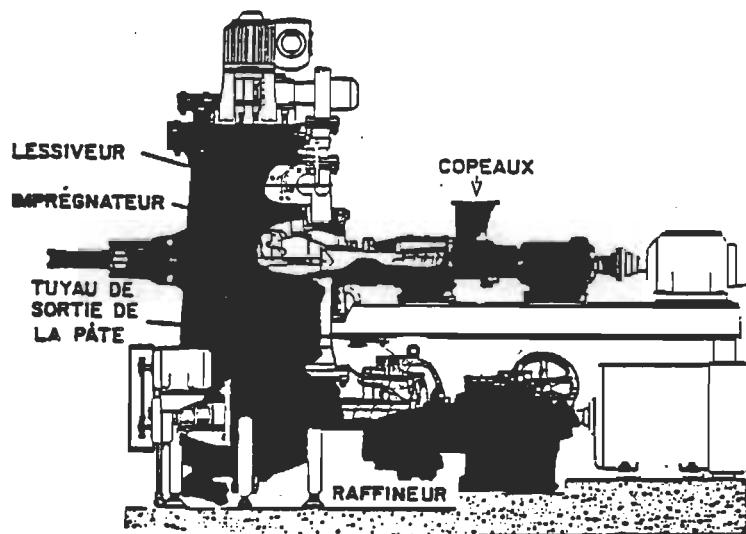
Les pâtes thermomécaniques et chimico-thermomécaniques sont produites à l'aide du raffineur de laboratoire, le CD 300 de Sunds Defibrator, en deux stades à différentes consommations d'énergie de raffinage. Pour chaque procédé (TMP, CTMP-A, CTMP-B, CTMP-C et CTMP-D), la première étape du raffinage s'effectue sous pression (172 kPa) tandis que la deuxième étape est à pression atmosphérique (voir figure 1-C).

3.5 Lavage des pâtes

Entre les deux stades de raffinage, les pâtes sont lavées et épaissies à l'aide d'une lessiveuse commerciale où le cylindre rotatif contient une toile perforée de 200 mailles. Après le deuxième stade de raffinage, les pâtes sont épaissies.

3.6 Propriétés papetières

La latence de toutes les pâtes est enlevée à l'aide du désintégrateur Domtar. Conformément aux procédures standard de la section technique de l'ACPPP (Association Canadienne des Producteurs de Pâtes et Papiers), les propriétés des pâtes et des papiers sont évaluées. Les propriétés optiques sont mesurées à l'aide d'un photomètre Zeiss Elrepho.



**Figure 1-C Unité d'imprégnation et de raffinage primaire
Sunds Defibrator**

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Effets du bouleau dans les mélanges

Cette partie vise à évaluer les influences du bouleau blanc dans les mélanges sur les caractéristiques du raffinage et sur les propriétés papetières des pâtes au cours de la mise en pâte TMP et CTMP.

Les conditions de cuisson étant constantes, nous avons évalué différentes propriétés papetières avec plusieurs concentrations de produits chimiques (voir tableau 3, p. 52).

4.1.1 Consommation d'énergie de raffinage

A) procédé TMP

Le procédé de mise en pâte thermomécanique utilise un prétraitement à la vapeur ainsi qu'une compression des copeaux

à l'aide d'une vis conique avant l'étape du raffinage. La compression des copeaux affecte la structure et influence la consommation d'énergie pendant le raffinage. A la figure 1, une pâte de résineux (0%) nécessite une consommation d'énergie de raffinage supérieure pour atteindre un niveau d'égouttage équivalent aux différents mélanges et à la pâte de bouleau (100%).

Une étude sur le raffinage en mélange de résineux et de feuillus montre des résultats similaires (19). Il est à noter que la mise en pâte du bouleau, avec le TMP, nécessite une consommation d'énergie de raffinage inférieure à celles des résineux même si la densité du bouleau est supérieure. Cette affirmation s'explique par les caractéristiques du procédé TMP, comme la compression des copeaux, qui ont causé des dommages à la structure du bouleau et ont produit une plus grande proportion de matières fines. Avec 20% de bouleau dans le mélange, la consommation d'énergie du raffinage diminue, assez rapidement, en fonction de l'indice d'égouttage car la production de matières fines influence l'indice d'égouttage. De plus, l'augmentation de la proportion de bouleau, influence très peu la consommation d'énergie de raffinage. Avec un pourcentage de 20% et plus de bouleau, la consommation d'énergie du raffinage demeure inchangée.

Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

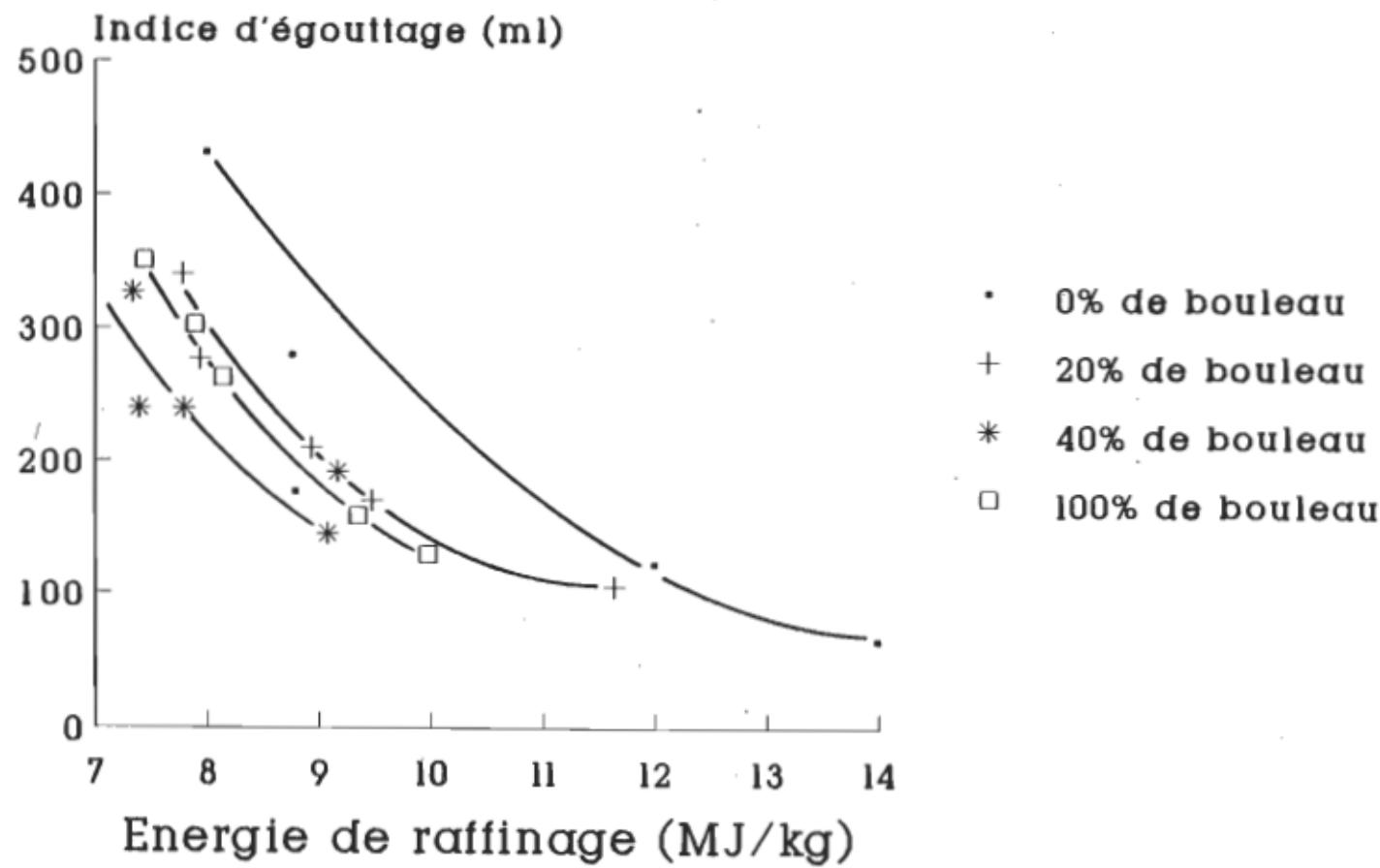


figure 1

B) procédé CTMP-A (2,5% de sulfite)

L'indice d'égouttage en fonction de la consommation d'énergie du raffinage (figure 2), donne des résultats contraires à ceux obtenus précédemment avec le TMP. Une pâte de résineux nécessite une énergie de raffinage inférieure à celle de la pâte de bouleau. Pour les mélanges à 20% et à 40% de bouleau, la consommation d'énergie de raffinage est légèrement supérieure à celle d'une pâte de résineux.

La densité du bouleau étant plus importante que la plupart des résineux comme le sapin et l'épinette, la diffusion des produits chimiques est plus lente et moins efficace à travers la paroi cellulaire. Il faut également spécifier que la sulfonation de la lignine entraîne une amélioration de la séparation des fibres ainsi et de la qualité des fines produites.

Il nous semble donc, en mélange de copeaux, que l'intensité de la sulfonation n'est pas identique pour les résineux et pour le bouleau. Cette particularité est expliquée par une différence dans la composition chimique et/ou par une différence de la quantité de lignine entre ces deux essences. Avec des conditions de sulfonation identiques pour l'épinette

Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

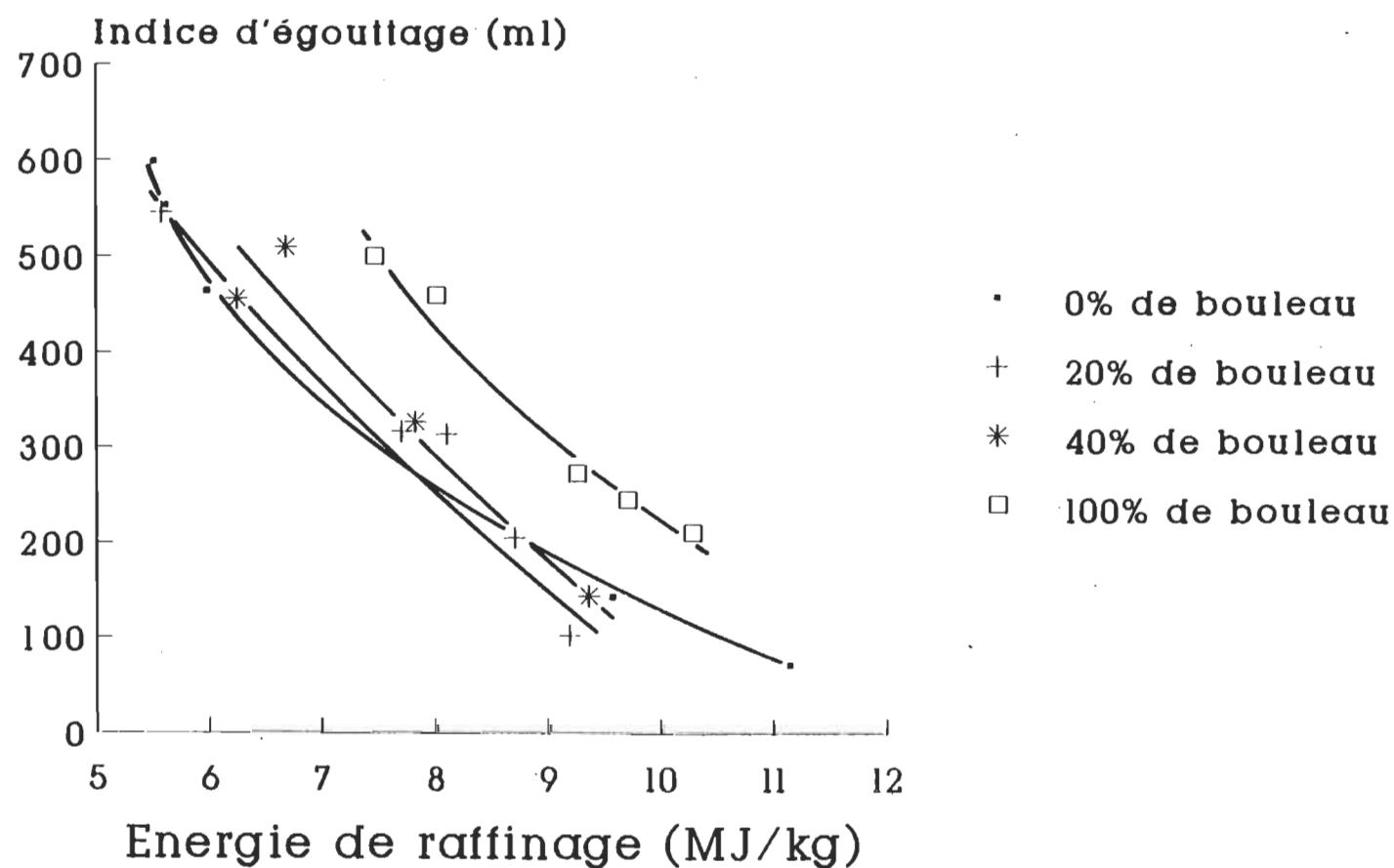


figure 2

et le bouleau pour un procédé CMP, l'épinette absorberait une quantité de soufre trois fois plus importante que le bouleau (25). Suite à ce résultat, nous pouvons faire une relation entre la quantité de soufre absorbée dans le bois et le niveau de sulfonation. Donc, même si la consommation d'énergie de raffinage est plus importante pour le CTMP-A, ce résultat est prévisible car le bouleau est plus dense, le niveau de sulfonation est différent entre les résineux et le bouleau et les fines produites sont de meilleure qualité que ce qui a été produit par le TMP.

C) procédés CTMP-B (4% de sulfite)

La figure 3 présente des résultats semblables à ceux de la figure 2. Une pâte de résineux nécessite une consommation d'énergie moindre que les différents mélanges et la pâte de bouleau. Cependant, à partir de 40% de bouleau, la consommation d'énergie de raffinage est similaire à une pâte de bouleau.

Avec 4% de sulfite de sodium, la différence de sulfonation entre les résineux et le bouleau semble accentuée. Les différents mélanges nécessitent une consommation d'énergie de

Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

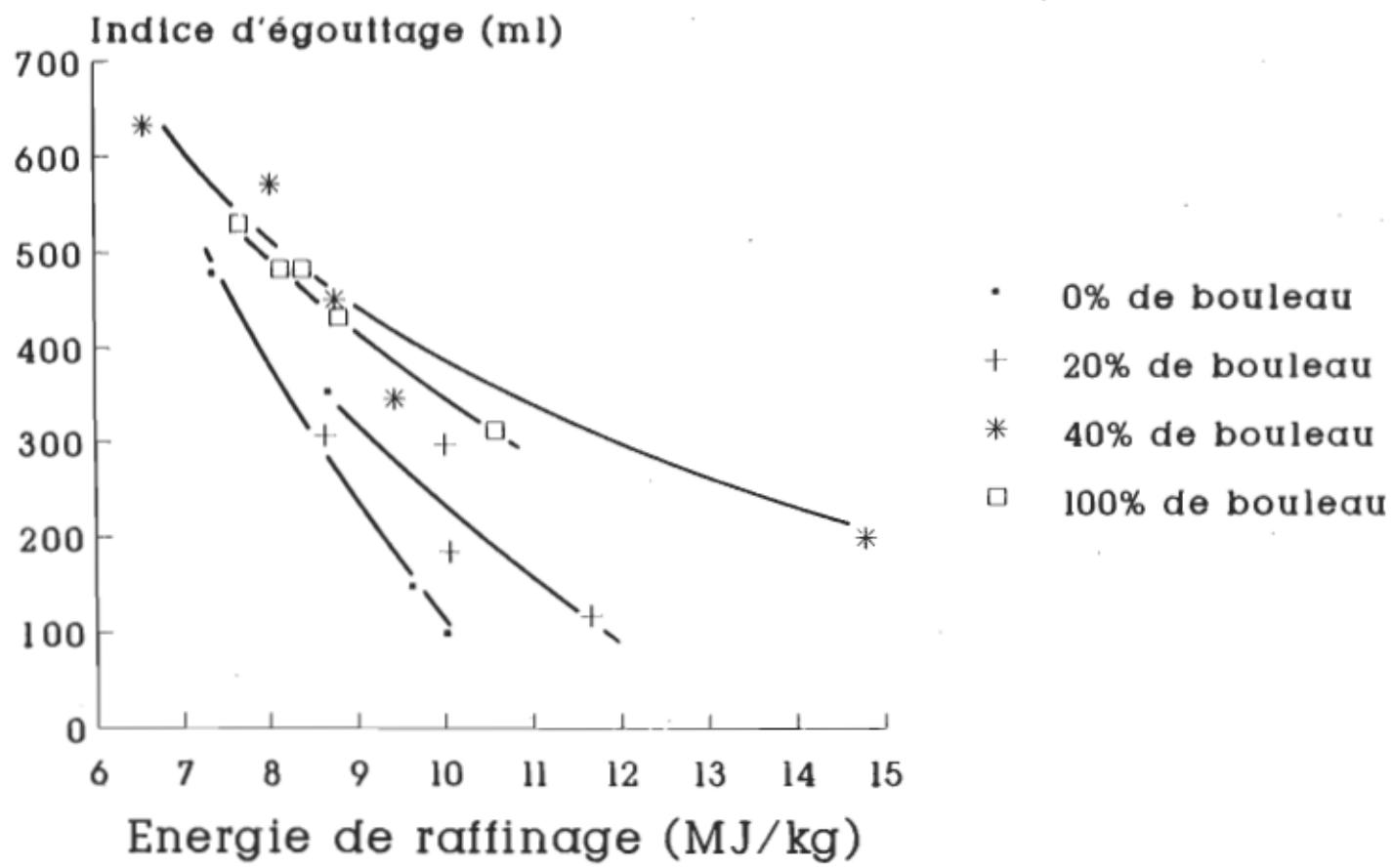


figure 3

raffinage plus importante afin d'obtenir un indice d'égouttage équivalent au procédé CTMP-A. Avec un mélange de copeaux, le sulfite de sodium réagit principalement sur les fibres des résineux alors que la sulfonation est moins réactive sur les fibres du bouleau étant donné que la composition chimique de la lignine du bouleau est différente. En plus, la qualité des fines est renforcée par une augmentation de la concentration de sulfite de sodium de 2,5% à 4%.

D) procédé CTMP-C (2,5% de sulfite + 2,5% de soude)

A La figure 4, on constate qu'une augmentation du bouleau diminue proportionnellement la consommation d'énergie du raffinage.

Une pâte de résineux est plus difficile à raffiner tandis qu'une pâte de bouleau consomme moins d'énergie de raffinage.

Il est à noter, que l'utilisation de la soude ramollit, principalement, la paroi cellulaire du bouleau. L'étape du défibrage est plus facile car le bouleau, par sa composition chimique, réagit plus facilement avec la soude que les résineux. La composition chimique des résineux se compose d'un

Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

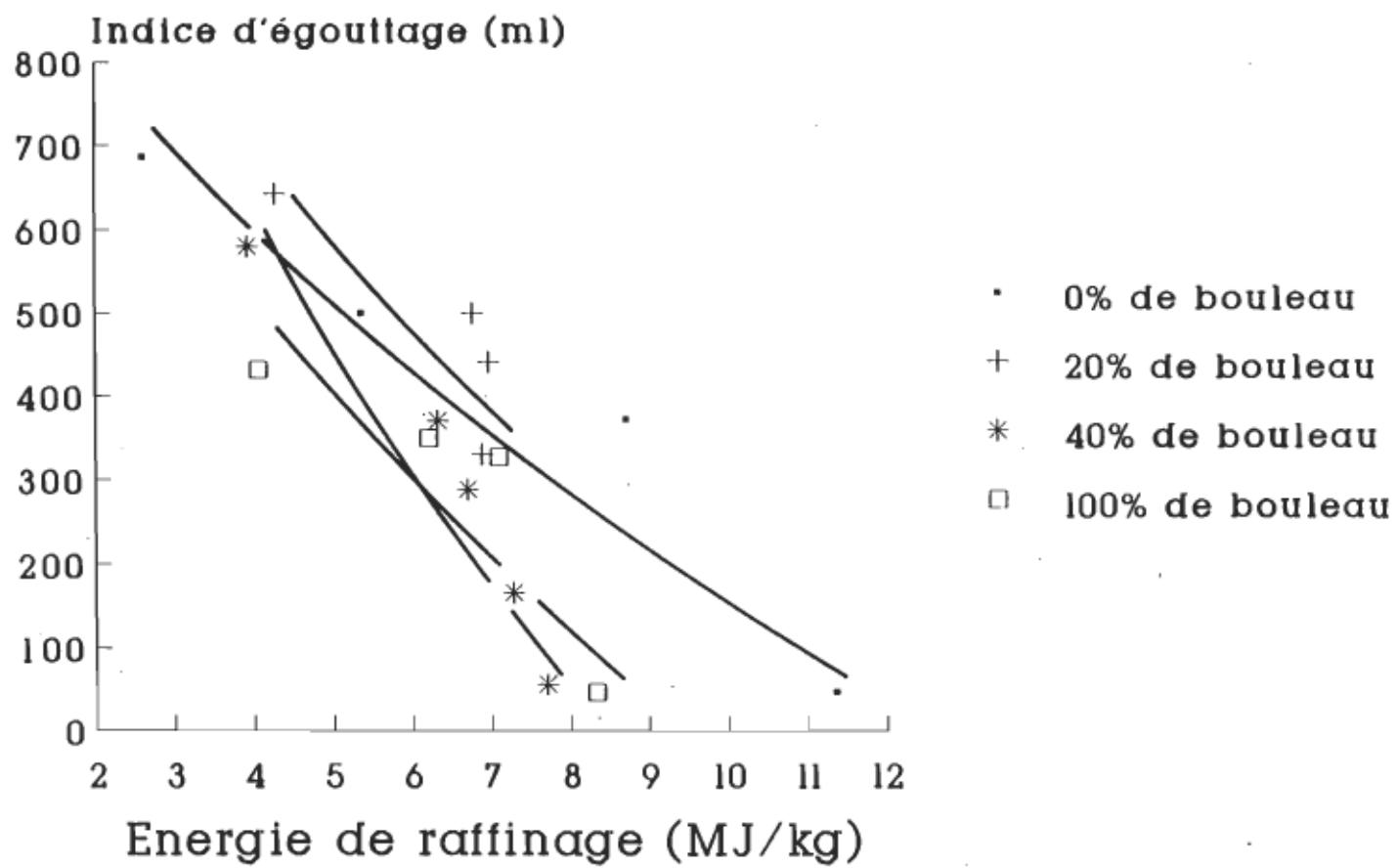


figure 4

taux plus appréciable de lignine. Le bouleau, quant à lui, possède un taux de lignine moins important dans la paroi cellulaire, mais avec une transition plus claire, permettant ainsi le gonflement et le ramollissement des fibres. L'augmentation du pourcentage du bouleau, avec l'emploi de la soude, diminue donc la consommation d'énergie du raffinage.

E) procédé CTMP-D (5% de sulfite + 5% de soude)

Le procédé utilisant une combinaison de 5% de sulfite de sodium avec 5% de soude, à la figure 5, produit des courbes de consommation d'énergie de raffinage semblable à la figure 4, mais encore plus distinctes. La pâte de résineux consomme plus d'énergie de raffinage que les différents mélanges et que la pâte de bouleau.

A mesure que le pourcentage de bouleau augmente, la consommation d'énergie de raffinage diminue comme à la figure 4, mais l'effet de la concentration de la soude à 5% est plus marqué.

Même si le bouleau est plus dense que les résineux, ce qui signifie que la diffusion des produits chimiques est moins

Variation de l'indice d'égouttage en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

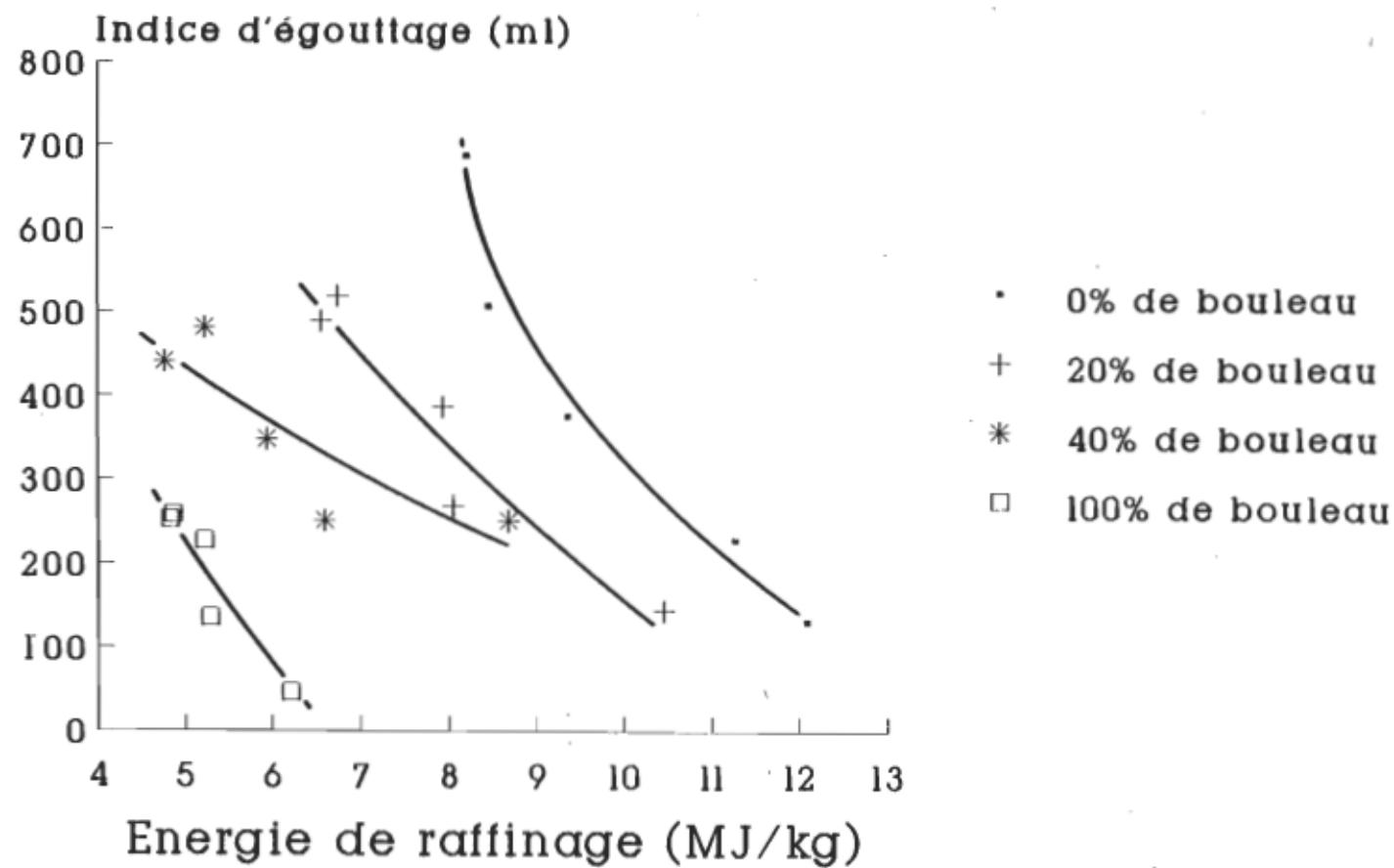


figure 5

efficace pour un feuillu, un traitement alcalin suscite un certain gonflement de la paroi cellulaire la rendant plus souple.

On peut donc affirmer que l'action de la soude semble sélective, puisqu'une pâte de résineux ne montre pas la même aisance dans le défibrage que le bouleau. De même, l'action du sulfite de sodium favorise une meilleure action de la séparation des fibres chez les résineux. Avec une haute concentration de sulfite de sodium ou de soude, on favorise donc l'une ou l'autre des essences; les résineux ou le bouleau. Mais avec une concentration moins importante de produits chimiques, la différence est moins accentuée dans la séparation des fibres pendant le raffinage. A titre d'exemple, à la figure 2, on constate que l'emploi de 2,5% de sulfite de sodium ne crée pas beaucoup de différence dans la consommation de l'énergie de raffinage avec les différents mélanges.

4.1.2 Longueur de rupture

A) procédé TMP

Pour le procédé TMP (figure 6), on obtient une longueur de rupture qui diminue avec l'augmentation du pourcentage de bouleau. On constate qu'un pourcentage de 20% et 40% de bouleau ne diminue pas beaucoup la longueur de rupture contrairement à une pâte de bouleau qui possède une longueur de rupture peu résistante.

La mise en pâte thermomécanique du bouleau entraîne la production d'une pâte ayant un pourcentage élevé de fines. La longueur moyenne des fibres du bouleau est plus courte que celle des résineux. Conséquemment, on assiste à une diminution de la longueur de rupture avec l'augmentation du pourcentage de bouleau dans les mélanges.

Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

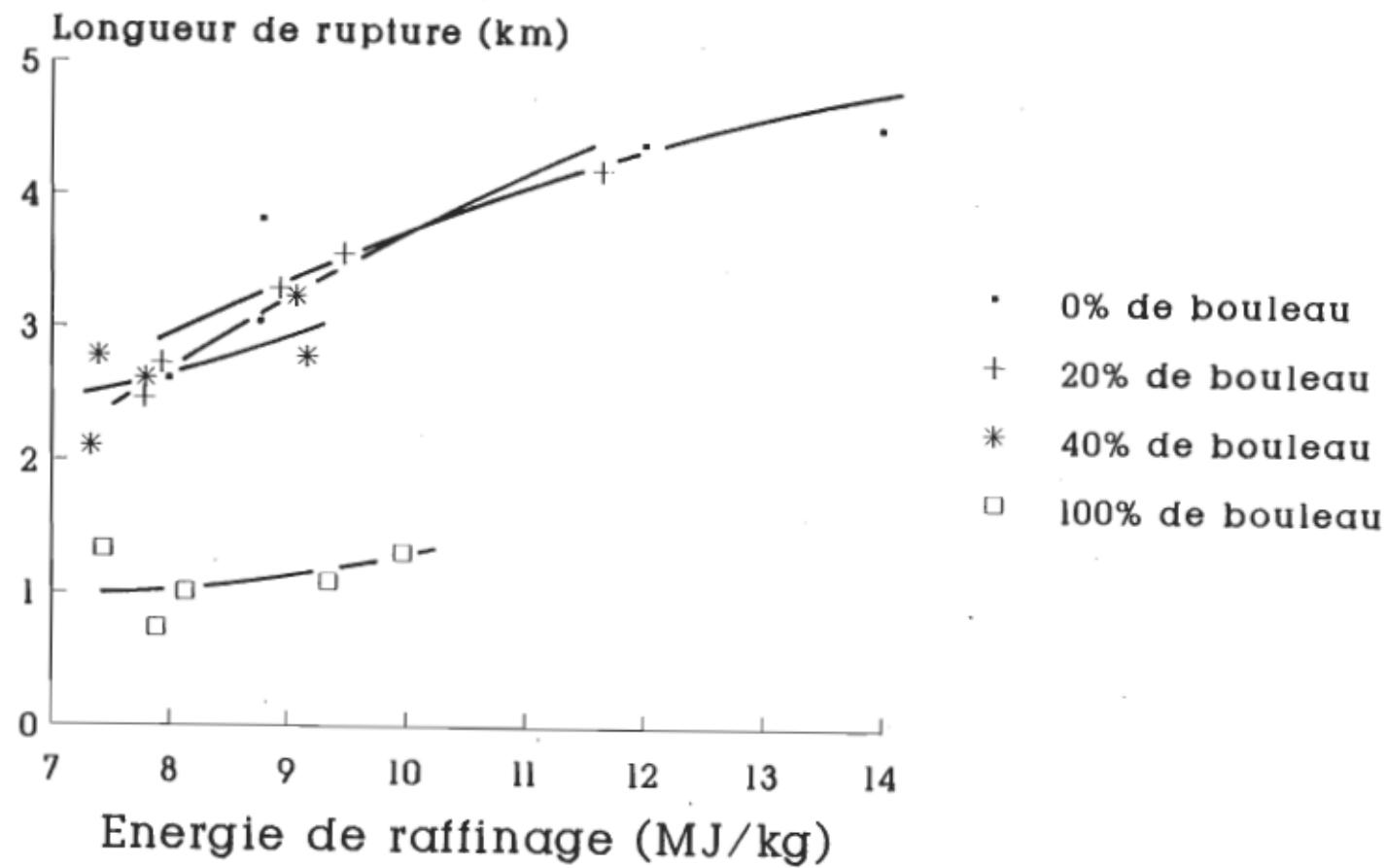


figure 6

B) procédé CTMP-A (2,5% de sulfite)

La figure 7 fait la démonstration qu'un procédé CTMP, avec 2,5% de sulfite de sodium, produit une tendance similaire à celle du TMP: la longueur de rupture diminue à mesure que le pourcentage de bouleau augmente.

Et pourtant, le sulfite de sodium favorise une augmentation de la proportion de longues fibres et de la flexibilité des fibres en comparaison avec le TMP; favorisant ainsi les liaisons interfibres. Avec un pourcentage de bouleau allant jusqu'à 20%, les effets de la proportion de longues fibres, et surtout de la flexibilité des fibres, fait augmenter la propriété de la longueur de rupture. Toutefois, un mélange supérieur à 20% de bouleau possède une longueur de rupture relativement faible puisque la fraction de longues fibres n'est pas importante. De plus, la flexibilité des fibres, à 20% de bouleau, n'est pas optimum sur les fibres du bouleau. D'ailleurs, il est déjà connu que les fibres des résineux réagissent plus facilement à la sulfonation que les fibres du bouleau.

Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

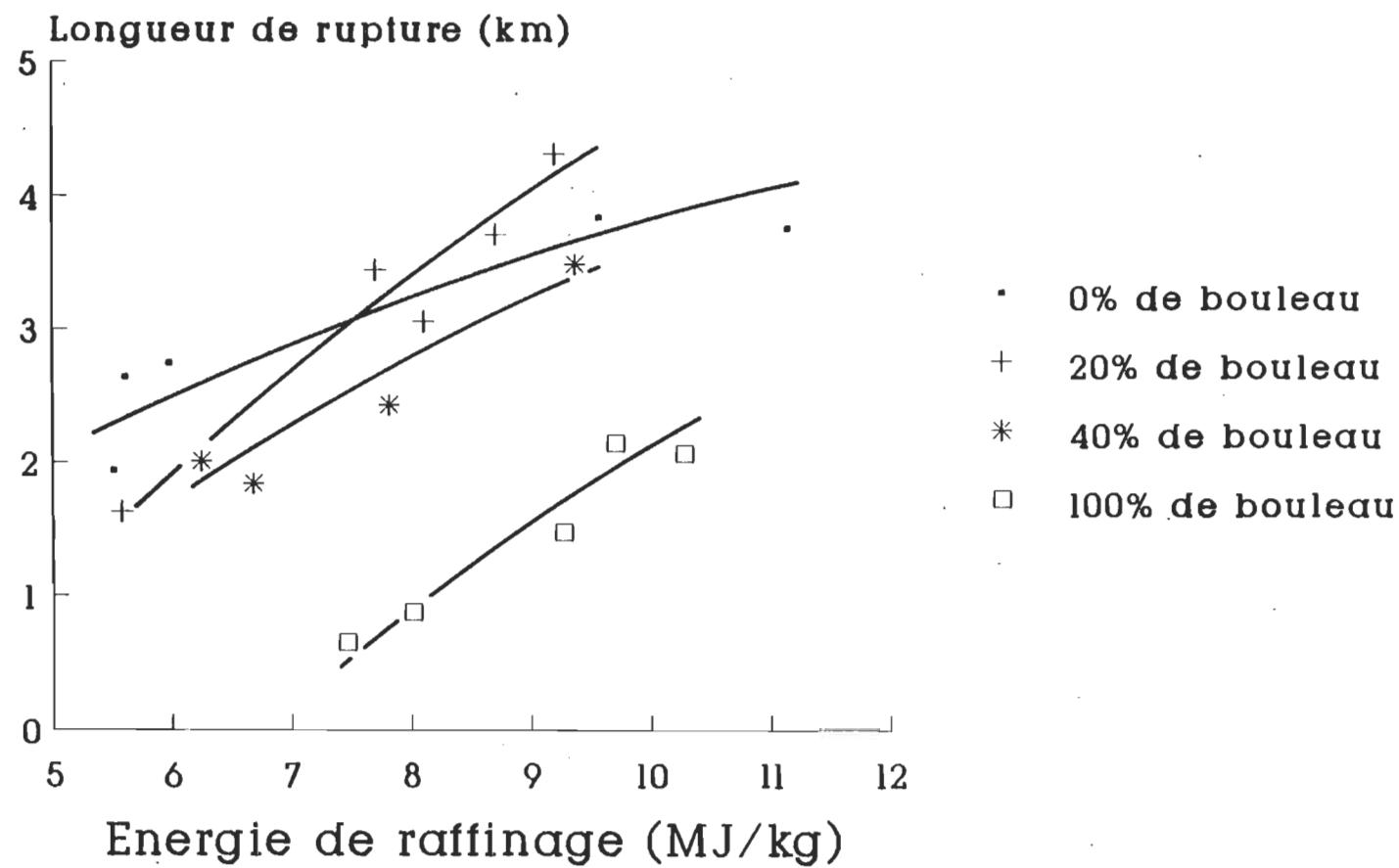


figure 7

c) procédé CTMP-B (4% de sulfite)

La figure 8 démontre une similitude avec la figure précédente à l'exception du traitement chimique qui y est plus intense. La pâte de résineux révèle la meilleure longueur de rupture comparativement aux différents mélanges et à la pâte de bouleau. Cependant, la longueur de rupture avec un faible pourcentage de bouleau, soit à 20%, ne diminue pas énormément. Par conséquent, l'emploi du sulfite de sodium augmente les liens interfibres sur les fibres des résineux puisque la longueur de rupture a été améliorée sur la pâte de résineux.

Le procédé CTMP se distingue, par rapport au TMP, grâce à une préservation de la proportion des longues fibres qui est induite par les agents chimiques. Le traitement chimique permet une meilleure séparation des fibres tout en produisant des matières fines de meilleures qualités. Le fait d'ajouter du bouleau dans le mélange entraîne une diminution de la propriété de la longueur de rupture, quoiqu'un faible pourcentage de bouleau n'occasionne pas de différences significatives. Cette situation s'explique par deux raisons; premièrement, le niveau de sulfonation des fibres du bouleau est inférieur à celui des résineux ce qui signifie que le pouvoir de créer des liaisons est diminué, et en second lieu,

Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

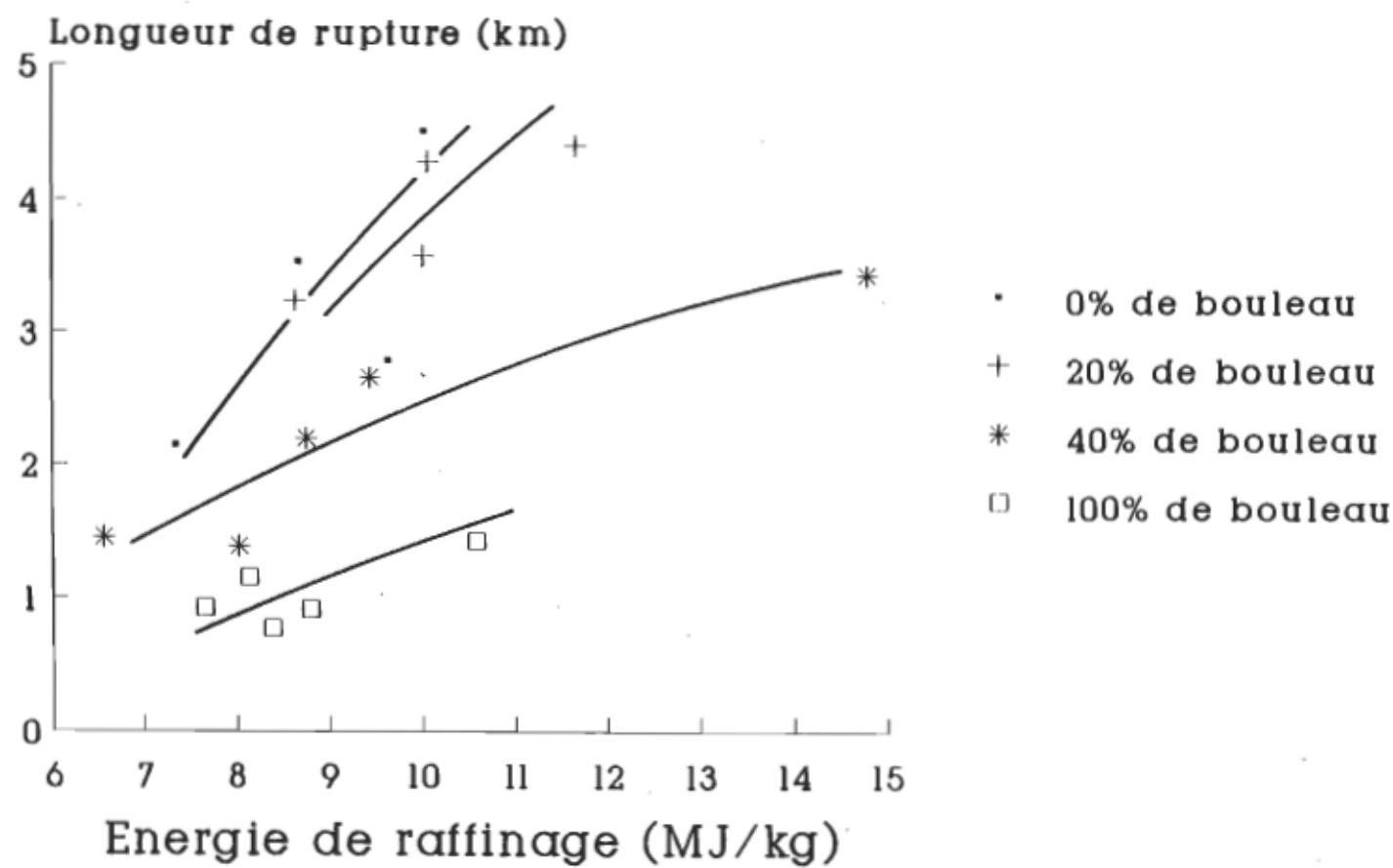


figure 8

la proportion des longues fibres avec l'addition du bouleau dans le mélange ne fait que diminuer.

D) procédé CTMP-C (2,5% de sulfite + 2,5% de soude)

L'emploi de la soude dans les différents mélanges change considérablement les résultats sur la longueur de rupture. A la figure 9, on remarque que les pâtes de résineux et de bouleau se comportent de façon similaire alors que les mélanges à 20% et à 40% de bouleau démontrent une amélioration de la longueur de rupture. La pâte constituée à 40% de bouleau produit la longueur de rupture la plus intéressante.

La raison, qui explique le changement de comportement du bouleau, provient du fait que la soude rehausse la résistance des pâtes en suscitant un certain gonflement de la paroi cellulaire et induit une meilleure flexibilité des fibres (10). L'augmentation de la résistance des pâtes mécaniques par un traitement caustique se produit alors qu'il y a augmentation des groupements acidiques dans la pâte. En présence d'eau, une partie des groupements acidiques est dissociée en libérant des ions. Une concentration d'ions plus importante dans la paroi cellulaire que dans la phase aqueuse externe est ainsi créée.

Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

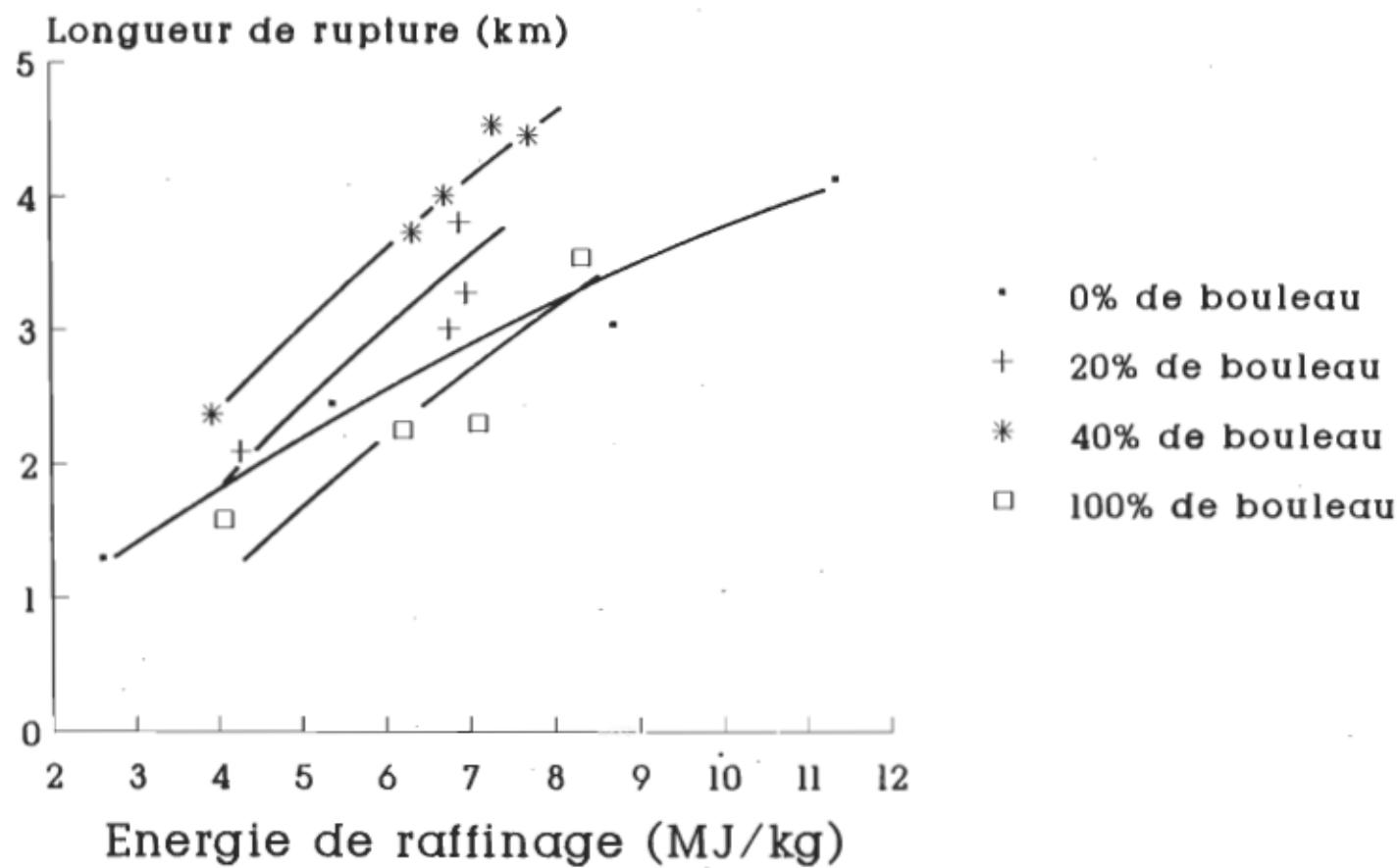


figure 9

Cette concentration introduit une pression osmotique et amène une quantité d'eau encore plus importante dans la paroi. Le gonflement se poursuit jusqu'à ce que la différence de pression soit balancée. Il est reconnu que la principale source de groupements acidiques dans le bois est formée par les acides gluco-uroniques qui forment une partie des hémicelluloses (10).

E) procédé CTMP-D (5% de sulfite + 5% de soude)

A la figure 10, on constate une amélioration de la longueur de rupture encore plus importante qu'à la figure 9. La pâte pure de résineux présente la longueur de rupture la plus faible alors qu'en augmentant le pourcentage de bouleau, la longueur de rupture s'améliore. La pâte pure de bouleau constitue donc la pâte la plus résistante.

On constate également que la consommation de l'énergie de raffinage semble moins importante avec une augmentation du pourcentage de bouleau. Avec une concentration plus importante de soude, on accentue la tendance observée à la figure 9. Le degré de gonflement des fibres augmente linéairement avec la consommation d'alcali et l'augmentation de la résistance des pâtes est en relation avec le degré de gonflement des fibres

Variation de la longueur de rupture en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

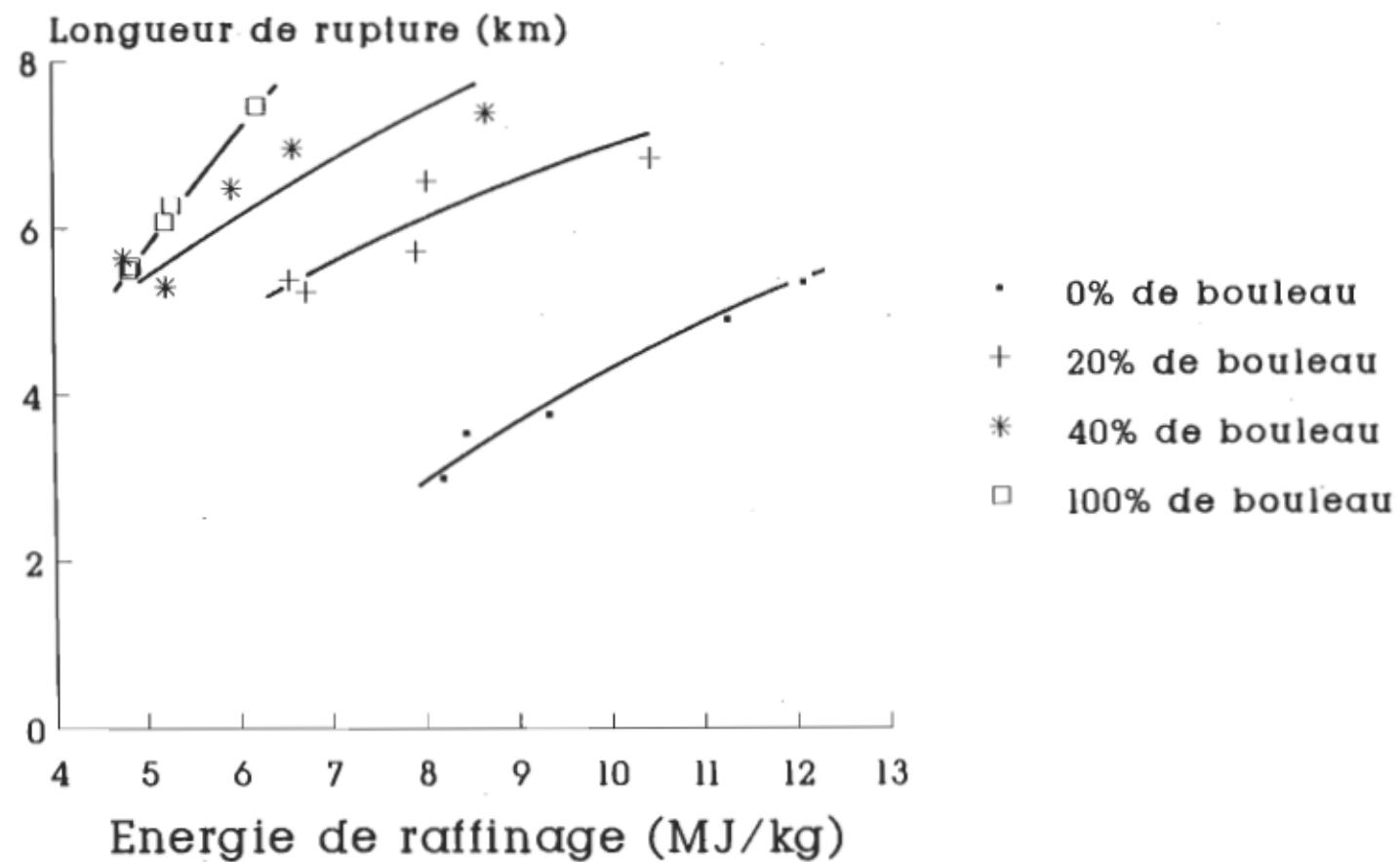


figure 10

(10). La soude ramollit principalement la paroi cellulaire du bouleau, en la rendant plus flexible et facilite ainsi le défibrage lors de l'étape mécanique. L'augmentation de la résistance des pâtes mécaniques par un traitement caustique provient d'une augmentation du nombre de groupements acidiques dans la pâte. Ces groupements acidiques sont probablement créés par une certaine hydrolyse des esters et lactones qui sont présents dans la fraction des hémicelluloses. Les groupements acidiques favorisent l'absorption d'eau dans la paroi cellulaire, ce qui augmente l'habileté des fibres à créer des liaisons entre elles.

4.1.3 Indice d'éclatement

A) procédé TMP

L'indice d'éclatement et la longueur de rupture sont des propriétés de résistance qui dépendent en grande partie de la qualité et de la quantité des liaisons interfibres. La surface de contact et le niveau d'écrasement des fibres ainsi que leur degré de fibrillation jouent un facteur majeur dans le réseau fibreux.

On note qu'une augmentation de l'énergie de raffinage correspond à une amélioration de l'indice d'éclatement à la figure 11. Il faut cependant spécifier qu'à mesure que le raffinage progresse, les parois externes des fibres se détachent en fibrilles. La surface de contact des fibres est augmentée ainsi que la quantité de matières fines, ce qui a pour effet de remplir les pores dans la feuille en réduisant l'indice d'égouttage. Des fibres, avec une plus grande surface de contact, améliorent la cohésion de la feuille et les propriétés de résistance en traction.

Les différents mélanges réagissent de la même façon que la pâte de résineux; l'indice d'éclatement augmente avec l'énergie de raffinage. Cependant, les parois du bouleau se fragmentent en produisant une plus grande quantité de matières fines qui ne contribue pas à la résistance globale de la feuille.

B) procédé CTMP-A (2.5% de sulfite)

La figure 12 illustre des résultats similaires à la figure précédente à l'exception de l'indice d'éclatement de la pâte de résineux qui a été amélioré par le traitement chimique au sulfite de sodium. Les différents mélanges de bouleau

Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

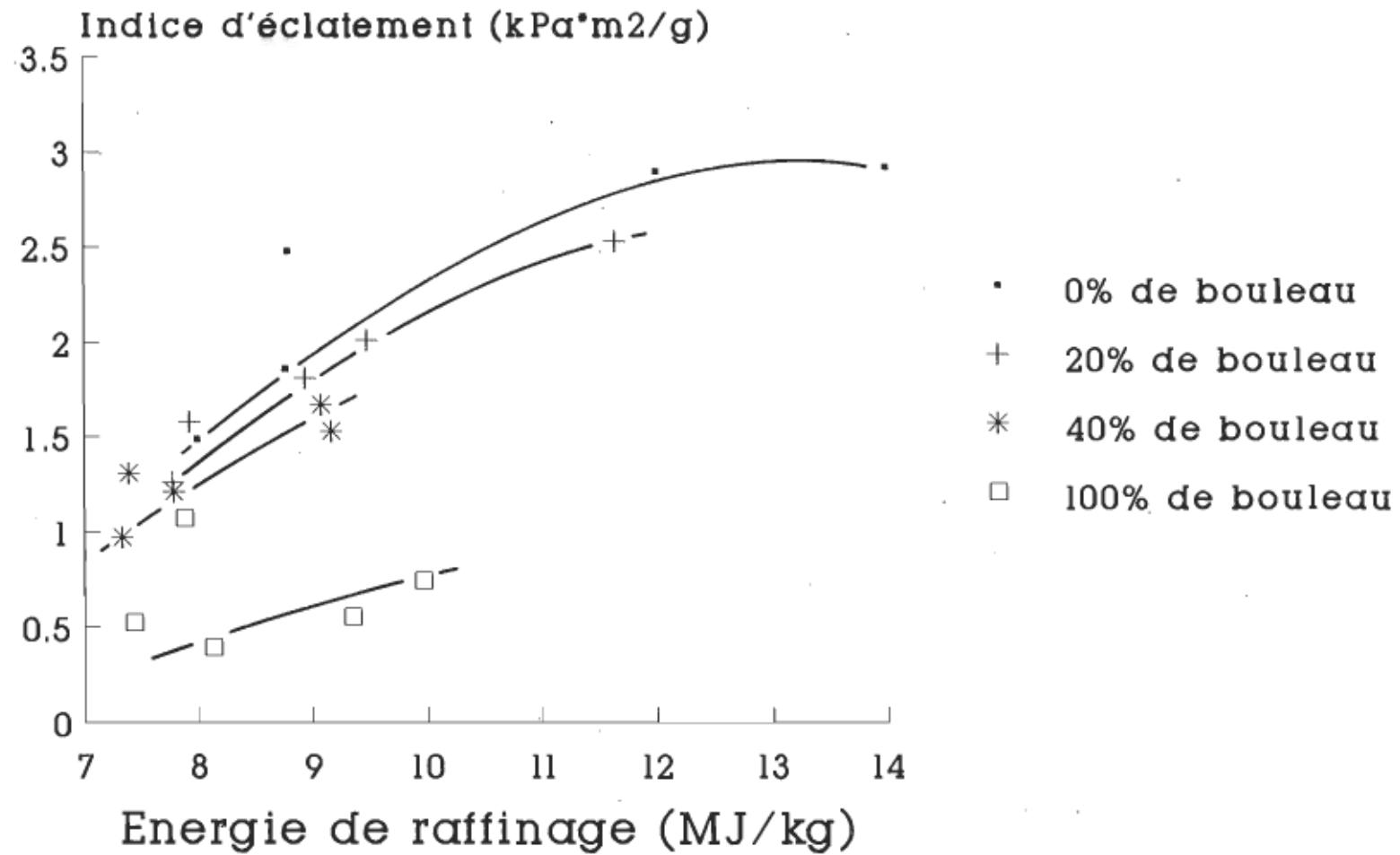


figure 11

Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

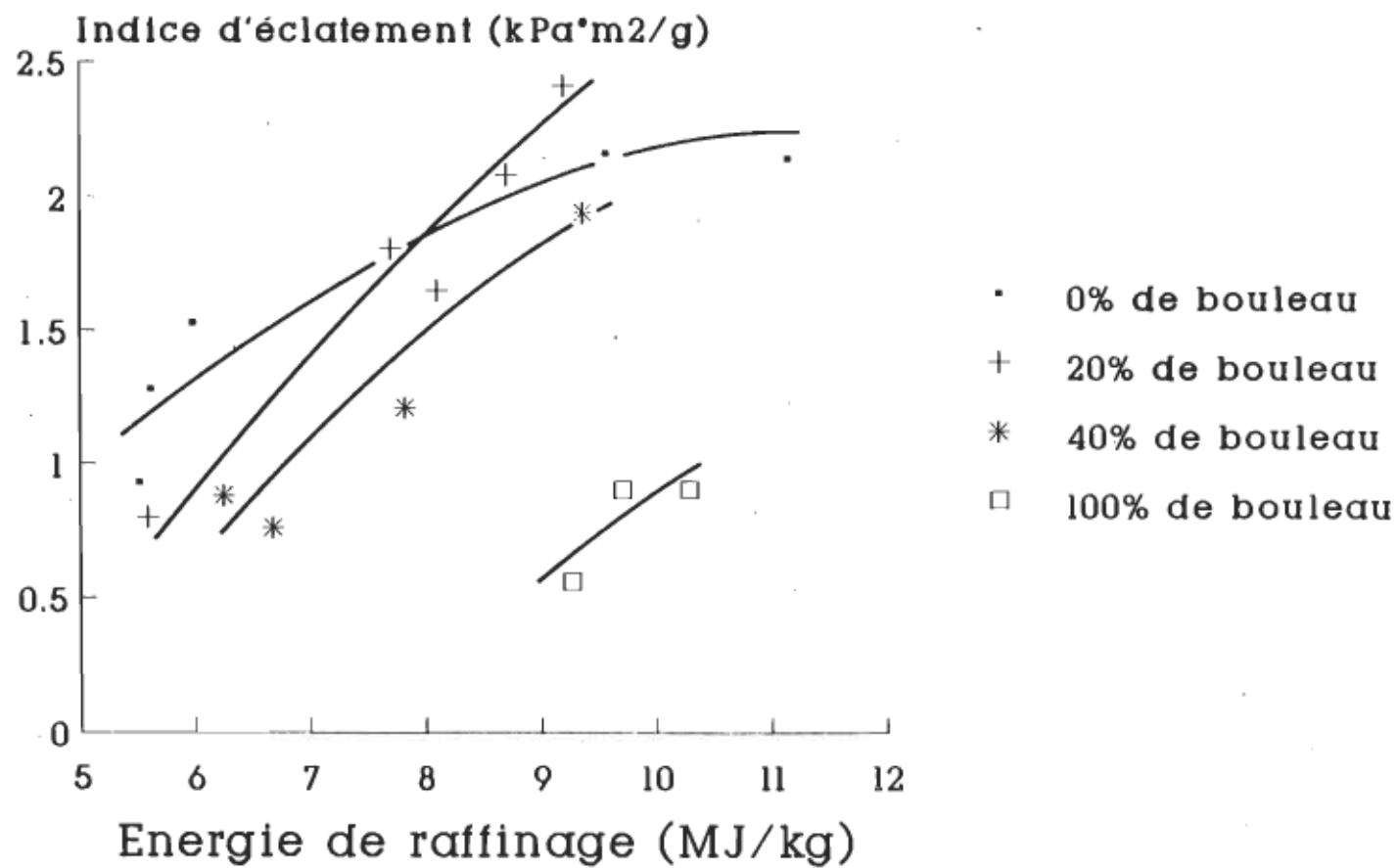


figure 12

n'atteignent pas les mêmes valeurs d'éclatement que la pâte pure de résineux, excepté le mélange à 20% de bouleau qui la surpasse, mais seulement avec une consommation d'énergie supérieure à 9,0 MJ/kg environ. A l'exception du mélange à 20%, l'indice d'éclatement diminue progressivement avec l'augmentation du pourcentage de bouleau dans le mélange.

Les résultats obtenus par Giertz (25) sur les différences de sulfonation entre épinette et bouleau expliquent, en partie, le développement peu important de la résistance du bouleau avec un traitement au sulfite. L'auteur démontre que la piète performance du bouleau dépend surtout des différences de la longueur des fibres, du contenu en lignine, ou autres différences morphologiques fondamentales entre les feuillus et les résineux.

C) procédé CTMP-B (4% de sulfite)

Avec une concentration plus importante en sulfite de sodium, la différence de sulfonation semble encore plus marquée. L'indice d'éclatement de la pâte de résineux a été légèrement amélioré avec 4% de sulfite (voir figure 13). Par contre, les différents mélanges ne montrent pas la même

Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

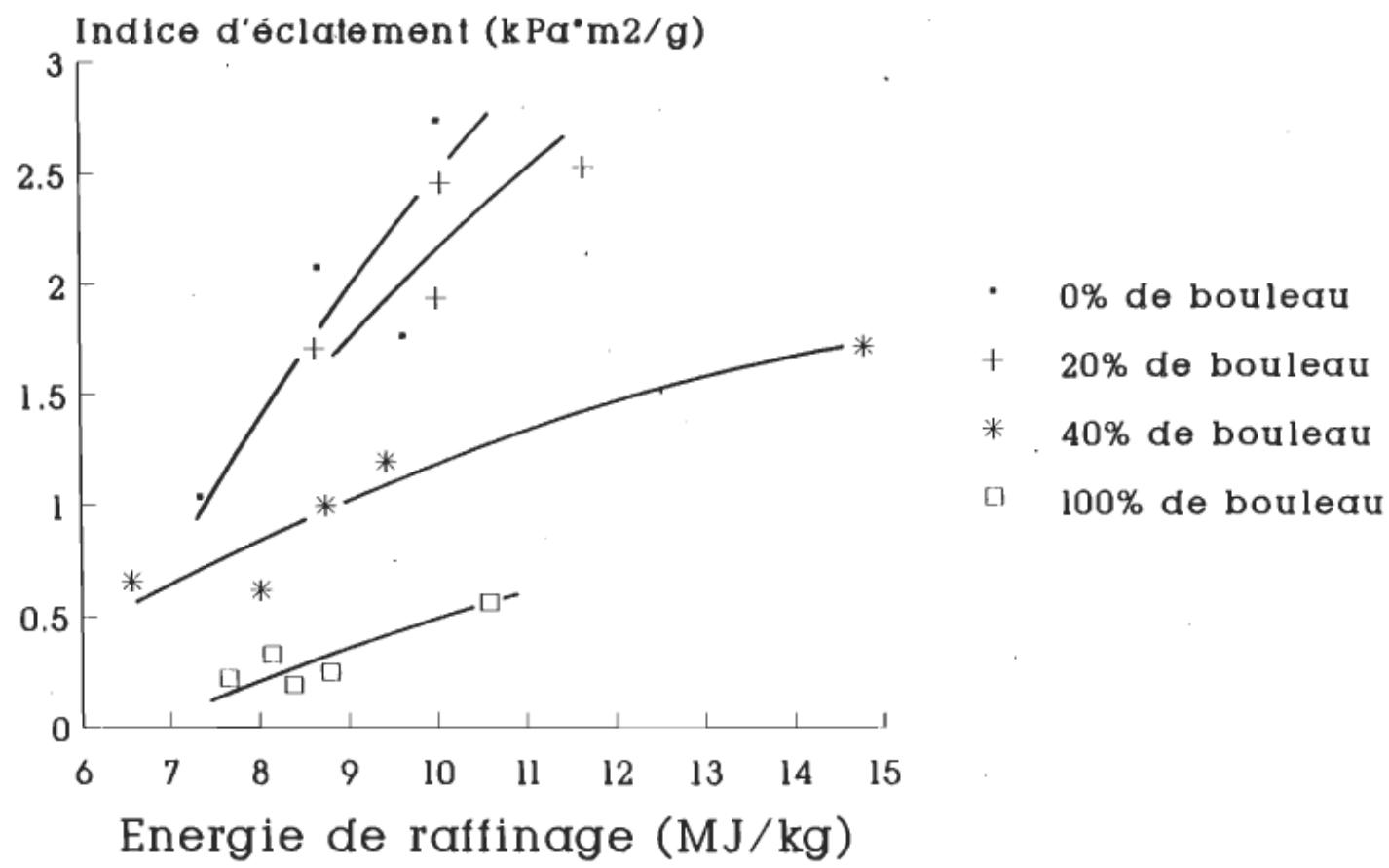


figure 13

aptitude pour le développement de la résistance de l'indice d'éclatement. Cependant, comme à la figure précédente, un pourcentage de 20% de bouleau exhibe une résistance à l'éclatement comparable, sinon supérieure, à la pâte de résineux. Ce résultat nous indique que le raffinage, avec un faible pourcentage d'une essence différente, n'occasionne pas de différence significative dans les résistances papetières, même si l'essence utilisée n'a pas les mêmes aptitudes. D'autres chercheurs (13,15) sont parvenus aux mêmes conclusions.

D) procédé CTMP-C (2.5% de sulfite + 2.5% de soude)

L'emploi de la soude avec le sulfite de sodium a changé considérablement les données tel que démontré à la figure 14. La pâte où on dénote la meilleure résistance pour l'indice d'éclatement est maintenant composée de 40% de bouleau avec un indice d'éclatement de l'ordre de 2,5 kPa*m²/g avec seulement 8,0 Mj/kg d'énergie de raffinage.

Avec la pâte de résineux (CTMP-B), on obtenait un indice d'éclatement équivalent mais avec une énergie de raffinage d'environ 12,0 Mj/kg. Donc, par ordre de résistance, on

Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

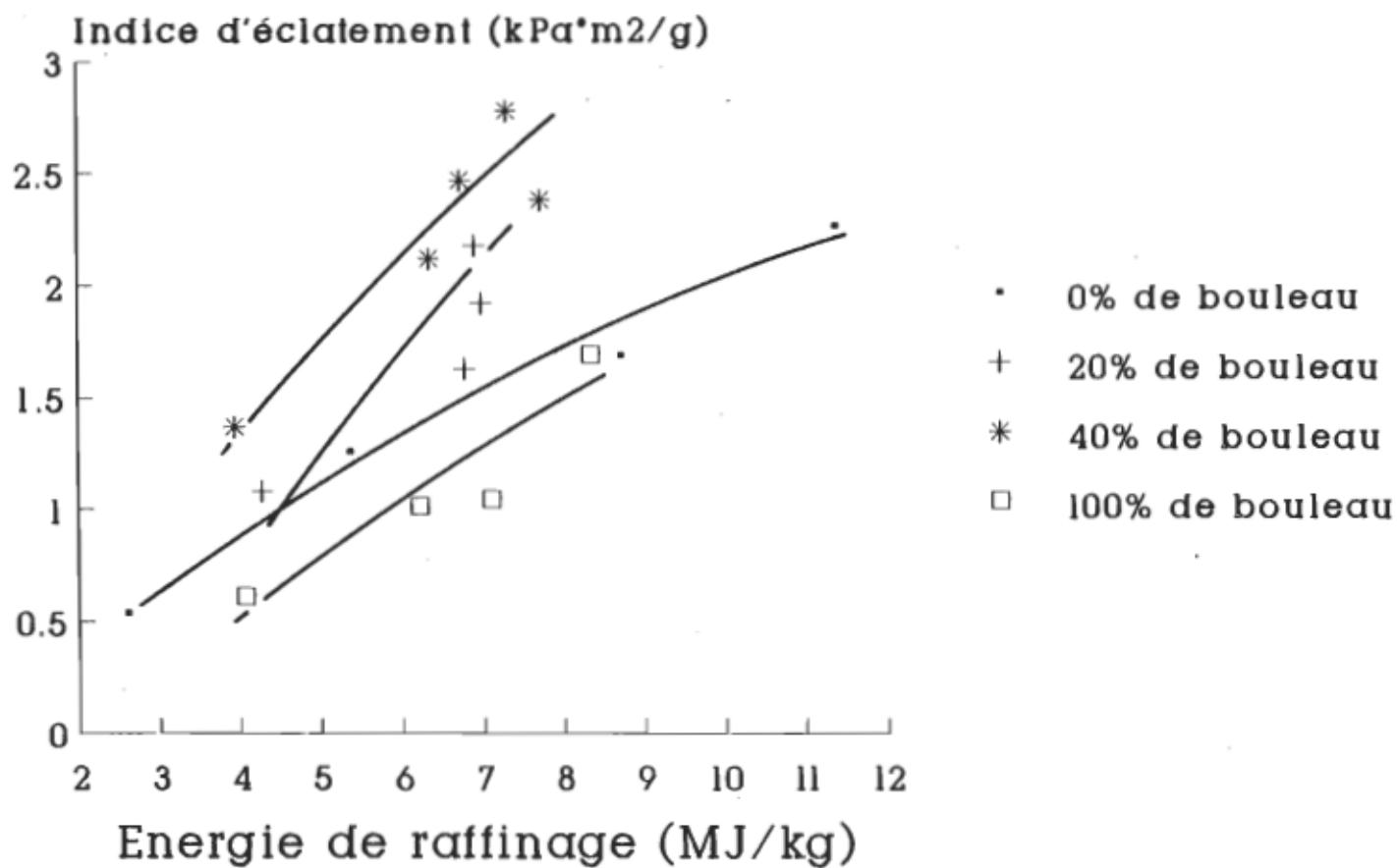


figure 14

retrouve la pâte à 40% de bouleau, celle à 20% puis la pâte de résineux et finalement la pâte de bouleau.

Un traitement chimique léger (2,5% de soude) occasionne un gonflement important des parois cellulaires du bouleau; les fibres sont devenus plus souples et plus flexibles. Les fibres des résineux ne développent pas la résistance à l'éclatement. La figure 14, nous permet de constater que les fibres du bouleau présentent un meilleur potentiel pour former des liaisons interfibres, dû principalement à leur grande souplesse. Par contre, un des facteurs limitatifs de ce genre de mélange demeure la longueur moyenne des fibres. Les longues fibres des résineux et un potentiel élevé de liaisons pour les fibres du bouleau, nous permettent d'obtenir un mélange optimum à 40% de bouleau.

E) procédé CTMP-D (5% de sulfite + 5% de soude)

Avec une augmentation de la concentration de soude (figure 15), on accentue le pouvoir de liaison des fibres du bouleau. En effet, la pâte de bouleau présente un indice d'éclatement optimum avec une énergie de raffinage inférieure.

Variation de l'indice d'éclatement en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

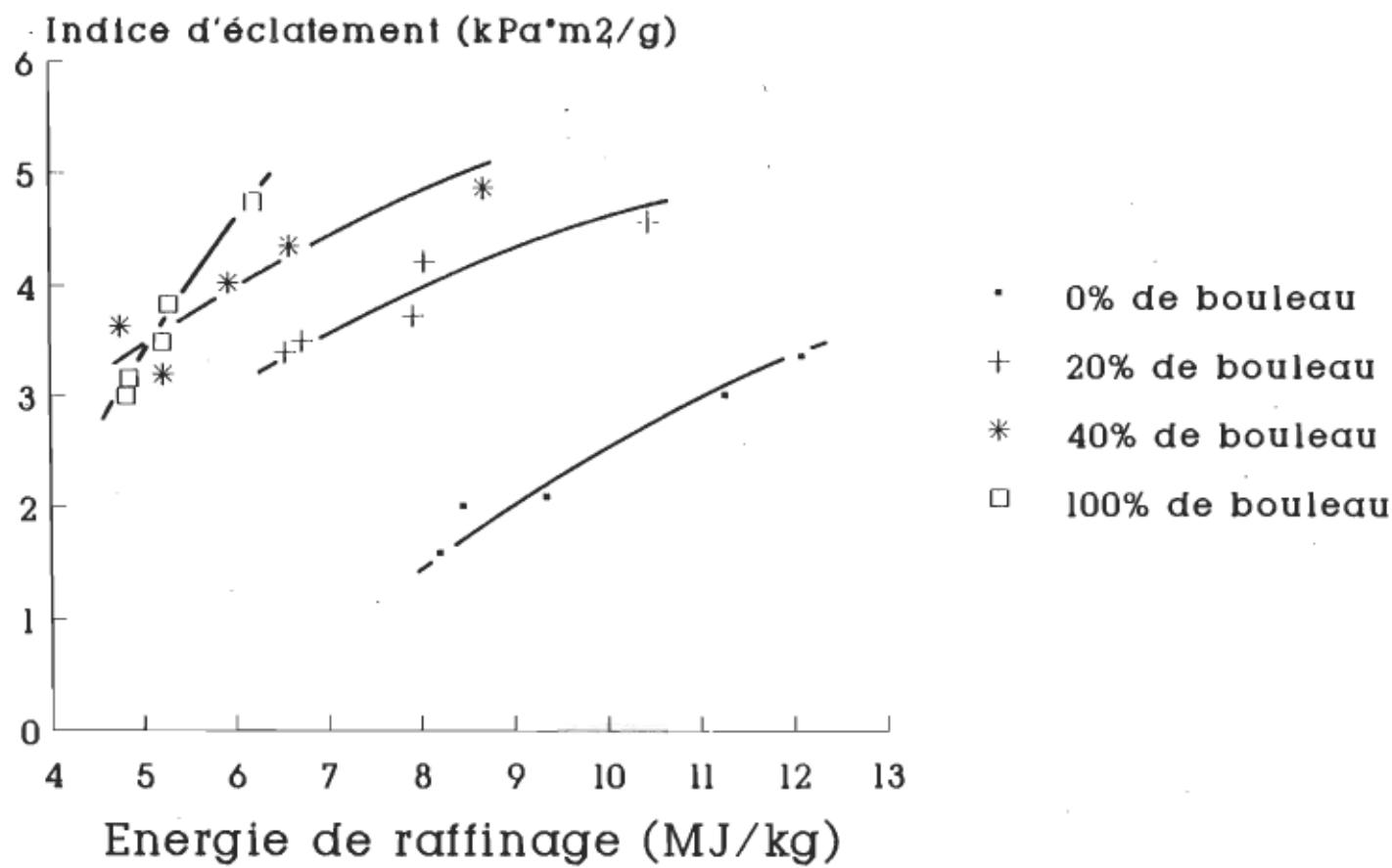


figure 15

L'indice d'éclatement diminue progressivement à mesure que le pourcentage de bouleau dans les différents mélanges diminue.

Il importe de mentionner qu'un traitement chimique, composé de 5% de sulfite de sodium et 5% de soude, représente une meilleure condition pour le bouleau. En comparaison avec la figure précédente, la longueur moyenne des fibres est devenue moins importante car les fibres du bouleau ont acquis une meilleure flexibilité. Il est permis de croire qu'en plus de la flexibilité des fibres, la surface spécifique est également développée lors du raffinage en mélange. Un raffinage en mélange, où les fibres de résineux et de bouleau sont en interaction, peut accroître la surface spécifique puisqu'il y a une différence de rigidité des parois. Ce phénomène est plausible car une fibre résineuse, qui se frotte contre une fibre feuillue de rigidité différente, peut amener une certaine optimisation du niveau de fibrillation. Par conséquent, améliorer les contacts interfibres dans le réseau fibreux.

4.1.4 Déchirure

A) procédé TMP

Une autre propriété importante, pour caractériser les pâtes, est l'indice de déchirure. Cette propriété dépend principalement de la longueur moyenne des fibres, de la résistance intrinsèque des fibres et des liaisons interfibres.

On remarque que l'indice de déchirure, à la figure 16, diminue en relation avec le pourcentage de bouleau. La pâte pure de résineux présente un indice de déchirure d'environ 12 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ avec une énergie de raffinage près de 9,0 MJ/kg. Les différents mélanges, quant à eux, présentent des indices de déchirure inférieurs avec une consommation d'énergie équivalente. A 20% de bouleau, on obtient un indice de déchirure de 10 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ alors qu'à 40% de bouleau l'indice de déchirure est de 9,0 et seulement de 3,5 avec la pâte de bouleau. A la figure 17, on note que la longueur moyenne des fibres diminue avec une augmentation de l'énergie de raffinage. Mais on remarque, également, que la longueur moyenne des fibres diminue quand le pourcentage de bouleau augmente.

Variation de l'indice déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

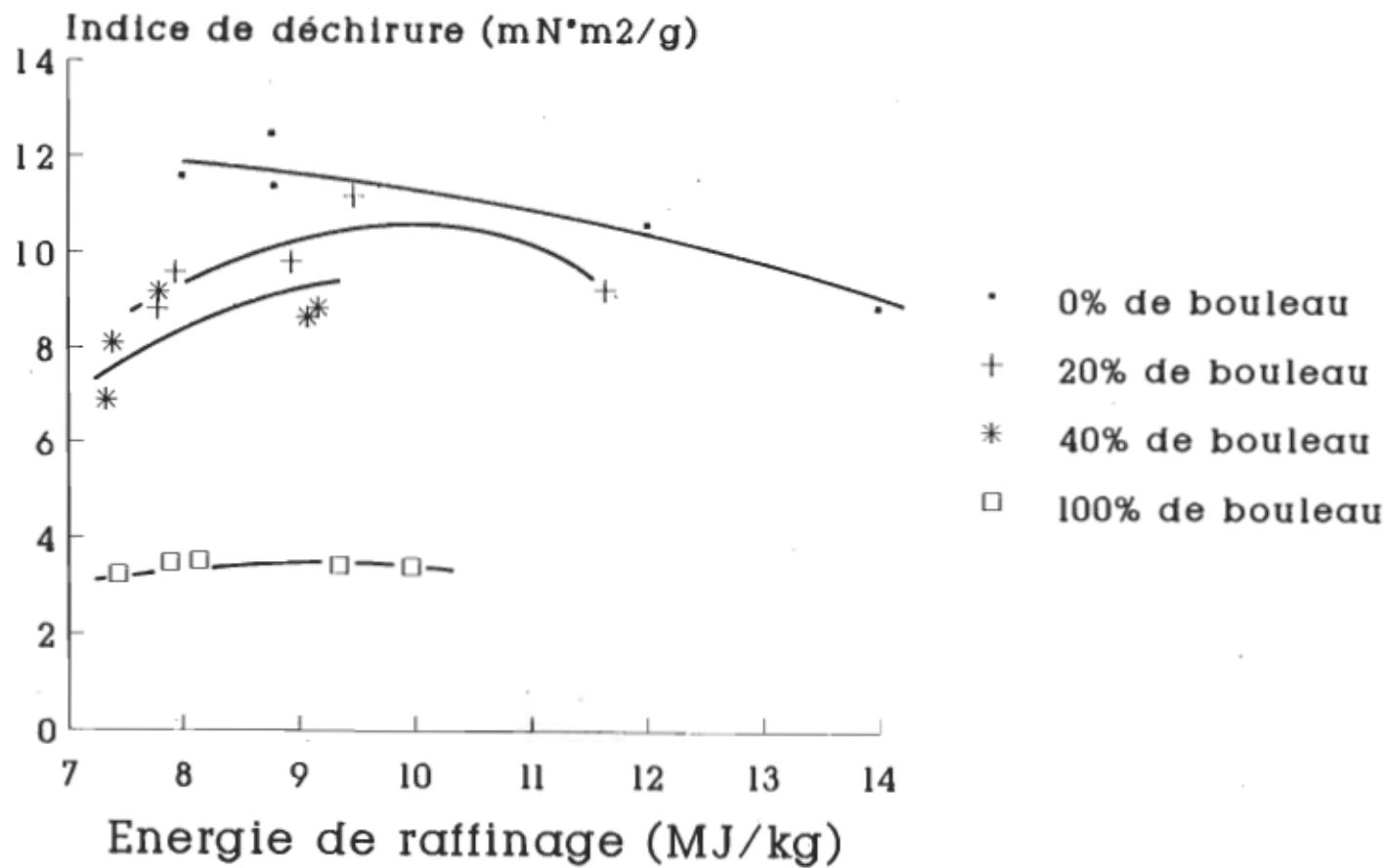


figure 16

Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

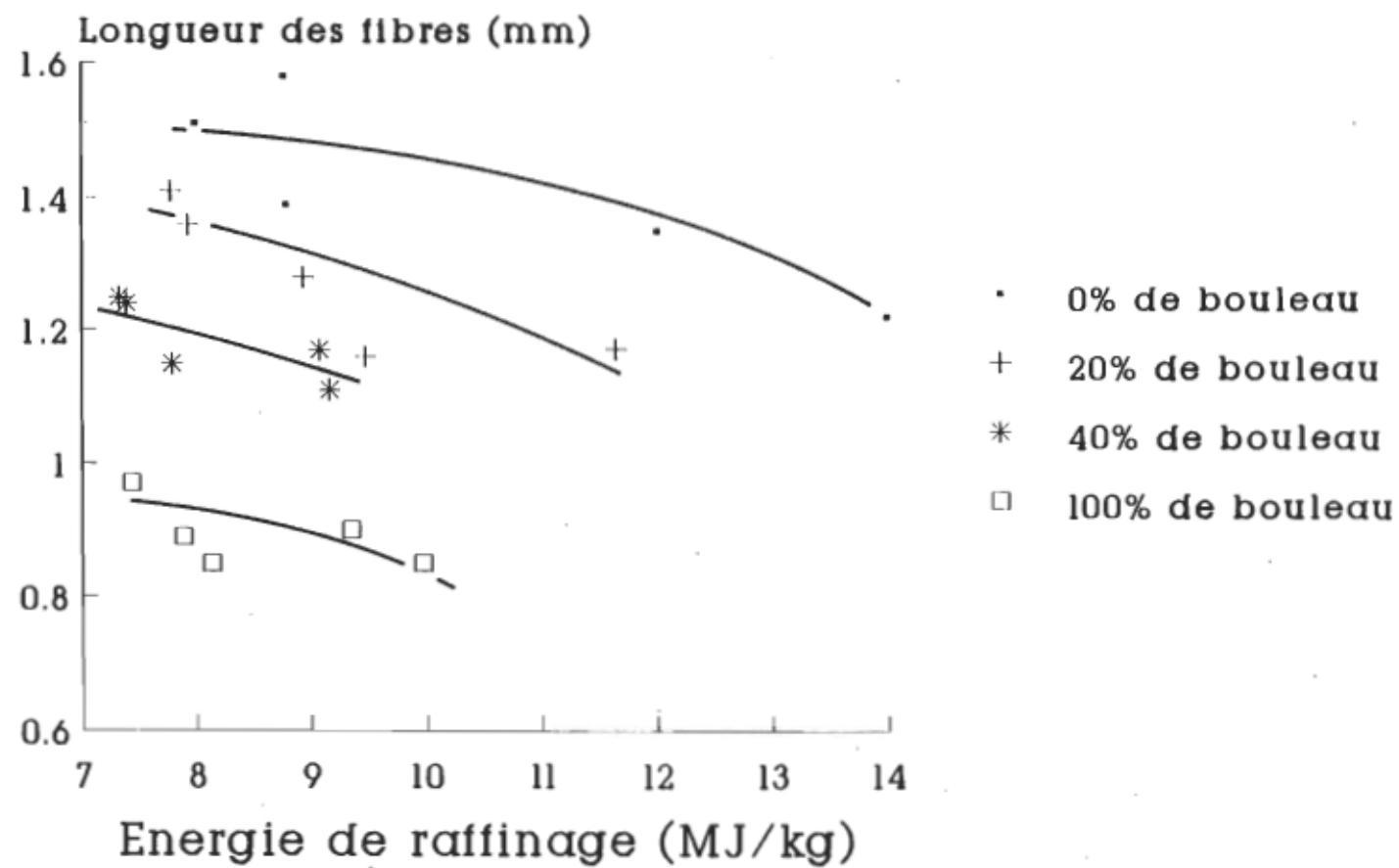


figure 17

On a mentionné un peu plus tôt que le procédé TMP produisait des fibres de qualité modeste; les fibres sont rigides et le produit obtenu montre un grand pourcentage de fines.

Les fibres du bouleau ne favorisent pas, dans ce cas, la cohésion optimale de la feuille et les contacts interfibres optimums. Normalement, avec un raffinage plus intense, il y a une baisse du niveau d'égouttage et les fibres deviennent plus courtes ce qui entraîne une diminution de l'indice de déchirure. De plus, l'intégration d'une essence feuillue, comme le bouleau avec ses fibres plus courtes, diminue la moyenne des longues fibres.

B) procédé CTMP-A (2.5% de sulfite)

A la figure 18, on remarque que l'indice de déchirure diminue progressivement avec l'ajout du bouleau dans le mélange. La pâte de résineux montre la meilleure résistance à la déchirure et, par ordre décroissant, on retrouve le mélange composé à 20% de bouleau, celui à 40% de bouleau, et finalement, la pâte pure de bouleau. Cependant, avec un mélange de 20% de bouleau, on note une légère diminution de

Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

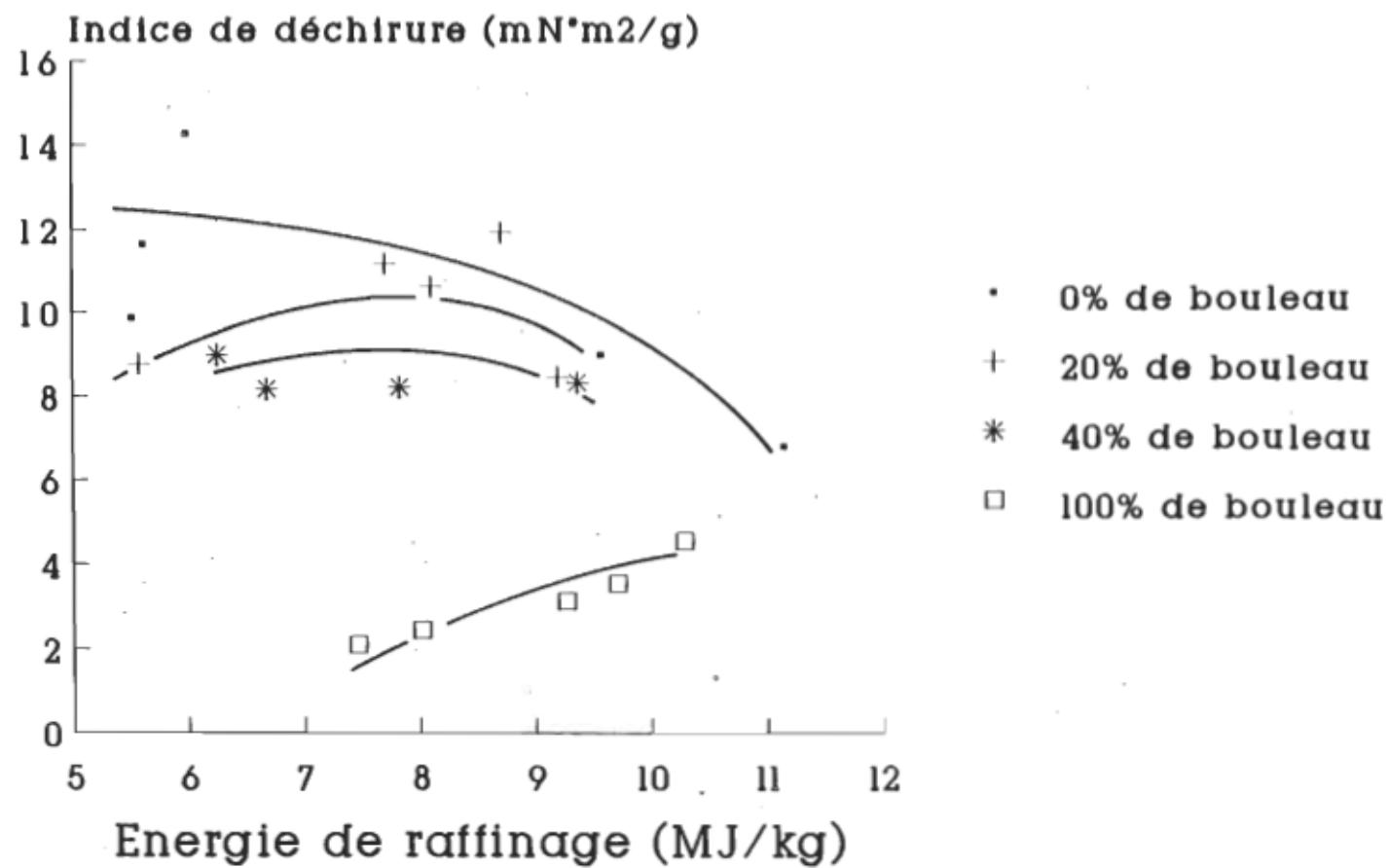


figure 18

l'indice de déchirure.

