

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	XIII
Chapitre 1 — HISTORIQUE DE LA PÂTE MÉCANIQUE	1
1.1 Origine de la pâte mécanique	1
1.2 Perfectionnement de la pâte mécanique de défibreur (PMD)	3
1.2.1 Naissance de l'industrie	3
- Défibreurs	4
- Meules	6
- Production	6
1.2.2 Évolution jusqu'à nos jours	6
1.3 Évolution des pâtes mécaniques de raffineur	7
1.3.1 Pâte mécanique de raffineur (PMR)	7
- Mise au point	7
- Perfectionnement	9
- Implantation	9
1.3.2 Pâte thermomécanique (PTM)	10
- Mise au point	10
- Perfectionnement	11
- Implantation	11
1.4 Importance de la pâte mécanique	12
Chapitre 2 — BOIS À PÂTE	15
2.1 Caractéristiques importantes du bois	16
2.1.1 Caractéristiques chimiques	16
- Cellulose	17
- Hémicelluloses	17
- Lignine	17
- Matières extractibles	18
- Holocellulose	18
2.1.2 Caractéristiques structurales	18
- Écorce interne	18
- Cambium	18
- Aubier	18
- Bois de coeur et moelle	19
2.1.2.1 Croissance de l'arbre	19
2.1.2.2 Fibre cellulosique	20
2.1.2.3 Structure fine du bois	21

2.1.3	Caractéristiques physiques	23
2.1.3.1	Teneur en eau	23
2.1.3.2	Densité relative du bois	26
2.1.3.3	Puissance calorifique	28
2.2	Principes de réduction du bois en pâte	28
2.2.1	Principe mécanique	28
2.2.2	Principe chimique	30
2.3	Mesure du rendement	31
2.4	Utilisation effective de l'arbre	31
2.5	Résumé	32
2.6	Questions	33
2.7	Problèmes	33
Chapitre 3 — PRÉPARATION DU BOIS À PÂTE		35
3.1	Généralités	35
3.2	Sources d'approvisionnement en bois	36
3.2.1	Utilisation optimale du bois	38
3.3	Récolte du bois	38
3.3.1	Systèmes d'exploitation forestière	39
3.4	Transport du bois	42
3.4.1	Transport des billes	43
3.4.2	Transport des copeaux	43
3.5	Production de copeaux	45
3.5.1	Historique	45
3.5.2	Réduction en copeaux	45
	- Taille des copeaux	46
3.5.2.1	Coupeuse à disque	47
	- Qualité des copeaux	50
3.5.2.2	Coupeuse à tambour	51
3.5.2.3	Coupeuse équarrisseuse	52
3.5.3	Perspectives	54
3.5.4	Classage des copeaux	54
	- Types de classeur	55
	- Variables du procédé	57
	- Évacuation des refus	58
	- Rendement du procédé	59
3.5.5	Nettoyage des copeaux	59
	- Méthodes de nettoyage	60
	- Copeaux d'arbres entiers	61

3.6	Réception du bois à pâte à l'usine	62
3.6.1	Fonctions du parc à bois	62
-	Préparation du bois	64
3.6.2	Réception des billes	65
3.6.3	Réception des copeaux	68
3.7	Mesurage du bois	73
3.8	Écorçage des billes	75
3.8.1	Généralités	75
3.8.2	Principes et équipements	76
3.8.2.1	Écorçage par frottement	77
3.8.2.2	Écorçage hydraulique	78
3.8.2.3	Écorçage mécanique	79
3.8.3	Perfectionnements	80
3.9	Stockage du bois	82
3.9.1	Stockage des billes	82
-	Capacité de stockage	82
-	Durée de stockage	84
3.9.2	Stockage des copeaux	84
-	Reprise des copeaux	85
-	Silos à copeaux	86
3.9.3	Effets du stockage sur le bois	86
3.10	Contrôle de la qualité du bois	88
3.10.1	Contrôle de la qualité des billes	88
3.10.2	Contrôle de la qualité des copeaux	88
-	Classage en laboratoire	90
-	Échantillonnage	91
-	Essais	92
3.11	Résumé	93
3.12	Questions	94
3.13	Problèmes	94
Chapitre 4 — PÂTE MÉCANIQUE DE DÉFIBREUR		97
4.1	Principe du défibrage	97
4.2	Procédé FMD	99
4.3	Défibreur	101
4.3.1	Défibreur en discontinu	101
4.3.1.1	Défibreur à presses	102
-	Défibreur à presses à caissons hauts	103
-	Défibreur à presses à caissons bas	104
-	Caractéristiques communes	105

