
TABLE DES MATIÈRES

Table des figures	xxi
Table des tableaux	xxxii

PARTIE I INTRODUCTION AU RECYCLAGE

Chapitre 1	Historique et contexte socio-économique actuel	3
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	3
1.1	Historique	3
	1.1.1 L'invention du papier	3
	1.1.2 L'utilisation des vieux papiers - l'expérience japonaise	4
	1.1.3 L'utilisation des vieux papiers - les expériences européenne et américaine	4
1.2	Contexte socio-économique actuel	7
Chapitre 2	Aspects législatifs du recyclage	13
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	13
2.1	Tendances du marché	13
	2.1.1 Les forces soutenant l'essor du recyclage	13
	2.1.2 Produit vert : mythe ou réalité?	14
2.2	Programmes gouvernementaux américain et canadien	16
	2.2.1 Les normes sur la teneur en fibres secondaires	17
	2.2.2 Les normes sur la qualité des eaux résiduaires	19
	Bibliographie - Partie I	23

PARTIE II CARACTÉRISTIQUES DE LA MATIÈRE PREMIÈRE

Chapitre 3	Sources de vieux papiers	27
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	27
3.1	Types de vieux papiers selon leur origine	27

3.1.1	Les rebuts de production et de transformation	27
3.1.2	Les déchets de consommation	28
3.2	Mise sur pied d'un programme de récupération	30
3.2.1	La récupération domestique	30
3.2.2	La récupération au travail	31
3.3	Manutention des vieux papiers	32
Chapitre 4	Classification des vieux papiers et cartons	35
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	35
4.1	Critères de base pour une classification des vieux papiers et cartons	35
4.1.1	Critères généraux de classification	36
4.1.2	Critères de classification de l'ISRI	37
4.2	Autres méthodes de classification	40
Chapitre 5	Contaminants usuels des vieux papiers et cartons	43
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	43
5.1	Encres, pigments colorés, colorants et azureurs optiques	45
5.1.1	La composition des encres	45
a)	Les pigments et les colorants	45
b)	Les véhicules	49
c)	Les agents modificateurs	52
5.1.2	Les types d'encre	52
a)	Les encres pour papier journal	52
b)	Les encres d'héliogravure (encres hélió)	54
c)	Les encres et vernis UV-IR	54
d)	Les encres de type toner pour électrophotographie	55
5.1.3	Les azureurs optiques	55
5.2	Produits de couchage	56
5.2.1	Les pigments	56
5.2.2	Les agents liants	57
5.2.3	Les cires	57
5.2.4	Les pellicules de résines appliquées par extrusion	58
5.2.5	Les bitumes	58
5.3	Adhésifs	58
5.3.1	Les thermofusibles, les adhésifs de contact et les adhésifs à base de caoutchouc	59
5.3.2	Les adhésifs d'origine animale	62

5.3.3	Les adhésifs d'origine végétale	63
5.3.4	Les résines synthétiques	63
5.3.5	Les agents de résistance à l'état humide et de collage	63
5.4	Contaminants externes	64
5.5	Ions métalliques et non métalliques et autres espèces chimiques	65
Bibliographie - Partie II		67

PARTIE III REMISE EN PÂTE ET NETTOYAGE DE LA PÂTE

Chapitre 6	Remise en pâte	71
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	71
6.1	Chargement des tritrateurs	71
6.2	Types de tritrateurs	73
6.2.1	Le tritrateur à basse concentration (de 3 à 6 %)	73
6.2.2	Le tritrateur à moyenne concentration (de 6 à 10 %)	74
6.2.3	Le tritrateur à haute concentration (de 12 à 18 %)	74
6.2.4	Le tambour de trituration	77
6.3	Nettoyage grossier au tritrateur	77
6.3.1	L'extracteur de débris lourds	78
6.3.2	Le tire-toron	78
6.3.3	La poire de vidange	78
6.3.4	Le tambour d'égouttage	80
6.4	Paramètres de la trituration	81
6.4.1	Les effets de la température, du temps et de la concentration	81
6.4.2	Les additifs chimiques	86
a)	Les agents de désintégration	86
b)	Les agents de désencrage	86
c)	Les agents de blanchiment	87
6.5	Comparaison des procédés	87
Chapitre 7	Nettoyage par épuration	89
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	89
7.1	Principe de fonctionnement des épurateurs	90
7.2	Forces agissant lors de l'épuration	92
7.2.1	La force centrifuge	92
7.2.2	La poussée d'Archimède	92
7.2.3	La force d'entraînement	93
7.2.4	La portance	93