Hunt et al. (24) ont également expérimenté une certaine diminution des résistances des pâtes kraft lorsqu'elles étaient mélangées avec du feuillu. Les auteurs signalent des pertes minimes avec une proportion de 10% de feuillu et une légère perte des résistances avec une proportion de 20% de feuillu.

L'indice de pliage, et, à un degré moindre, l'indice de déchirure sont les propriétés où l'on remarque les premiers effets de diminution des résistances avec l'addition de feuillu.

Avec l'emploi d'un léger traitement chimique (2,5% de sulfite), on remarque, à la figure 18, que l'indice de déchirure augmente avec une augmentation de la consommation de l'énergie de raffinage. Quand l'énergie de raffinage devient plus importante, l'indice de déchirure diminue assez rapidement par une réduction de la longueur moyenne des fibres au fur et à mesure que le niveau de raffinage progresse. Mondor (22) a expérimenté les effets de l'augmentation de la durée de cuisson. Cette dernière a pour conséquence d'augmenter la proportion de longues fibres (R14). Comment expliquer que l'indice de déchirure, qui dépend principalement de la longueur

des fibres, ne soit pas augmenté alors qu'on assiste à une augmentation de la proportion de longues fibres avec le procédé CTMP? Effectivement, la moyenne des longues fibres augmente avec le procédé CTMP (figure 19), mais un niveau de consommation d'énergie de raffinage trop important influence négativement l'indice de déchirure. Mondor (22) suggère qu'un deuxième facteur, comme la résistance intrinsèque des fibres, soit impliqué dans la résistance globale de l'indice de déchirure.

Il faut cependant spécifier que le bouleau, même s'il présente des caractéristiques inférieures, semble maintenir sa résistance à l'indice de déchirure.

Cette constatation prend plus d'importance à mesure que le pourcentage de bouleau augmente dans le mélange. La rigidité de la paroi des fibres du bouleau est supérieure à celle des résineux; ce facteur semble être déterminant sur le raccourcissement des fibres lors du raffinage.

Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

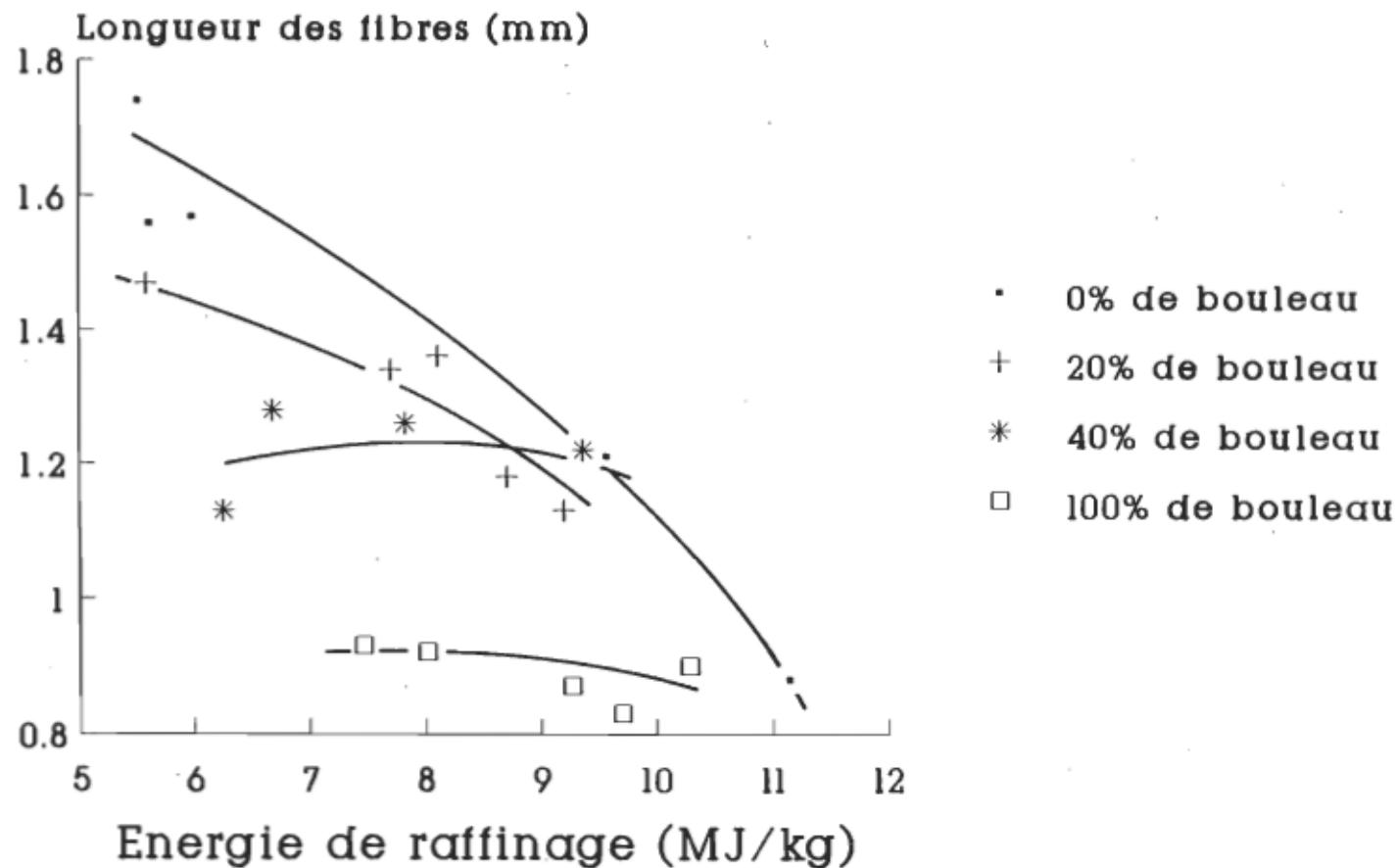


figure 19

C) procédé CTMP-B (4% de sulfite)

A la figure 20, on constate que l'indice de déchirure diminue en fonction du pourcentage du bouleau. Toutefois, avec une consommation d'énergie de raffinage d'environ 9,0 MJ/kg, un mélange composé de 20% de bouleau possède un indice de déchirure équivalent à celui de la pâte de résineux. On remarque également que la pâte de résineux atteint un indice de déchirure maximal de près de 13,0 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$, mais ce maximum diminue rapidement avec un niveau de raffinage plus important.

L'imprégnation chimique avec 4% de sulfite de sodium, a facilité l'opération du défibrage en rendant les fibres plus flexibles (plus souples). Un niveau de sulfonation plus élevé, occasionné par la liqueur composée à 4% de sulfite, joue un rôle déterminant sur la flexibilité des fibres résineuses. Cependant, la sulfonation des fibres du bouleau est moins évidente car le taux de lignine est moins important.

On remarque à la figure 21 que la longueur moyenne des fibres du bouleau, avec une augmentation de l'énergie de raffinage, diminue moins rapidement que les fibres résineuses.

Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

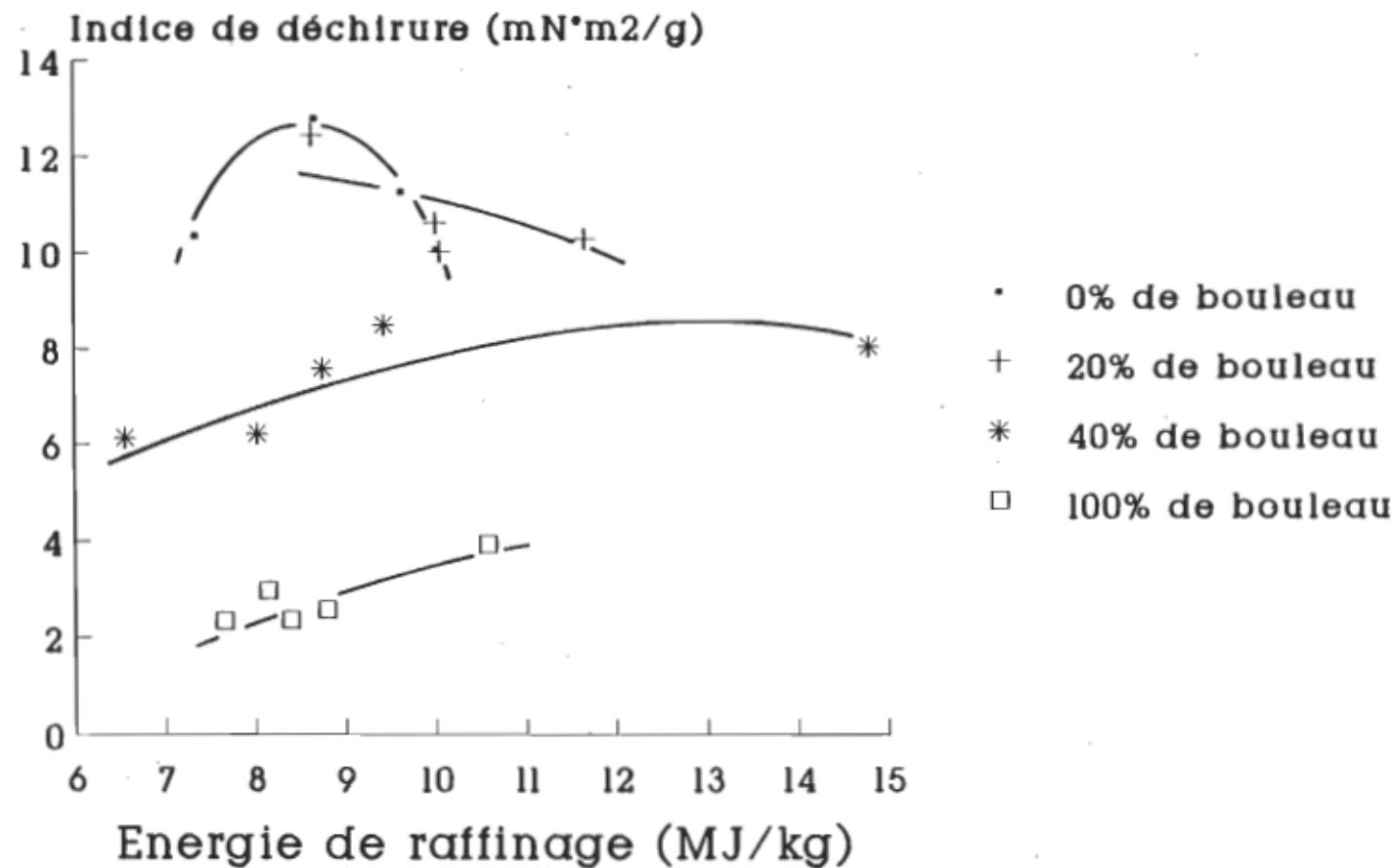


figure 20

Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

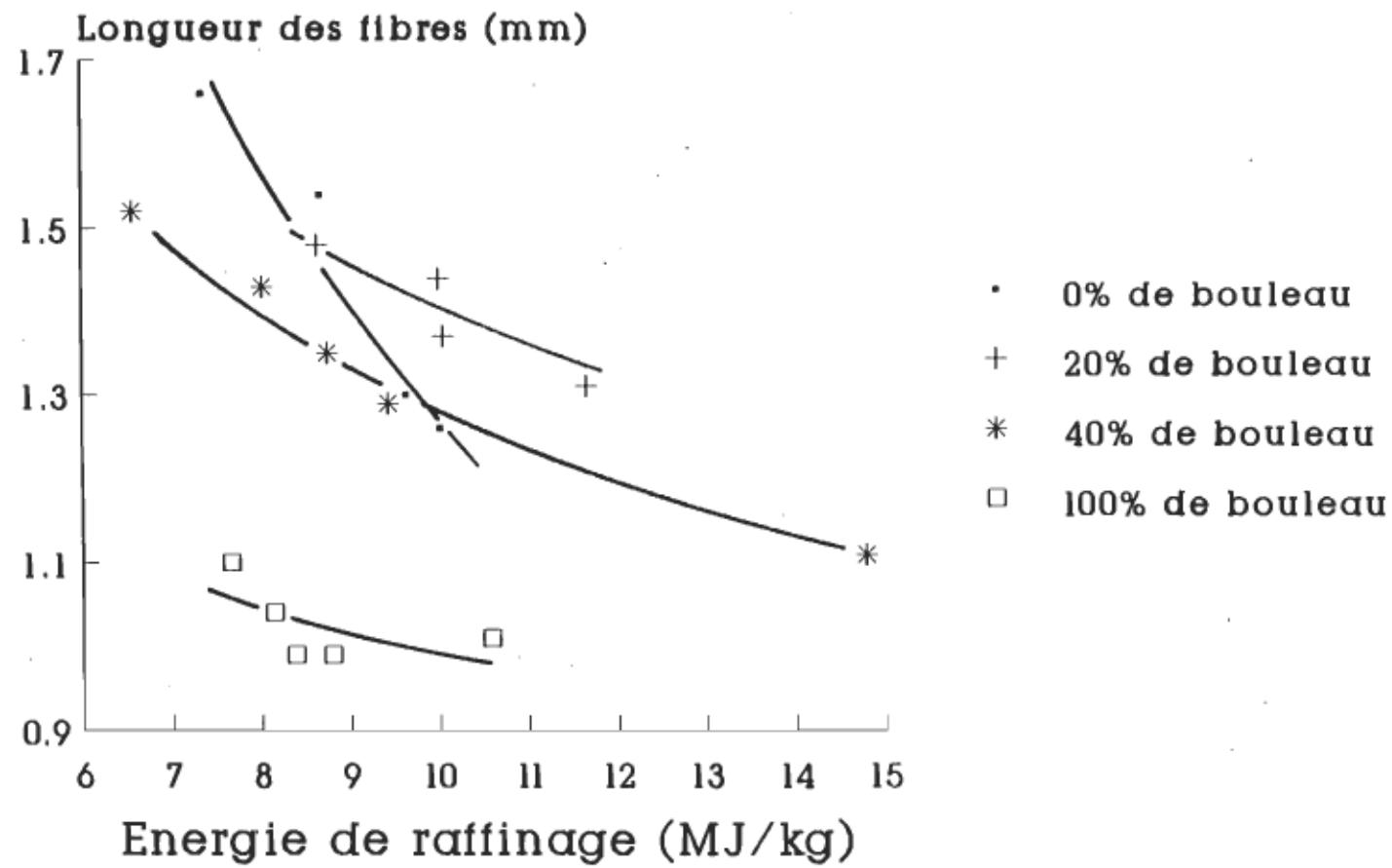


figure 21

L'augmentation de la concentration du sulfite de sodium de 2,5% à 4% a pour effet d'augmenter l'énergie de raffinage pour atteindre un indice de déchirure équivalent. Avec le CTMP-A (2,5% de sulfite), un indice de déchirure d'environ 13,0 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ est obtenu avec seulement 6,0 MJ/kg tandis que pour le même indice de déchirure, le CTMP-B (4% de sulfite) nécessite près de 9,0 MJ/kg. Il s'agit donc d'une augmentation de 30% de la consommation de l'énergie de raffinage. L'indice de déchirure et la longueur moyenne des fibres de la pâte du bouleau sont restés relativement stable, même avec une augmentation de la concentration du sulfite. Ces résultats viennent confirmer ce que Giertz (25) avait émis sur les différences de sulfonation entre les résineux et le bouleau.

D) procédé CTMP-C (2.5% de sulfite + 2.5% de soude)

L'indice de déchirure de la pâte de résineux est resté relativement stable avec le CTMP-A à la figure 18 et le CTMP-C à la figure 22. Un mélange à 20% de bouleau atteint un maximum de 12,0 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ environ avec seulement 7,0 MJ/kg d'énergie de raffinage, ce qui est comparable à la pâte de résineux.

Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

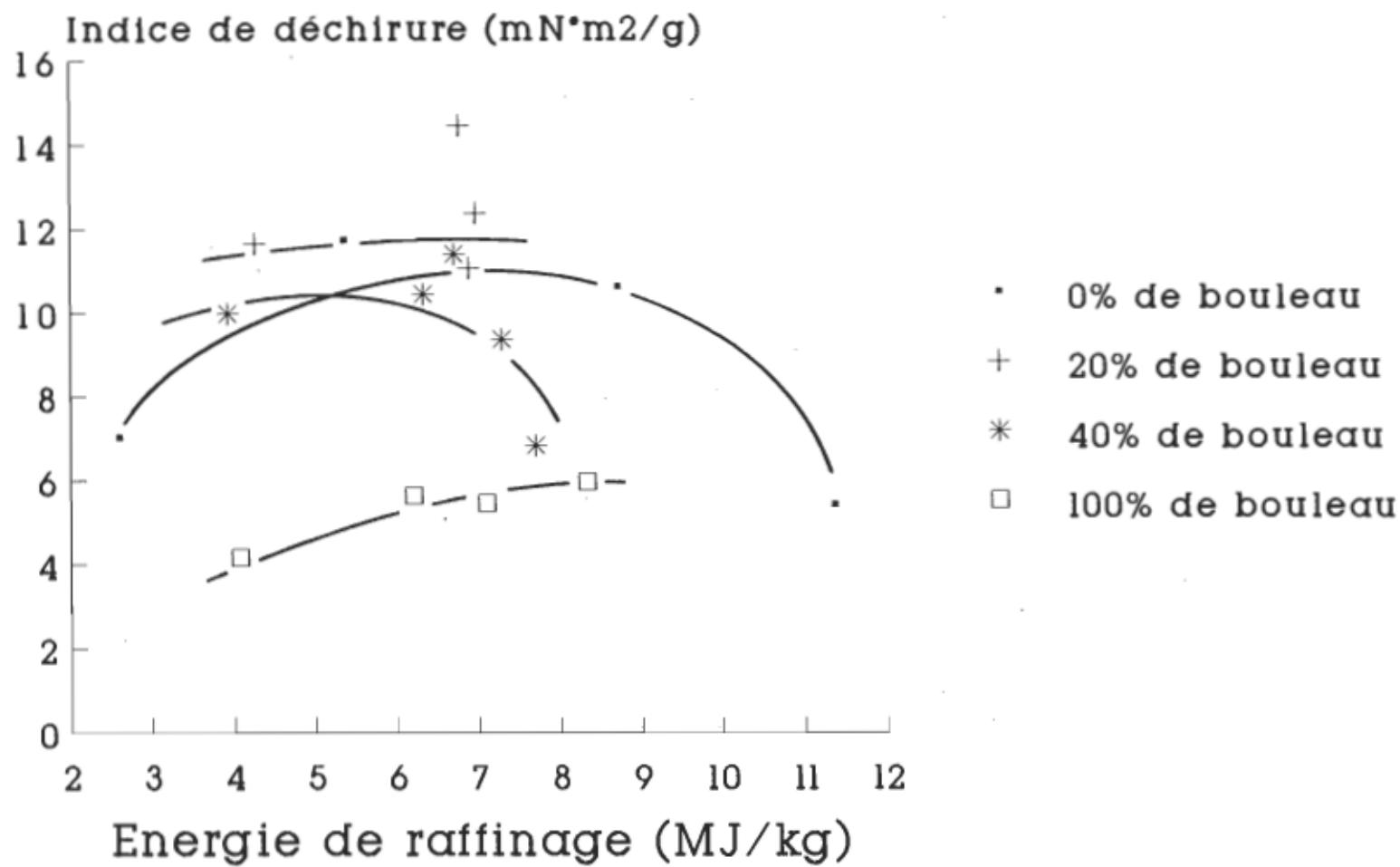


figure 22

Avec ce procédé, le mélange composé de 40% de bouleau et la pâte de bouleau montrent également des améliorations pour la déchirure comparativement aux procédés CTMP-A et CTMP-B.

Par ailleurs, à la figure 23, on remarque que la longueur moyenne des fibres s'est également améliorée pour les différents mélanges à l'exception de la pâte de résineux. Suite à ces résultats, on est en mesure de distinguer les effets de la soude sur les fibres du bouleau. Le ramollissement de la lamelle mitoyenne, située près des parois extérieures des fibres, par la soude occasionne un gonflement des fibres. Le gonflement des fibres permet un défibrage plus facile, ce qui a pour effet de favoriser des fibres plus longues et plus souples.

A la figure 23, on constate que la longueur moyenne des fibres, avec un pourcentage de 20% et 40% de bouleau, est plus importante que celle des résineux. La seule explication possible proviendrait du fait que le raffinage en mélange favorise une meilleure longueur des fibres contrairement à une pâte de résineux où les fibres longues de l'épinette et du sapin subissent un raccourcissement plus intense.

Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

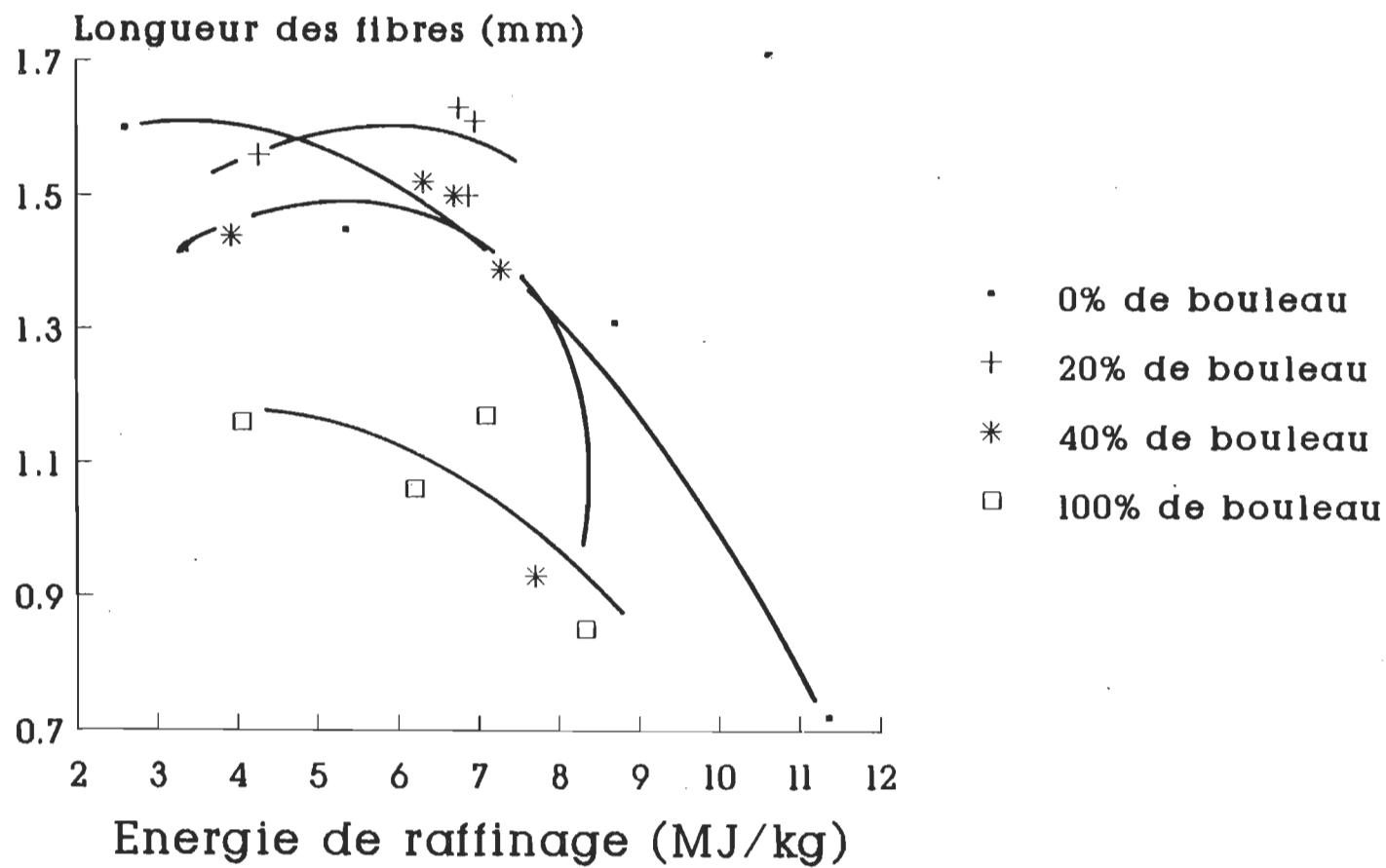


figure 23

Par contre, l'indice de la déchirure ne dépend pas exclusivement de la longueur moyenne des fibres. D'autres facteurs peuvent influencer l'indice de déchirure comme la résistance intrinsèque des fibres et les liaisons interfibres. Il est permis de croire que les liaisons interfibres jouent un rôle dans le développement de la résistance à la déchirure comme on l'a vu précédemment avec la longueur de rupture et l'indice d'éclatement.

E) procédé CTMP-D (5% de sulfite + 5% de soude)

A la figure 24, on remarque que l'indice de déchirure est légèrement inférieur pour les différents mélanges, tandis que les pâtes de résineux et de bouleau montrent des améliorations comparativement à la figure 22. La pâte de résineux exhibe maintenant un indice de déchirure de plus de 16 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ avec seulement 8,0 MJ/kg. La pâte de bouleau indique, quant à elle, une valeur de 9,0 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ avec 5,0 MJ/kg d'énergie de raffinage. Les mélanges à 20% et 40% de bouleau représentent des valeurs intermédiaires.

Avec une augmentation du pourcentage de bouleau, on constate que le point maximum de l'indice de déchirure est

Variation de l'indice de déchirure en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

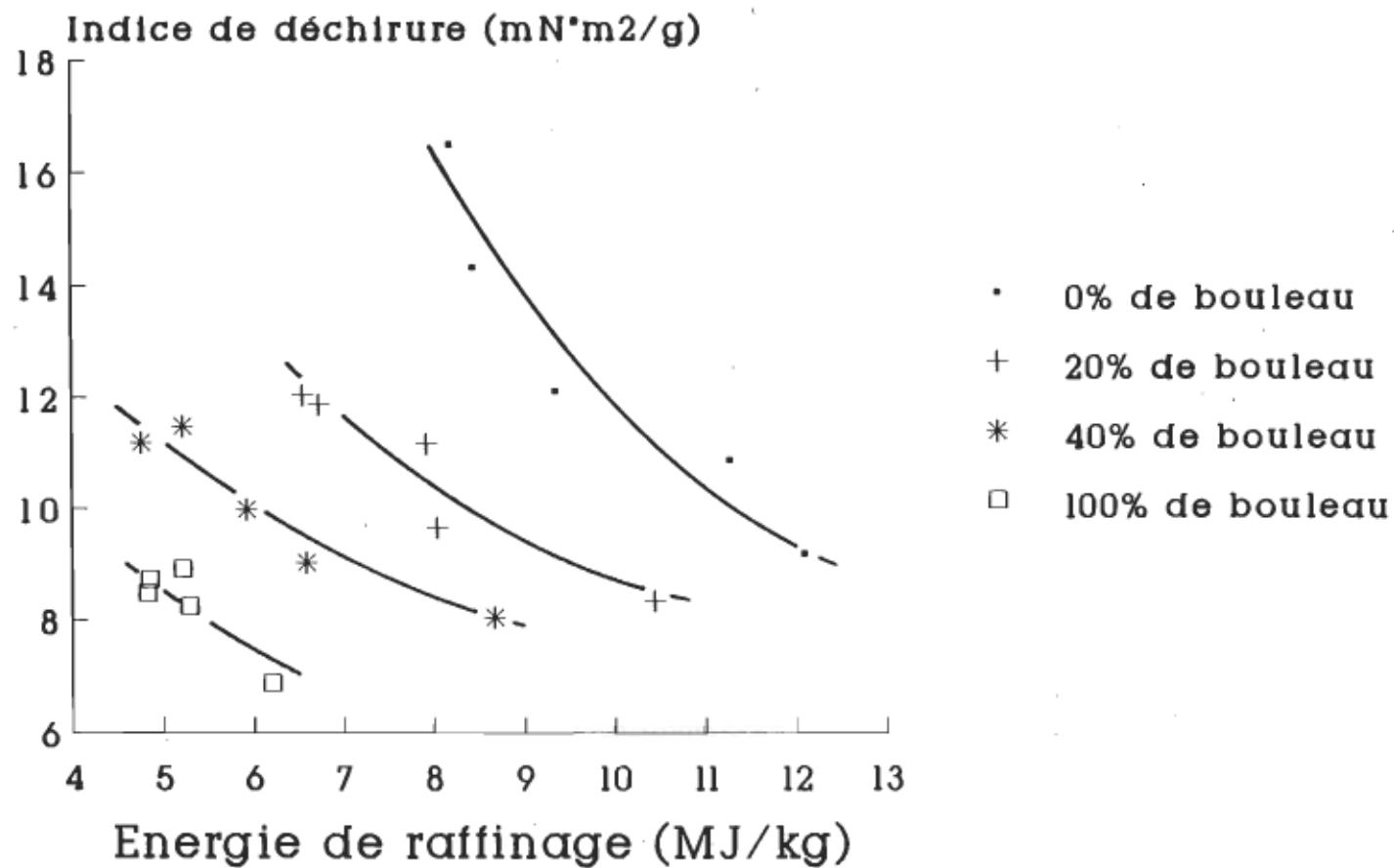


figure 24

atteint avec une consommation d'énergie qui est moindre. La valeur optimale de la déchirure, pour la pâte de résineux, est atteinte avec une énergie de raffinage de 8,0 MJ/kg, alors qu'il est de 7,0 MJ/kg pour le mélange à 20% de bouleau et à seulement 5,0 MJ/kg pour le mélange à 40% de bouleau. Ainsi, une augmentation du pourcentage du bouleau dans le mélange favorise une diminution de la consommation de l'énergie de raffinage.

La figure 25 nous révèle que la longueur moyenne des fibres, pour la pâte de résineux, et pour le mélange composé à 20% de bouleau, se comporte de façon similaire. Cependant, l'indice de déchirure est plus important avec la pâte de résineux. Pour l'indice de déchirure, les essences résineuses possèdent de longues fibres auxquelles le bouleau ne peut être comparé. Ce résultat se répercute sur les différents mélanges. Même un traitement chimique à la soude n'est pas suffisant pour développer une résistance à la déchirure comparable à celle d'un résineux.

Variation de la longueur des fibres en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

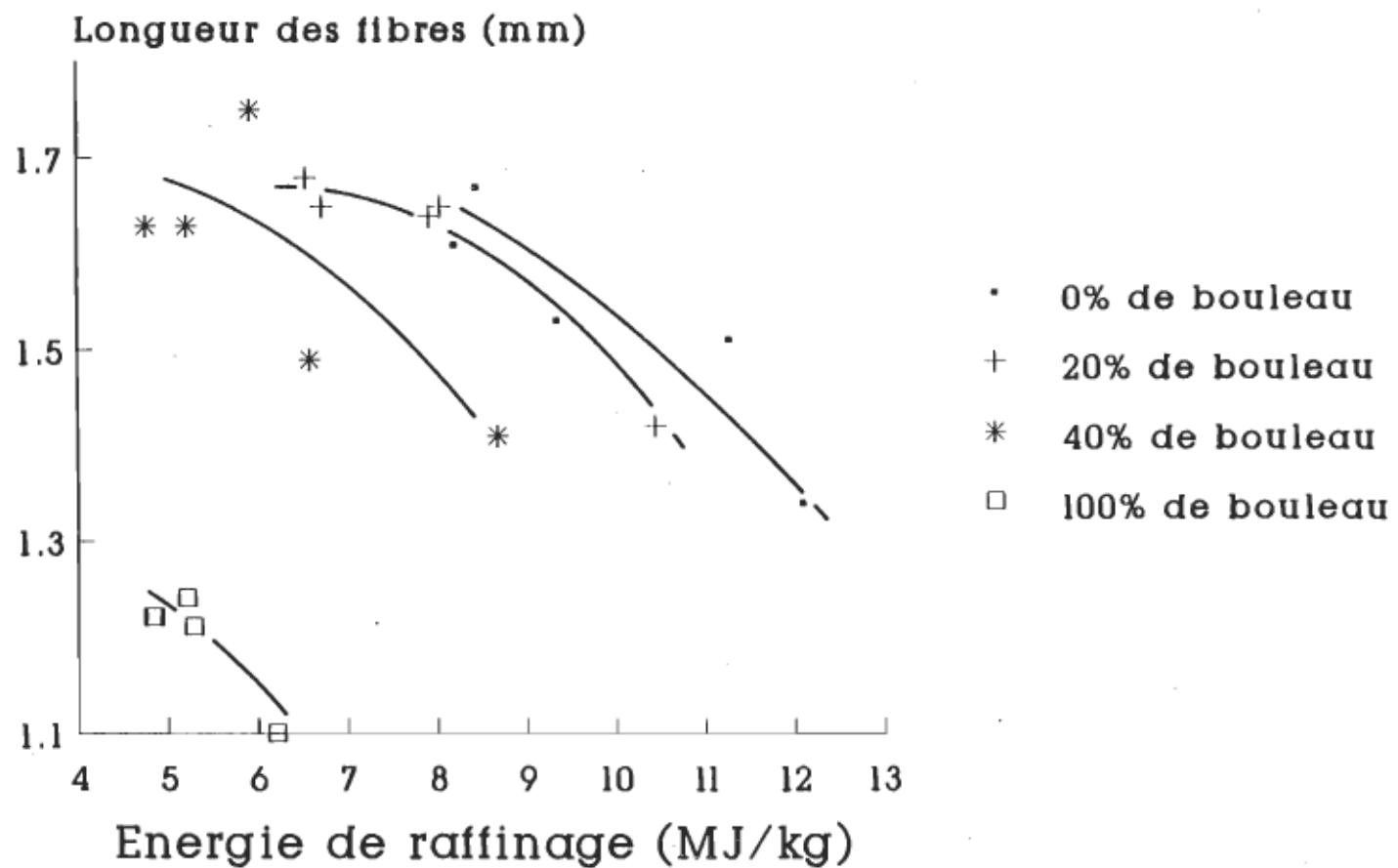


figure 25

4.1.5 Blancheur

A) procédé TMP

A la figure 26, on remarque que la pâte de bouleau montre une blancheur légèrement supérieure en comparaison à la pâte de résineux. En effet, la pâte de bouleau possède une blancheur se situant entre 55,9 et 58,4% dépendamment de l'énergie de raffinage appliquée sur la pâte. La pâte de résineux présente une blancheur variant entre 54,7 et 57,2%. Il s'agit donc d'une différence minimale d'un point de blancheur entre ces deux pâtes, mais qui semble s'accentuée avec une consommation d'énergie de raffinage plus importante. Les pâtes mélangées à 20% et à 40% de bouleau montrent des blancheurs comparables à la pâte de bouleau.

La blancheur initiale des pâtes est principalement attribuée à la présence de matières extractibles dans le bois: ces matières incluent les matières colorantes. Le pourcentage d'extractibles dans le bois, à l'état naturel, varie beaucoup selon les essences, mais il constitue généralement un faible pourcentage en poids (de l'ordre de 1 à 5%) du bois séché au four (4).

Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

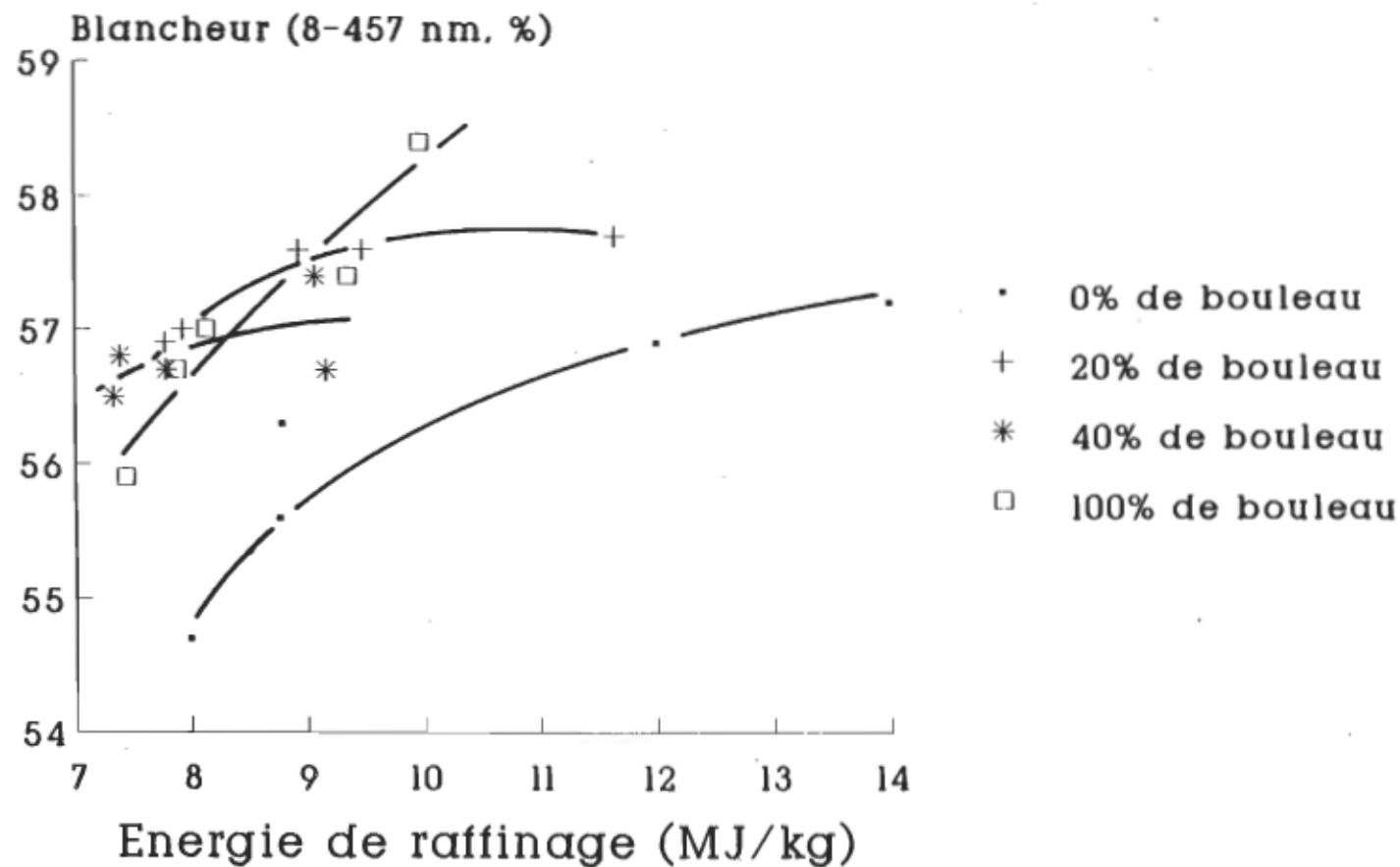


figure 26

La lignine est également une source de coloration dans la pâte. Le taux de lignine contenu dans le bois du bouleau (18,5%) est inférieur à celui des résineux comme le sapin (27,7%) et l'épinette (27,0%). Les blancheurs obtenues par le procédé TMP sont donc caractéristiques de ces essences.

B) procédé CTMP-A (2.5% de sulfite)

La pâte de bouleau présente, à la figure 27, la meilleure caractéristique concernant la blancheur. La pâte de résineux, quant à elle, montre moins d'aptitude pour la blancheur que la pâte de bouleau. En effet, pour la pâte de bouleau, on obtient une blancheur variant entre 67,9 et 69,6% et seulement de 56,4 à 60,5% pour la pâte de résineux. Les pâtes mélangées montrent des résultats intermédiaires entre les pâtes de bouleau et de résineux.

Avec une concentration du sulfite de sodium de 2,5%, la pâte de bouleau a amélioré d'environ dix points sa blancheur comparativement au procédé TMP. Tandis que pour la pâte de résineux, la blancheur a été améliorée de deux à trois points avec 2,5% de sulfite de sodium.

Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

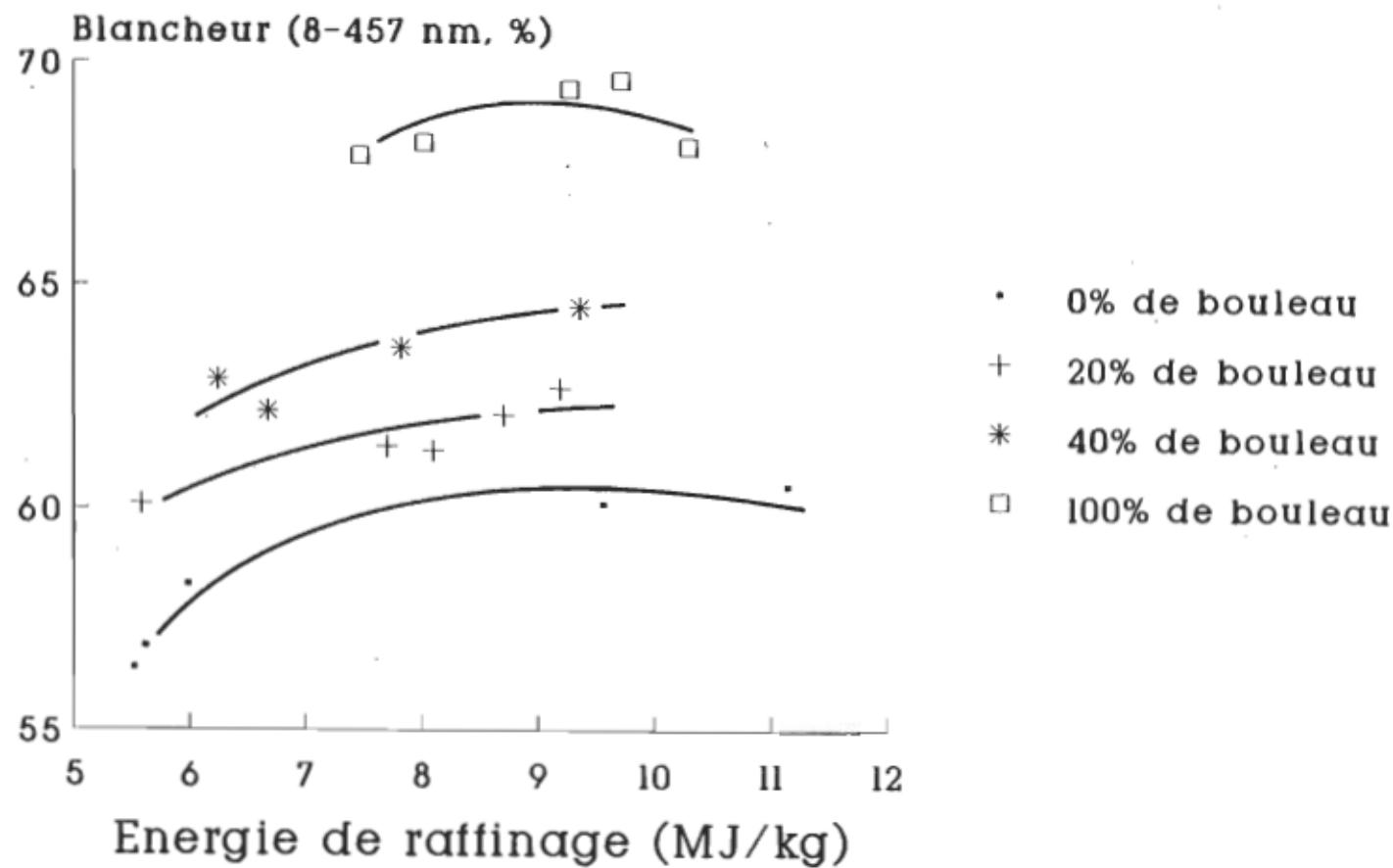


figure 27

Pourquoi les gains de blancheur sont si importants avec la pâte de bouleau tandis la pâte de résineux montre moins d'aptitude pour le blanchiment? On sait que les fibres résineuses peuvent s'imprégnier de soufre jusqu'à 3 fois plus que les fibres du bouleau (25). Une des raisons, qui peut expliquer ce phénomène de blanchiment sur la pâte de bouleau, est sans doute le taux de lignine présent dans la pâte qui est inférieur à celui de la pâte de résineux. Une autre raison pourrait être que le taux d'extractibles du bouleau à l'état naturel, qui est responsable de la coloration du bois, serait inférieur à celui du sapin et de l'épinette.