4.3.2	Défibreur en continu	106
	- Défibreur à chaînes	106
	- Défibreur à bras hydrauliques	107
	- Tambour défibreur	109
4.3.3	Utilisation	110
4.4	Meule	110
4.4.1	Construction	110
4.4.2	Identification	113
4.4.3	Rhabillage	115
	- Types de molette	116
4.4.4	Brossage	118
4.4.5	Rinceurs	118
4.4.6	Immersion	120
4.5	Variables importantes du défibrage	120
4.5.1	Surface de la meule	121
	- Dureté de la meule	121
	- État des grains	122
	- Effets sur la pâte	122
4.5.2	Vitesse de la meule	124
4.5.3	Pression de défibrage	124
4.5.4	Charge électrique du défibreur	126
	4.5.4.1 Régulateur de charge	126
4.5.5	Énergie spécifique consommée	128
4.5.6	Production de défibrage	129
4.5.7	Température de défibrage	129
4.5.8	Concentration de défibrage	131
4.5.9	Caractéristiques du bois	131
	- Essence	131
	- Teneur en eau	132
	- Densité	133
4.6	Chargement automatique des défibreurs	133
4.7	Contrôle de la qualité de la PMD	135
4.7.1	Régulation	135
	4.7.1.1 Boucle de régulation	135
4.7.2	Propriétés de la pâte	137
4.7.3	Synthèse	138
4.8	Caractéristiques de la PMD	139
4.9	Perfectionnements du procédé PMD	141
	4.9.1 Pâte mécanique de défibreur sous pression	142
	4.9.2 Pâte mécanique de défibreur de copeaux	144

4.10	Résumé	145
4.11	Questions	147
4.12	Problèmes	147
Chapitre 5 — PÂTES MÉCANIQUES DE RAFFINEUR		149
5.1	Principe du raffinage	149
5.1.1	Raffinage atmosphérique	150
5.1.2	Raffinage sous pression	151
	- Étuvage	151
	- Raffinage	151
5.1.3	Latence des fibres	152
5.2	Raffineur à disques	153
5.2.1	Types de raffineur	154
	- Vitesse périphérique	157
	- Poussée axiale	157
5.2.2	Installations de raffinage	158
	- Nettoyage des copeaux	159
	- Alimentation des raffineurs	160
5.3	Procédé FMR	160
5.4	Procédé PTM	161
5.4.1	Principaux équipements	161
5.4.2	Variantes du procédé PTM classique	164
5.5	Variables importantes du raffinage	169
5.5.1	Température de raffinage	169
	- Procédé FMR	169
	- Procédé Defibrator	169
	- Procédé PTM	172
5.5.2	Concentration de raffinage	173
5.5.3	Énergie spécifique consommée	174
5.5.4	Plaques de raffinage	175
	- Fonction des lames	175
	- Motif	176
	- Usure	176
	- Composition métallurgique	177
5.6	Récupération de la vapeur	177
5.7	Contrôle de la qualité des pâtes mécaniques de raffineur	178
5.8	Caractéristiques des pâtes mécaniques de raffineur	179
5.8.1	Pâte thermomécanique	180
5.9	Perfectionnements des pâtes mécaniques de raffineur	180