7.3	Conception et fonctionnement des épurateurs	94
7.3.1	Les caractéristiques de la pâte	94
	a) Le type de fibres	94
	b) La nature des impuretés	94
7.3.2	La conception des épurateurs	95
7.3.3	Les variables d'exploitation	97
	a) La concentration de la pâte et le diamètre des particules d'impuretés	97
	b) Les pressions de service	97
	c) Le taux de refus	99
	d) La température	99
	e) L'effet d'une dilution des refus	100
7.3.4	Le couplage des épurateurs	100
7.4	Épurateur à haute densité	101
7.5	Enlèvement des contaminants légers	103
7.5.1	Les épurateurs inversés	103
7.5.2	Les épurateurs à écoulement unidirectionnel	104
7.5.3	Les épurateurs combinés	104
7.5.4	Le Gyroclean	105
	a) Le principe de fonctionnement du Gyroclean	105
	b) Les avantages du Gyroclean	107
Chapitre 8 Nettoyage par classage		109
Objectifs d'apprentissage spécifiques		109
8.1	Principe de fonctionnement des classeurs sous pression	110
8.2	Paramètres de conception	113
8.2.1	Les rotors	113
8.2.2	Le profil des paniers	114
8.2.3	Les classeurs à trous ronds	115
8.2.4	Les classeurs à fentes	116
8.2.5	La configuration centripète vs la configuration centrifuge	116
8.3	Paramètres d'exploitation	116
8.3.1	Les caractéristiques de la pâte	117
8.3.2	Les variables d'exploitation	117
8.3.3	Le montage des classeurs	118
Bibliographie - Partie III		119

PARTIE IV TECHNIQUES DE DÉSENCRAGE

Chapitre 9	Notions physico-chimiques et additifs chimiques	123
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	123
9.1	Aspects fondamentaux de la chimie des colloïdes	123
9.1.1	La classification des systèmes colloïdaux	126
9.1.2	La stabilité des systèmes colloïdaux	126
	a) La double couche électrique	127
	b) La théorie de DLVO	128
9.2	Aspects fondamentaux de la chimie des surfaces	129
9.2.1	Les propriétés des surfactants	129
	a) Le phénomène d'adsorption	130
	b) La formation d'une micelle	131
9.2.2	La structure et la classification des surfactants	134
	a) Classification des surfactants par les groupements fonctionnels	135
	b) La classification de Kao Corp.	138
9.2.3	Les tensions interfaciales et de surface	138
	a) La mouillabilité	143
	b) L'émulsion	145
	c) La dispersion	149
	d) La solubilisation	151
	e) La détergence	152
	f) La formation de mousse	155
9.3	Application des surfactants au désencrage	157
9.4	Additifs chimiques utilisés pour le désencrage	157
9.4.1	La soude caustique	158
9.4.2	Le silicate de sodium	158
9.4.3	Le chlorure de calcium	159
9.4.4	Les agents de chélation	160
9.4.5	L'alun	160
9.5	Autres additifs chimiques	160
9.5.1	Les agents antimousse et les démoussants	161
9.5.2	Les assouplisseurs	161
9.5.3	Les agents de nettoyage	161
Chapitre 10	Désencrage par flottation	165
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	165