Selon Beath et al. (11), certaines pertes de rendement sont dues à la solubilisation de matières solubles dans l'eau. Ces auteurs indiquent que les pertes de rendement augmentent avec la concentration de sulfite de sodium, mais avec un taux de sulfite inférieur à 4%, les pertes étaient minimes. Les observations de Beath et Mihelich nous indiquent qu'avec un taux de 2,5% de sulfite de sodium, une partie des matières solubles dans l'eau, qui forment une fraction des extractibles, est partiellement solubilisée et qu'une autre partie serait encore présente dans la pâte.

Des auteurs (13) ont évalué l'influence du sulfite de sodium sur les propriétés des pâtes. Il semble que le sulfite de sodium n'influence pas de façon dominante les propriétés des pâtes exception faite pour la blancheur. Dans ce cas, le sulfite de sodium agit comme un agent de blanchiment.

C) procédé CTMP-B (4% de sulfite)

A la figure 28, on remarque que la blancheur a diminué par rapport à la figure précédente même si la concentration du sulfite de sodium est passée de 2,5% à 4%. En effet, la blancheur de la pâte de bouleau varie maintenant entre 64,4 et 65,2% alors qu'avec 2,5% de sulfite la blancheur variait entre 67,9 et 69,6%. C'est une diminution de la blancheur de 3,5 points.

Cependant, la blancheur de la pâte de résineux est passée entre 56,4 et 60,5% avec 2,5% de sulfite alors qu'elle varie entre 58,7% et 60,0 avec 4% de sulfite. Cette fois-ci il s'agit d'une augmentation de la blancheur d'environ 3,5 points. Il faut remarquer, par contre, qu'un raffinage intensif sur la pâte de résineux avec l'application de 4% de sulfite, en comparaison avec 2,5% de sulfite, diminue la propriété de la

Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

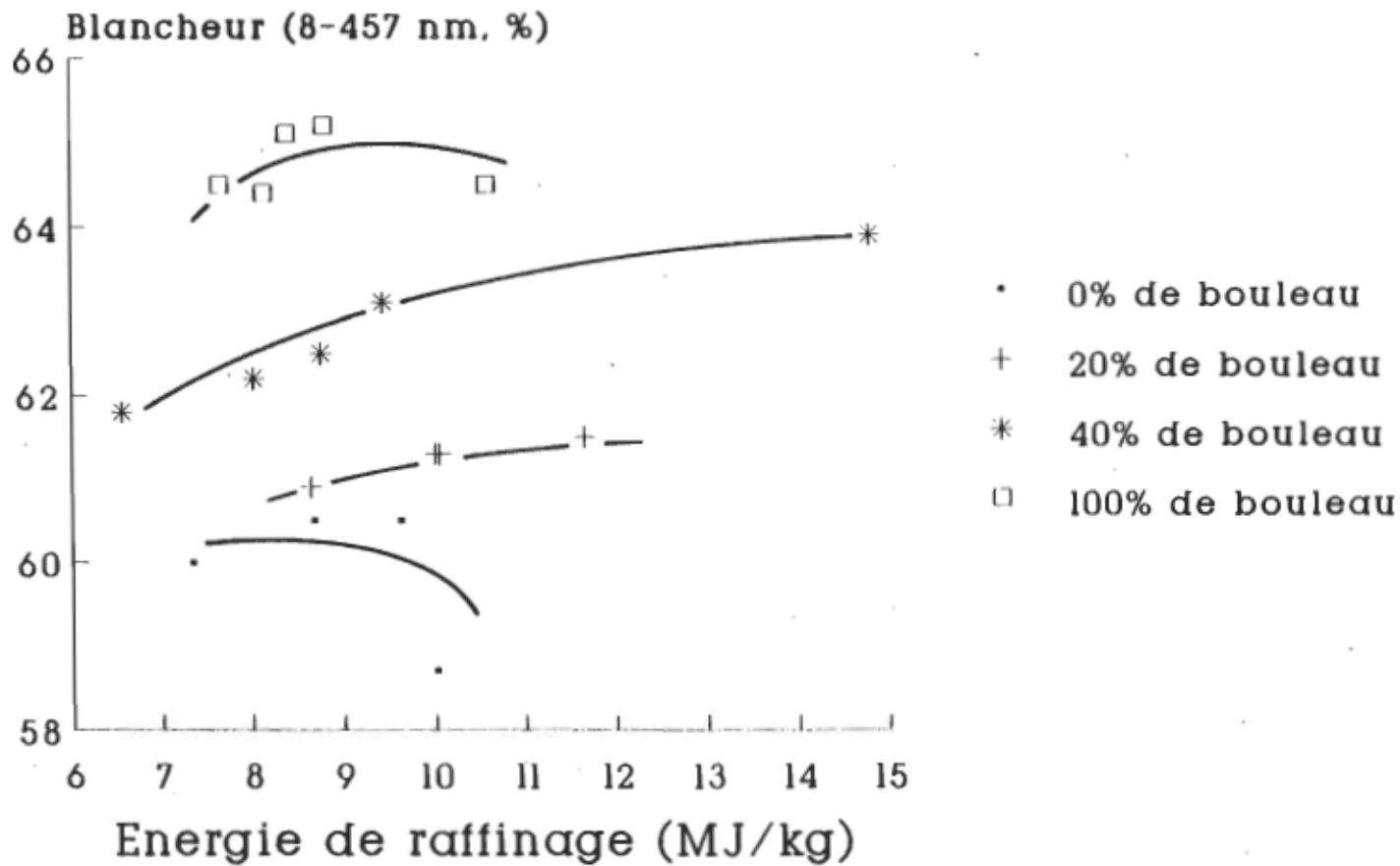


figure 28

blancheur. Par contre, la blancheur, pour les mélanges de copeaux à 20% et à 40%, semble normale avec une augmentation de la concentration du sulfite de sodium de 2,5% à 4%.

Les gains de blancheur, avec un taux de 4% de sulfite de sodium dans le procédé CTMP-B, ne sont pas considérables comparativement avec le CTMP-A (2.5% de sulfite). Encore une fois, les éléments de coloration de la pâte à l'état naturel seraient en grande partie responsable de la blancheur du bouleau. De plus, lors de la mise en pâte avec un procédé mécanique tel le TMP et le CTMP, la lignine demeure en grande partie dans la pâte puisque les rendements de ces pâtes mécaniques se situent aux environs de 90%-96%. Par conséquent, un taux de lignine inférieur pour le bouleau doit certainement influencer la blancheur de la pâte.

D) procédé CTMP-C (2.5% de sulfite + 2.5% de soude)

A la figure 29, on assiste à une perte de blancheur dûe principalement à l'utilisation de la soude. La pâte de bouleau, qui maintient la meilleure blancheur, a baissé d'environ 14 points comparativement à la figure 27 où le procédé utilisait 2,5% de sulfite de sodium. La pâte de

Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

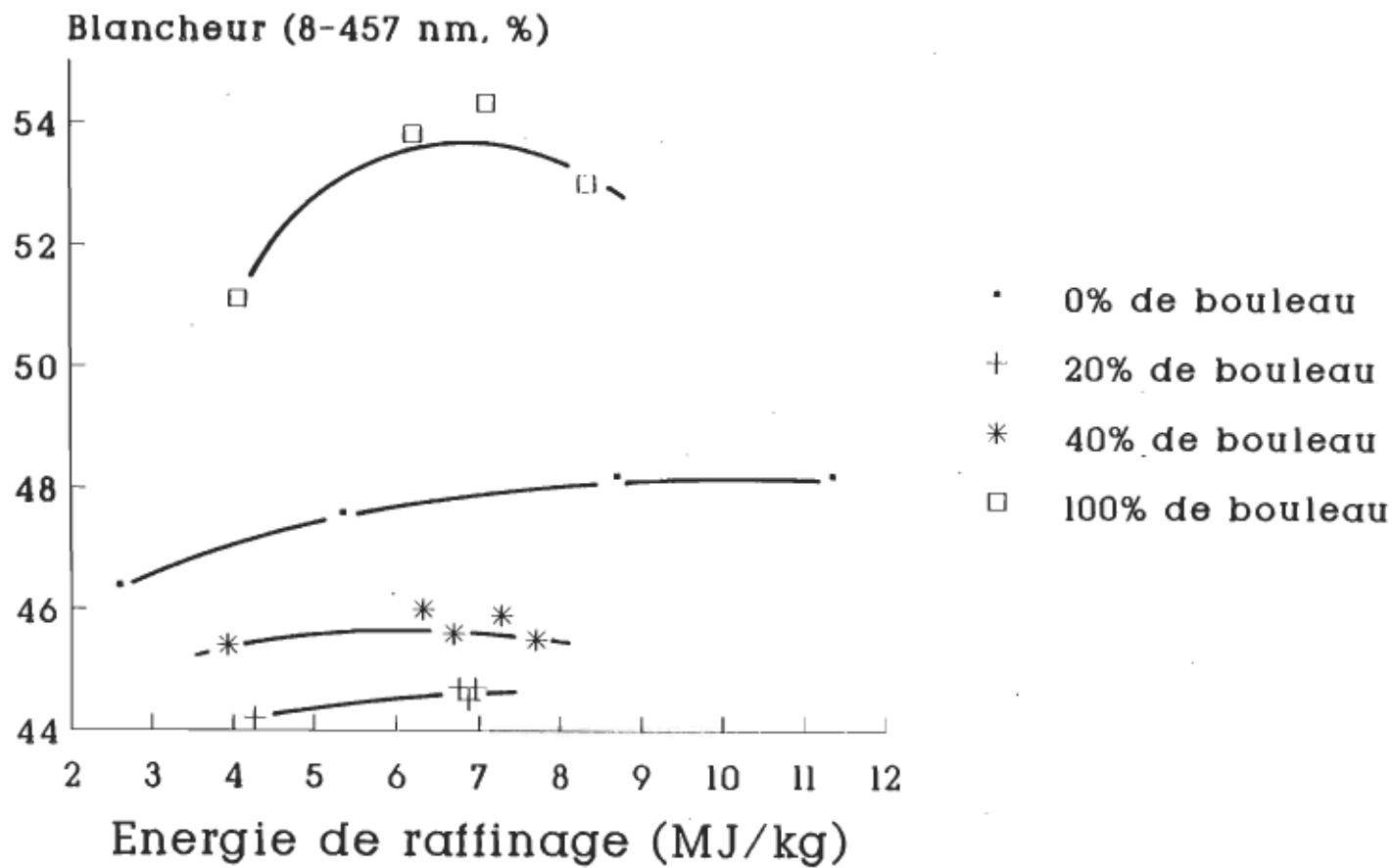


figure 29

résineux, quant à elle, montre une diminution d'environ de dix à douze points avec l'emploi de 2,5% de soude. Les pâtes mélangées ont connu une diminution de leur blancheur encore plus importante; le mélange à 20% est passé de 60-62% de blancheur avec le CTMP-A à 44% avec le CTMP-C, soit une diminution de 16 à 18 points. La pâte à 40% de bouleau est passée de 62 à 64% de blancheur avec le CTMP-A à 45-46% de blancheur avec le CTMP-C, soit une diminution d'environ 17-18 points également.

La pâte de résineux (diminution de 10-12 points) serait moins sensible à l'ajout de soude pour la blancheur que la pâte de bouleau (diminution de 15 points) et les différents mélanges (diminution de 17-19 points). Mais pourquoi les mélanges de pâtes sont si sensibles à l'ajout de la soude comparativement à la pâte pure de bouleau? L'explication de ce phénomène n'est pas évidente, mais si on prend pour acquis que la soude réagit principalement sur les fibres du bouleau, alors on note que la disponibilité de la soude dans les mélanges est plus grande.

Avec un pourcentage de bouleau moins important dans le mélange, l'action de la soude semble réagir plus intensément sur les fibres du bouleau et se traduit par une blancheur plus faible.

Law et al. (13) déclarent que l'effet de la soude a des effets néfastes sur les propriétés optiques et le volume spécifique du papier. Ces auteurs indiquent également que le taux d'addition de la soude devrait être gardé au minimum puisque la blancheur de la pâte est très sensible à la soude.

E) procédé CTMP-D (5% de sulfite + 5% de soude)

A la figure 30, une concentration plus importante de la soude (5%) a diminué la propriété de la blancheur sur toutes les pâtes comparativement à la figure 29. Effectivement, la pâte de bouleau est passée d'une blancheur d'environ 51-54% avec 2,5% de soude et elle a diminué à 42-47% avec 5% de soude caustique. De même, la pâte de résineux a baissé d'environ six à huit points de blancheur pour se situer à 38-42%. Les pâtes mélangées à 20% et 40% de bouleau possèdent, quant à elles, une blancheur encore plus faible. La blancheur de la pâte à 20% se situe maintenant entre 32 et 34% et la blancheur de la pâte composée à 40% de bouleau se situe entre 33 et 35%. Par contre, on constate que la pâte pure de bouleau possède encore la meilleure blancheur par rapport à la pâte de résineux et les différents mélanges. Comme à la figure précédente, les différents mélanges de pâte montrent une blancheur relativement

Variation de la blancheur en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

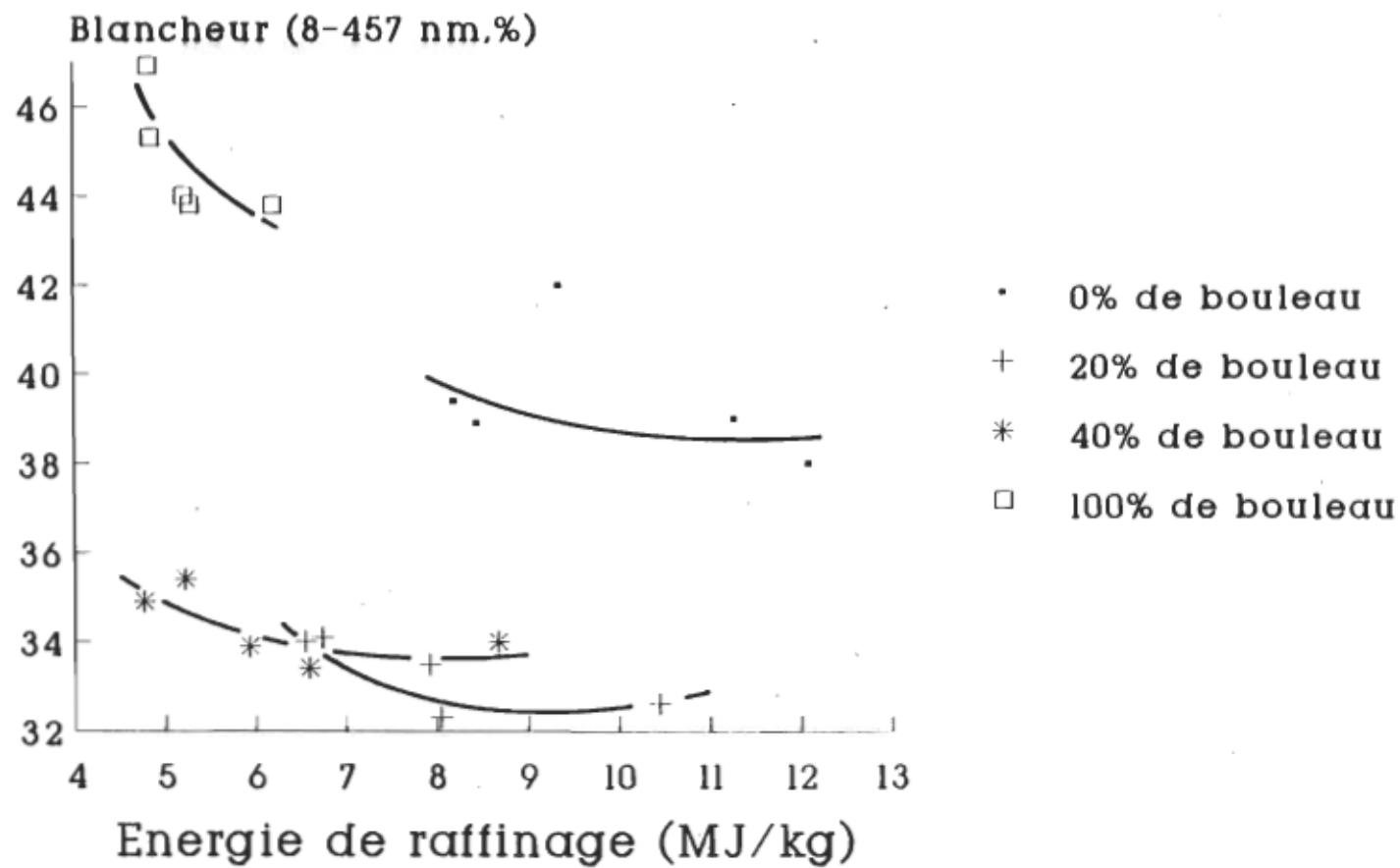


figure 30

faible.

Les résultats obtenus (figure 30) ne sont pas des plus faciles à expliquer; les valeurs de blancheur ne correspondent pas à une diminution linéaire en fonction du pourcentage de bouleau dans les mélanges.

Les résultats présentés aux figures allant de 26 à 30, ne nous permettent pas de conclure sur ce sujet. En effet, la blancheur de certaines pâtes s'accentue avec une augmentation de l'énergie de raffinage tandis que d'autres pâtes diminuent avec une augmentation de l'énergie de raffinage. D'autres chercheurs (18) ont obtenus des résultats similaires.

4.1.6 Opacité

A) procédé TMP

A la figure 31, on remarque que l'opacité augmente à mesure que le pourcentage de bouleau devient plus important dans la composition du mélange. En effet, l'opacité de la pâte de résineux montre la valeur la plus faible (94-97%) tandis que la pâte de bouleau (95-97%) montre l'opacité la plus importante et

Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

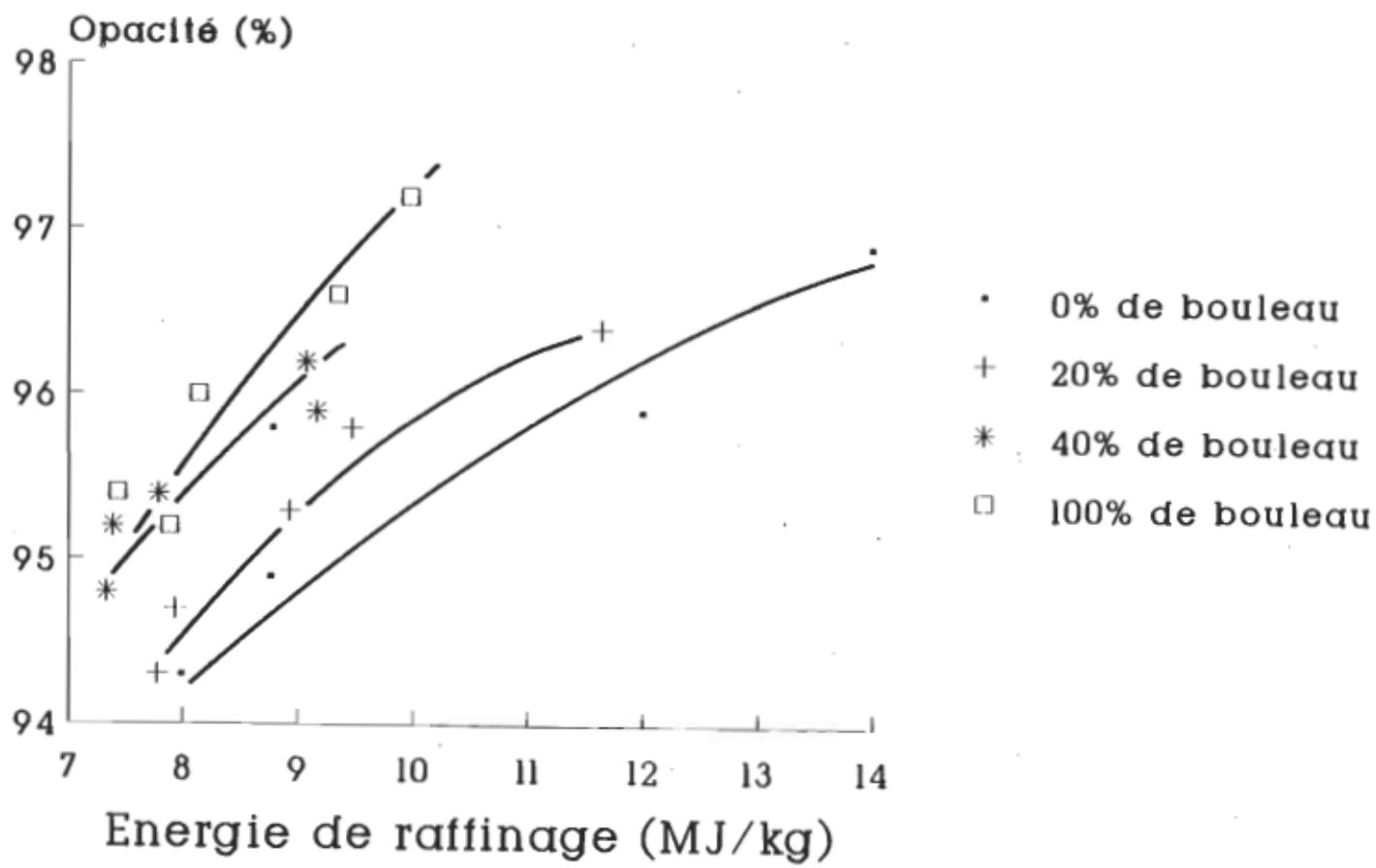


figure 31

ce, avec une énergie de raffinage qui est moindre. Les mélanges à 20% et à 40% de bouleau montrent une opacité intermédiaire entre la pâte de bouleau et la pâte de résineux. Cependant, la pâte composée à 40% de bouleau se comporte de façon similaire à la pâte de bouleau puisque les valeurs d'opacité sont semblables.

Par ailleurs, on remarque que la valeur de l'opacité est influencée par l'énergie de raffinage appliquée sur la pâte. Il ne faut pas oublier, que le raffinage des fibres du bouleau avec le procédé TMP, produit une quantité appréciable de matières fines. Comme l'opacité mesure la réflexion de la lumière entre les fibres individuelles il faut mentionner qu'une quantité plus importante de fines augmente la valeur de l'opacité. Avec une augmentation de l'énergie de raffinage, la production de matières fines est plus importante et accroît, par ce fait, la mesure de l'opacité.

Dinwoodie (26) mentionne que la main ou la densité est en relation avec l'opacité du papier. Cependant, la relation n'est pas linéaire; une augmentation de la densité du papier accroît l'opacité à un point maximum et reste à ce point ou décline. De façon générale, et particulièrement avec un papier

de grammage constant, les variables qui augmentent le coefficient de diffusion de la lumière, à travers la feuille, vont accroître l'opacité. Une augmentation de la moyenne de la paroi cellulaire, qui se traduit par une hausse de la main ou une introduction de fibres plus courtes dans le papier, vont donc accroître l'opacité du papier. On assiste justement, à la figure 32, à une augmentation du coefficient de diffusion, avec l'énergie de raffinage, qui corrobore l'augmentation de matières fines dans la pâte.

B) procédé CTMP-A (2.5% de sulfite)

A la figure 33, on remarque que les valeurs de l'opacité sont différentes en comparaison avec la figure précédente. En effet, l'emploi d'une faible quantité de sulfite de sodium a complètement changé les valeurs de l'opacité. Maintenant, la pâte de résineux montre une opacité supérieure tandis que la valeur de l'opacité diminue en fonction du pourcentage de bouleau présent dans le mélange.

On note également que les valeurs de l'opacité du papier pour le procédé CTMP-A ont diminué de 5 à 8% en comparaison avec celles du procédé TMP. Même la pâte de résineux a subi

Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

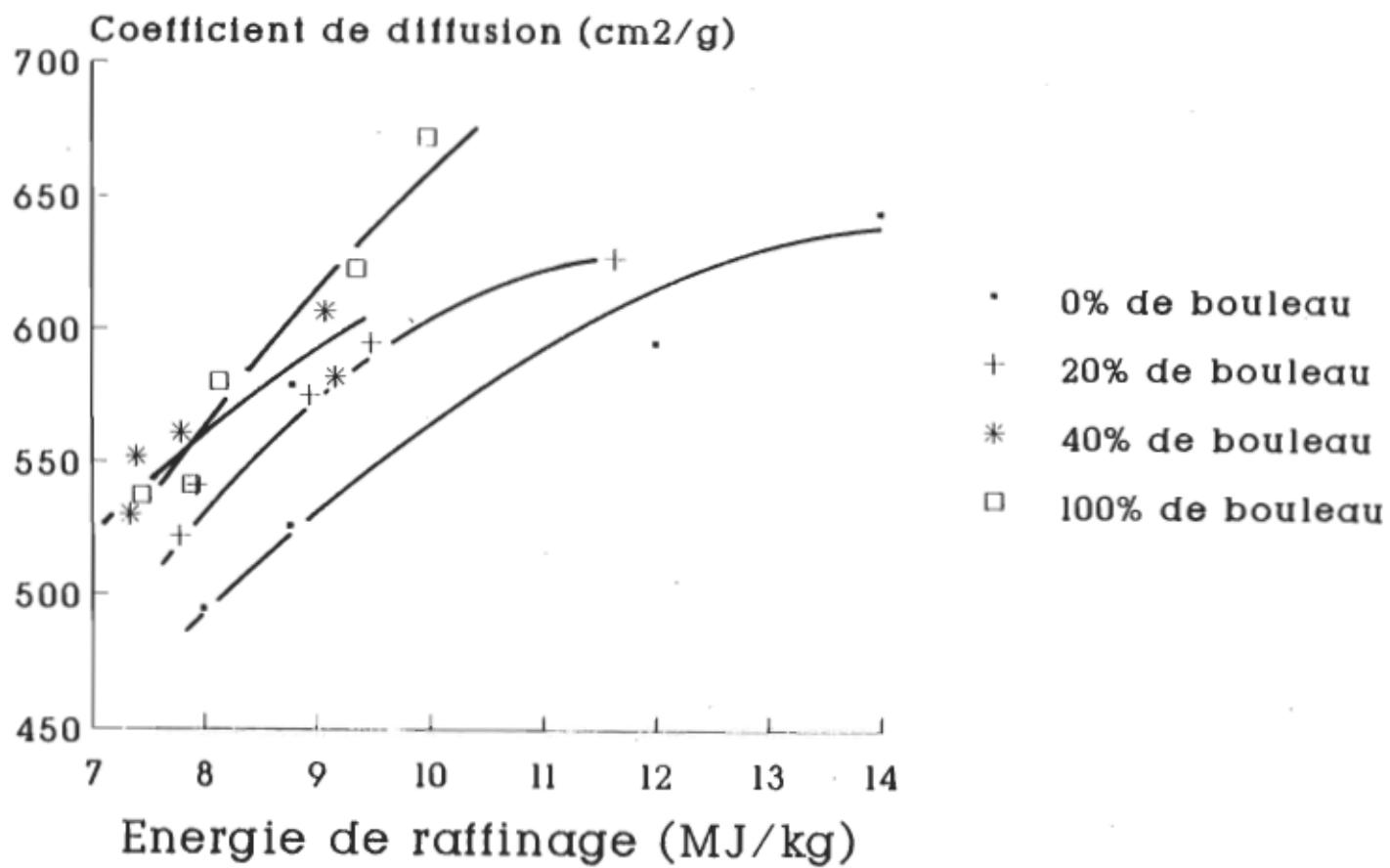


figure 32

Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

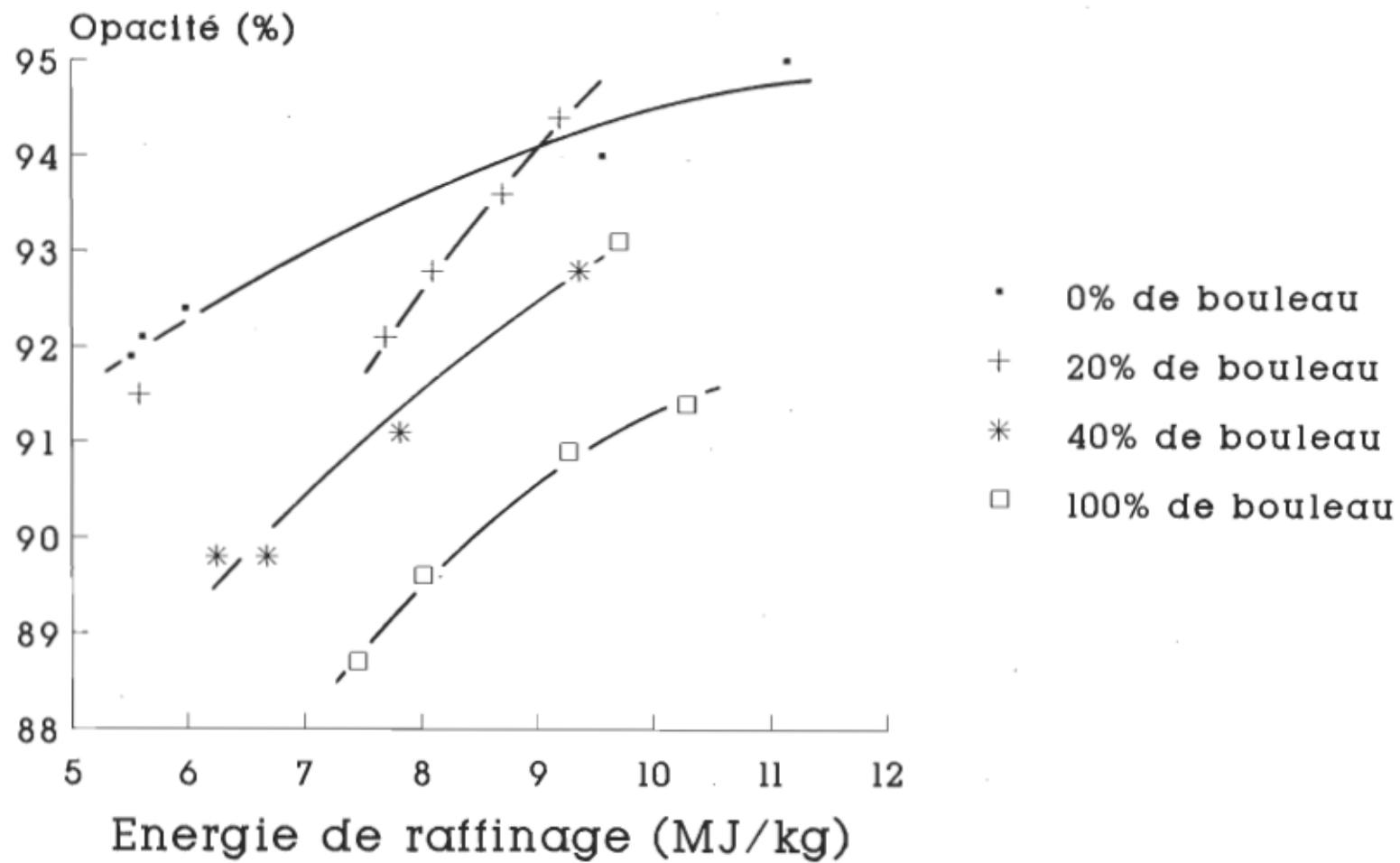


figure 33

une légère diminution de l'opacité. La sulfonation, créée par l'action du sulfite de sodium, a permis d'augmenter les liaisons interfibres; ce qui se traduit par une réduction de la réflexion de la lumière ou du coefficient de diffusion (figure 34) et conséquemment, par une réduction de l'opacité.

Nous avons vu, à la figure 21, que la longueur moyenne des fibres est supérieure avec l'emploi du sulfite de sodium. Des fibres plus longues, obtenues avec le procédé CTMP-A comparativement au TMP, nous conduisent à un papier de densité plus faible. Ce phénomène influence la réflexion de la lumière et occasionne une opacité plus importante. Une pâte de résineux, qui possède une moyenne de longues fibres plus importante, possède normalement une opacité supérieure.

Jackson et al. (23) ont remarqué que le tremble, avec un procédé CTMP, produit un taux de longues fibres plus important qu'avec le procédé TMP. Ces résultats nous indiquent que les fibres du bouleau contribuent, d'une manière moins importante avec le procédé CTMP, dans la production de matières fines pendant le raffinage, d'où une baisse de l'opacité.

Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

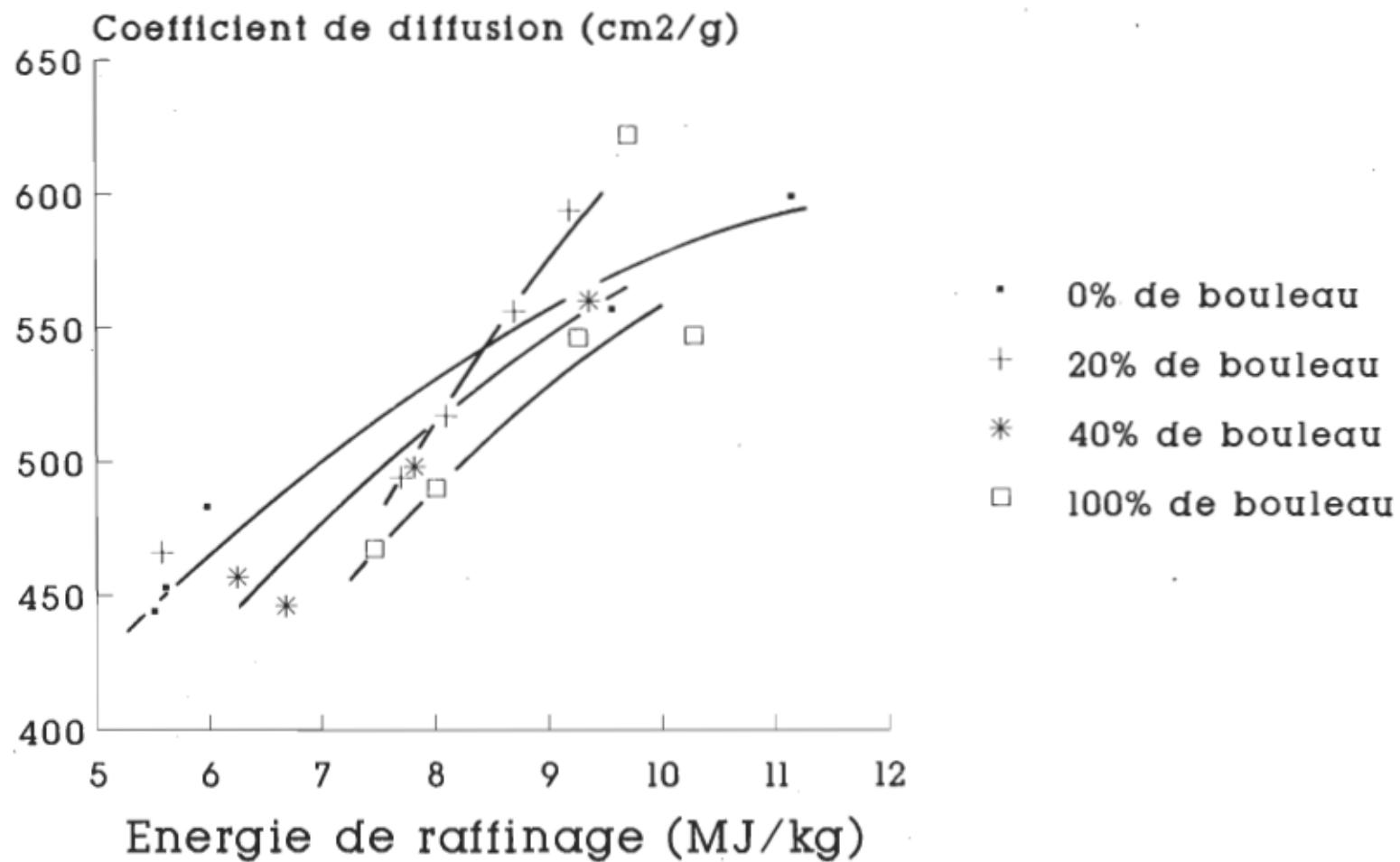


figure 34

C) procédé CTMP-B (4% de sulfite)

Les résultats obtenus avec 4% de sulfite de sodium et présentés à la figure 35, ne diffèrent guère de ceux illustrés, à la figure 33. La pâte de résineux montre une opacité supérieure aux différents mélanges de copeaux et à la pâte de bouleau.

Comme précédemment, on invoque la raison du traitement chimique sur les fibres pour expliquer la baisse de l'opacité avec l'intégration du bouleau dans le mélange. Les fibres du bouleau, quoique légèrement influencées par la sulfonation, ne produisent plus autant de matières fines qu'avec le procédé TMP. Cependant, le traitement chimique influence les liaisons interfibres, surtout pour les résineux. On assiste à une diminution de la valeur de l'opacité puisque la densité est augmentée. De même manière, le coefficient de diffusion, à la figure 36, est moins important pour toutes les pâtes avec une concentration de sulfite de sodium plus importante; l'agent chimique a provoqué des liaisons interfibres en plus grand nombre et a réduit, par ce fait, le volume spécifique des pâtes.

Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

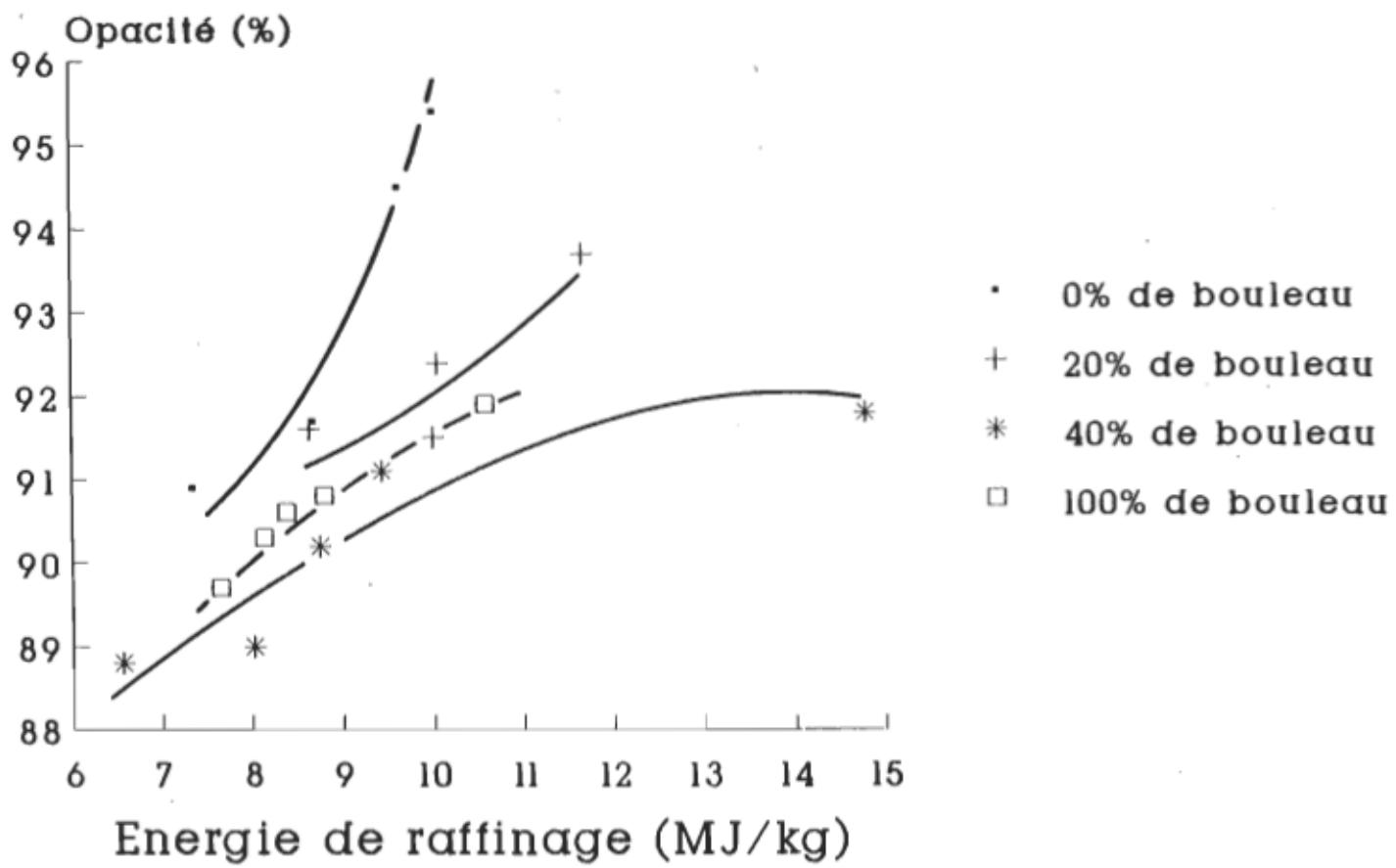


figure 35

Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

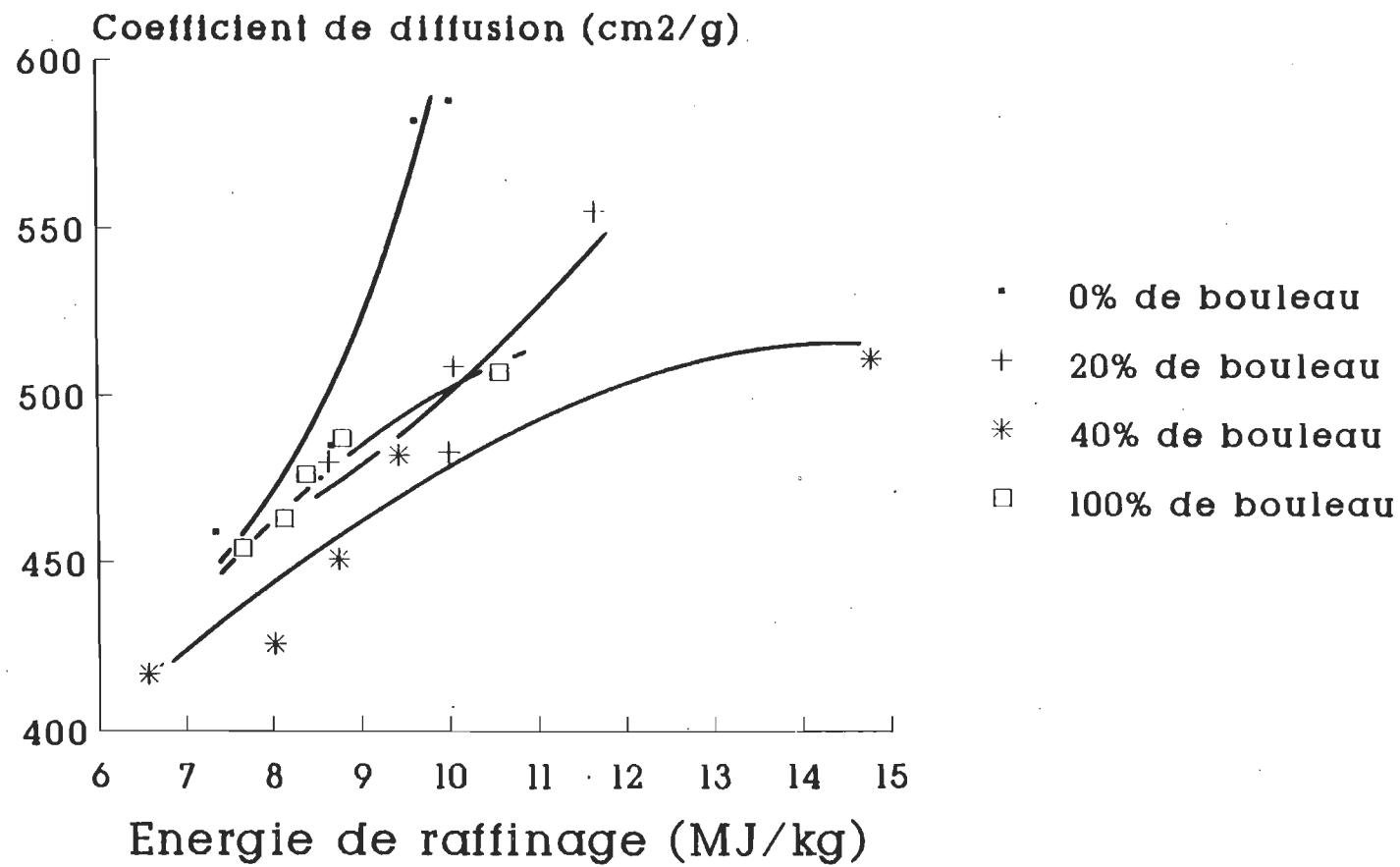


figure 36

D) procédé CTMP-C (2.5% de sulfite + 2.5% de soude)

A la figure 37, on peut remarquer dans un premier temps, que l'opacité diminue avec une augmentation de l'énergie de raffinage, et qu'ensuite elle augmente avec une énergie de raffinage plus importante. Cependant il faut souligner, que la pâte de bouleau montre une opacité supérieure à la pâte de résineux, ce qui est contraire aux résultats obtenus avec le traitement chimique au sulfite de sodium employé seul. Le coefficient de diffusion de la pâte de bouleau est également supérieur à la pâte de résineux (figure 38).