5.10	Effets des procédés de fabrication de pâte sur l'environnement	181
5.11	Résumé	183
5.12	Questions	184
Chapitre 6 — TRAITEMENTS SECONDAIRES DE LA PÂTE.....		187
6.1	Généralités	188
6.2	Classage	191
6.2.1	Classeur	193
6.2.1.1	Classeur vibrant	193
6.2.1.2	Classeur centrifuge par gravité.....	194
6.2.1.3	Classeur sous pression.....	195
6.2.1.4	Organe de nettoyage du tamis	199
6.2.2	Rendement	200
6.3	Épuration.....	202
6.3.1	Épurateur tourbillonnaire	203
6.3.2	Rendement	204
6.4	Épaississage	206
6.4.1	Épaississeur.....	206
6.5	Raffinage des refus	208
6.6	Types d'installation	212
6.7	Résumé	213
6.8	Questions.....	216
Chapitre 7 — UTILISATION DES PÂTES MÉCANIQUES.....		217
7.1	Pâte mécanique de défibreur.....	217
7.2	Pâte thermomécanique	218
GLOSSAIRE		223
BIBLIOGRAPHIE		235
INDEX		237

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Chapitre 1

Figures

1.1	Le tisserand allemand Friedrich Gottlob Kellier (1816-1895) et son défibreur manuel.....	2
1.2	Défibreur à vis industriel Voelter (1867).....	4
1.3	Superdéfibreur Voith (1904).....	5
1.4	Raffineur à disques Sutherland (1928).....	8

Tableaux

1.1	Implantation des procédés de pâte mécanique de raffineur (PMR et PTM) au Québec.....	11
1.2	Production québécoise de pâtes et papiers en 1989.....	13

Chapitre 2

Figures

2.1	Coupe transversale de fibres de bois résineux.....	17
2.2	Structure macroscopique du bois.....	18
2.3	Coupe transversale montrant les cernes annuels d'un résineux (épinette blanche).....	20
2.4	Coupe transversale montrant les cernes annuels d'un feuillu (tremble).....	20
2.5	Structure de la fibre cellulosique.....	21
2.6	Fibres de pâte mécanique de défibreur.....	29
2.7	Fibres de pâte chimique.....	30

Tableaux

2.1	Composition chimique du bois des résineux et des feuillus utilisés dans l'industrie papetière.....	16
2.2	Dimensions relatives des principales cellules des essences utilisées et leur densité.....	23
2.3	Teneur en eau (TE) du bois calculée sur une base sèche (BS) et sur une base humide (BH).....	24
2.4	Teneur en eau, après saturation, des principales essences utilisées dans l'industrie papetière.....	25
2.5	Densité relative des principales essences utilisées dans l'industrie papetière.....	27
2.6	Répartition du poids de l'arbre.....	31

Chapitre 3

Figures

3.1	Approvisionnement en fibres de bois de l'industrie québécoise des pâtes et papiers	37
3.2	Réduction de l'arbre entier en copeaux	39
3.3	Circuit simplifié du bois de la forêt à l'usine	40
3.4	Exploitations forestières	41
	a) Exploitation en bois courts	
	b) Exploitation par grumes entières	
3.5	Transport du bois en billes	42
	a) Par train	
	b) Par camion	
3.6	Principe de fonctionnement de la coupeuse à disque	47
3.7	Action de la coupeuse	48
3.8	Coupeuse à disque	48
3.9	Production de copeaux par une coupeuse à disque	49
3.10	Coupeuse à disques coniques	50
	a) Vue d'ensemble	
	b) Disques coniques	
3.11	Coupeuse à tambour	51
3.12	Modes de coupe de la coupeuse équarrisseuse	53
3.13	Classeur giratoire	56
3.14	Classeur vibrant	56
3.15	Classeur à tambour rotatif	57
3.16	Classeur à disques	58
3.17	Déchiqueteuse	58
3.18	Recoupeuse	59
3.19	Laveur de copeaux	60
3.20	Épurateur pneumatique de copeaux	61
3.21	Séquence des opérations du parc à bois	63
3.22	Tronçonneuse	64
3.23	Principaux convoyeurs de billes	65
	a) Convoyeur à câble	
	b) Convoyeur à chaîne	
	c) Convoyeur à courroie	
	d) Glissoire hydraulique	
3.24	Plates-formes basculantes pour camions de copeaux	68
3.25	Chargeuses frontales servant au déchargement des copeaux	69
3.26	Buses d'aspiration rotatives	69
3.27	Principaux convoyeurs de copeaux	70
	a) Convoyeur à courroie	
	b) Pipeline pneumatique	
	c) Convoyeur à chaîne	
3.28	Distributeur à tambour alvéolé	72
3.29	Tambour écorceur	77
3.30	Écorceuse hydraulique	79