10.1	Théorie fondamentale	165
10.1.1	Les modèles de flottation des encres	166
	a) Le modèle de Larsson et coll.	166
	b) Le modèle de Putz et coll.	167
	c) Le modèle de Rutland et Pugh	173
10.1.2	La cinétique de la flottation	176
10.1.3	La thermodynamique et l'hydrodynamique de la flottation	179
	a) Le critère d'accrochage	181
	b) Le modèle probabiliste	183
10.2	Les paramètres du procédé de flottation	184
10.2.1	La concentration de pâte	185
10.2.2	Le débit d'air	185
10.2.3	Le débit de pâte	186
10.2.4	Le niveau de l'interface suspension de pâte-mousse	186
10.2.5	Les pressions de fonctionnement	187
10.2.6	La température	187
10.2.7	Les types de vieux papiers traités	188
10.2.8	La remise en circulation des eaux grises	188
10.2.9	Les paramètres chimiques du procédé	188
10.3	Les cellules de flottation	189
10.3.1	Les caractéristiques de conception	189
10.3.2	Les paramètres permettant d'évaluer l'efficacité d'une cellule de flottation	190
10.3.3	La présentation des cellules commerciales	191
	a) La cellule PDM de Beloit	192
	b) Les cellules MAC, Verticell et IIM-Flotator de Thermo Black Clawson	193
	c) Les cellules CFC-Cell, E-Cell et EcoCell de Voith Sulzer Paper Technology	194
	d) La cellule Hi-Flo de Shinhama	198
	e) La colonne de flottation FC de Kvaerner Hymac	198
	f) La tour de flottation combinée d'Ahlstrom Kamyr	200
	g) La cellule Spidercell de Comer-Rivit	200
Chapitre 11	Désencrage par lavage	203
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	203
11.1	Principe du lavage	203
11.2	Lavage par dilution-extraction et par déplacement	204
	11.2.1 Le lavage par dilution-extraction	204
	11.2.2 Le lavage par déplacement	206

11.3	Équipements de lavage	206
11.3.1	Les appareils de lavage à basse concentration	206
	a) Le tamis incliné	207
	b) Le tambour épaisseur par gravité avec rouleau coucheur.	207
	c) Le tambour épaisseur par gravité sans rouleau coucheur.	209
11.3.2	Les appareils de lavage à concentration intermédiaire.	209
	a) L'extracteur à vis inclinée.	210
	b) Le filtre à disques	211
	c) Le laveur Vario-Split.	212
	d) L'épaisseur à pince double	212
11.3.3	Les appareils de lavage à haute concentration.	214
	a) La presse à vis	214
	b) La presse à double toile	215
11.4	Paramètres influant sur le lavage.	216
11.4.1	La nature des contaminants et du liquide.	216
11.4.2	Les types d'équipement et les conditions d'exploitation.	217
11.4.3	La configuration globale du procédé.	219
11.5	Le lavage vs la flottation	220
Chapitre 12 Dispersion des contaminants résiduels		223
Objectifs d'apprentissage spécifiques		223
12.1	Principe de la dispersion	223
12.1.1	Principe de fonctionnement de l'appareil de dispersion de type triturateur	224
12.1.2	Principe de fonctionnement de l'appareil de dispersion de type raffineur	225
12.2	Description des équipements de dispersion	225
12.2.1	Les disperseurs de type triturateur	225
	a) Le disperseur MDR d'Ahlstrom Machinery Inc.	225
	b) Le triturateur à chaud de Thermo Black Clawson	227
	c) Le disperseur CCE de Shinhama	227
	d) Le disperseur-mélangeur Micar de Thermo Black Clawson	228
12.2.2	Les disperseurs de type raffineur	229
	a) Le Disperger HD et HTD de Voith Sulzer Paper Technology	229
	b) Le disperseur sous pression Krima de Cellwood Machinery	232
	c) Le raffineur MC de Kvaerner-Eureka	235

12.3	Utilisation de la dispersion dans le procédé de désencrage	235
12.3.1	Domaine d'application des disperseurs de type triturateur	235
12.3.2	Domaine d'application des disperseurs de type raffineur	239
12.4	Addition de surfactants au stade de la dispersion	246
	Bibliographie - Partie IV	249

PARTIE V TECHNIQUES DE RESTAURATION DES PROPRIÉTÉS PAPIÈRES

Chapitre 13	Raffinage et fractionnement	255
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	255
13.1	Raffinage	255
13.1.1	Le principe du raffinage	255
13.1.2	L'utilisation du raffinage pour le traitement des fibres secondaires	258
	a) Le traitement du vieux papier journal	259
	b) Le traitement du vieux papier registre	259
	c) Le traitement des vieux cartons	260
13.2	Fractionnement de la pâte	261
13.2.1	Le principe du fractionnement	261
13.2.2	Les méthodes de fractionnement	263
Chapitre 14	Blanchiment	265
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	265
14.1	Blanchiment	266
14.2	Agents de blanchiment	266
14.2.1	L'hypochlorite (H)	269
14.2.2	Le chlore (C)	270
14.2.3	L'hydrosulfite (Y)	270
14.2.4	Le peroxyde d'hydrogène (P)	270
14.2.5	L'ozone (Z)	272
14.2.6	L'oxygène (O)	272
14.2.7	Les peracides	272
14.2.8	L'acide formamidine sulfonique (F ou Y _{FAS})	273
14.2.9	L'extraction alcaline (E)	273
14.3	Blanchiment des pâtes à faible teneur en fibres mécaniques	274
14.3.1	Le blanchiment classique	274
	a) La séquence H et HH	274
	b) La séquence CH	274
	c) La séquence CEH	275