Un faible traitement chimique avec le sulfite de sodium (2,5%), agencé avec la soude (2,5%), rehausse les propriétés papetières telles la longueur de rupture et l'indice d'éclatement. On a discuté précédemment des causes de cette amélioration des propriétés; les liaisons interfibres ont été améliorées de façon significative par une plus grande flexibilité des fibres. C'est probablement la raison pour laquelle on assiste à une baisse de l'opacité avec une faible énergie de raffinage. Cependant, une augmentation de l'énergie de raffinage produit un pourcentage supérieur de matières fines; on assiste à une augmentation de la valeur de l'opacité. Par ailleurs, l'augmentation des liaisons interfibres et

Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

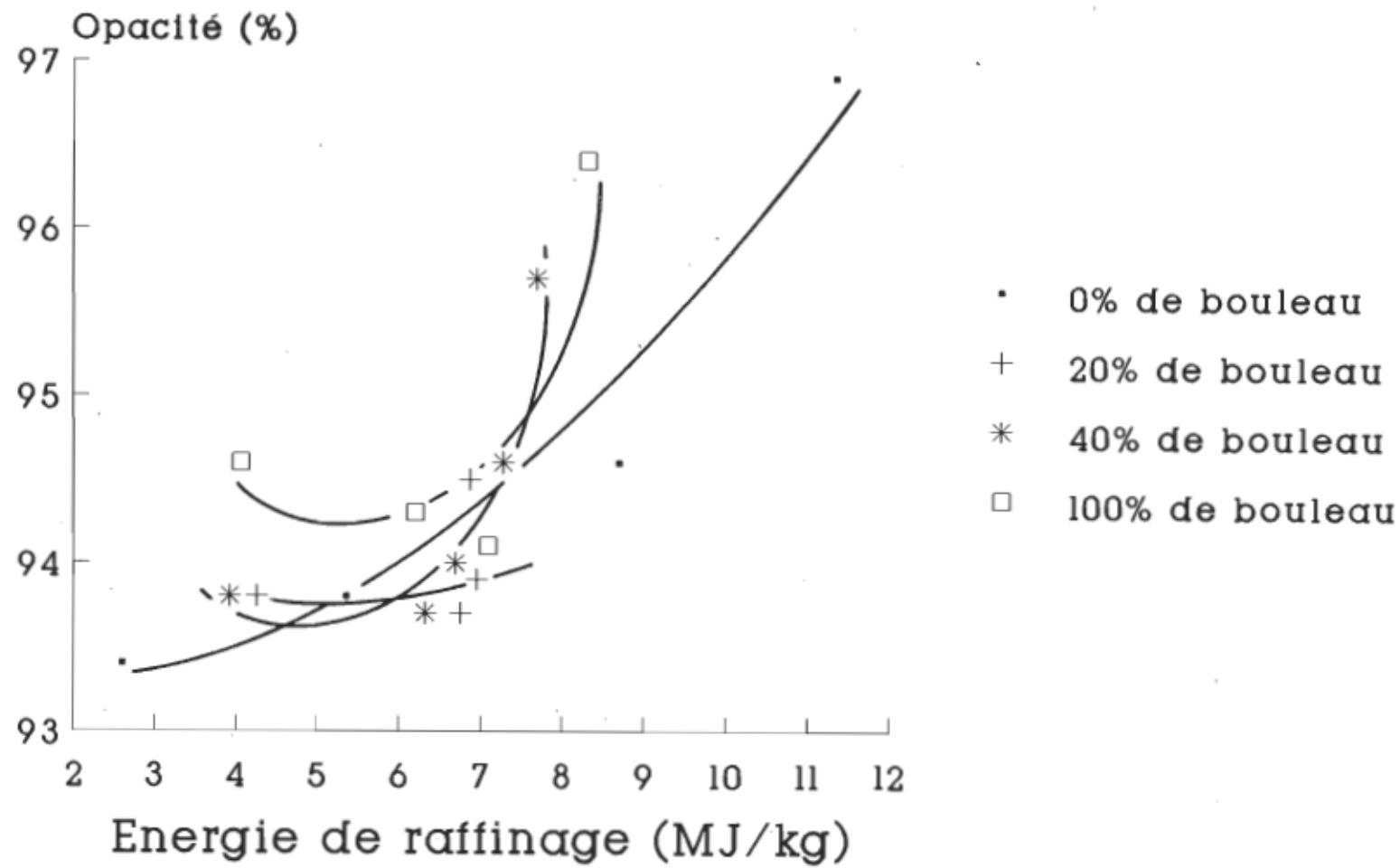


figure 37

Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

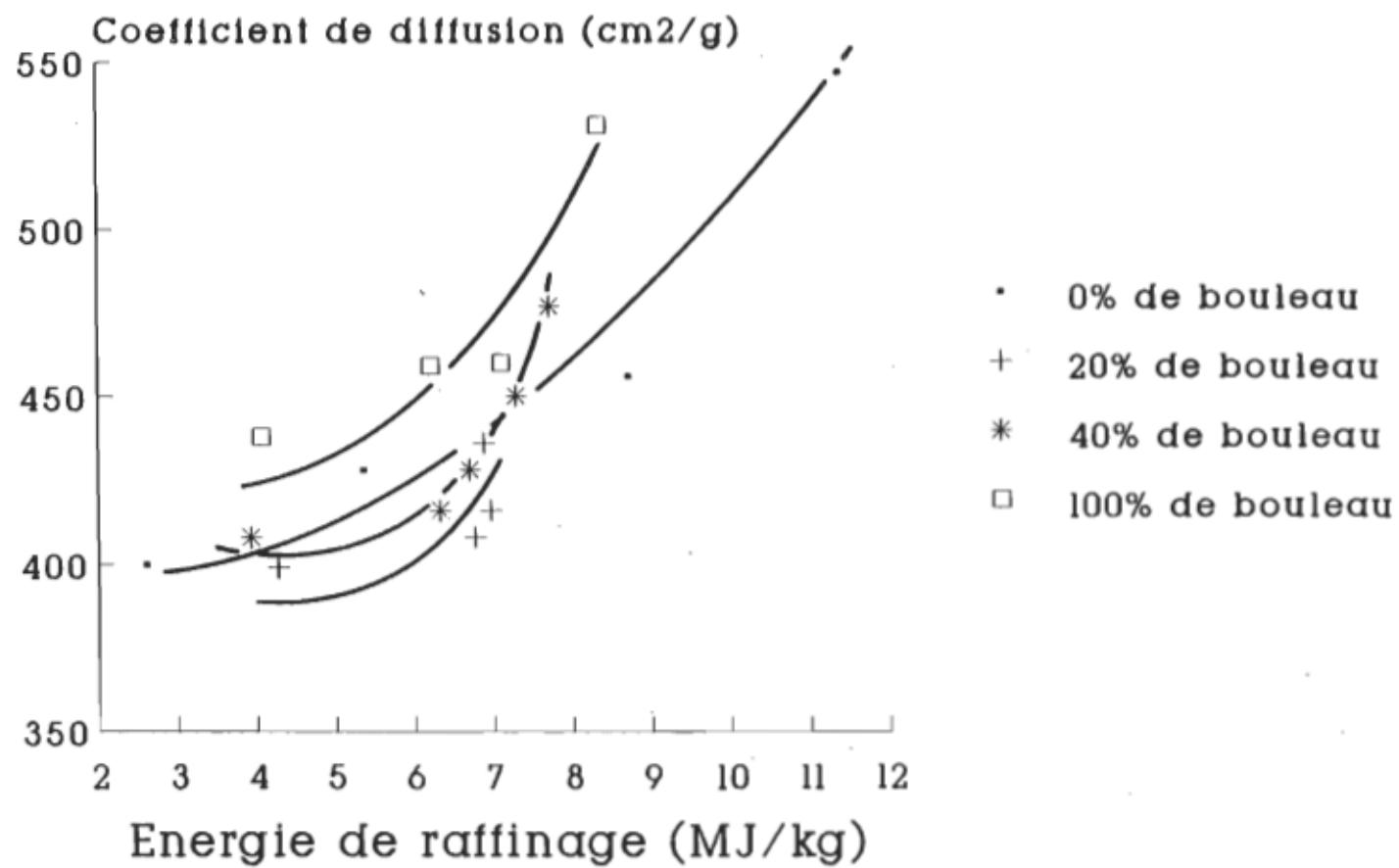


figure 38

l'intégration de fibres plus courtes, dans les mélanges, provoquent une hausse de la densité du papier. La densité du papier influence la dispersion de la lumière à travers la feuille, et conséquemment, l'opacité du papier.

On remarque, à la figure 38, que le coefficient de diffusion de la lumière se développe de la même manière que l'opacité du papier à la figure 37.

Finalement, on constate qu'une faible concentration de soude (2,5%) n'a pas d'influence négative sur les fibres du bouleau quant à l'opacité puisque la pâte de bouleau et les différents mélanges possèdent une opacité supérieure sinon égale à la pâte de résineux.

E) procédé CTMP-D (5% de sulfite + 5% de soude)

A la figure 39, on remarque que seule l'opacité de la pâte de bouleau a diminué quelque peu, comparativement à celle présentée à la figure 37. L'opacité de la pâte de résineux et des mélanges à 20% et à 40% sont restés presque stables, insensibles au changement de concentration de 2,5% à 5% de soude. Même que les mélanges composés à 20% et à 40% de

Variation de l'opacité en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

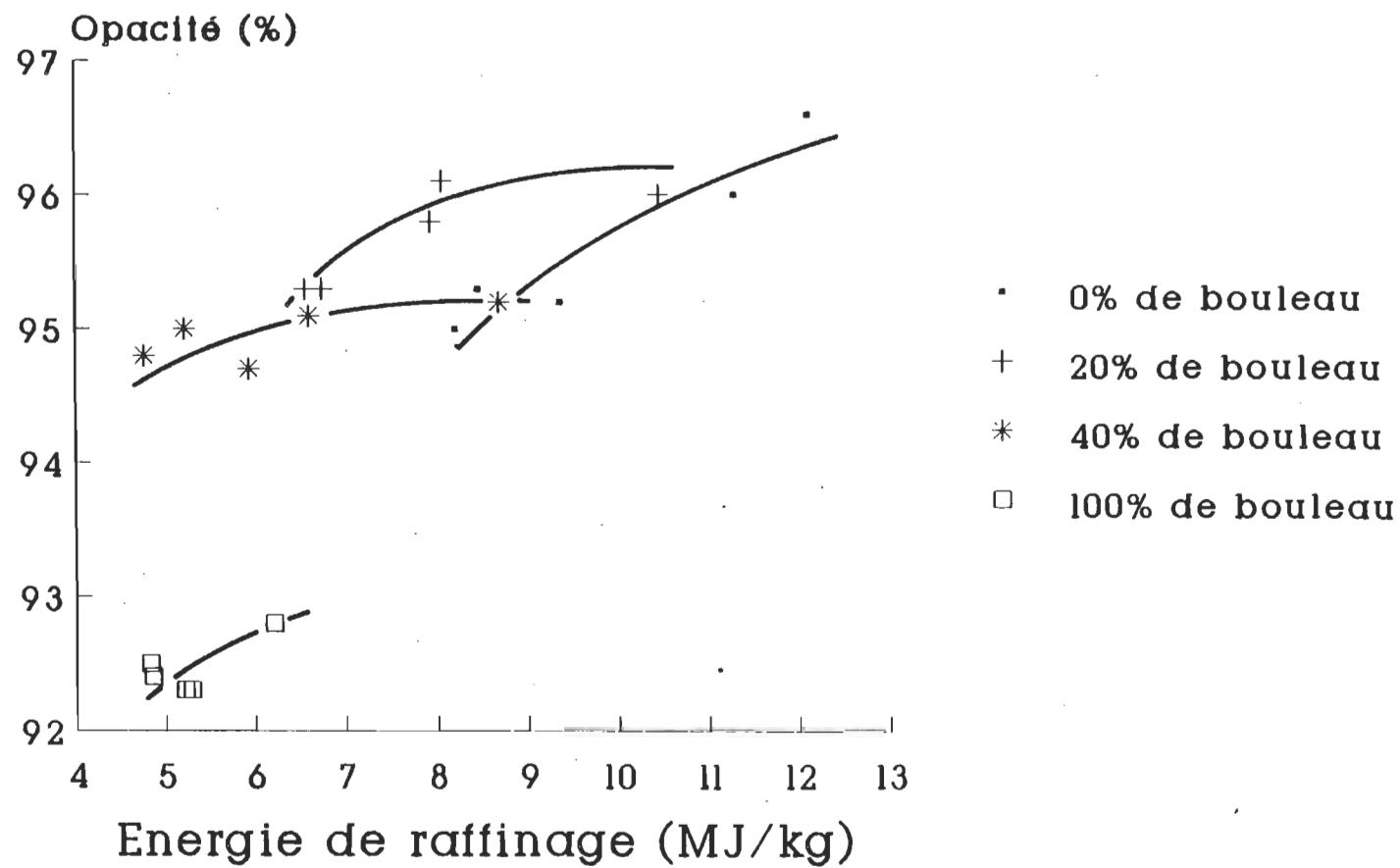


figure 39

bouleau atteignent des niveaux d'opacité supérieurs à ceux de la pâte de résineux. Par contre, pour la pâte de bouleau, une concentration de 5% de soude a fortement influencé le pouvoir d'adhésion des fibres du bouleau en provoquant une baisse appréciable de l'opacité.

En ce qui concerne le coefficient de diffusion de la lumière, on distingue que la pâte de bouleau est encore inférieure, en comparaison avec les autres pâtes (figure 40). Mais cette fois, les différents mélanges se rapprochent davantage de la pâte de bouleau qu'à la pâte de résineux.

Suite aux résultats observés sur la pâte de bouleau, on perçoit très nettement que les propriétés optiques sont influencées négativement par la concentration de 5% de soude, alors que les différents mélanges et la pâte de résineux sont moins marqués par cette concentration. Avec une concentration de 5% de soude, on établit donc que les propriétés optiques, contrairement aux propriétés mécaniques, connaissent une baisse appréciable comme on a pu le constater sur la blancheur, l'opacité du papier et le coefficient de diffusion de la lumière.

Variation du coefficient de diffusion en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

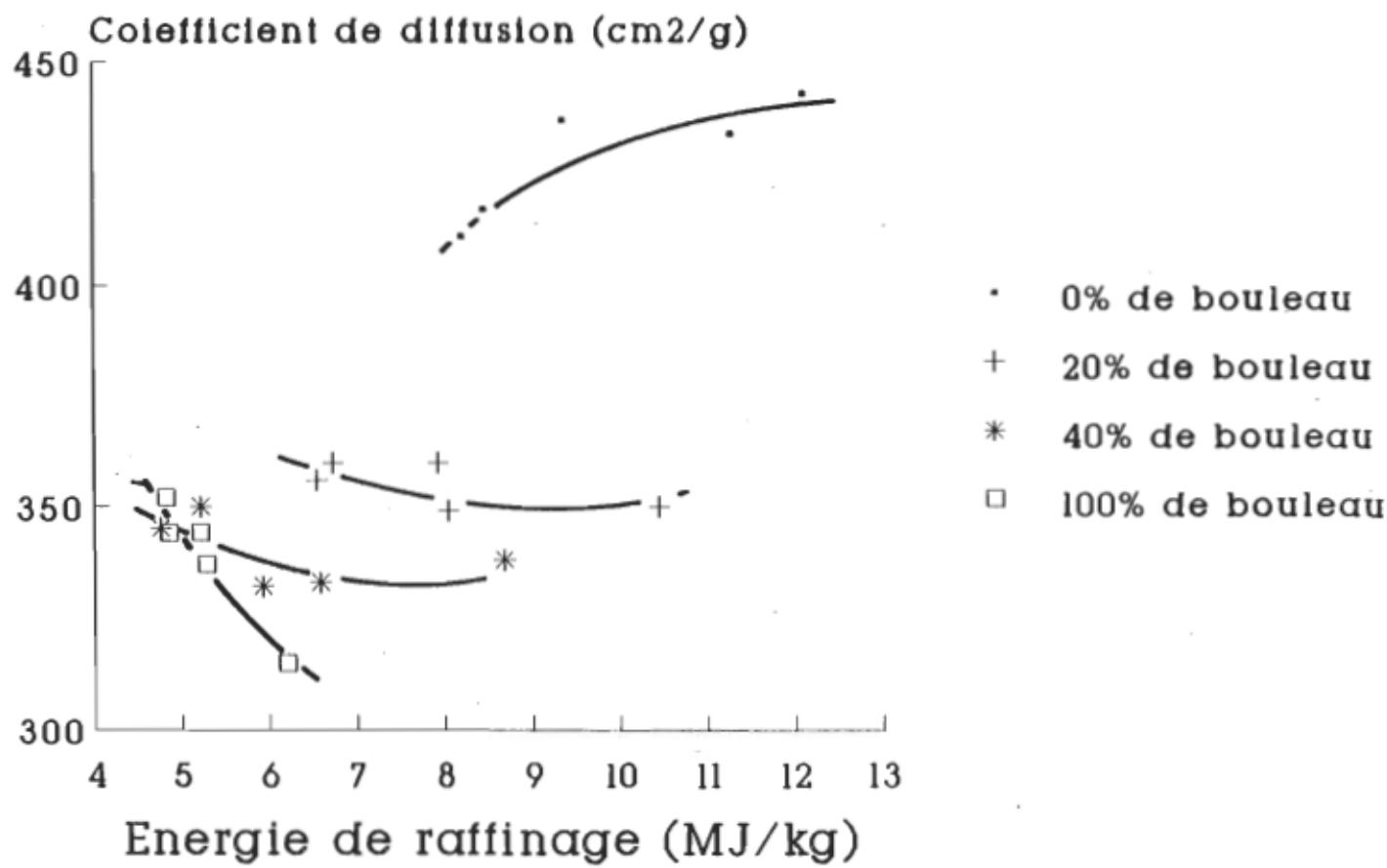


figure 40

4.1.7 Volume spécifique

Le volume spécifique ou la main est l'inverse de la densité. Le volume spécifique augmente avec la rigidité des fibres et il diminue avec un traitement chimique. Un papier avec un volume spécifique élevé constitue un papier ayant une meilleure imprimabilité qui facilite la pénétration de l'encre. La valeur du volume spécifique est donc importante pour les imprimeurs.

A) procédé TMP

A la figure 41, on constate que la pâte de bouleau montre un volume spécifique plus élevé comparativement aux mélanges et à la pâte de résineux. Cependant, on peut considérer que les mélanges de copeaux à 20% et à 40% se comportent de façon similaires quoique légèrement inférieurs à la pâte de résineux.

Pourtant, on sait que le procédé de mise en pâte thermomécanique produit beaucoup de matières fines, surtout pour le bouleau. Une augmentation de matières fines accentue également la densité du papier. Alors comment expliquer que la pâte de bouleau obtient un volume spécifique plus élevé? Les mélanges de pâte ont, quant à eux, une légère tendance à vouloir

Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du TMP

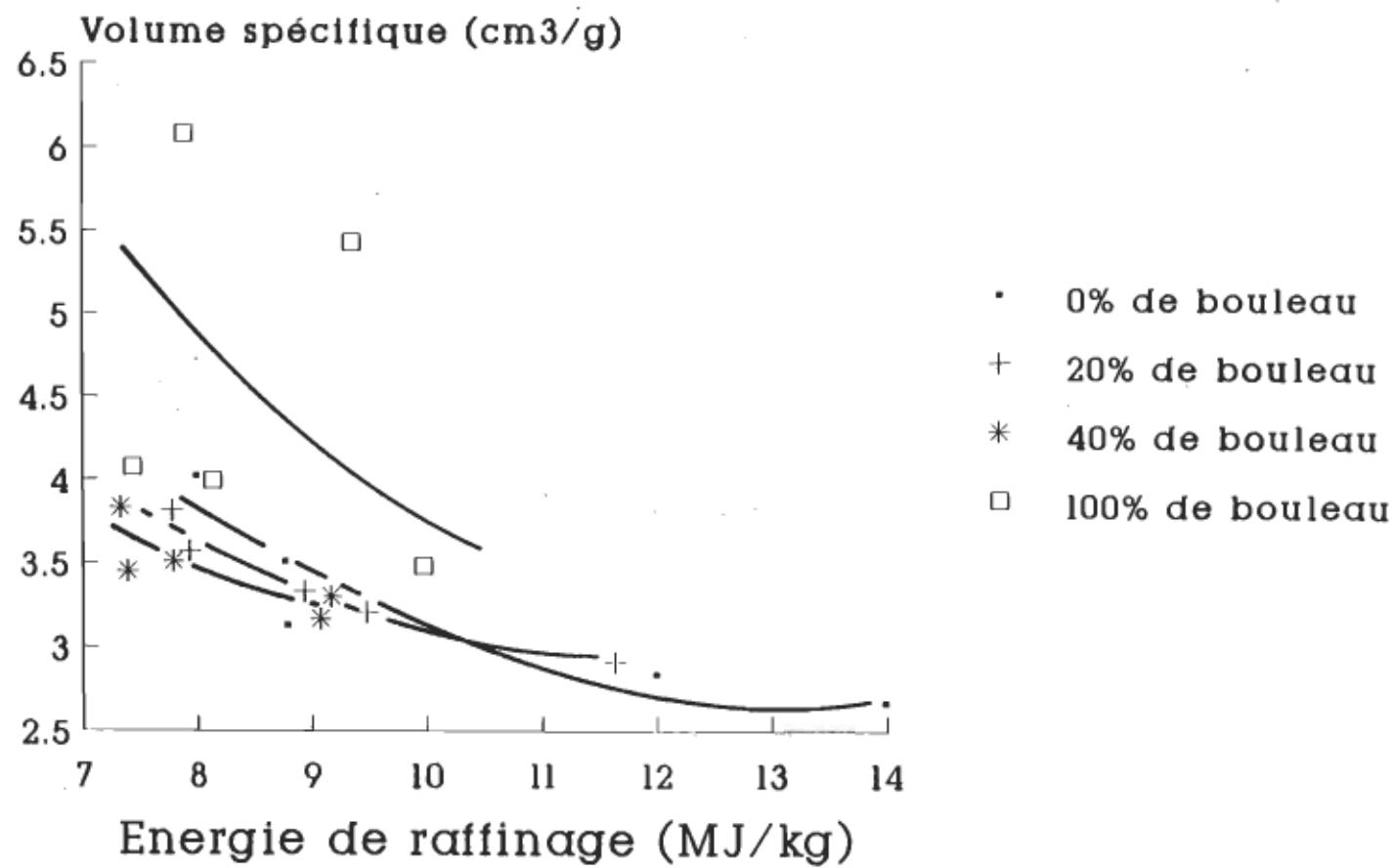


figure 41

diminuer leur volume spécifique avec une augmentation du pourcentage de bouleau. Le volume spécifique élevé de la pâte de bouleau est causé par la déficience d'adhésion et par la rigidité des fibres. Il faut considérer que l'action du raffinage est plus intensive sur la pâte de résineux et produit davantage de matières fines. Un auteur (3) signale que les fibres des résineux, qui sont trois fois plus longues que celles du bouleau, ont plus de chances d'être fragmentées en deux ou trois parties à cause de l'action des barres entre les plaques du raffineur. Les fibres du bouleau, quant à elles, ont moins de chances d'être fragmentées à cause de leurs longueurs initiales plus courtes.

Les fibres du bouleau sont plus rigides et épaisses, ce facteur constitue probablement la raison principale qui explique les valeurs élevées du volume spécifique pour la pâte pure de bouleau.

B) procédé CTMP-A (2.5% de sulfite)

Avec un léger traitement chimique au sulfite de sodium, on remarque (figure 42) que la pâte de bouleau possède un volume spécifique supérieur aux autres pâtes. La pâte de résineux a un volume spécifique plus faible. Les mélanges de copeaux à 20% et à 40% montrent des résultats intermédiaires entre les pâtes de bouleau et de résineux.

Si on prend pour acquis que la sulfonation est plus intense sur les fibres des résineux alors on peut considérer que les fibres des résineux sont plus souples et flexibles. Ces fibres développent un réseau fibreux plus compact et plus dense, d'où une diminution du volume spécifique.

C) procédé CTMP-B (4% de sulfite)

A la figure 43, on observe les mêmes tendances qu'à la figure précédente. La pâte de bouleau indique un volume spécifique supérieur aux autres pâtes quoique le mélange composé à 40% de bouleau atteint un volume spécifique similaire à la pâte de bouleau. On constate, également, que le volume spécifique de la pâte de résineux diminue rapidement en

Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-A

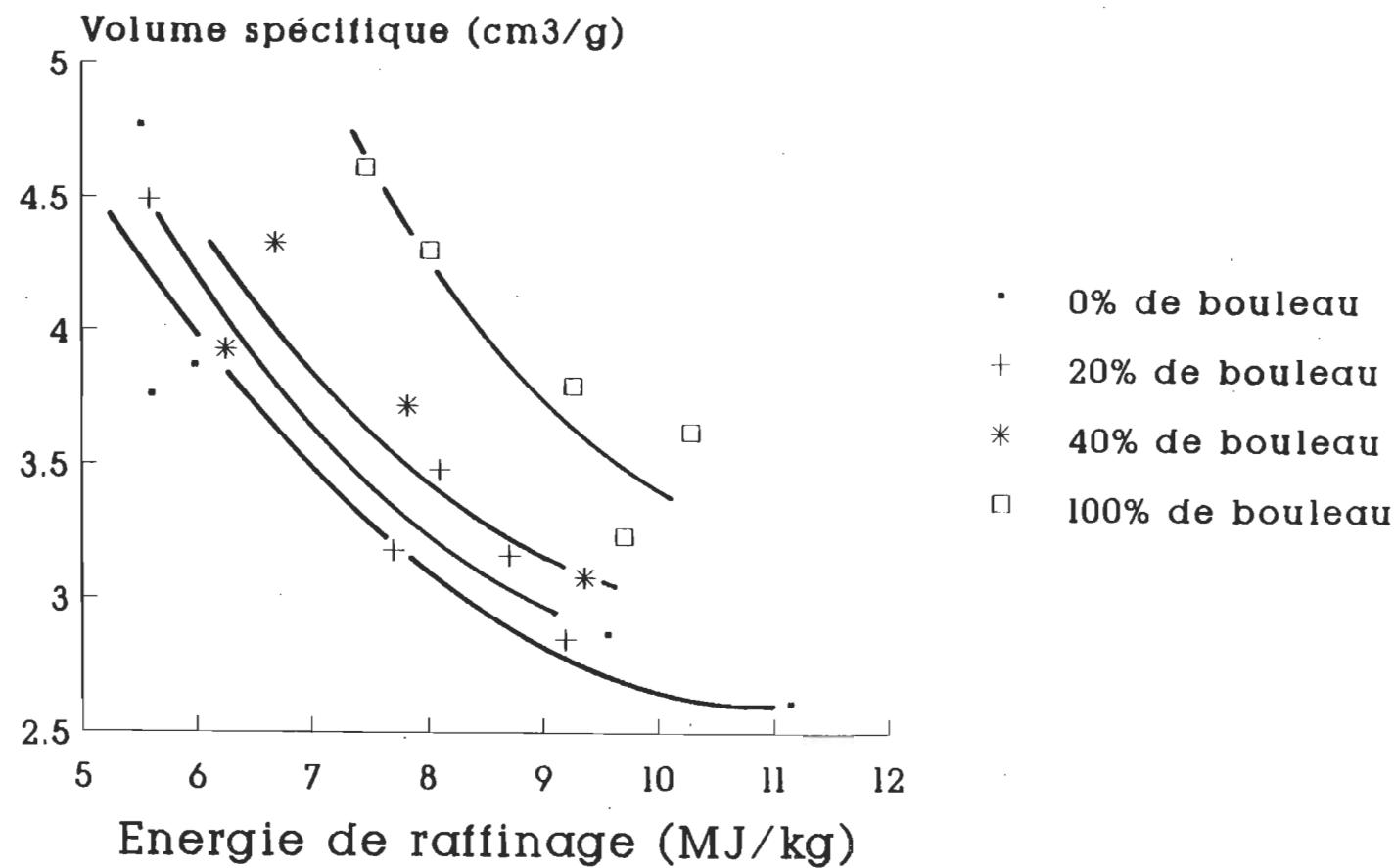


figure 42

Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-B

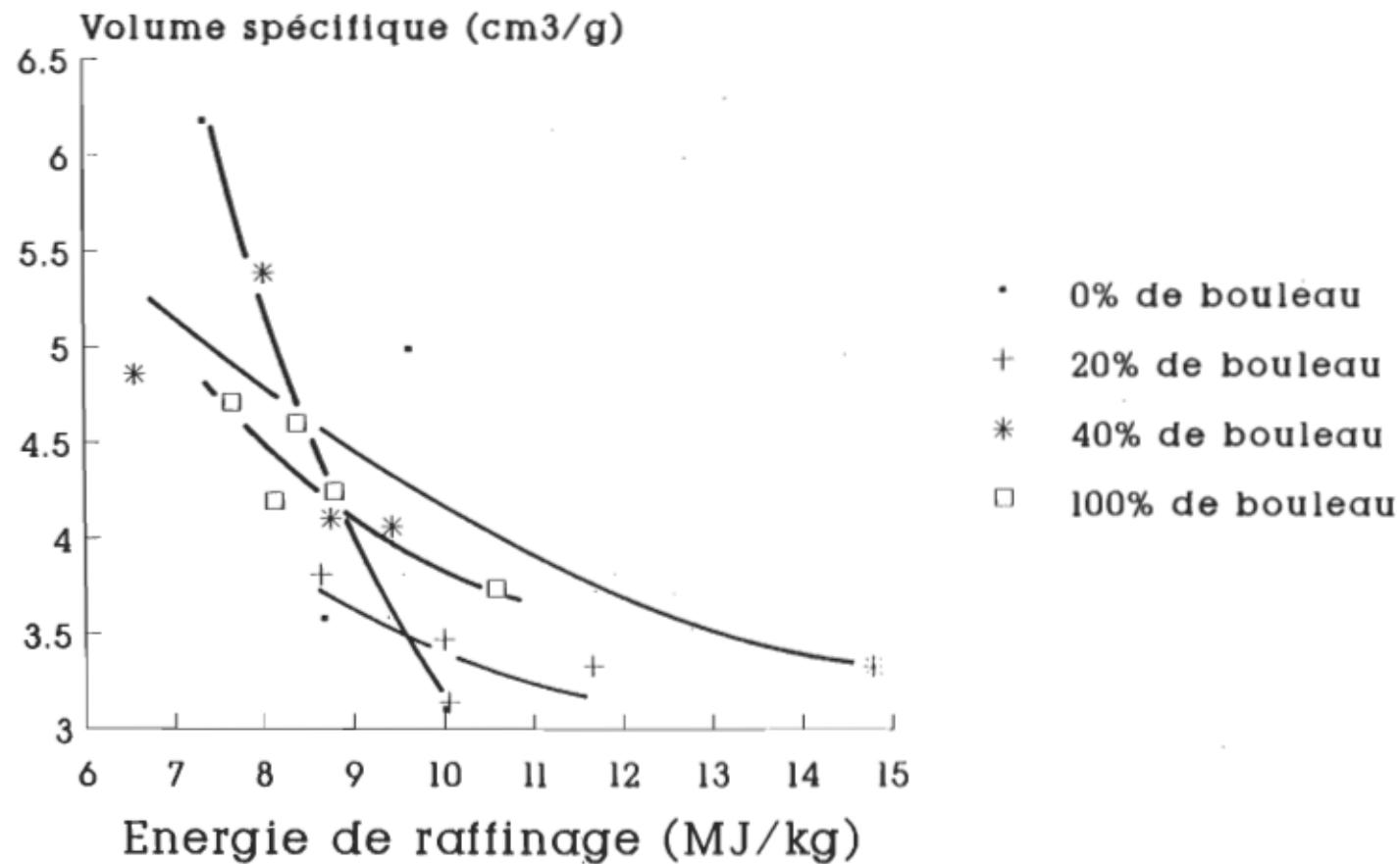


figure 43

fonction de l'énergie de raffinage.

Malgré une solubilisation partielle de la lignine du bouleau avec 4% de sulfite de sodium, la lignine encore présente dans les parois cellulaires contribue à maintenir une certaine rigidité des fibres. La lignine des fibres résineuses, par sa composition, est mieux disposée à recevoir une certaine sulfonation et donc, d'accentuer l'écrasement des fibres occasionné par une plus grande souplesse.

c) procédé CTMP-C (2.5% de sulfite + 2.5% de soude)

A la figure 44, on constate que la pâte de résineux n'est pas la plus faible concernant le volume spécifique. Avec une légère application de soude (2,5%), on remarque que les mélanges de copeaux ont tendance à former des papiers plus dense (volume spécifique plus bas).

La pâte de résineux et la pâte composée à 20% de bouleau sont sensiblement semblables, tandis que la pâte de bouleau présente le volume spécifique le plus important.

Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-C

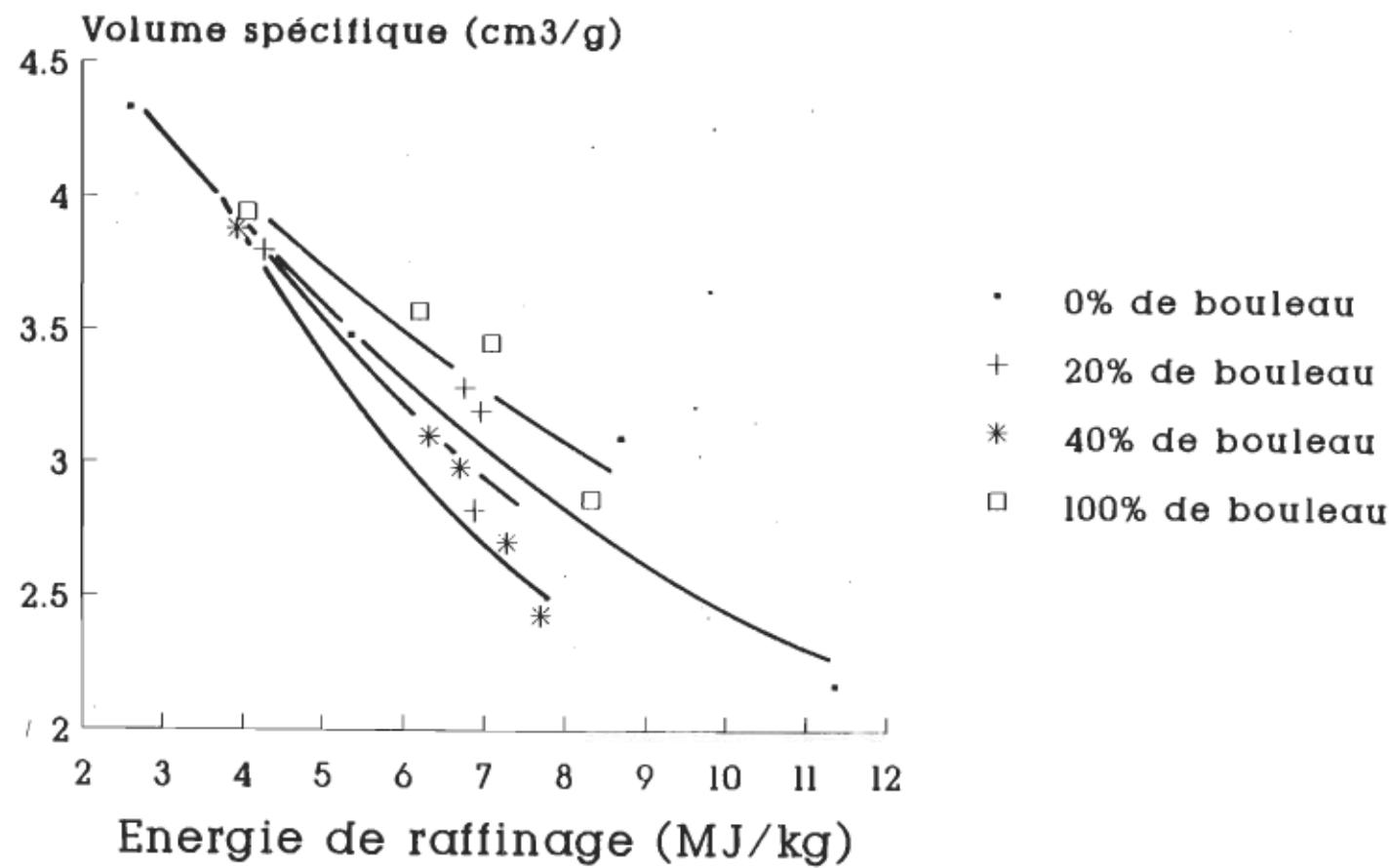


figure 44

Les fibres du bouleau ont acquis, avec un léger traitement chimique à la soude, un pouvoir de liaison plus important. Ce résultat se manifeste négativement sur les valeurs du volume spécifique des différentes pâtes composées, en partie ou en totalité, par des fibres de bouleau.

Par ailleurs, toutes les pâtes diminuent leur volume spécifique avec une augmentation de l'énergie de raffinage. Cette conséquence provient du fait qu'au cours d'un raffinage plus intensif, les fibres diminuent en longueur et créent ainsi des fines ou des parties de fibre.

E) procédé CTMP-D (5% de sulfite +5% de soude)

A la figure 45, on perçoit nettement que les fibres du bouleau entraînent une diminution du volume spécifique des pâtes. On retrouve, en ordre croissant, la pâte de bouleau suivi des pâtes composé à 40% et à 20% de bouleau et finalement, la pâte de résineux. On remarque aussi que le volume spécifique des pâtes, contenant une certaine proportion de bouleau, a diminué considérablement par rapport à la figure précédente.

Variation du volume spécifique en fonction de l'énergie de raffinage du CTMP-D

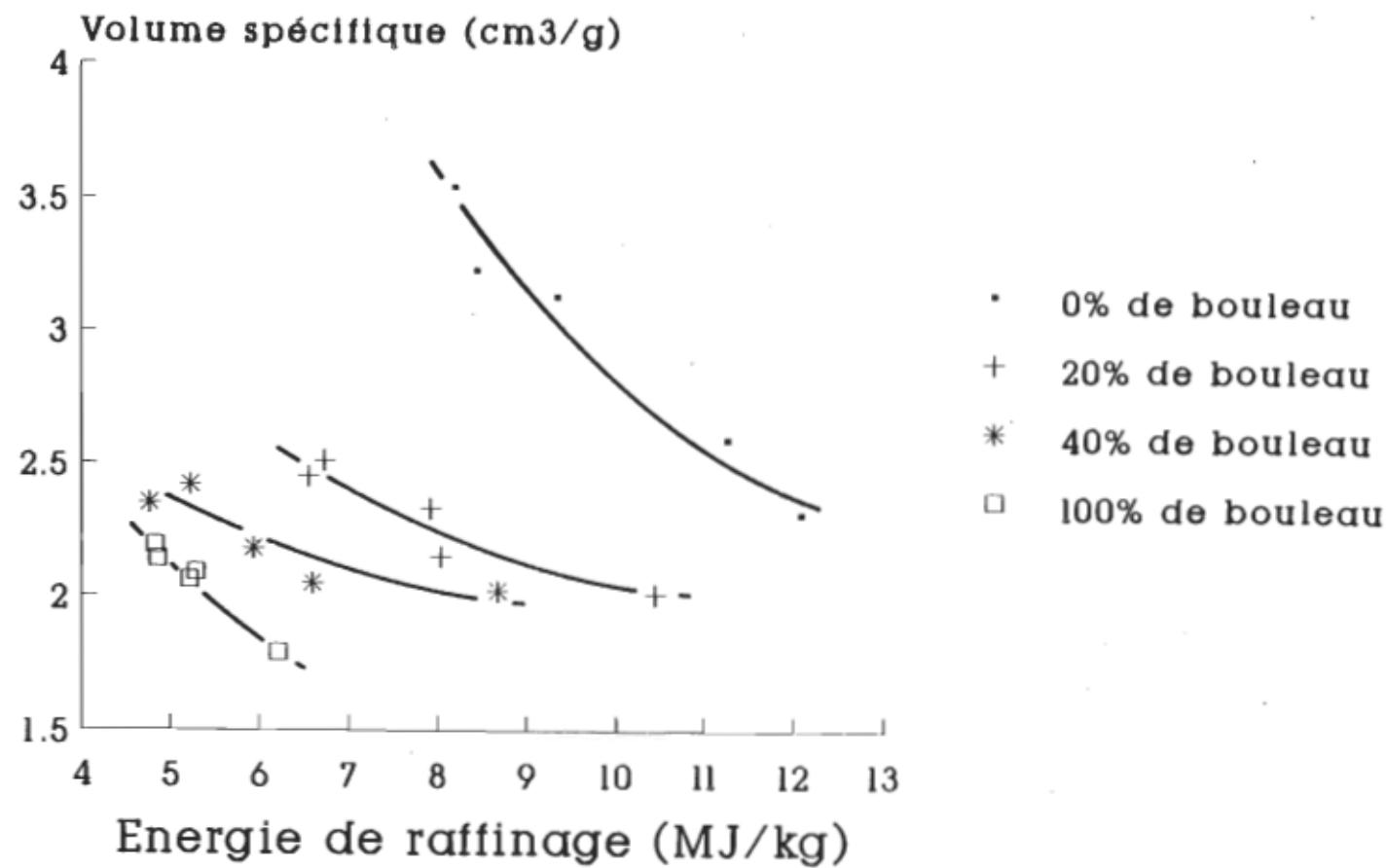


figure 45

Par exemple, le volume spécifique de la pâte de bouleau est passée d'une valeur de 4,0 à 3,0 cm³/g avec le CTMP-C. Avec un traitement chimique plus intense le volume spécifique des mélanges se situe entre 2,25 et 1,75 cm³/g, tandis que celui de la pâte de résineux est restée relativement stable.

On constate, à l'examen de ce graphique, que le pouvoir de liaison des fibres a une grande incidence sur le volume spécifique ou la densité du papier. De plus, on peut signaler qu'un traitement chimique avec du sulfite de sodium et de la soude, même à cette concentration, n'occasionne pas des effets négatifs trop marqués sur la pâte de résineux.