3.31	Écorceuse à couteaux radiaux	80
3.32	Écorceuse à fraises rotatives	81
3.33	Modes de stockage des billes	83
	a) Pile en vrac	
	b) Pile ordonnée	
3.34	Mode de reprise à la base de la pile de copeaux	85
3.35	Mode de reprise sous la pile de copeaux	86
3.36	Billes de qualité variée	89
	a) Croissance irrégulière et noeuds nombreux	
	b) Diamètres extrêmes	
	c) Bois de coeur infecté (arbres endommagés par les chevreuils	
	d) Bois peu approprié à la réduction en pâte	
	e) Bois à pâte convernable	
3.37	Dimensions d'un copeau de bois	90
3.38	Classeur de copeaux de laboratoire	90
Tableaux		
3.1	Variables relatives à la réduction en copeaux	46
3.2	Principaux convoyeurs de billes	67
3.3	Principaux convoyeurs de copeaux	70
3.4	Mesures équivalentes des systèmes impérial et métrique	74
3.5	Interrelation du diamètre du tronc et de la teneur en écorce des copeaux	75
3.6	Principaux types d'écorceuse hydraulique	79
3.7	Distribution de la taille des copeaux déterminée au moyen d'un classer de laboratoire, selon la provenance des copeaux	91
3.8	Méthodes d'essai normalisées des copeaux	92
3.9	Variables couramment déterminées au moyen d'essais dans les programmes de contrôle de la qualité des copeaux	93
Chapitre 4		
Figures		
4.1	Grains de meule en contact avec le bois	98
4.2	Principaux éléments du défibreur	99
4.3	Procédé de fabrication de la pâte mécanique de défibreur	100
4.4	Défibreur à presses	102
4.5	Défibreur multipresse	103
4.6	Défibreur à presses à caissons hauts	104
4.7	Défibreur à presses à caissons bas	105
4.8	Défibreur à chaînes	107
4.9	Défibreur à bras hydrauliques Hydra	108
4.10	Tambour défibreur	109
4.11	Meule de défibreur	111
4.12	Éléments constitutifs d'une meule	111