4.2 Effet synergique

Plusieurs auteurs ont étudié la mise en pâte avec un mélange d'essences lors d'une cuisson chimique ou lors d'un raffinage. Quelques auteurs ont procédé à des mélanges de résineux (14,15), d'autres à des mélanges de feuillus (16-18), tandis que certains ont combiné des essences résineuses et feuillues (19-24). Dans les tableaux 4 à 8, on présente les différentes propriétés papetières de tous les mélanges à un indice d'égouttage constant de 300 CSF pour les cinq traitements. Dans les tableaux 9 à 13, on présente les mêmes propriétés papetières, mais cette fois avec une énergie de raffinage constante de 9,0 MJ/kg.

4.2.1 Définition

Avant de discuter de synergisme, il est important de définir un effet synergique. Selon le dictionnaire "Le Robert", c'est avant tout un renforcement de l'action de deux substances par leur association. Expliqué ainsi, l'effet de synergisme permet d'obtenir un effet global supérieur ou inférieur à la somme des effets isolés. Dans le cas des copeaux raffinés en mélange, on sous-entend donc une association des fibres de

PROPRIETES PAPETIERES	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC								
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	8,55	8,55	7,97	7,95	7,95	7,77	7,59	7,29	7,85
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,55	1,47	1,44	1,43	1,37	1,32	1,32	1,23	0,89
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	3,53	3,56	3,45	3,51	3,68	3,51	3,72	3,75	4,76
DENSITE (g/cm ³)	0,28	0,28	0,29	0,29	0,27	0,29	0,27	0,27	0,21
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,08	3,16	3,07	2,94	2,65	2,28	2,27	2,30	1,01
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,91	2,04	1,75	1,68	1,42	1,36	1,20	1,06	0,48
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	12,54	11,80	12,13	11,91	9,51	9,15	8,55	7,61	3,45
BLANCHEUR (8-457nm,%)	55,6	57,2	56,1	56,0	57,0	56,7	56,3	56,6	56,7
OPACITE (%)	95,0	94,5	94,9	94,8	94,6	94,8	95,2	94,9	95,3
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	521,0	539,4	533,1	530,7	535,4	538,8	540,6	536,3	541,0

Tableau 4: PROPRIETES PAPETIERES DU TMP @ 300 cst

PROPRIETES PAPETERIERS	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	7,32	8,15	8,03	7,25	7,82	7,57	9,10
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,41	1,41	1,32	1,30	1,25	1,13	0,90
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	3,12	3,26	3,31	3,54	3,57	3,60	3,89
DENSITE (g/cm ³)	0,32	0,31	0,30	0,28	0,28	0,28	0,26
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,53	3,59	3,31	3,12	2,57	2,31	1,48
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	2,01	2,10	1,78	1,57	1,30	1,03	0,70
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	11,98	11,78	10,91	10,88	8,57	7,05	3,55
BLANCHEUR (8-457nm,%)	59,6	61,5	61,5	61,1	63,8	61,5	69,2
OPACITE (%)	93,1	91,8	92,6	92,4	91,2	92,5	90,5
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	518,9	494,1	513,1	501,9	505,6	501,1	524,1

Tableau 5: PROPRIETES PAPETERIERS DU CTMP-A @ 300 csf

PROPRIETES PAPETERIERS	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC								
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	8,94	8,58	9,92	12,57	9,13	11,62	8,80	10,95	7,80
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,48	1,52	1,56	1,47	1,46	1,48	1,35	1,22	1,03
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	3,85	3,19	3,33	3,26	3,51	3,33	3,86	3,75	3,68
DENSITE (g/cm ³)	0,26	0,31	0,30	0,31	0,29	0,30	0,26	0,27	0,27
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,29	4,29	4,20	3,83	3,43	3,44	2,99	2,89	1,48
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	2,00	2,55	2,40	2,10	1,84	1,54	1,56	1,36	0,60
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	13,03	12,50	11,78	10,90	11,52	12,59	9,65	8,26	4,06
BLANCHEUR (8-457nm,%)	60,4	60,7	62,1	61,5	61,1	62,4	63,6	63,3	64,4
OPACITE (%)	92,5	91,2	90,7	91,8	91,5	90,8	90,8	91,3	92,0
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	508,4	476,2	468,3	480,1	481,2	470,7	488,0	488,4	508,2

Tableau 6: PROPRIETES PAPETERIERS DU CTMP-B @ 300 csf

PROPRIETES PAPETIERES	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	9,07	6,56	6,59	6,73	6,69	7,89	7,30
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,20	1,48	1,45	1,43	1,52	1,34	1,10
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,97	2,96	2,75	2,78	2,97	3,03	3,36
DENSITE (g/cm ³)	0,34	0,34	0,36	0,36	0,34	0,33	0,30
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,36	3,83	3,92	4,00	4,04	3,66	2,51
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,86	2,38	2,26	2,35	2,44	2,18	1,16
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	9,60	11,77	10,7	10,87	10,85	9,45	5,60
BLANCHEUR (8-457nm,%)	48,3	44,7	44,4	43,8	46,0	46,4	54,1
OPACITE (%)	94,9	94,7	94,7	94,5	93,9	95,1	94,3
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	472,7	441,2	442,9	428,8	425,5	442,3	468,0

Tableau 7: PROPRIETES PAPETIERES DU CTMP-C @ 300 csf

PROPRIETES PAPETERIERS	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC								
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	10,05	8,95	10,17	9,17	8,30	7,92	7,78	6,40	4,50
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,53	1,56	1,58	1,64	1,64	1,63	1,62	1,62	1,18
VOLUME SPECIFIQUE (cm³/g)	2,80	2,41	2,23	2,31	2,18	2,18	2,18	2,09	2,20
DENSITE (g/cm³)	0,36	0,42	0,45	0,43	0,46	0,46	0,46	0,48	0,45
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	4,32	5,46	5,94	6,03	6,27	6,38	6,60	6,83	5,22
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m²/g)	2,57	3,55	3,78	4,09	4,04	4,37	4,42	4,36	2,67
INDICE DE DECHIRURE (mN·m²/g)	11,47	10,37	9,76	10,64	10,19	9,75	10,12	9,32	8,40
BLANCHEUR (8-457nm,%)	40,1	34,5	32,6	33,5	32,8	33,1	34,1	33,7	46,2
OPACITE (%)	95,7	96,6	96,2	96,2	96,0	95,5	95,4	95,0	92,2
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm²/g)	434,2	398,4	367,2	375,5	353,4	348,0	354,5	332,7	345,9

Tableau 8: PROPRIETES PAPETERIERS DU CTMP-D @ 300 csf

PROPRIETES PAPETERIERS	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC								
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	220	250	183	204	202	165	211	162	184
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,48	1,44	1,35	1,37	1,23	1,26	1,20	1,13	0,87
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	3,33	3,39	3,08	3,24	3,32	3,18	3,34	3,25	4,00
DENSITE (g/cm ³)	0,30	0,30	0,33	0,31	0,30	0,31	0,30	0,31	0,25
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,45	3,38	3,68	3,53	3,34	3,40	2,39	3,02	1,04
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	2,18	2,18	2,31	2,05	1,86	1,89	1,50	1,57	0,52
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	11,84	11,63	10,70	11,99	10,49	9,60	9,30	9,15	3,47
BLANCHEUR (8-457nm,%)	55,9	57,2	56,7	56,4	57,5	57,6	57,1	57,0	57,5
OPACITE (%)	95,1	94,8	95,7	95,3	95,4	96,1	95,9	96,1	96,3
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	544,2	554,1	578,6	561,6	579,4	588,0	587,9	594,6	609,3

Tableau 9: PROPRIETES PAPETERIERS DU TMP @ 9,0 MJ/kg

PROPRIETES PAPETIERES	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	165	212	146	176	195	147	322
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,28	1,28	1,16	1,23	1,24	1,05	0,90
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,89	3,03	2,99	3,28	3,29	3,32	3,96
DENSITE (g/cm ³)	0,35	0,33	0,33	0,31	0,30	0,30	0,25
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,70	3,98	4,04	3,54	3,18	2,94	1,44
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ³ /g)	2,13	2,37	2,26	1,90	1,73	1,50	0,49
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ³ /g)	10,30	10,80	9,74	9,65	8,30	7,56	3,34
BLANCHEUR (8-457nm,%)	60,2	61,8	62,4	62,5	64,2	60,5	68,5
OPACITE (%)	93,8	92,6	94,1	93,2	92,4	93,6	90,5
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	549,4	522,3	578,6	547,4	542,7	546,4	522,8

Tableau 10: PROPRIETES PAPETIERES DU CTMP-A @ 9,0 MJ/kg

PROPRIETES PAPETERIERS	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC								
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	290	254	373	562	294	739	302	425	422
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,47	1,48	1,59	1,67	1,46	1,55	1,35	1,33	0,99
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	3,57	3,13	3,55	3,85	3,62	3,50	3,77	4,29	2,39
DENSITE (g/cm ³)	0,28	0,32	0,28	0,26	0,28	0,29	0,27	0,23	0,42
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,30	4,40	3,78	2,79	3,44	1,89	3,04	2,24	0,95
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,99	2,67	2,02	1,30	1,85	1,02	1,55	1,01	0,28
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	12,56	12,45	12,69	11,44	11,71	10,50	9,51	7,73	2,75
BLANCHEUR (8-457nm,%)	60,6	60,8	61,7	61,6	61,0	60,3	63,6	62,7	65,1
OPACITE (%)	92,5	91,6	90,5	90,0	91,6	89,4	90,8	91,1	90,4
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	514,5	483,4	458,4	444,7	480,9	413,8	487,3	460,3	489,6

Tableau 11: PROPRIETES PAPETERIERS DU CTMP-B @ 9,0 MJ/kg

PROPRIETES PAPETERIERS	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	294	46	119	61	37	223	38
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,18	0,78	1,31	0,69	0,65	1,24	0,73
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,83	2,10	2,23	2,41	1,71	2,89	2,57
DENSITE (g/cm ³)	0,35	0,48	0,45	0,41	0,58	0,35	0,39
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,35	4,53	4,74	4,14	5,24	4,00	4,12
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,84	2,50	2,76	2,32	2,62	2,36	1,99
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	10,39	5,80	8,50	6,05	3,89	8,72	5,86
BLANCHEUR (8-457nm,%)	48,3	44,2	44,0	43,8	45,6	46,9	52,0
OPACITE (%)	95,0	97,5	95,6	95,5	97,2	95,3	97,7
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	475,7	540,0	475,6	461,2	533,0	456,9	567,2

Tableau 12: PROPRIETES PAPETERIERS DU CTMP-C @ 9,0 MJ/kg

PROPRIETES PAPETERIERS	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC								
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	100%
ENERGIE (MJ/kg)	455	288	457	314	232	156	140	201	60
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,60	1,56	1,69	1,63	1,58	1,27	1,38	1,36	0,90
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	3,21	2,40	2,38	2,33	2,11	1,93	1,95	2,00	1,23
DENSITE (g/cm ³)	0,31	0,42	0,42	0,43	0,48	0,52	0,51	0,50	0,82
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,62	5,47	5,17	5,99	6,55	6,77	7,07	7,39	9,01
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	2,03	3,56	3,29	3,99	4,29	4,26	4,42	4,97	5,28
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	13,45	10,34	11,46	10,69	9,42	7,45	8,04	7,92	5,10
BLANCHEUR (8-457nm,%)	40,7	34,4	32,7	33,4	32,5	32,3	33,6	34,2	37,2
OPACITE (%)	95,2	96,6	96,1	96,2	96,2	95,5	95,6	95,3	95,0
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	426,5	400,2	367,4	373,2	352,4	337,4	349,0	341,0	172,4

Tableau 13: PROPRIETES PAPETERIERS DU CTMP-D @ 9,0 MJ/kg

différentes essences. Ces fibres s'unissent et amènent un certain changement, bien souvent inexplicable, sur les propriétés papetières.

4.2.2 Exemple

Dans notre étude, nous considérons qu'il y a effet synergique lorsqu'une propriété papetière, d'un mélange composé de résineux et de bouleau, est supérieure ou inférieure à la théorie linéaire en mélange de Wang (20). On présente, à la figure 46, un exemple d'un effet synergique sur la propriété de la longueur de rupture. On constate qu'un effet synergique est un phénomène que la théorie linéaire en mélange ne peut expliquer.

La théorie linéaire en mélange proposé par Wang (20) postule que les propriétés physiques des pâtes en mélange sont proportionnelles à la fraction de la pâte pure dans le mélange. Cette étude (20), sur un mélange de pâte après une cuisson chimique de type kraft, indique qu'il est possible de prévoir les propriétés papetières en se basant sur le comportement des pâtes pures. Par contre, un effet synergique constitue soit un gain, soit une perte sur une certaine propriété. L'exemple de la figure 46, nous permet de visualiser le comportement du

Exemple d'un effet synergique

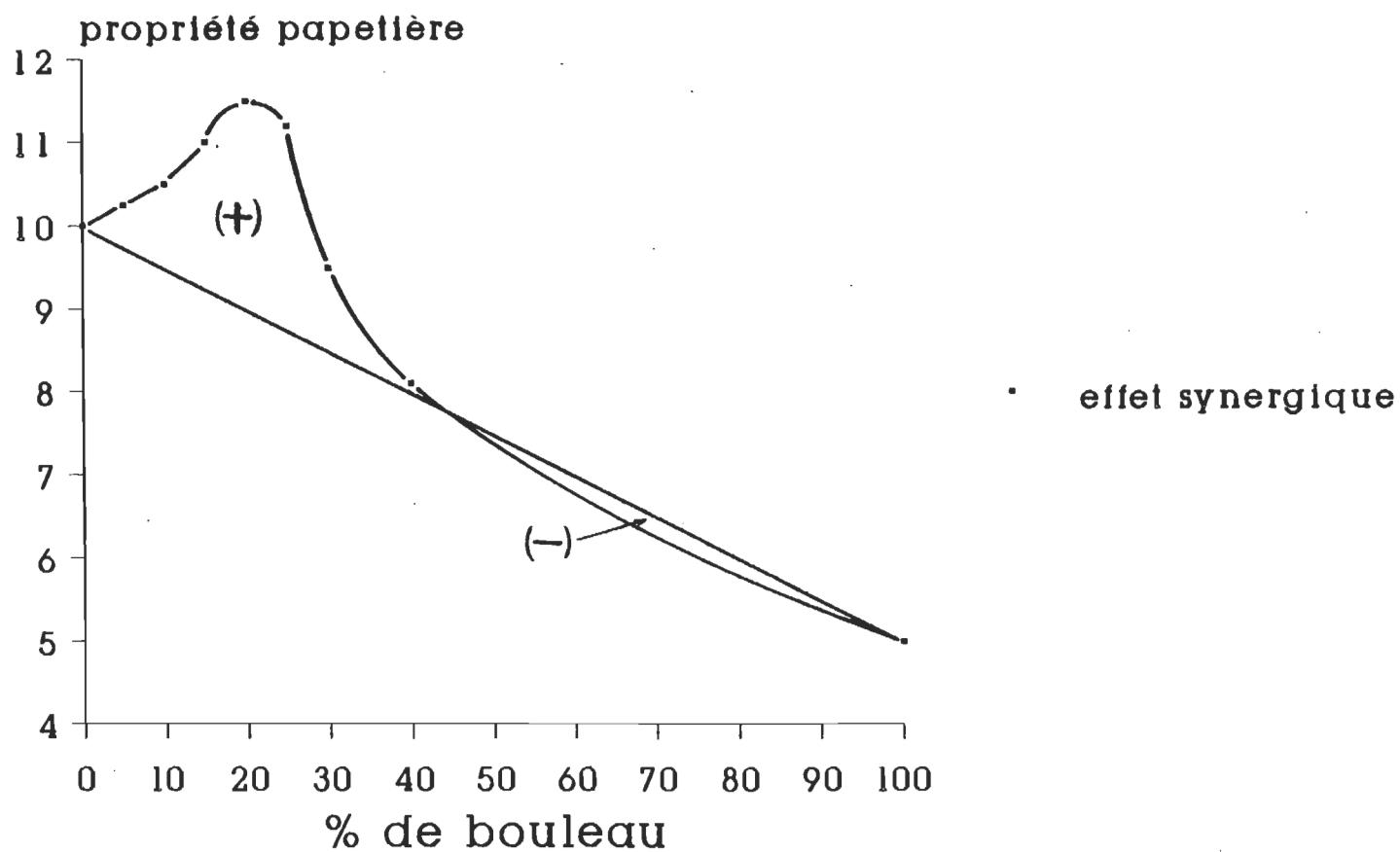


Figure 46

bouleau en mélange et d'évaluer la quantité de bouleau maximale (minimale) qui affecte la dite propriété.

Dans cette partie, nous allons considérer seulement les valeurs des tableaux 4 à 8 puisque les effets synergiques sont plus visibles avec un indice d'égouttage constant de 300 CSF. Les effets synergiques sont encore présents avec un indice d'égouttage supérieur et inférieur à 300 CSF.

Comme on peut le constater à la figure 47, la valeur intermédiaire de 300 ml (CSF) est retenue uniquement pour éliminer les extrapolations dangereuses et pour favoriser l'exactitude des données.

On peut également visualiser des effets synergiques avec une énergie de raffinage constante de 9,0 MJ/kg. Lors du raffinage en mélange de copeaux, la consommation de l'énergie de raffinage subit des variations plus ou moins intenses. Ces variations sont créées par les différentes essences qui réagissent différemment aux traitements chimiques.

Variation de la longueur de rupture en fonction du pourcentage de bouleau du CTMP-D

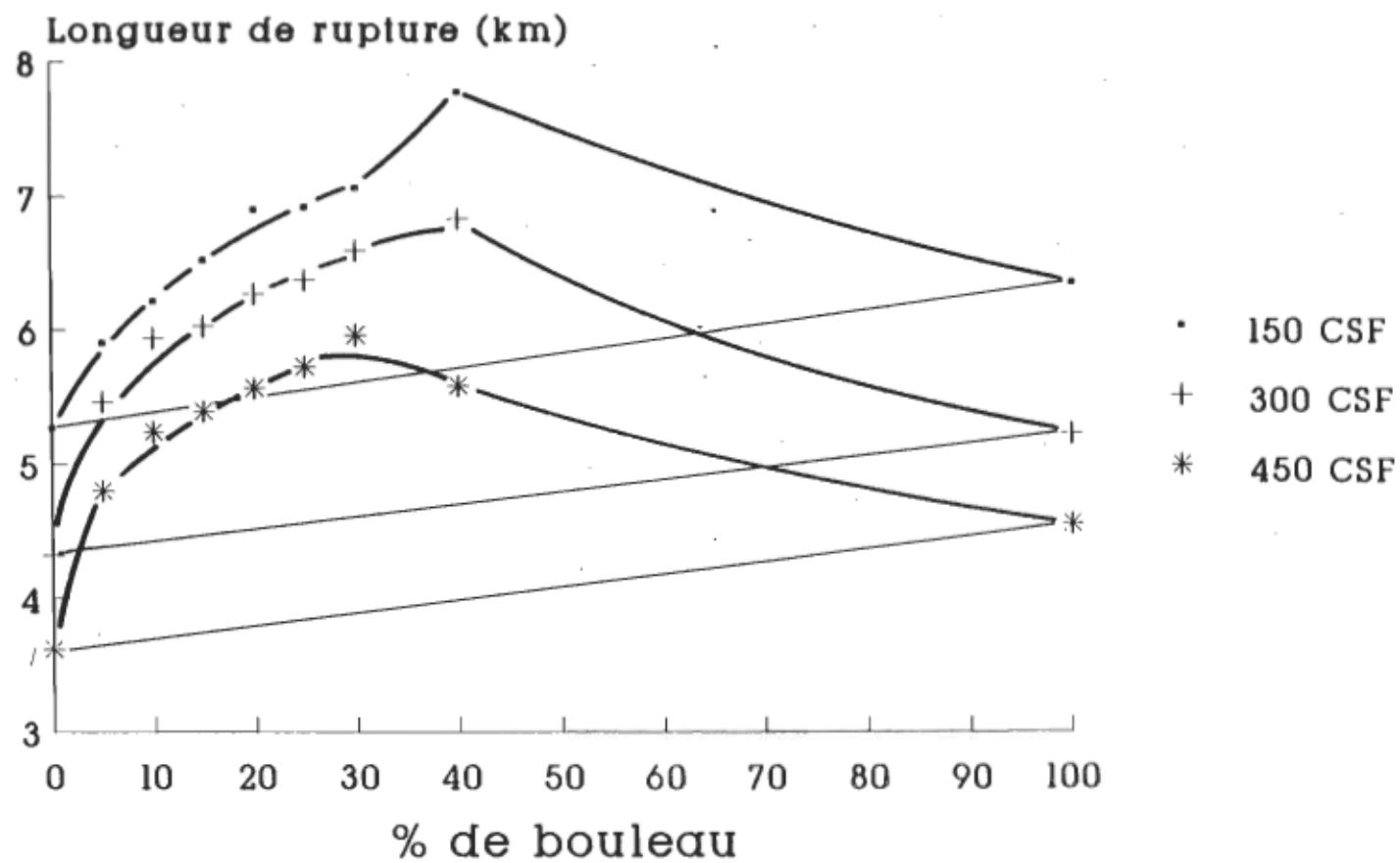


figure 47

4.2.3. Longueur de rupture

A la figure 48, on présente les valeurs de la longueur de rupture, pour les cinq types de pâtes, en fonction du pourcentage de bouleau.

Avec le TMP, on note que la longueur de rupture diminue proportionnellement avec le pourcentage de bouleau, ce qui se traduit par une certaine similitude avec la théorie linéaire en mélange proposé par Wang (20). On ne dénote donc aucune présence d'effet synergique avec le procédé de mise en pâte thermomécanique parce qu'il est impossible d'obtenir une amélioration de la longueur de rupture. Cependant, un faible pourcentage de bouleau (inférieur à 10%) ne diminue pas la valeur initiale de la longueur de rupture pour la pâte de résineux.

Pour expliquer la diminution de cette propriété avec une augmentation du pourcentage de bouleau, il faut comprendre que le procédé thermomécanique produit beaucoup de matières fines surtout dans le cas du bouleau. Les matières fines, on le sait, sont très importantes dans le réseau fibreux puisqu'elles resserrent les liaisons interfibres. Par contre, le procédé thermomécanique produit des matières fines de faible qualité

Variation de la longueur de rupture en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)

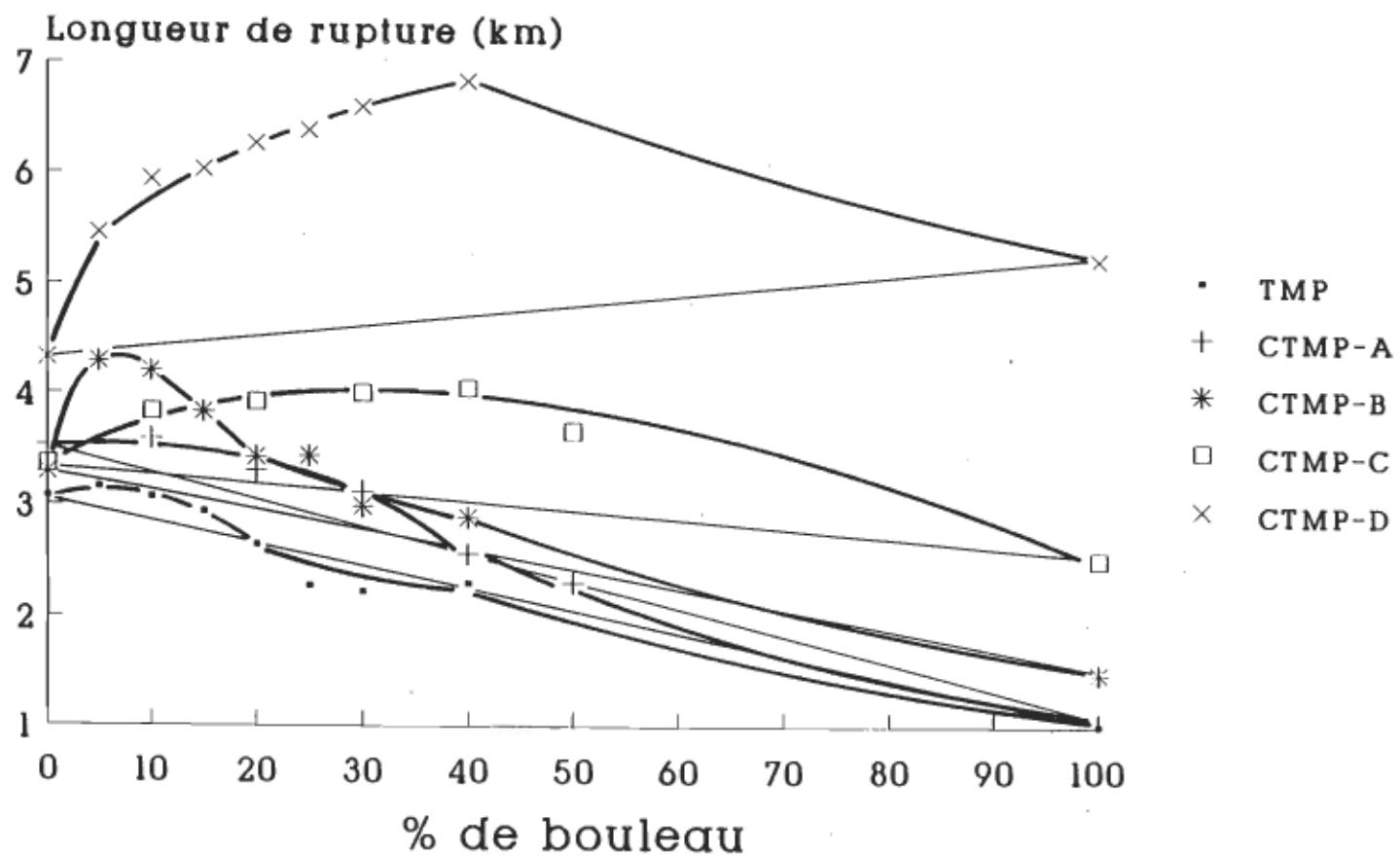


figure 48

qui ne contribuent pas énormément à l'ensemble du réseau fibreux. De plus, dans la production de pâte TMP avec un mélange de copeaux, il n'y a pas de variation de flexibilité des fibres, ou de lien interfibre.

La longueur de rupture du procédé CTMP-A, qui utilise 2,5% de sulfite de sodium, présente à 10% de bouleau une très légère augmentation (effet synergique positif) pour ensuite diminuer progressivement avec une augmentation plus importante du pourcentage de bouleau. On constate que la longueur de rupture a été augmentée de 0,5 km, en moyenne, par rapport au procédé TMP. Par contre, la faible amplitude de l'effet synergique, observée à la figure 48 sur la longueur de rupture du CTMP-A, est certainement dûe à la faible intensité du traitement chimique sur les copeaux.

Avec un procédé mécanique à haut rendement, la lignine ne doit pas être dissoute, au contraire elle doit être sulfonée afin d'améliorer les caractéristiques papetières des fibres. Le sulfite de sodium, dans le traitement chimique, a pour but d'introduire de l'acide sulfonique dans la paroi cellulaire et ce, vers la lamelle mitoyenne afin de ramollir le réseau ramifié de la lignine et la rendre hydrophile. Ce traitement d'augmenter la flexibilité des fibres.

Selon Lemay (9), il semble préférable d'utiliser un traitement prolongé, avec une liqueur concentrée à basse température, afin d'obtenir une sulfonation optimale et une perte de rendement minimale. Cependant, une concentration de 2,5% de sulfite de sodium sur les copeaux a pour conséquence de ne produire qu'une partie du taux de sulfonation optimale. Il s'ensuit que les fibres partiellement sulfonées des résineux ainsi que les fibres très peu sulfonées du bouleau ne connaissent qu'une légère amélioration de la cohésion interfibre, d'où une longueur de rupture légèrement plus élevée et un timide effet synergique.

Par contre, à la figure 48, le procédé chimico-thermomécanique, qui utilise un traitement chimique de 4% de sulfite de sodium, (CTMP-B) connaît un effet synergique plus important. La pâte de résineux produit une longueur de rupture de 3,29 km tandis que la pâte de bouleau produit une longueur de rupture de 1,48 km.

La longueur de rupture du mélange de copeaux composé à 5% de bouleau atteint une valeur de 4,29 km soit une augmentation de 23% par rapport à la pâte de résineux. On constate, également, qu'un mélange composé de 25% de bouleau produit une longueur de rupture équivalente à celle de la pâte de résineux.

Avec une proportion plus importante de bouleau, la longueur de rupture exhibe une valeur inférieure à celle de la pâte de résineux. On a donc le choix d'ajouter une proportion de 5% de bouleau pour augmenter la longueur de rupture par un effet synergique ou d'ajouter une proportion de 25% de copeaux de bouleau pour avoir une longueur de rupture équivalente à celle de la pâte de résineux.

Si on prend en considération les travaux effectués par Beath et al. (11), le traitement chimique des copeaux, avec une concentration de 4% de sulfite de sodium, représente la condition idéale pour les fibres résineuses afin d'obtenir une sulfonation optimale. Par contre, précisons que cette concentration ne représente pas nécessairement la condition utilisée dans les industries des pâtes et papiers.

Les fibres résineuses ont acquis une certaine souplesse par le traitement chimique, principalement à cause de la modification des ions sulfonates contenus dans la lignine, ce qui a pour effet d'améliorer la longueur de rupture.

Avec le traitement chimique de 4% de sulfite de sodium, les fibres du bouleau ont obtenu une légère amélioration de la flexibilité des parois. Comme les taux de sulfonation pour les

résineux et les feuillus sont différents, on conclut que leur souplesse n'est pas optimale. Les matières fines produites par ce procédé ont acquis un pouvoir de liaison de meilleure qualité, surtout en ce qui à trait aux résineux.

A la figure 48, le procédé chimico-thermomécanique, avec une concentration de 2,5% de sulfite de sodium et 2,5% de soude (CTMP-C), produit un effet synergique appréciable avec un mélange de copeaux composé à près de 40% de bouleau. Il faut cependant spécifier que l'effet synergique du CTMP-C atteint un maximum moins élevé que celui du CTMP-B. Comparativement à la pâte de résineux, qui produit une longueur de rupture de 3,36 km, le mélange à 40% de bouleau produit une valeur acceptable de 4,04 km soit un gain de 17% de plus sur cette propriété. On constate, également, qu'on peut ajouter une proportion de près de 65% de bouleau, par rapport à la pâte de résineux, avant de connaître une baisse de la longueur de rupture.

Avec le traitement chimique combiné du sulfite de sodium et de la soude, on constate que le pouvoir de liaison interfibres s'est amélioré pour les fibres du bouleau. La longueur de rupture de la pâte de bouleau est passée de 1,48 km avec le CTMP-A et le CTMP-B à 2,51 km avec le CTMP-C, soit une augmentation de 41%.

L'introduction de l'hydroxyde de sodium et l'addition du sulfite de sodium, améliorent les propriétés physiques du bouleau car les ions sulfonates contenus dans la lignine ainsi que les ions carbonyles dans les hémicelluloses permettent une flexibilité accrue des fibres. Les fibres résineuses, quant à elles, semblent insensibles à l'ajout de soude. On ne remarque aucune variation de la longueur de rupture avec un traitement chimique au sulfite de sodium ou un traitement chimique au sulfite et à la soude. Pour expliquer ce fait, on a précédemment mentionné que la composition chimique de la lignine des résineux était différente dans sa composition et dans sa localisation à travers la paroi.

Le CTMP-D utilise un traitement chimique avec 5% de sulfite de sodium et 5% de soude. Cette concentration des produits chimiques représente une meilleure condition pour favoriser le développement des liaisons interfibres du bouleau (13). On note que l'effet synergique le plus important avec le CTMP-D, toujours à la figure 48, se produit avec 40% de bouleau. Par contre, il est permis de croire que la valeur obtenue n'est pas optimale puisque la courbe semble toujours ascendante. La pâte de bouleau du CTMP-D a augmenté sa longueur de rupture de 52% par rapport au CTMP-C et de 72% par rapport aux procédés CTMP-A et CTMP-B. La pâte de résineux, quant à elle, a augmenté sa

longueur de rupture de 3,3 km avec les procédés CTMP-A, CTMP-B et CTMP-C à 4,3 km avec le CTMP-D, soit une augmentation de 23%.

Avec ce type de traitement chimique, on peut ajouter une proportion de 95% de bouleau dans le mélange avant de connaître une diminution de la longueur de rupture.

On voit très clairement, qu'avec une concentration de 5% de sulfite et 5% de soude, les fibres du bouleau sont nettement avantagées; la séparation des fibres du bouleau par le raffineur exige une consommation d'énergie qui est moindre et un pouvoir de liaison interfibre accru. Malheureusement, un traitement chimique à la soude aussi intense influence négativement la blancheur de la pâte. Néanmoins, on constate que pour prendre avantage du phénomène de gonflement des fibres et ainsi permettre l'assouplissement des fibres, on doit nécessairement appliquer une certaine quantité de soude.

4.2.4 L'indice d'éclatement

Suite aux idées émises par Denis Mondor (22), nous allons vérifier si les effets synergiques sont présents sur l'indice d'éclatement. On remarque, à la figure 49, que les effets synergiques maximaux se manifestent sensiblement avec le même pourcentage de bouleau par rapport à la longueur de rupture.

En effet, le procédé TMP ne montre pas de signe de synergisme parce que la résistance à l'éclatement diminue avec l'augmentation du pourcentage de bouleau dans le mélange. La théorie linéaire en mélange proposé par Wang (20) peut théoriquement s'appliquer dans ce cas.

Avec le CTMP-A, il y a une légère augmentation de l'indice d'éclatement donc un effet synergique positif à 10% de bouleau comme pour la longueur de rupture. Le CTMP-B montre un effet synergique positif à 5% de bouleau. Le CTMP-C et le CTMP-D présentent des effets synergiques positifs à 40% de bouleau sur l'indice d'éclatement, tout comme la longueur de rupture.

La longueur de rupture et l'indice d'éclatement sont des propriétés qui sont influencées par l'organisation des fibres dans le réseau fibreux et aussi par la résistance intrinsèque

Variation de l'indice d'éclatement en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)

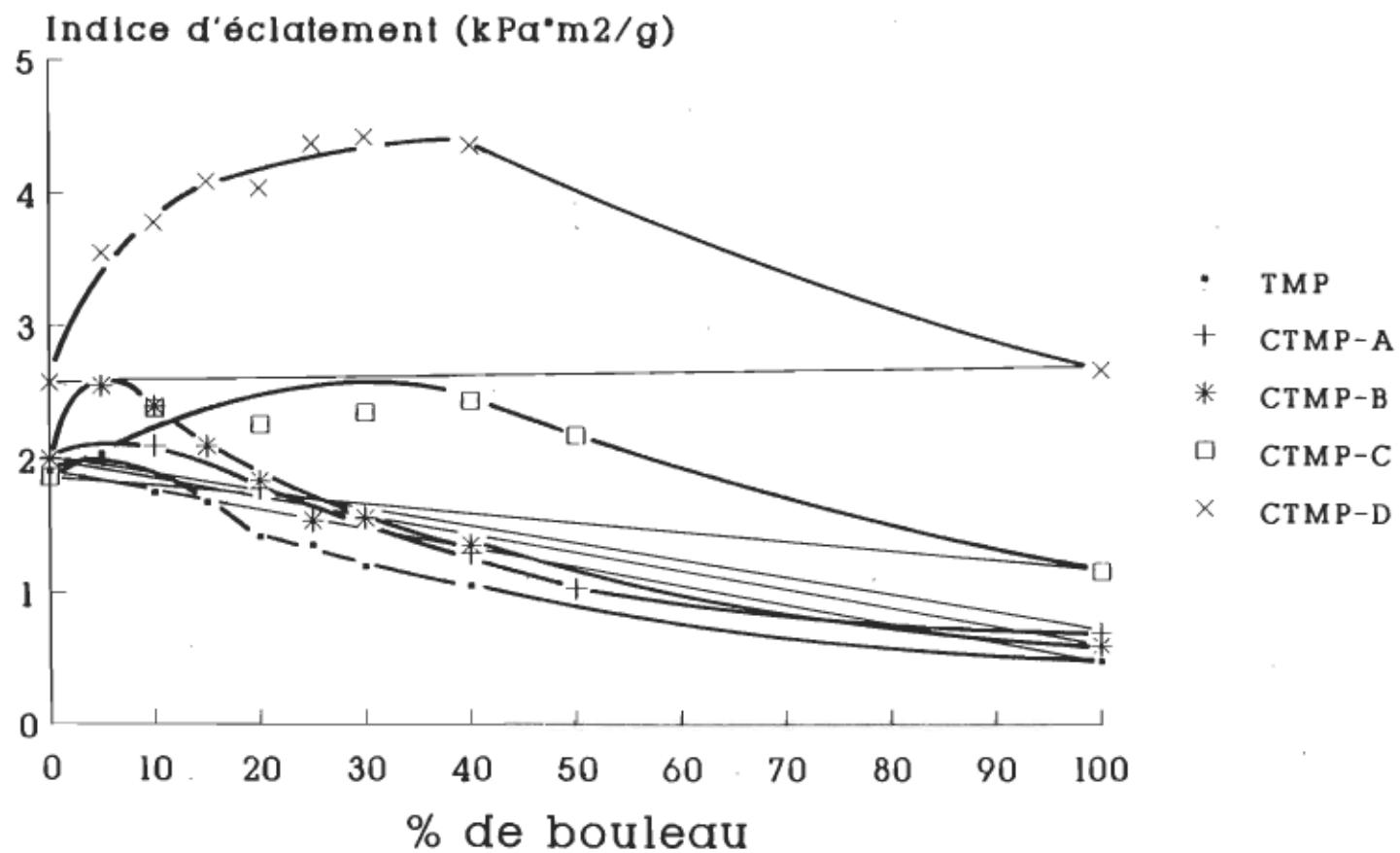


figure 49

des fibres.

Il faut spécifier, cependant, que la longueur de rupture et l'indice d'éclatement représentent des résistances où les liaisons interfibres sont dominantes.

Suite aux résultats obtenus avec la longueur de rupture et l'indice d'éclatement, on est donc en mesure de constater que les effets synergiques se produisent sur des résistances qui font intervenir des liaisons fibre à fibre. Les effets synergiques sont présents seulement avec des procédés qui utilisent des traitements chimiques (CTMP).

4.2.5 Résistance de la bande humide

Précisons que la mesure quantitative de la surface spécifique des fibres est relativement difficile à évaluer. D'autres méthodes ont été considérées comme la surface spécifique au nitrate d'argent et la perméabilité des fibres, mais ces méthodes, dans notre contexte d'étude, étaient difficilement applicables. De plus, des essais au microscope avec l'aide de teinture ont été faits, mais sans résultats satisfaisants. La teinture de Maule (méthodes d'essai

normalisées C.P.P.P.A. -B.3P) a été appliquée sur les mélanges de pâtes pour distinguer les fibres résineuses des fibres feuillues. Cependant, il est difficile de quantifier la surface spécifique d'une fibre au microscope puisqu'on se trouve en milieu aqueux.

L'évaluation de la surface spécifique s'est donc faite indirectement par la résistance de la bande humide. Heitner et al. (27) observent qu'une augmentation de la résistance de la bande humide en traction est principalement due à l'augmentation de la surface spécifique.

A la figure 50, la résistance de la bande humide nous montre que les maximums obtenus, des différents procédés, correspondent sensiblement aux maximums des effets synergiques qui ont été observés sur les propriétés de la longueur de rupture à la figure 48 et de l'indice d'éclatement à la figure 49. Il s'ensuit que l'hypothèse émise par Denis Mondor (22), quant à l'augmentation de la surface spécifique par une sorte de raclage pendant le raffinage, est vérifiée.

Les valeurs de la résistance de la bande humide, des différents procédés, sont démontrées au tableau 14.

Variation de la résistance de la bande humide en fonction du pourcentage de bouleau

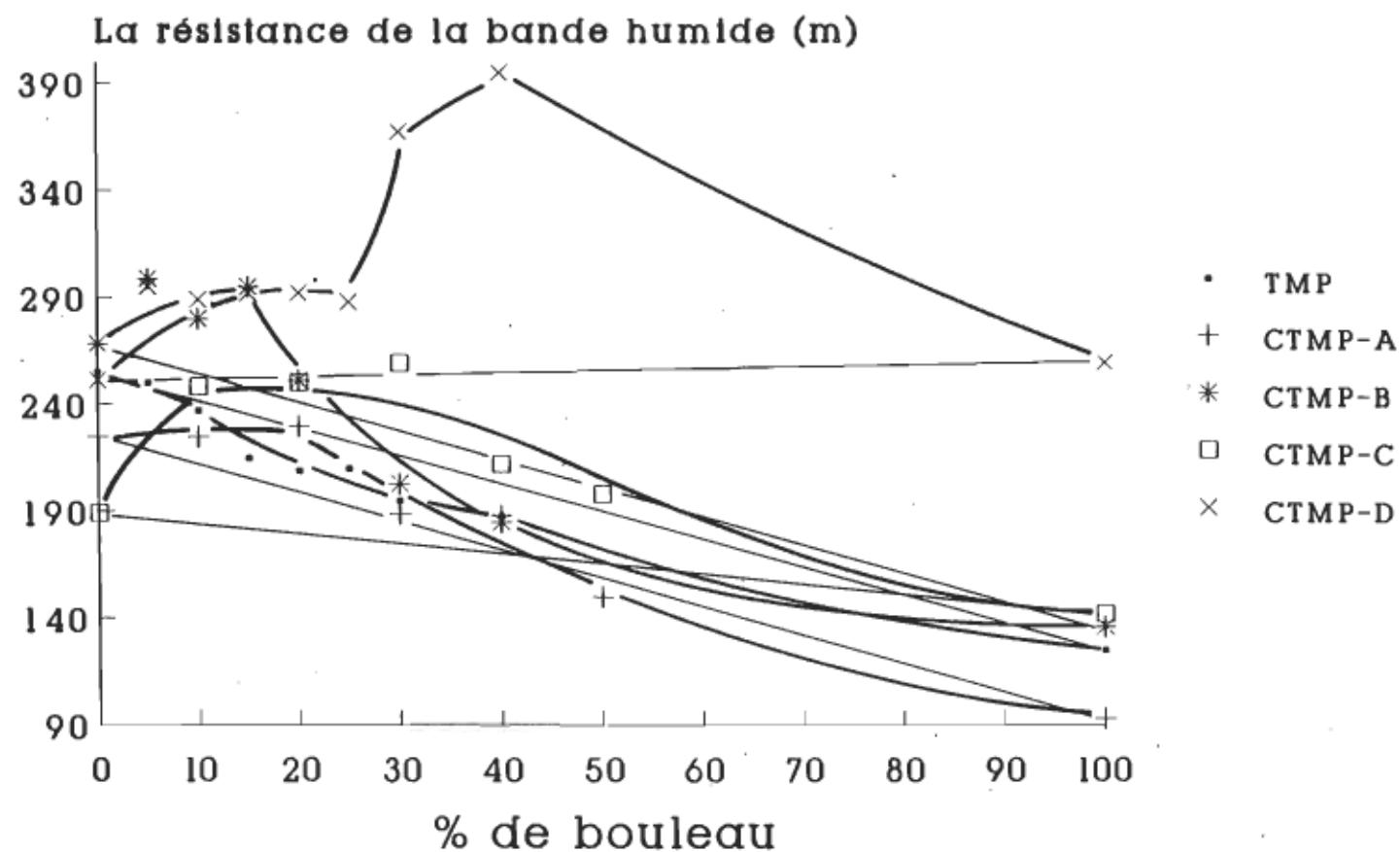


figure 50

PROCEDES	POURCENTAGE DE BOULEAU BLANC									
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	50%	100%
TMP	255	250	237	215	209	210	195	188		125
CTMP-A	225		225		230		189	188	150	93
CTMP-B	268	299	280	295	251		203	185		136
CTMP-C	189		248		250		259	212	198	142
CTMP-D	251	295	289	292	292	288	367	395		259

Tableau 14: LA RESISTANCE DE LA BANDE HUMIDE (m) @ 300 csf

4.2.6. Indice de déchirure

Malgré les valeurs dispersées à la figure 51, l'indice de déchirure des différents procédés semble diminué en fonction du pourcentage de bouleau présent dans le mélange. Cependant, il faut préciser que l'indice de déchirure est une propriété qui est influencée principalement par la proportion de fibres longues et par la résistance intrinsèque des fibres, contrairement à la longueur de rupture et l'indice d'éclatement. Et même si les procédés chimico-thermomécaniques ont une certaine affinité à protéger la longueur des fibres (voir figure 52), il n'en demeure pas moins que lors de l'introduction d'une certaine quantité de bouleau, la longueur moyenne des fibres diminue.