4.13	Segment abrasif de meule	112
4.14	Grains et liant	113
4.15	Rhabillage d'une meule	116
4.16	Molettes à pointes diamant et à stries hélicoïdales	116
4.17	Pas et angle de pas d'une molette	117
4.18	Résultats du rhabillage au moyen d'une molette neuve et d'une molette usée	118
4.19	Rinceurs de défibreur	119
4.20	Circuit d'eau blanche d'un défibreur	120
4.21	Défibrage avec ou sans immersion	120
	a) Meule immergée	
	b) Meule non immergée	
4.22	Variation des variables du défibrage et des caractéristiques de la pâte entre deux rhabillages à une pression constante	123
4.23	Variation de la pression de défibrage	124
4.24	Régulateur de charge	127
4.25	Boucle de régulation	136
4.26	Boucle de régulation de la concentration	136
4.27	Défibreur sous pression Tampella	142
4.28	Installation de défibrage sous pression	143
4.29	Défibreur de copeaux	145
Tableaux		
4.1	Effets de la dimension des grains sur la pâte	121
4.2	Surface de la meule en fonction du type de papier	122
4.3	Variation des caractéristiques de la pâte entre deux rhabillages	123
4.4	Énergie spécifique consommée suivant le type de papier	129
4.5	Comparaison de pâtes mécaniques de défibreur produites à partir de différentes essences	132
4.6	Qualité de la pâte mécanique de défibreur en fonction de son utilisation	138
4.7	Comparaison des caractéristiques de la pâte mécanique de défibreur (PMD) et de la pâte mécanique de défibreur sous pression (PMDP)	144
Chapitre 5		
Figures		
5.1	Principe du raffinage	150
5.2	Fibre de pâte thermomécanique (grossie 1 400 fois)	152
5.3	Latence et désintégration des fibres	153
5.4	Raffineur à disques Jylhävaara	155
5.5	Types de raffineur à disques	156
	a) Raffineur à un stator	
	b) Raffineur à deux stators	
	c) Raffineur à deux rotors	

5.6	Segments de plaques de raffinage utilisés dans le procédé PTM.....	158
	a) Raffineur de 1 ^{er} étage	
	b) Raffineur de 2 ^e étage	
5.7	Installation de raffinage à deux étages	159
5.8	Installation de raffinage à pression atmosphérique (procédé PMR).....	160
5.9	Procédé PTM classique	162
5.10	Distributeur à vis conique.....	162
5.11	Vanne d'alimentation rotative	163
5.12	Raffineur à deux rotors de la société C-E Bauer	164
5.13	Procédé PTM proposé par C-E Bauer	165
5.14	Raffineur à deux stators de la société Sprout Waldron	166
5.15	Procédé PTM proposé par Defibrator	167
5.16	Disques coniques du raffineur de la société Sunds Defibrator	168
5.17	Raffineur à disques de la société Hymac	170
5.18	Séparation des fibres selon le procédé Defibrator	171
5.19	Micrographie montrant l'état d'une fibre raffinée à 170 °C	171
5.20	Micrographie montrant l'état d'une fibre raffinée à 115 °C	172

Tableaux

5.1	Propriétés de la vapeur saturée	173
5.2	Énergie spécifique consommée par les différents procédés de pâte mécanique	175
5.3	Caractéristiques des différentes pâtes mécaniques	179
5.4	Installations de raffinage de l'industrie papetière mondiale en 1989	181
5.5	Pollution des effluents par les principaux procédés de réduction du bois en pâte	182

Chapitre 6

Figures

6.1	Traitements secondaires de la pâte	188
6.2	Appareils de traitements secondaires du procédé PTM.....	189
6.3	Surface d'une feuille de papier journal fabriqué entièrement de PTM	189
6.4	Classage en série (4 étages)	192
6.5	Classeur centrifuge par gravité (Hymac ltée)	194
6.6	Types de classage sous pression	196
6.7	Classeur centripète sous pression	197
6.8	Classeur centrifuge sous pression	198

XVIII

6.9	Types de pale	199
	a) Pale de classeur centrifuge	
	b) Pale de classeur centripète	
6.10	Épurateur tourbillonnaire	202
6.11	Épaississeur par gravité	207
6.12	Épaississeur à disques	208
6.13	Presse à vis	209
6.14	Classeur à tamis incliné	210
6.15	Fibres de refus de pâte thermomécanique, avant et après raffinage	211
6.16	Traitements secondaires de la pâte mécanique de défibreur	214
6.17	Traitements secondaires de la pâte thermomécanique ...	215

Tableaux

6.1	Effets des traitements secondaires sur la qualité de la pâte thermomécanique	190
6.2	Variables du rendement du classage	201
6.3	Variables du rendement de l'épuration	205

Chapitre 7

Figure

7.1	Croissance de la capacité de production mondiale de PTM	220
-----	--	-----