Wang et al. (20) ont observé une diminution de l'indice de déchirure sur un mélange de pâte de type kraft.

Hunt et al. (24) ont également expérimenté une certaine diminution dans les valeurs des pâtes kraft lorsqu'elles étaient mélangées avec du feuillu.

Wilson et al. (21) ont, quant à eux, expérimenté un mélange de résineux et de feuillus lors de la mise en pâte au sulfite

Variation de l'indice de déchirure en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)

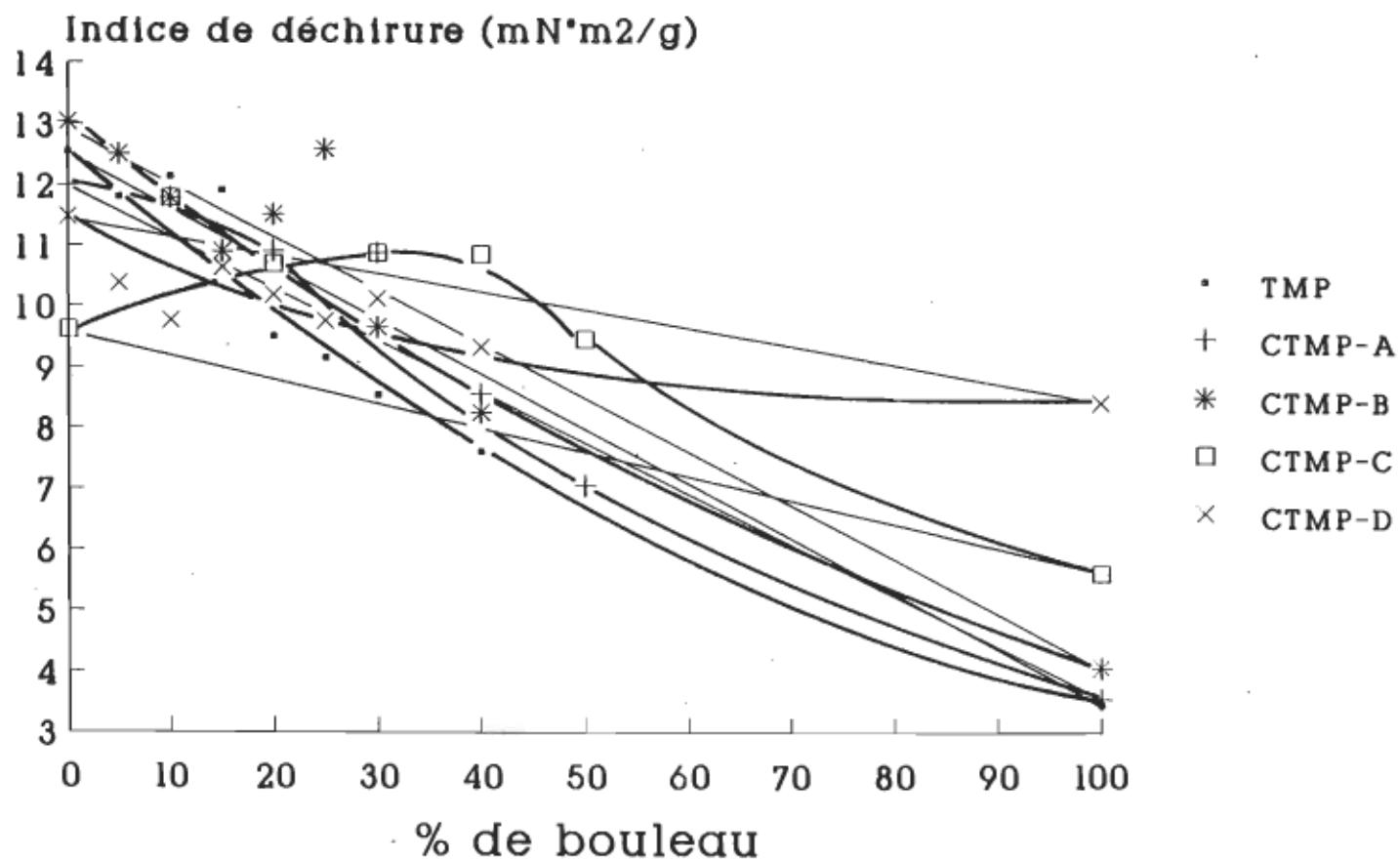


figure 51

Variation de la longueur des fibres en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)

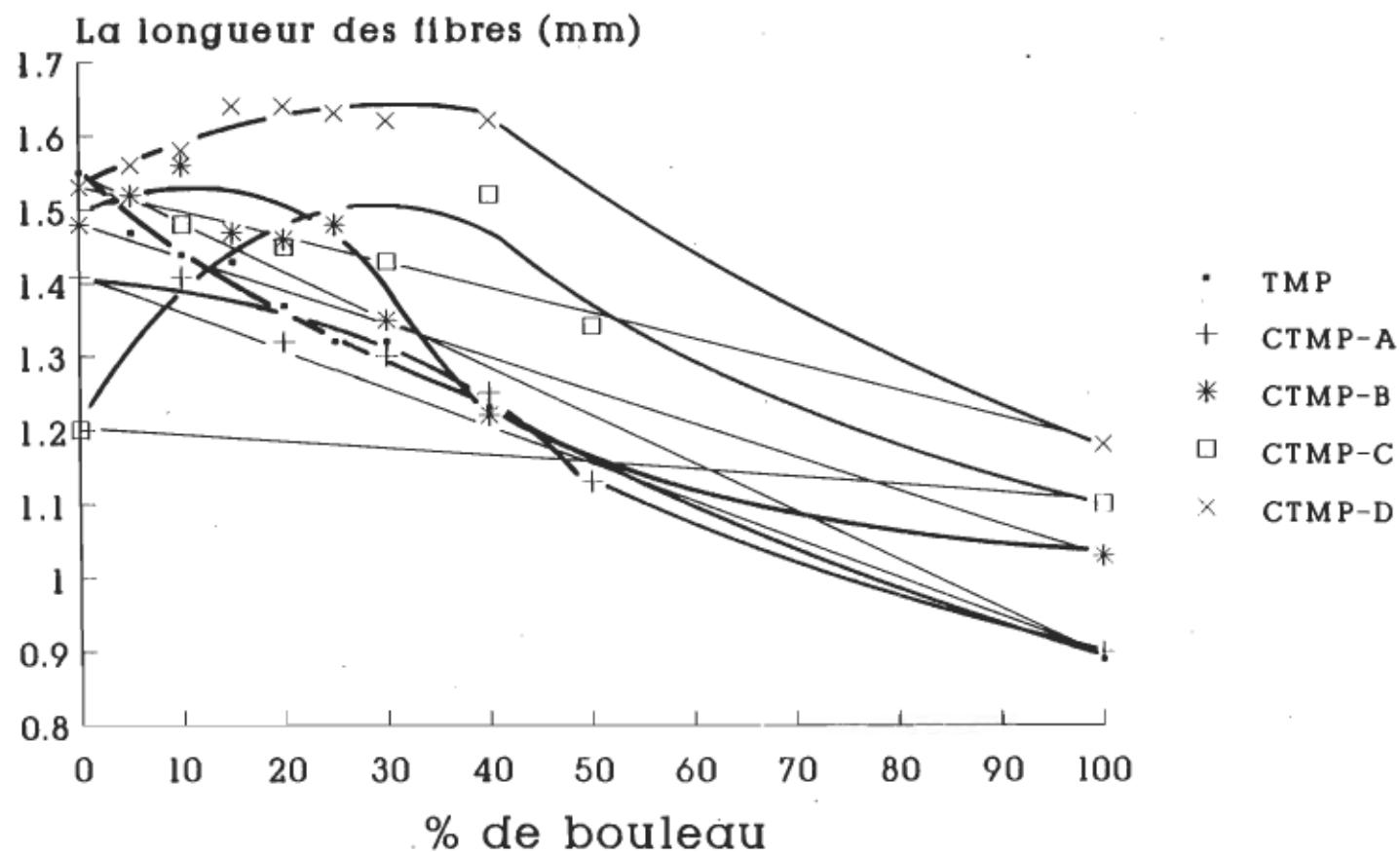


figure 52

($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Les résistances mécaniques, telles que la déchirure et l'éclatement, ont légèrement diminué.

Hatton et al. (19), quant à eux, ont expérimenté un mélange de résineux et de tremble avec un procédé CMP. Quand ils utilisent un traitement chimique avec du sulfite de sodium, ils qualifient d'exceptionnel la déchirure pour la pâte composée à 100% de résineux ainsi que celle composée à 75% de résineux et 25% de tremble. Avec un autre traitement chimique, incluant cette fois du sulfite de sodium et de la soude, les auteurs remarquent des effets synergiques positifs sur l'indice d'éclatement, la longueur de rupture et l'indice de déchirure. Ces effets synergiques se produisent quand la pâte est composée à 25% de feuillu et 75% de résineux en comparaison avec la pâte de résineux.

Dans sa thèse de maîtrise, Mondor (22) a observé, avec un mélange d'essences, des effets synergiques sur l'indice d'éclatement et la longueur de rupture, mais aucun effet synergique n'est apparu avec l'indice de déchirure.

Finalement, on conclut que les effets synergiques ne sont pas présents quant à la propriété de l'indice de déchirure. En effet, on constate que la quantité des fibres du bouleau,

présente dans les mélanges, a une relation directe avec la baisse de l'indice de déchirure.

4.2.7. Blancheur

A la figure 53, on voit que l'addition du bouleau dans le mélange a très peu d'influence sur la blancheur de la pâte. C'est plutôt le type de traitement chimique qui influence avant tout la blancheur. En effet, la blancheur du procédé TMP varie très peu avec l'addition du bouleau. Les procédés CTMP-A et CTMP-B qui utilisent du sulfite de sodium, comme traitement chimique, ont augmenté de quelques points leur blancheur. Par contre, le pourcentage de bouleau ne semble pas affecter, outre mesure, la blancheur finale de la pâte.

Les procédés CTMP-C et CTMP-D qui utilisent, quant à eux, une combinaison de sulfite de sodium et de soude ont baissé leur blancheur par rapport au TMP. On assiste à un effet synergique négatif parce qu'un faible pourcentage de bouleau dans le mélange semble légèrement diminuer la blancheur tandis qu'une proportion plus importante de bouleau augmente la blancheur.

Variation de la blancheur en
fonction du pourcentage de bouleau
à indice d'égouttage constant (300 csf)

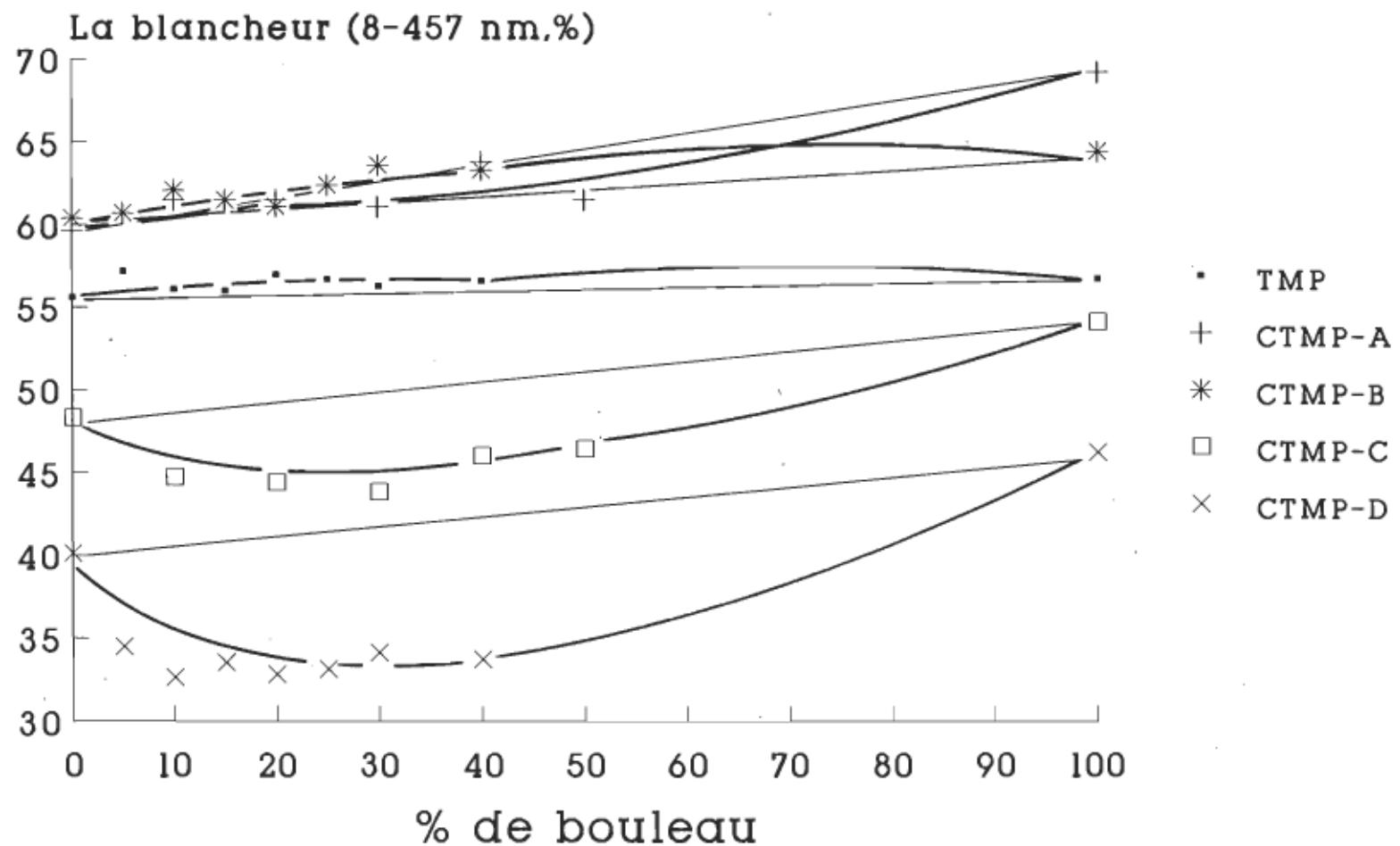


figure 53

Le sulfite de sodium agit comme un agent de blanchiment tandis que la soude, malgré l'effet marqué sur les propriétés mécaniques des fibres du bouleau, agit négativement sur la blancheur.

4.2.8. Opacité

A la figure 54, on remarque que le procédé TMP ainsi que les procédés CTMP-C et CTMP-D possèdent une opacité qui est supérieure aux procédés CTMP-A et CTMP-B. On assiste même à un effet synergique positif avec le CTMP-D et un effet synergique négatif avec le CTMP-B.

Le procédé TMP produit beaucoup de matières fines, ce qui influence positivement la mesure de l'opacité. Tandis que les procédés CTMP-C et CTMP-D, même s'ils produisent des feuilles à haute densité, influencent positivement l'opacité parce qu'ils possèdent une blancheur relativement basse. Contrairement aux procédés CTMP-A et CTMP-B, leur blancheur est relativement élevée et les liaisons interfibres ont augmenté les densités des feuilles.

Variation de l'opacité en
fonction du pourcentage de bouleau
à indice d'égouttage constant (300 csf)

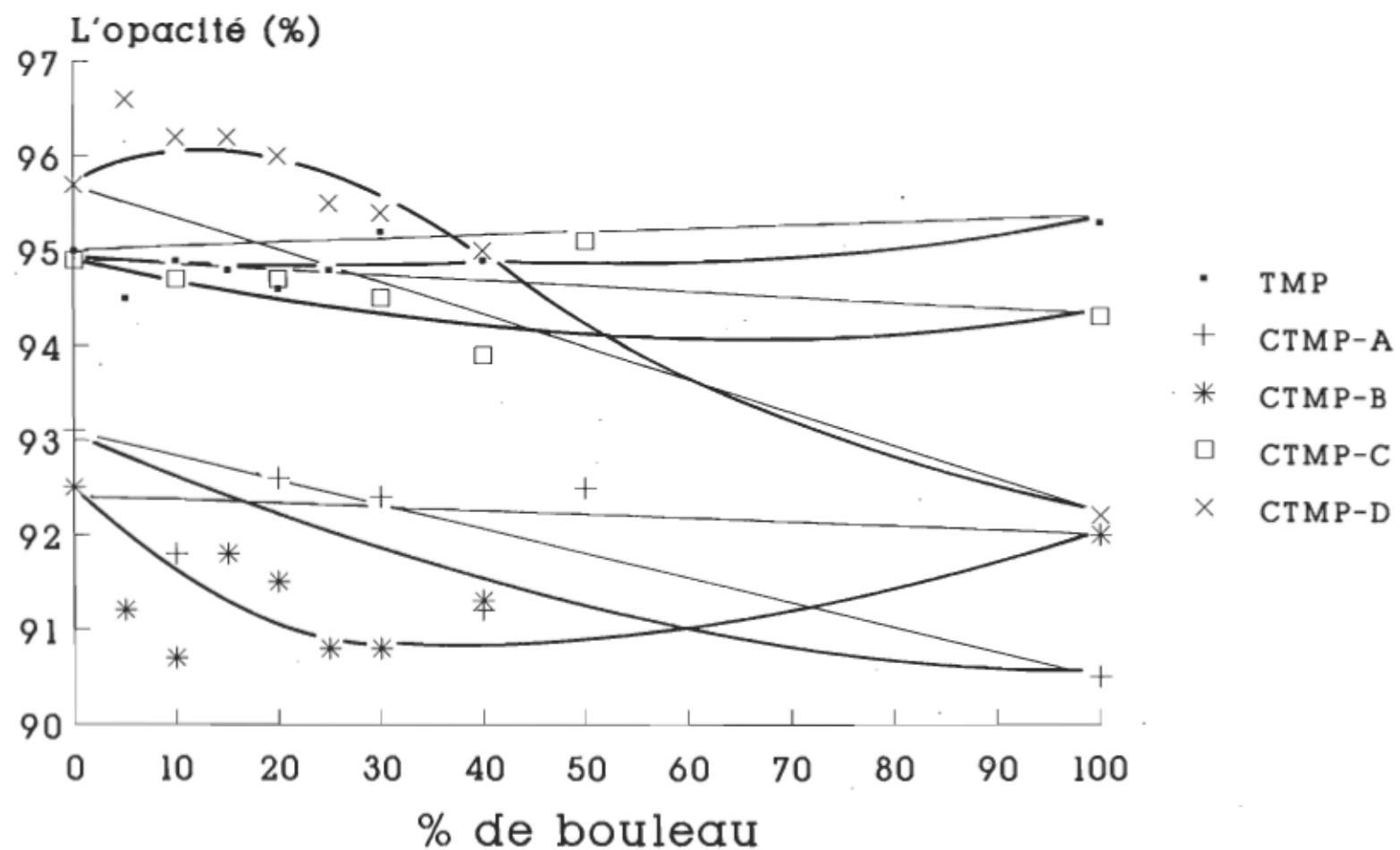


figure 54

4.2.9. Coefficient de diffusion

La mesure du coefficient de diffusion est influencée par le volume spécifique ou la densité puisque le coefficient de diffusion est relié avec la réflexion de la lumière (26).

Le procédé TMP produit un léger effet synergique positif sur le coefficient de la lumière, mais tous les procédés CTMP ont produit des effets synergiques négatifs.

A la figure 55, on constate que la densité du papier influence le coefficient de diffusion. En effet, le procédé qui montre la densité la plus faible, soit le TMP, désigne la pâte qui possède le coefficient de diffusion le plus élevé. De même, le procédé qui montre la densité la plus élevée, soit le CTMP-D, désigne le coefficient de diffusion le plus faible.

Variation du coefficient de diffusion en fonction du pourcentage de bouleau à indice d'égouttage constant (300 csf)

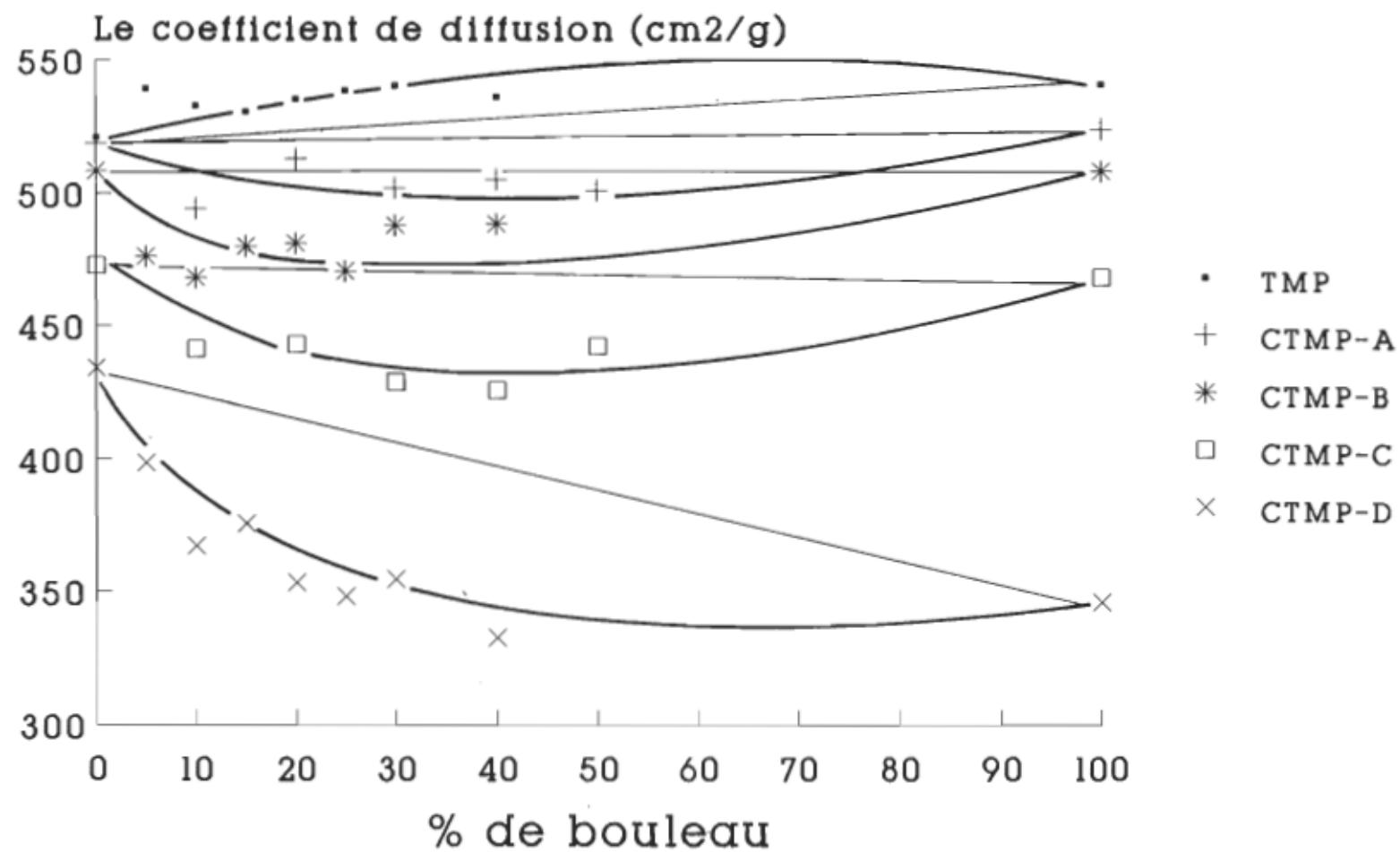


figure 55

4.2.10. Différence entre les pâtes produites par les copeaux mélangés avant le raffinage et les pâtes pures mélangées après le raffinage

Les figures 56, 57 et 58 montrent la longueur de rupture, obtenue avec un mélange de copeaux avant le raffinage, et avec un mélange de pâtes pures après le raffinage pour trois procédés, soit le TMP, le CTMP-B et le CTMP-D. A la figure 56, la longueur de rupture des copeaux mélangés et celle des pâtes pures mélangées après le raffinage sont relativement semblables si on considère qu'il y a une légère variation de l'indice d'égouttage des pâtes mélangées. Par contre, à la figure 57, les pâtes des copeaux mélangés avant le raffinage montrent un effet synergique tandis que les pâtes pures mélangées, après le raffinage, ne montrent aucun signe de synergisme. De même, à la figure 58, les pâtes des copeaux mélangés avant le raffinage montrent un effet synergique tandis que les pâtes pures mélangées après le raffinage, selon les mêmes proportions, ne montrent aucun signe de synergisme.

Jackson et al. (23) ont également comparé des mélanges de pâtes après le raffinage et des mélanges de copeaux avant le raffinage. Seulement, ils ont procédé à trois mélanges de pâte après le raffinage, en plus des pâtes pures respectives, pour

La longueur de rupture en fonction
du pourcentage de bouleau du TMP
copeaux mélangés vs pâtes mélangées

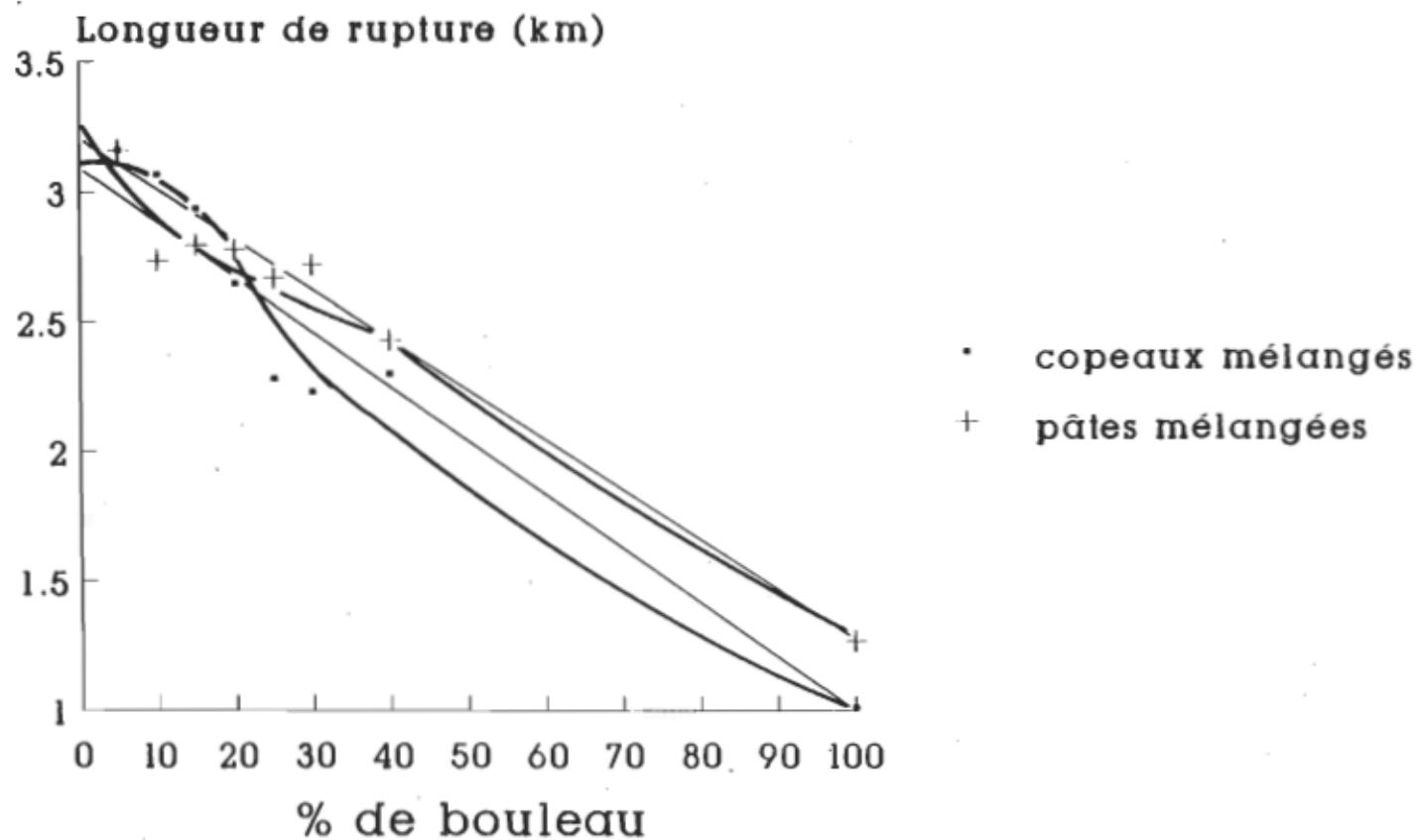


figure 56

La longueur de rupture en fonction
du pourcentage de bouleau du CTMP-B
copeaux mélangés versus pâtes mélangées

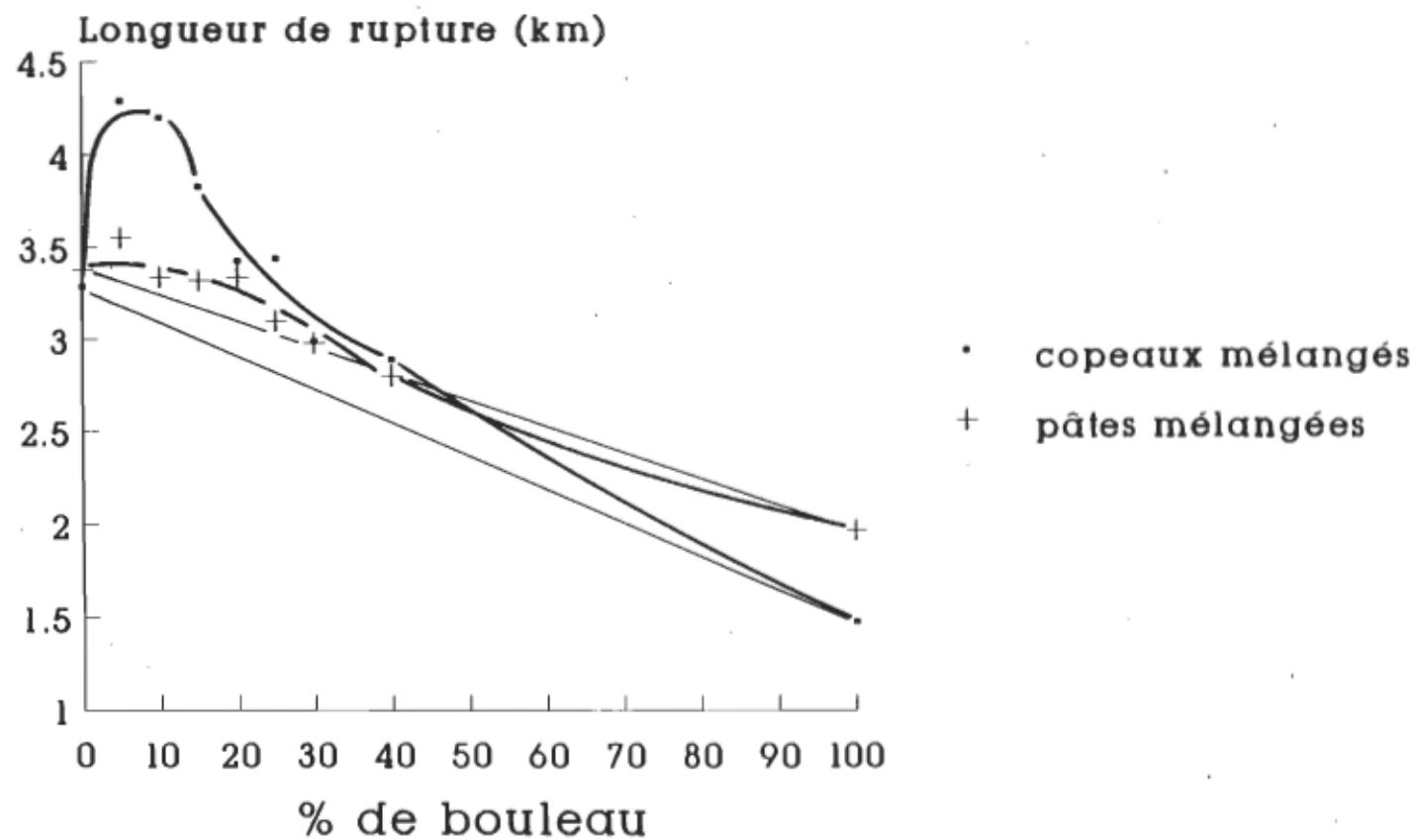


figure 57

La longueur de rupture en fonction
du pourcentage de bouleau du CTMP-D
copeaux mélangés versus pâtes mélangées

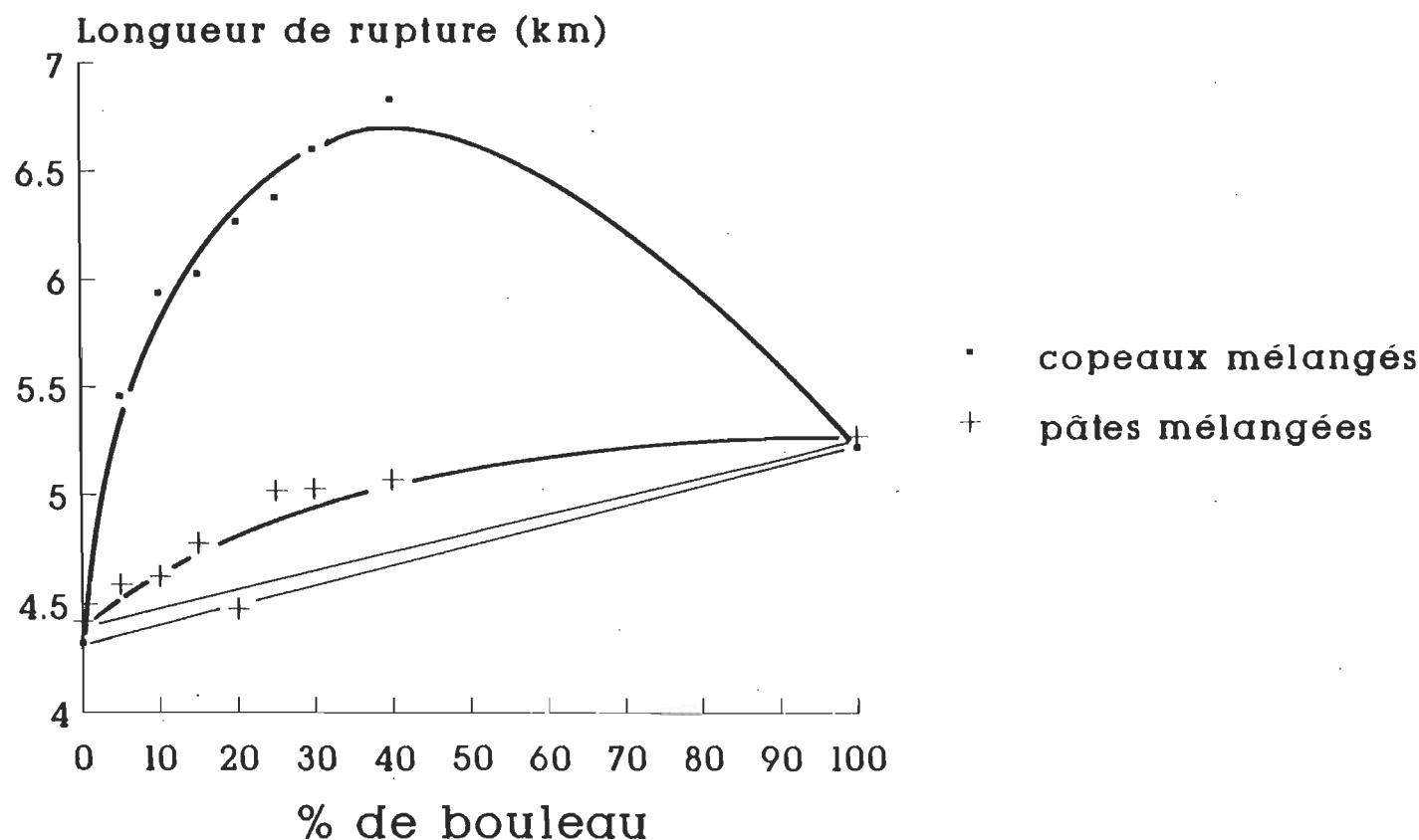


figure 58

faire la comparaison avec un seul mélange de copeaux avant le raffinage. Les auteurs indiquent que la différence dans la qualité des pâtes, entre copeaux et pâtes mélangés, est minime que ce soit pour les propriétés mécaniques ou optiques.

Ils concluent que le raffinage des essences pures est préférable afin de produire une amélioration du coefficient de diffusion de la lumière et de l'opacité pour le produit final.

Suite à nos résultats, nous concluons que les effets synergiques ne peuvent être produits que pendant l'étape du raffinage et seulement lors d'un mélange d'essences. L'origine des phénomènes synergiques doit théoriquement s'expliquer par une action spécifique entre les fibres de différentes essences.

Une autre hypothèse peut être retenue pour expliquer l'origine des phénomènes synergiques. On a noté à plusieurs reprises que l'action des agents chimiques sur les résineux et les feuillus est différente, i.e. la soude a un effet marqué sur les feuillus alors que le sulfite a peu d'effet. Il s'ensuit que l'origine des phénomènes synergiques pourrait se situer au niveau des différences de flexibilité des fibres lors de la mise en pâte en mélange. Puisque l'addition de la soude est gravi-métrique et en proportion avec le débit du bois, il

y aurait plus de soude réagissant sur le feuillu lors de l'imprégnation d'un mélange par rapport à des copeaux de feuillus qui seraient imprégnés seuls. Des quantités effectives plus élevées de soude entraînent un rendement plus bas et les liens interfibres sont améliorés.

4.2.11. Hypothèse d'un raffinage en mélange

On a vu, précédemment, que les effets synergiques étaient présents seulement sur des propriétés où les liaisons interfibres étaient dominantes telles la longueur de rupture et l'indice d'éclatement. Aucun effet synergique n'a été observé sur l'indice de déchirure. On a vu également que les effets synergiques se produisaient seulement avec des procédés qui utilisaient un traitement chimique, que ce soit avec du sulfite de sodium ou avec une combinaison du sulfite de sodium et de la soude. On a constaté que l'augmentation de la résistance humide était principalement due à l'augmentation de la surface spécifique des fibres. Finalement, on a constaté que les effets synergiques étaient produits seulement avec un raffinage en mélange de copeaux de différentes essences.

Avant d'expliquer la provenance des effets synergiques, il faut, dans un premier temps, comprendre les mécanismes et les conséquences du raffinage. Lors de la mise en pâte, à l'aide d'un raffineur, il y a trois conséquences majeures qui se répercutent sur les fibres: la réduction de la longueur des fibres, l'augmentation de la surface spécifique et l'augmentation de la flexibilité des fibres. Il est donc permis de croire qu'un effet synergique est créé lorsque la surface spécifique et/ou la flexibilité des fibres est développée au point optimum.

La surface spécifique et la flexibilité des fibres sont intimement reliées entre elles. En effet, la flexibilité des fibres et/ou la souplesse des fibres prend place initialement dans la région amorphe de la matière ligneuse. Le gonflement implique une détente de la structure fibreuse par une inhibition d'eau qui rend la fibre plus souple. Dans un état avancé de gonflement, les liaisons hydrogènes sont influencées par le degré de pénétration de la solution aqueuse. Les groupements hydroxyles (-OH) de la cellulose native sont presque tous engagés dans les liaisons hydrogènes. Un pont hydrogène est formé par un atome d'hydrogène entre deux atomes de charges électronégatives, comme deux atomes d'oxygène. Dans la cellulose, les groupements alcools sont très nombreux ce qui

permet les liaisons hydrogènes et rendent la structure de la cellulose cristalline. Quand la cellulose est en présence d'eau, quelques liaisons hydrogène s'ouvrent entre les groupements hydroxyles et de nouveaux ponts hydrogène se forment par les molécules d'eau qui s'infiltrent. Les groupements hydroxyles disponibles dans la cellulose sont de l'ordre de 50-60% du montant total. Les groupements hydroxyles se présentent principalement dans la région amorphe de la cellulose et sur les surfaces des fibrilles élémentaires. Bien sûr, l'adhérence des molécules d'eau sur la matière ligneuse a pour effet de faire gonfler la matière. De la même façon, les hémicelluloses, qui possèdent une similitude avec la cellulose, réagissent avec les molécules d'eau par les groupements hydroxyles afin de permettre les ponts hydrogène. Cependant, quand la fibre est exposée au raffinage, la fibre se fissure dans la direction longitudinale et forme des fibrilles. Ces fibrilles consistent, en grande partie, de petits groupements de microfibrilles élémentaires dans la partie secondaire de la paroi. Ces fibrilles semblent trouver pour origine la partie extérieure de la paroi secondaire. Techniquelement, la fibrillation se produit lorsque la fibre est plus ou moins écrasée par les disques du raffineur. La haute pression entre les disques est presque un prérequis pour obtenir une fibrillation. Quand les liaisons hydrogène sont brisées, elles

se déchirent en formant des fibrilles. Plus la matière ligneuse est gonflée, donc plus souple, il est plus facile de séparer la fibre. Normalement, on peut remarquer une relation directe avec le degré de gonflement et le degré des fibres à produire des microfibrilles. Comme conséquence de la rupture de la matière ligneuse, les microfibrilles, qui sont couvertes d'une mince couche d'hémicellulose, vont gonfler lorsqu'elles seront libérées de leur structure cristallisée. Le degré de gonflement des fibres va donc influencer, de façon presque proportionnelle, la résistance au développement de la surface spécifique des fibres.

D'habitude, une augmentation de la surface spécifique et/ou de la flexibilité des fibres amène une amélioration des contacts intrinsèques dans le réseau fibreux. Le développement de la surface spécifique et de la flexibilité des fibres se mesurent indirectement par des résistances, comme la longueur de rupture et l'indice d'éclatement.

L'origine des phénomènes synergiques peut théoriquement s'expliquer par une action complémentaire qui s'ajoute à l'action déjà connue du raffinage. Les effets synergiques semblent se produire par un raclage ou de frottement des fibres de différentes essences lors du raffinage. Les fibres les plus

résistantes agiraient sur les fibres les plus souples, pour développer soit la surface spécifique (fibrillation) ou la flexibilité, par une sorte de frottement occasionné dans le raffinage. Dans le cas d'un traitement chimique avec uniquement du sulfite de sodium, les fibres plus souples des résineux seraient mieux fibrillées. Une action de raclage occasionnée par les fibres plus rigides du bouleau sur les fibres résineuses augmenteraient leurs surfaces spécifiques. Inversement, un traitement chimique combiné de sulfite de sodium et de soude produiraient des fibres de bouleau plus souples. Alors, les fibres des résineux plus rigides occasionneraient, par une action de raclage, une augmentation de la surface spécifique des fibres du bouleau.

Le mécanisme qui semble susciter la production des effets synergiques est probablement due à la différence de réaction envers une concentration de produits chimiques. En effet, lors d'un traitement chimique spécifique, les fibres de différentes essences réagissent différemment parce que les fibres sont constituées de façon différente dans leur structure et leur composition.

Plus la différence réactionnelle des fibres entre essences est grande, plus on a de chances de produire des effets

synergiques de grande amplitude. Par exemple, avec un mélange de copeaux composé de deux résineux comme l'épinette et le sapin, les chances de produire des effets synergiques sont relativement plus faibles; les deux essences se comportent de façon presque identique à une concentration donnée de sulfite de sodium. Avec un mélange de copeaux de deux résineux comme l'épinette et le mélèze, on peut produire des effets synergiques plus importants car les deux essences réagissent différemment à une concentration de sulfite de sodium donnée.

Si l'origine des effets synergiques est expliquée par un mécanisme de frottement pendant le raffinage, on est en mesure d'affirmer que les fibres de différentes essences sont dépendantes les unes des autres avec un traitement chimique.

4.3. ANALYSE ECONOMIQUE

Le but de la présente analyse économique est d'évaluer les bénéfices économiques potentiel qui résulteraient de l'intégration d'une essence feuillue, tel le bouleau blanc, aux essences de résineux normalement utilisées pour la fabrication du papier journal. Cette mise en valeur vise à minimiser la difficulté d'approvisionnement de la matière première qui est sans cesse croissante.

Jusqu'à présent, nous avons tenté d'expliquer l'effet de l'addition du bouleau dans un mélange conventionnel de résineux sur les propriétés physiques et optiques. Cette partie vise surtout à quantifier l'effet de l'addition du bouleau dans un mélange au niveau des coûts de la matière première, de l'énergie de raffinage et des produits chimiques.

Les bénéfices potentiel de l'addition de copeaux de bouleau, dans un mélange conventionnel, doivent tenir compte des coûts variables tels que la matière première, l'énergie de raffinage (on doit supposer que les autres coûts énergétiques restent constants), les produits chimiques et, finalement, le blanchiment. Afin de comparer les divers procédés, on doit faire une analyse sur une base équivalente qui tient compte des

propriétés des pâtes. On doit également supposer un certain rendement pour chaque procédé.

Supposons que le rendement des procédés s'établit comme suit:

TMP	96%
CTMP-A	93%
CTMP-B	92%
CTMP-C	91%
CTMP-D	90%

On sait que le rendement est influencé par l'intensité de l'imprégnation chimique. Nous avons établit hypothétiquement le rendement des procédés chimico-thermomécaniques. On croît que ces valeurs sont assez représentatives de la réalité.

4.3.1. Coût de la matière première

Le coût de la matière première de résineux est relativement plus élevé que celui du bouleau. En effet, le prix d'une tonne de bois pour les résineux à 50% de siccité se situe à environ \$110,00 (34), tandis que pour le bouleau, le prix se situe à \$70,00 (34) la tonne au même taux de siccité.

Voici un exemple de calcul pour évaluer le coût de la matière première du procédé TMP:

La pâte composée à 100% de résineux:

\$110,00/t de bois acheté / 50% de siccité / 0,96 t de pâte/t de copeaux = \$229,00/tonne de pâte produite.

La pâte composée à 100% de bouleau:

\$70,00/t de bois acheté / 50% de siccité / 0,96 t de pâte/t de copeaux = 146,00/tonne de pâte produite..

Un mélange composé à 20% de bouleau:

$$20\% \times \$146,00 + 80\% \times \$229,00 = \$212,00/t$$

On peut donc bénéficier d'une économie de \$17,00/t (\$229,00 - \$212,00) en utilisant 20% de bouleau dans le mélange. Pour une compagnie papetière, qui produit 60 000 t de pâte/an, cette économie de \$17,00/t peut signifier une économie annuelle de \$1 020 000,00. Donc, en plus de diminuer la dépendance des essences résineuses, l'intégration d'un certain pourcentage de bouleau dans le mélange peut potentiellement réaliser des économies considérables.

4.3.2. Coût de l'énergie de raffinage

Le coût de l'électricité au Québec est d'environ \$7,92 x 10^{-5} MJ/kg (\$0,022/kWh)(34). Ce coût peut varier d'une usine à l'autre, mais le prix de l'électricité est principalement régi par des ententes contractuelles avec Hydro-Québec.

Nous avons remarqué, précédemment, que l'addition du bouleau influençait la consommation de l'énergie de raffinage.

Comme exemple, on peut mentionner le procédé TMP qui consomme 8,55 MJ/kg pour une pâte de résineux et seulement 7,95 MJ/kg pour une pâte composée à 20% de bouleau avec un indice d'égouttage constant de 300 CSF. L'addition de 20% de bouleau, dans le mélange, amène une économie de 0,60 MJ/kg, ce qui signifie une économie de $\$4,75 \times 10^{-5}$ MJ/kg. Une compagnie produisant 60 000 t de pâte/an peut ainsi économiser environ \$285 120,00 annuellement.

4.3.3. Coût des produits chimiques

Nous avons utilisé, lors de l'imprégnation chimique des procédés, deux agents chimiques, soit le sulfite de sodium et la soude. Avec un taux de change \$Can. = \$1,1470 U.S. (Source Banque de Montréal, 13/11/90), le sulfite de sodium utilisé possérait une pureté de 95% au coût de \$0,31/kg (\$U.S. 0,27/kg) tandis que la soude avait une pureté de 88% au coût de \$0,657/kg (\$U.S. 0,573/kg) (34).

Voici un exemple de calcul;
le procédé CTMP-D utilisant 2,5% de sulfite de sodium et 2,5% de soude coûte:

en sulfite de sodium,

$$(2,5\% \times 1000\text{kg} / 95\%) \times \$0,31/\text{kg} = \$8,16/\text{tonne}$$

et en soude,

$$(2,5\% \times 1000\text{kg} / 88\%) \times \$0,675/\text{kg} = \$19,18/\text{tonne}$$

donc, un total de \$27,34/tonne (\$8,16 + \$19,18)

4.3.4. Coût du blanchiment

Le coût du blanchiment dépend de la blancheur initiale ainsi que de la blancheur finale à atteindre. Par exemple, le procédé CTMP-C produit une blancheur initiale de 46% et on désire une blancheur comparable au procédé TMP soit d'environ 56%, donc le coût d'un blanchiment au peroxyde se détaille comme suit si on utilise 2% de peroxyde:

	%	coût du produit (34)	coût
DTPA	0.4	\$1,29/kg (\$U.S. 1,125/kg)	\$5,16/t
MgSO ₄	0.05	\$0,38/kg (\$U.S. 0,331/kg)	\$0.19/t
Silicate	3	\$0,176/kg (\$U.S. 0,154/kg)	\$5,28/t
Caustique	2	\$0,657/kg (\$U.S. 0,573/kg)	\$13.14/t
Peroxyde	2	\$1,64/kg (\$U.S. 1.43/kg)	\$32.80/t
Total			\$56.57/t

Cependant, il faut spécifier qu'un blanchiment au peroxyde agit sur les propriétés optiques de la pâte. On sait que le blanchiment influence positivement les propriétés mécaniques. Par contre, nous ne considérons pas les gains obtenus par le blanchiment sur les propriétés mécaniques. De plus, avec un système de recirculation du peroxyde, on peut envisager un coût de blanchiment inférieur.

4.3.5. Coûts totaux des procédés

Dans cette partie, nous allons considérer l'effet synergique maximal sur la longueur de rupture pour chacun des procédés. La longueur de rupture est une propriété qui est relativement importante dans le choix d'une pâte. C'est pourquoi nous avons opté pour la longueur de rupture comme base de comparaison. La longueur de rupture maximale et les autres propriétés papetières de chacun des procédés chimico-thermomécaniques sont comparées avec les propriétés du procédé thermomécanique pour justifier l'augmentation des coûts des procédés chimico-thermomécaniques. En considérant un effet synergique maximal sur la longueur de rupture, on peut comparer les gains ou les pertes obtenus sur les propriétés du procédé TMP.

Au tableau 15, les propriétés papetières des procédés chimico-thermomécaniques sont comparées au procédé de référence; le procédé thermomécanique. On constate avec les procédés CTMP que les propriétés de la longueur de rupture et de l'indice d'éclatement sont supérieurs au procédé de référence (TMP). Par contre, l'indice de déchirure a légèrement diminué avec les procédés CTMP. On note cependant que les gains obtenus sur la longueur de rupture et l'indice

PROPRIETES PAPETIERES	PROCEDES									
	TMP		CTMP-A		CTMP-B		CTMP-C		CTMP-D	
POURCENTAGE DE BOULEAU (%)	0		10		10		40		40	
ENERGIE (MJ/kg)	8,55	1,0	8,15	0,95	9,92	1,16	6,69	0,78	6,40	0,75
LONGUEUR DES FIBRES (mm)	1,55	1,0	1,41	0,91	1,56	1,01	1,52	0,98	1,62	1,05
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	3,53	1,0	3,26	0,92	3,33	0,94	2,97	0,84	2,09	0,59
DENSITE (g/cm ³)	0,28	1,0	0,31	1,11	0,30	1,07	0,34	1,21	0,48	1,71
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,08	1,0	3,59	1,17	4,20	1,36	4,04	1,31	6,83	2,22
INDICE D'ECLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,91	1,0	2,10	1,10	2,40	1,27	2,44	1,28	4,36	2,28
INDICE DE DECHIRURE (mN·m ² /g)	12,54	1,0	11,78	0,94	11,78	0,94	10,85	0,87	9,32	0,74
BLANCHEUR (8-457nm,%)	55,6	1,0	61,5	1,11	62,1	1,12	46,0	0,83	33,7	0,61
OPACITE (%)	95,0	1,0	91,8	0,97	90,7	0,95	93,9	0,99	95,0	1,0
COEFFICIENT DE DIFFUSION (cm ² /g)	521,0	1,0	494,1	0,95	468,3	0,90	425,5	0,82	332,7	0,64

Tableau 15: COMPARAISON DES PROPRIETES AVEC UN EFFET SYNERGIQUE MAXIMAL

d'éclatement compensent la légère perte sur l'indice de déchirure. A titre d'exemple, le procédé CTMP-D produit une augmentation de plus de 200% sur la longueur de rupture et une perte de 25% sur l'indice de déchirure.

En ce qui à trait à la blancheur, les procédés utilisant du sulfite de sodium produisent une pâte avec une blancheur améliorée tandis que les procédés utilisant de la soude produisent une pâte comportant une diminution de blancheur.

On montre, au tableau 16, les différents coûts pour chaque procédé lorsqu'on favorise un effet synergique maximal sur la longueur de rupture. Les coûts totaux varient très peu avec le TMP, CTMP-A et le CTMP-B; les coûts de matière première et d'énergie de raffinage sont relativement semblables, alors que les coûts des produits chimiques haussent les coûts totaux des procédés CTMP-A et CTMP-B. Cependant, il faut signaler que les procédés utilisant du sulfite de sodium augmentent la blancheur de leurs pâtes respectives.

Les procédés CTMP-C et CTMP-D, qui possèdent d'excellentes caractéristiques pour la longueur de rupture et l'indice d'éclatement, sont plus dispendieux. Un pourcentage important de bouleau dans le mélange, pour les procédés CTMP-C et CTMP-

PROPRIETES PAPETIERES	PROCEDES				
	TMP	CTMP-A	CTMP-B	CTMP-C	CTMP-D
RENDEMENT (%)	96	93	92	91	90
BOULEAU (%)	0	10	10	40	40
COUT DE MATIERE PREMIERE (\$/T)	229	228	230	207	209
ENERGIE DE RAFFINAGE (MJ/kg)	8,55	8,15	9,92	6,69	6,40
COUT ENERGIE DE RAFFINAGE (\$/T)	68	65	79	53	51
PRODUIT CHIM. SULF./SOUDE (%)	-	2,5/0	4,0/0	2,5/2,5	5,0/5,0
COUT PRODUITS CHIMIQUES (\$/T)	-	8	13	27	55
PRODUITS DE BLANCHIMENT (H ₂ O %)	-	-	-	2	4
COUT DE BLANCHIMENT (\$/T)	-	-	-	57	96
TOTAL (SANS BLANCHIMENT) (\$/T)	297	301	322	287	315
TOTAL (AVEC BLANCHIMENT)(\$/T)				344	411

Tableau 16: COMPARAISON DES COUTS DE CHAQUE PROCEDE @ 300 csf

D, baisse sensiblement les coûts de la matière première ainsi que les coûts de l'énergie de raffinage. Les coûts des produits chimiques augmentent avec l'intensité de l'imprégnation. Cependant, le fait d'utiliser de la soude diminue la blancheur de la pâte, ce qui engendre certains coûts de blanchiment. Ce sont les coûts de blanchiment qui, en grande partie, sont responsables du coût élevé de ces procédés.

Si la blancheur de la pâte n'était pas en jeu, les procédés CTMP-C et CTMP-D seraient alors intéressants par leurs propriétés et leur faible consommation d'énergie.

A la figure 59, une analyse de sensibilité est conduite sur les différents paramètres du procédé CTMP-C auxquels les coûts du procédé sont reliés. Cette figure illustre les conséquences d'une variation des coûts des paramètres sur le coût total du procédé. L'analyse de sensibilité nous permet d'identifier le paramètre le plus sensible sur le coût total du procédé. En effet, avec une variation du coût de la matière première de résineux, ce paramètre influence prioritairement le coût global. Les autres paramètres n'affectent le coût global que de manière relative.

Analyse de sensibilité du procédé CTMP-C

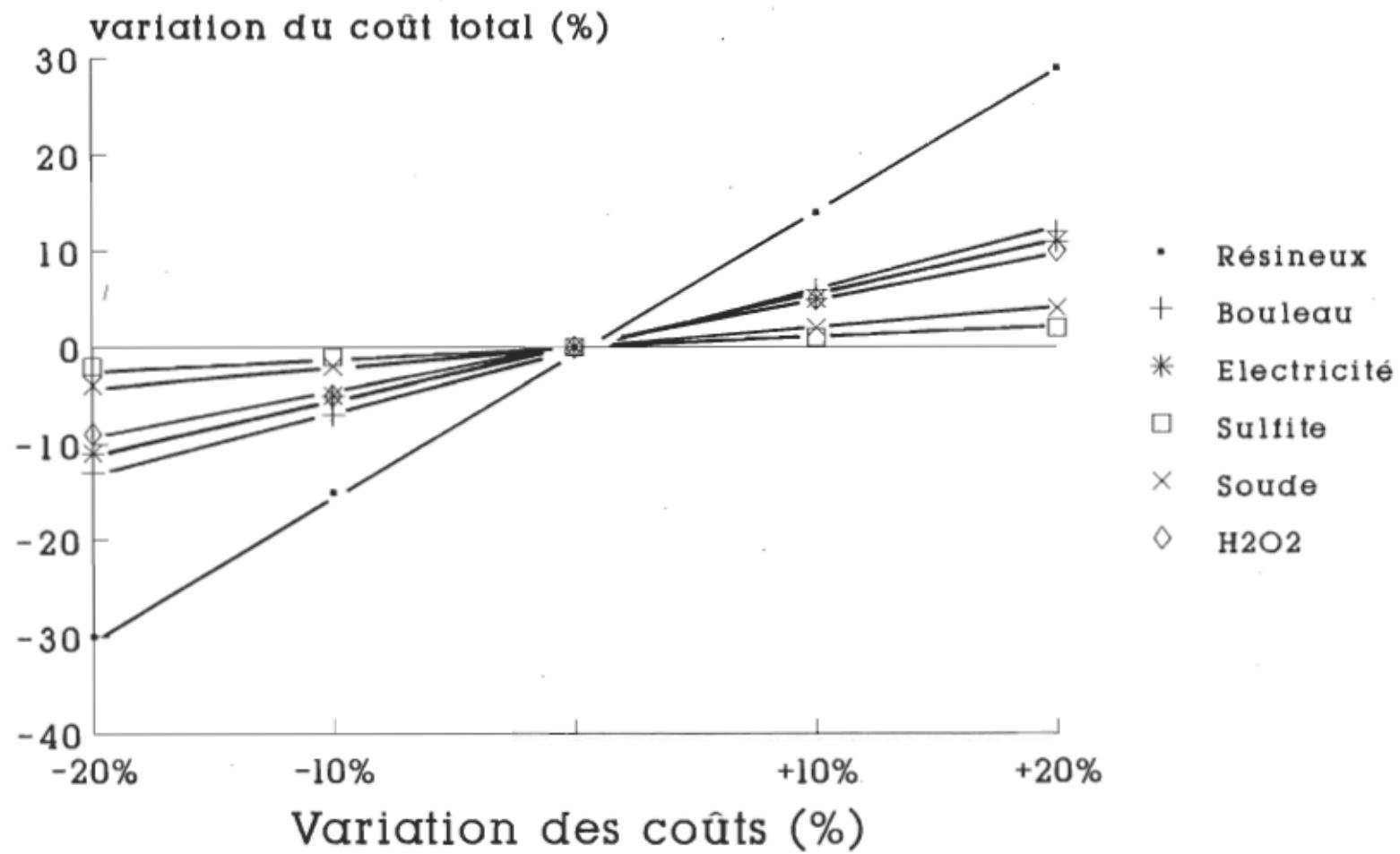


figure 59

4.3.6. Intégration des pâtes CTMP dans un mélange expérimental de papier journal

Un des mélanges des plus couramment utilisé est celui qui consiste d'une pâte chimique et d'une pâte mécanique. Ce type de mélange produit, généralement, des propriétés qui dévient de la linéarité. Cependant, avec un contenu jusqu'à 30% de pâte chimique, les propriétés du mélange peuvent être approximées par une fonction linéaire du contenu en pâte chimique. Les propriétés du mélange sont, donc, mathématiquement équivalent à une fonction additive des pâtes en utilisant un coefficient pour la pâte chimique.

$$P_{\text{mél}} = X_1 P_1 + X_2 P_2 + \dots + X_n P_n + A_c X_c P_c \quad (33)$$

où: 1,2 ... représentent les pâtes mécaniques

X = les proportions en poids de la pâte

P = la propriété

A = coefficient

Brecht (33) a étudié l'aspect des pâtes chimiques et mécaniques en mélange. En ce qui concerne l'influence de la pâte chimique sur le mélange, cet auteur suggère que les propriétés du mélange (pâtes mécanique et chimique) est non-

linéaire. Cependant, avec un contenu de pâte chimique inférieur à 30%, il affirme que les propriétés peuvent être approximées par la proportion de pâte chimique dans le mélange. Avec des pâtes relativement semblables dans leurs propriétés, il en conclut que les propriétés du mélange sont approximativement additives. Par contre, les pâtes qui ont des propriétés très différentes l'une de l'autre produisent des propriétés en mélange qui ne sont pas additives.

Cette approche de Brecht (33), qui permet l'additivité des propriétés, simplifie le travail pour prédire les propriétés des mélanges. On doit souligner, par contre, que cette méthode est approximative.

Nous avons effectué un mélange théorique des pâtes CTMP avec une pâte kraft semi blanchie (SBK) et une pâte de meule (SGW). Pour ce faire, nous avons étudié statistiquement le comportement d'une pâte CTMP lorsqu'elle était mélangée avec une pâte kraft et une pâte de meule (16). Pour chaque propriété, nous avons évalué l'influence de chaque type de pâte sur l'effet global de la dite propriété. A partir de ces données, on est en mesure de quantifier l'influence de chaque type de pâte sur toute les propriétés par un coefficient. Par la suite, il s'agit de remplacer la pâte CTMP originale, par

les pâtes CTMP que nous avons produits, et d'évaluer les nouvelles propriétés sur le mélange expérimental de papier journal.

Voici les propriétés de chaque type de pâte (16):

	SBK	SGW	CTMP1
Indice d'égouttage (ml)	620	51	80
Blancheur (Elrepho, %)	66	56	45
Opacité (%)	80	98	96
Volume spécifique (cm ³ /g)	1,59	2,49	1,89
Indice d'éclatement (kPa·m ² /g)	6,32	1,69	3,30
Indice de déchirure (mN·m ² /g)	10,4	4,3	7,5
Longueur de rupture (km)	8,8	3,8	5,3

A partir des propriétés de chaque pâte, nous avons calculé des coefficients correspondants. Les coefficients statistiques que nous avons appliqués sur les nouvelles pâtes doivent être considérés avec prudence. Voici les coefficients que nous avons déterminés pour chaque pâte;

Blancheur: ($R^2 = 0,9999$)

$$X \cdot P_{SBK} \cdot (0,8361) + X \cdot P_{SGW} \cdot (0,9984) + X \cdot P_{CTMP} \cdot (1,0771) = \text{Blancheur}$$

Opacité: ($R^2 = 1,000$)

$$X \cdot P_{SAK} \cdot (1,1904) + X \cdot P_{SGW} \cdot (1,0108) + X \cdot P_{CTMP} \cdot (0,999) = \text{Opacité}$$

Volume spécifique: ($R^2 = 0,9994$)

$$X \cdot P_{SAK} \cdot (1,1844) + X \cdot P_{SGW} \cdot (1,0076) + X \cdot P_{CTMP} \cdot (0,9193) = \text{Volume Spécifique}$$

Indice d'éclatement: ($R^2 = 0,9995$)

$$X \cdot P_{SGW} \cdot (0,8800) + X \cdot P_{SGW} \cdot (0,9743) + X \cdot P_{CTMP} \cdot (1,0218) = \text{Indice d'éclatement}$$

Indice de déchirure: ($R^2 = 0,9981$)

$$X \cdot P_{SAK} \cdot (1,5955) + X \cdot P_{SGW} \cdot (1,0273) + X \cdot P_{CTMP} \cdot (0,9907) = \text{Indice de déchirure}$$

Longueur de rupture: ($R^2 = 0,9988$)

$$X \cdot P_{SAK} \cdot (0,9049) + X \cdot P_{SGW} \cdot (0,9883) + X \cdot P_{CTMP} \cdot (1,1416) = \text{Longueur de rupture}$$

Le tableau 17 représente les valeurs expérimentales qui ont été effectuées avec une pâte CTMP composée à 50% de bouleau et 50% de tremble et qui a été mélangée avec de la pâte kraft semi blanchie et de la pâte de meule (16).

	COMPOSITION (%)																			
SBK	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	15	15	
SGW	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	85	80	70	60	50	85	80	70	60	50
CTMP-1	10	20	30	40	50	5	15	25	35	45	5	10	20	30	40	0	5	15	25	35
BLANCHEUR (%)	54,5	54,5	53,7	52,9	51,7	56,1	54,9	54,3	53,5	52,5	54,9	55,5	54,7	54,0	53,1	56,4	54,9	53,8	53,7	53,3
OPACITE (%)	98,9	98,4	98,1	97,9	97,4	98,8	98,2	98,2	97,8	97,4	98,5	98,1	98,2	97,9	97,2	98,3	98,2	98,5	97,8	97,2
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,43	2,37	2,28	2,20	2,17	2,44	2,34	2,25	2,23	2,13	2,37	2,35	2,27	2,18	2,13	2,61	2,29	2,27	2,19	2,19
ECLATEMENT (kPa m ² /g)	1,89	2,01	2,16	2,34	2,48	1,88	2,12	2,17	2,52	2,62	2,16	2,20	2,34	2,47	2,77	2,17	2,36	2,53	2,71	2,84
DECHIRURE (mN m ² /g)	4,73	4,73	5,20	6,03	5,50	5,23	5,33	5,87	6,23	6,85	6,02	6,11	6,31	6,57	6,35	6,01	6,45	6,40	7,28	7,27
RUPTURE (km)	4,18	4,38	4,45	4,71	4,90	3,58	4,38	4,51	4,64	4,94	4,40	4,44	4,58	4,75	5,22	4,40	4,64	4,78	4,80	5,30

Tableau 17: LES PROPRIETES PAPETIERES D'UN MELANGE EXPERIMENTAL (16)

Les tableaux 18 à 21 représentent les valeurs calculées à partir des coefficients de chaque type de pâte et de chaque propriété pour les procédés CTMP-A, CTMP-B, CTMP-C et CTMP-D. Le blanchiment sur les pâtes CTMP-C et CTMP-D n'a pas été considéré dans le calcul des coefficients; le coût total de ces procédés a été modifié en conséquence.

La détermination des propriétés de pâtes obtenues, à partir de mélange, a pour but d'évaluer la possibilité de remplacer, en partie ou en totalité, la pâte kraft semi blanchie par la pâte CTMP dans la fabrication du papier journal. Généralement, un papier journal conventionnel est composé à 85% de pâte de meule (SGW) et de 15% de pâte kraft semi blanchie (SBK). Une des propriétés déterminante dans la fabrication d'un papier journal est la longueur de rupture.

Au tableau 17, on constate, avec le mélange 15% SBK + 85% SGW, que la longueur de rupture est de 4,40 km. Comme base de comparaison, considérons qu'une valeur de 4,40 km sur la longueur de rupture est la valeur minimale à atteindre.

Au tableau 18, on constate que la valeur minimale de 4,40 km ne peut être atteinte si on remplace la pâte kraft semi blanchie par du CTMP-A.

	COMPOSITION (%)																			
SBK	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
SGW	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	85	80	70	60	50	85	80	70	60	50
CTMP-A	10	20	30	40	50	5	15	25	35	45	5	10	20	30	40	0	5	15	25	35
BLANCHEUR (%)	56,9	58,0	59,0	60,0	61,1	56,4	57,4	58,5	59,5	60,5	56,4	56,9	57,9	58,9	60,0	55,8	56,3	57,4	58,4	59,4
OPACITE (%)	98,3	97,6	96,9	96,1	95,4	98,5	97,8	97,0	96,3	95,6	98,3	97,9	97,2	96,5	95,7	98,5	98,1	97,4	96,7	95,9
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,56	2,61	2,66	2,70	2,75	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,47	2,50	2,54	2,59	2,64	2,42	2,44	2,49	2,54	2,59
ECLATEMENT (kPa m ² /g)	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,87	1,92	1,97	2,02	2,07	2,06	2,09	2,14	2,19	2,24	2,23	2,26	2,31	2,36	2,41
DECHIRURE (mN m ² /g)	5,14	5,87	6,59	7,32	8,04	5,39	6,11	6,84	7,56	8,29	6,00	6,36	7,09	7,81	8,54	6,24	6,61	7,33	8,06	8,78
RUPTURE (km)	3,79	3,82	3,86	3,89	3,93	3,98	4,02	4,05	4,09	4,12	4,19	4,21	4,24	4,28	4,31	4,39	4,40	4,44	4,47	4,51

Tableau 18: LES PROPRIETES PAPETIERES D'UN MELANGE EXPERIMENTAL AVEC LE CTMP-A

	COMPOSITION (%)																			
SBK	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
SGW	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	85	80	70	60	50	85	80	70	60	50
CTMP-B	10	20	30	40	50	5	15	25	35	45	5	10	20	30	40	0	5	15	25	35
BLANCHEUR (%)	57,0	58,1	59,2	60,3	61,4	56,4	57,5	58,6	59,7	60,8	56,4	56,9	58,0	59,1	60,2	55,8	56,4	57,5	58,5	59,6
OPACITE (%)	98,2	97,4	96,5	95,7	94,8	98,4	97,6	96,8	95,9	95,1	98,3	97,8	97,0	96,1	95,3	98,5	98,1	97,2	96,4	95,5
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,56	2,62	2,67	2,73	2,79	2,51	2,56	2,62	2,67	2,73	2,47	2,50	2,56	2,61	2,67	2,42	2,44	2,50	2,55	2,61
ECLATEMENT (kPa m ² /g)	1,73	1,81	1,89	1,97	2,05	1,88	1,96	2,04	2,12	2,20	2,08	2,12	2,20	2,28	2,36	2,23	2,27	2,35	2,44	2,52
DECHIRURE (mN m ² /g)	5,14	5,87	6,59	7,32	8,04	5,39	6,11	6,84	7,56	8,29	6,00	6,36	7,09	7,81	8,54	6,24	6,61	7,33	8,06	8,78
RUPTURE (km)	3,86	3,96	4,07	4,17	4,28	4,02	4,12	4,23	4,33	4,43	4,23	4,28	4,38	4,49	4,59	4,39	4,44	4,54	4,65	4,75

Tableau 19: LES PROPRIETES PAPETIERES D'UN MELANGE EXPERIMENTAL AVEC LE CTMP-B

	COMPOSITION (%)																			
SBK	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
SGW	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	85	80	70	60	50	85	80	70	60	50
CTMP-C	10	20	30	40	50	5	15	25	35	45	5	10	20	30	40	0	5	15	25	35
BLANCHEUR (%)	55,3	54,6	54,0	53,4	52,7	55,6	54,9	54,3	53,7	53,0	55,5	55,2	54,6	53,9	53,3	55,8	55,5	54,9	54,2	53,6
OPACITE (%)	98,5	98,0	97,5	97,0	96,4	98,6	98,1	97,6	97,0	96,5	98,4	98,2	97,6	97,1	96,6	98,5	98,2	97,7	97,2	96,7
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,53	2,55	2,58	2,60	2,62	2,49	2,51	2,53	2,56	2,58	2,46	2,47	2,49	2,51	2,53	2,42	2,43	2,45	2,47	2,49
ECLATEMENT (kPa m ² /g)	1,73	1,82	1,90	1,99	2,07	1,88	1,97	2,05	2,14	2,22	2,08	2,12	2,21	2,29	2,38	2,23	2,28	2,36	2,45	2,53
DECHIRURE (mN m ² /g)	5,05	5,68	6,32	6,95	7,58	5,34	5,98	6,61	7,24	7,88	5,95	6,27	6,90	7,53	8,17	6,24	6,56	7,19	7,83	8,46
RUPTURE (km)	3,84	3,93	4,01	4,10	4,18	4,01	4,09	4,18	4,27	4,35	4,22	4,26	4,35	4,43	4,52	4,39	4,43	4,52	4,60	4,69

Tableau 20: LES PROPRIETES PAPETIERES D'UN MELANGE EXPERIMENTAL AVEC LE CTMP-C

	COMPOSITION (%)																			
SBK	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
SGW	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	85	80	70	60	50	85	80	70	60	50
CTMP-D	10	20	30	40	50	5	15	25	35	45	5	10	20	30	40	0	5	15	25	35
BLANCHEUR (%)	54,0	52,0	50,0	48,1	46,1	54,9	52,9	51,0	49,0	47,1	54,9	53,9	51,9	50,0	48,0	55,8	54,8	52,9	50,9	48,9
OPACITE (%)	98,6	98,2	97,8	97,4	97,0	98,7	98,2	97,8	97,4	97,0	98,5	98,3	97,9	97,4	97,0	98,5	98,3	97,9	97,5	97,0
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,45	2,39	2,33	2,27	2,22	2,45	2,39	2,33	2,27	2,21	2,42	2,39	2,33	2,27	2,21	2,42	2,39	2,33	2,27	2,21
ECLATEMENT (kPa m ² /g)	1,93	2,21	2,49	2,77	3,05	1,98	2,26	2,54	2,83	3,11	2,18	2,32	2,60	2,88	3,16	2,23	2,37	2,66	2,94	3,22
DECHIRURE (mN m ² /g)	4,90	5,38	5,86	6,34	6,83	5,27	5,75	6,23	6,71	7,19	5,88	6,12	6,60	7,08	7,56	6,24	6,48	6,97	7,45	7,93
RUPTURE (km)	4,16	4,56	4,97	5,37	5,78	4,17	4,57	4,98	5,38	5,78	4,38	4,58	4,98	5,39	5,79	4,39	4,59	4,99	5,40	5,80

Tableau 21: LES PROPRIETES PAPETIERES D'UN MELANGE EXPERIMENTAL AVEC LE CTMP-D

Cependant, au tableau 19, on constate qu'on peut diminuer le pourcentage de SBK à 5% avec 45% de CTMP-B et 50% de SGW. La longueur de rupture minimale est atteinte avec 4,43 km. Les propriétés de déchirure, d'éclatement et de blancheur sont supérieures au mélange conventionnel. On note une légère diminution sur le volume spécifique et une diminution plus importante sur l'opacité.

Au tableau 20, on constate qu'une diminution de la pâte SBK de 15% à 5% peut également être employée sans diminuer la longueur de rupture. En effet, une composition de 5% de SBK avec 45% de CTMP-C et 50% de SGW, nous donne une longueur de rupture de 4,35 km. Les propriétés de l'indice de déchirure, d'éclatement ainsi que le volume spécifique ont été améliorées avec ce mélange. Pendant ce temps, on enregistre une diminution des propriétés optiques comme la blancheur et l'opacité.

Au tableau 21, une composition de 20% de CTMP-D et 80% de SGW, nous donne une longueur de rupture de 4,56 km. Toutes les autres propriétés ont été améliorées, à l'exception de la blancheur qui présente une diminution de 4 points.

Au tableau 22, on présente les coûts des procédés, avec un mélange théorique, afin d'obtenir une longueur de rupture d'environ 4,40 km. On constate que le mélange de référence composé de 15% de SBK + 85% de SGW coûte environ \$360,00/tonne pour la matière première (fabrication de la pâte SGW et achat de la pâte SBK)(35).

Avec le procédé CTMP-A, la valeur de 4,40 km sur la longueur de rupture ne peut être atteinte en diminuant le pourcentage de la pâte SBK.

Le mélange composé de 5% de SBK, 50% de SGW et 45% de CTMP-B, quant à lui, produit une longueur de rupture de 4,43 km (les autres propriétés sont semblables au mélange de référence); le coût du procédé diminue de 10%.

Le mélange composé de 5% de SBK, 50% de SGW et 45% de CTMP-C produit des résultats similaires, à l'exception de la blancheur qui a diminuée d'environ 6%; le coût du procédé diminue de 14%.

Avec un mélange composé de 80% de SGW et 20% de CTMP-D, on substitue totalement la pâte SBK par de la pâte CTMP. Les valeurs de la longueur de rupture, de l'indice d'éclatement et

	SBK 15		-		5		5		0	
	SGW 85		-		50		50		80	
	CTMP 0		-	A	45	B	45	C	20	D
BLANCHEUR (%)	56,4	1,0	-	-	60,8	1,08	53,0	0,94	52,0	0,92
OPACITE (%)	98,3	1,0	-	-	95,1	0,97	96,5	0,98	98,2	1,00
VOLUME SPECIFIQUE (cm ³ /g)	2,61	1,0	-	-	2,73	1,05	2,58	0,99	2,39	0,92
ECLATEMENT (kPa m ² /g)	2,17	1,0	-	-	2,20	1,01	2,22	1,02	2,21	1,01
DECHIRURE (mN m ² /g)	6,01	1,0	-	-	8,29	1,38	7,88	1,31	5,38	0,90
RUPTURE (km)	4,40	1,0	-	-	4,43	1,00	4,35	0,99	4,56	1,04
TOTAL (\$/T)	360	(1,0)	N.A.		323	(0,90)	308	(0,86)	279	(0,78)

Tableau 22: COUT DES PROCEDES AVEC LONGUEUR DE RUPTURE CONSTANTE

de l'opacité sont semblables au mélange de référence. Cependant, les valeurs de la blancheur, du volume spécifique et de la déchirure ont diminué d'environ 10%. Le coût d'un tel mélange diminue d'environ 22% le coût du mélange de référence.

CHAPITRE V

CONCLUSION

Suite aux résultats de la présente étude, on démontre qu'il existe des avantages à l'intégration des essences feuillues avec des résineux lors de la mise en pâte de raffineur. Habituellement, l'utilisation du bouleau diminue la consommation d'énergie du raffinage lors de la mise en pâte TMP et CTMP avec du sulfite et de la soude. Par contre, pour le CTMP-A et le CTMP-B qui n'emploient que du sulfite de sodium, la consommation d'énergie du raffinage est augmentée. La soude est l'agent chimique influençant le plus la consommation d'énergie de raffinage.

Les propriétés papetières des différents mélanges produites par les traitements CTMP-A et le CTMP-B sont comparables à celles du procédé TMP. Cependant, on obtient une meilleure souplesse, une meilleure flexibilité des fibres et une meilleure blancheur lorsqu'on utilise le sulfite de sodium. Par contre, les traitements CTMP-C et CTMP-D montrent des améliorations importantes sur les propriétés papetières, comme la longueur de rupture, l'indice d'éclatement et la densité des

feuilles. Par contre, la soude utilisée lors de ces traitements diminue la blancheur initiale des pâtes.

Les effets synergiques sont présents dans les mélanges uniquement quand il y a un prétraitement chimique sur les copeaux. De plus, les effets synergiques semblent se créer seulement sur certaines propriétés papetières qui font intervenir des liaisons interfibres dominantes telles la longueur de rupture et l'indice d'éclatement alors que, sur l'indice de déchirure l'effet synergique est inexistant.

Suite à la comparaison des pâtes produites par les copeaux mélangés avant le raffinage et les pâtes pures mélangées après raffinage, il est permis de croire que les effets synergiques sont produits, uniquement, lors du raffinage dont le mélange contient différentes essences. Une action de raclage entre les fibres de différentes essences peut être à l'origine de ces phénomènes synergiques ce qui prouve la dépendance des essences pendant le raffinage avec un traitement chimique sur les fibres.

Une étude économique nous a permis de constater que les coûts des traitements CTMP-A et CTMP-B ne se différencient guère d'avec le procédé TMP. Par contre, ces procédés chimico-

thermomécaniques ont vu leurs propriétés papetières et leurs blancheurs s'accroîtrent même avec faible pourcentage de bouleau. Cependant, les traitements CTMP-C et CTMP-D qui utilisent du sulfite de sodium et de la soude comme prétraitements chimique deviennent plus dispendieux par rapport au procédé TMP.

Ces procédés ont connu une amélioration accrue de leurs propriétés papetières mais l'utilisation de la soude a réduit considérablement la blancheur de ces pâtes.

On constate, également, que les pâtes produisant des effets synergiques peuvent potentiellement remplacer, en partie ou en totalité, la pâte kraft semi blanchie dans une composition de papier journal tout en diminuant le coût. Il faut souligner, cependant, que le remplacement total ou partiel de la pâte chimique par les pâtes produisant des effets synergiques est basé sur une hypothèse. Cette hypothèse induit une relation d'additivité entre les propriétés des pâtes et les propriétés du mélange. De plus, cette approche, qui permet l'additivité des propriétés, simplifie les calculs. Les résultats, découlant de cette hypothèse, sont approximatifs. De plus, nous avons considéré uniquement la longueur de rupture comme critère de qualité des pâtes pour suggérer un remplacement

total ou partiel de la pâte kraft semi blanchie par la pâte CTMP de bouleau. D'autres critères de qualité des pâtes devraient également être considérés comme le drainage des pâtes, l'indice de déchirure, l'indice de productivité, etc. Des recherches ultérieures sur l'intégration du bouleau dans un mélange commercial de résineux, devraient prévoir l'utilisation d'un prétraitemen chimique avec un faible pourcentage de soude (environ 1%) et un niveau plus important de sulfite de sodium (environ 4%). L'utilisation de la soude, même avec une faible concentration, serait bénéfique sur les fibres du bouleau et la blancheur de la pâte serait acceptable. Un niveau important de sulfite protègerait davantage la blancheur de la pâte. L'évaluation de la surface spécifique des fibres par de nouvelles méthodes devrait également faire partie d'une étude plus approfondie. De plus, des recherches ultérieures devraient prévoir une évaluation plus précise des coûts impliqués dans la partie économique i.e. mesure effective de rendement, essais en laboratoire de blanchiment, etc.

REFERENCES

1. Hosie,R.C., "Arbres indigènes du Canada", Edition Fides, pp.160, Montréal, 1980
2. Anonyme, "Ressource et industries forestières portrait statistique 1988", Ministère de l'énergie et des ressources, Gouvernement du Québec, 1989
3. Koran,Z., "Different processes can be used to enhance hardwood pulping quality", Pulp and Paper Canada, vol. 90, no.2, pp.18,20 , 1989
4. Panshin,A.J., DeZeeuw,C., "Texbook of wood technology", McGraw-hill series, 4^e édition, pp.127-160, 1980
5. Jackson,M., "Chemical pretreatment of chips in mechanical pulp production", Pulp and Paper Canada, pp.114-118, 1981
6. Jackson,M., "High yield pulps from North American wood species", Nordic Pulp Paper Res. J., Special Issue: pp.40-45, 1988

7. Pearson,A.J., "Towards a unified theory of mechanical pulping and refining", Proceedings of Intl. Mech. Pulping Conf., Washington, pp.131-138, 1983
8. Atack,D., May,W.D., "Mechanical reduction of chips by double disk refiner", Pulp and Paper Mag. Can., vol.64, no.7, pp.T75-83, 1963
9. Lemay,Y., "Les pâtes à très haut rendement avec traitement chimique", ACPPP (section technique) Pâtes mécaniques et chimico-mécaniques, Rédacteur Garceau,J.J., pp.140-154, 1989
10. Katz,S., Liebergott,N., Scallan,A.M., "A mechanism for the alkali strengthening of mechanical pulps", TAPPI Journal, vol.64, no.7, pp.97-100, 1981
11. Beath,L.R., Mihelich,W.G., "Refiner mechanical pulping of chemically pretreated wood", TAPPI Journal, vol.60, no.12, pp.77-81, 1977
12. Atack,D., Heitner,C., "Ultra-high yield pulping of sulphonated softwood chips", TREND (PPRIC), no.30, pp.4-8, 1980

13. Law,K.N., Marchildon,L., Valade,J.L., "Pâtes chimico-thermomécaniques-production à partir de bouleau blanc", Revue A.T.I.P., vol.38, no.9, pp.497-504, 1984
14. Laliberté,D., Shallhorn,P.M., Karnis,A., "Comparison of TMP and CTMP properties from spruce and pine sawmill chips", Pulp and Paper Canda, vol.88, no.3, pp.T71-77, 1987
15. Axelson,P., Simonson,R., "Thermomechanical pulping with low addition of sulphite-part 3", Svensk Papperstidning, vol.86, no.3, R17-21, 1983
16. Law,K.N., Lapointe,M., Valade,J.L., "Chemithermomechanical pulping of mixed hardwoods", TAPPI Journal, vol.69, no.7, pp.80-87, 1986
17. Miller,M.L., Shankar,V., Peterson,R.C., "CTMP from mixed high density hardwoods", Proceedings of TAPPI Puplping Conference, pp.295-299, 1988
18. Nault,G., Lo,S.N., Valade,J.L., "Very high-yield sulphite pulp from a mixture of aspen and birch", Journal of Pulp and Paper Science, vol.9, no.2, pp.TR55-60, 1983

19. Hatton,J.V., Johal,S.S., "Chemimechanical pulps from hardwood/softwood chip mixtures", Pulp and Paper Canada, vol.90, no.3, T91-98, 1989
20. Wang,P.H., McKimmy,M.D., "The effects of pulping mixed species on paper properties", TAPPI Journal, vol.60, no.7, pp.140-143, 1977
21. Wilson,G.G., Johnston,D.W., "Sulphite processing and papermaking experiences with hardwood-softwood mixtures", Pulp and Paper Canada, vol.86, no.4, pp.T103-106, 1985
22. Mondor,D., "Mise en pâte chimico-mécanique du mélèze laricin", Thèse de Maîtrise au Centre de Recherche en Pâtes et Papiers, U.Q.T.R., 1989
23. Jackson,M., Falk,B., Akerlund,G., "High-yield pulp from North American aspen (*Populus Tremuloides*)", TAPPI J., vol.68, no.11, pp.62-66, 1985
24. Hunt,K., Hatton,J.V., "Increased pulp production by use of hardwoods in softwood kraft mills", Pulp and Paper Canada, vol.77, no.12, pp.T271-274, 1976

25. Giertz,H.W., "Chemimechanical pulping of hardwoods", AITIPE Symp. Utiliz. New Forest Ressources (Madrid): pp.143-280, 1974
26. Dinwoodie,J.M., "The relationship between fiber morphology and paper properties: a review of literature", TAPPI, vol. 48, no.8, pp.440-447, 1965
27. Heitner,C., Beatson,R.P., Atack,D., "Ultra-high yield pulping. part V. High compression impregnation of softwood chips with sodium sulphite- a method of producing CMP with high wet and dry strength", Proceedings of Intl. Mech. Pulping Conf., Stockholm, Sweden, pp.101-108, May 6-19, 1985
28. Fengel,D., Wegener,G., "Wood - Chemistry, Ultrastructure, Reactions", Ed. Walter de Gruyter, pp.56, New-York, 1984
29. Leask,R.A., "Pulp and Paper Manufacture - Volume 2 Mechanical Pulping", Third edition, pp.87-91, 1987
30. Atack,D., Stationwala,M.I., Karnis,A., "What happens in refining", Pulp and Paper Canada, vol. 85, no. 12, pp.t303-308, 1984

31. Beatson,R.P., Heitner,C., Atack,D., "Sulfonation of eastern black spruce - Part II", Can. Wood Chem. Symp., Niagara Falls, Ont., Sept.13-15, pp.93-99, 1982
32. Shallhorn,P., Karnis,A., "Tear and tensile strength of mechanical pulps", Proceedings of Intl. Mech. Pulping Conf., Toronto, pp.25-36, 1979
33. Brecht,W., "The mixing of different pulps and its effect on the physical properties of paper", Svensk Papperstidning, vol.66, no.5, pp.159-167, 1963 (traduction)
34. Harris,M., Jan,R., Michie,C., Ionides,G., "Market bleached CTMP: interregional comparison of manufacturing costs and future prospects", Temanex Consulting Inc., Vancouver, 1990
35. Sources industrielles