14.3.2	Les nouvelles séquences de blanchiment	275
a)	La séquence CEopP	275
b)	Les séquences comportant des étapes P, Z, Y et F (ou Y _{FAS})	276
14.4	Blanchiment des pâtes à forte teneur en fibres mécaniques	278
14.4.1	Blanchiment dans un tritrateur	278
a)	Effet du type de vieux papiers	279
b)	Effet de la catalase sur l'activité du peroxyde d'hydrogène.	280
c)	Effet de la concentration en pâte.	280
d)	Effet de l'alcalinité	280
e)	Effet de la température	282
f)	Effet de l'agent chélatant.	283
14.4.2	Addition de réactif dans un mélangeur suivi d'un séjour dans une tour de blanchiment	286
14.4.3	Blanchiment dans un disperseur suivi d'un séjour dans une tour de blanchiment	286
14.4.4	Blanchiment dans une tour combiné à des étapes de flottation et/ou de lavage.	287
14.4.5	Blanchiment dans un disperseur entre deux étapes de flottation	291
14.4.6	Blanchiment après fractionnement des fibres.	291
14.5	Décoloration.	292
14.5.1	L'hypochlorite (H)	293
14.5.2	Le borohydrure (B)	294
14.5.3	L'hydrosulfite (Y) et l'acide formamidine sulfinique (F ou Y _{FAS})	295
14.5.4	L'ozone (Z)	295
Bibliographie - Partie V		297

PARTIE VI ÉVALUATION DU PROCÉDÉ DE DÉSENCRAGE

Chapitre 15	Techniques d'évaluation de la qualité	301
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	301
15.1	Méthodes de préparation des échantillons de pâte pour la mesure de la concentration en encre résiduelle	302
15.1.1	La préparation des feuilles-échantillons, des galettes et des membranes filtrantes	302

15.1.2	Les effets de différents paramètres sur les résultats d'analyse	305
	a) Les effets du pH de la pâte	305
	b) Les effets de la qualité de l'eau	306
	c) Les effets de la méthode de préparation	306
15.1.3	La mesure de la blancheur et des coordonnées L*, a* et b*	307
15.1.4	La mesure de la concentration effective en encre résiduelle	307
15.2	Évaluation de la teneur en encre résiduelle par l'analyse d'image	308
15.2.1	Description des équipements	308
15.2.2	Les étapes de l'analyse	310
15.2.3	L'acquisition de l'image	312
15.2.4	Les sources d'erreurs	315
15.2.5	L'influence des points d'encre sur la blancheur	315
15.3	Analyse des solides	316
15.4	Analyse de la pâte	318
15.4.1	La mesure de la concentration en pâte	318
15.4.2	La mesure de l'indice d'égouttage	319
15.4.3	La mesure du taux de bûchettes avec le tamis Somervilles	319
15.4.4	La classification des fibres avec l'appareil Bauer-McNett	319
15.4.5	La mesure de la longueur des fibres avec l'appareil Kajaani	319
15.5	Calcul de l'efficacité des équipements	320
15.5.1	Le taux de refus	320
15.5.2	L'efficacité de nettoyage	320
15.5.3	Le facteur d'épaississement	324
Chapitre 16	Effets du recyclage sur la qualité des fibres et sur les procédés de formation et d'impression	325
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	325
16.1	Effets du recyclage sur la qualité des fibres	325
16.1.1	Facteurs influant sur la qualité des fibres et sur leur recyclabilité	326
16.1.2	Effets du recyclage sur les propriétés papetières des fibres	328
16.2	Effets de la présence de fibres recyclées sur l'imprimabilité	331
16.2.1	Imprimabilité des papiers fabriqués à partir de vieux papiers à base de pâte mécanique	332
16.2.2	Imprimabilité des papiers fabriqués à partir de vieux papiers à base de pâte chimique	332
16.2.3	Imprimabilité des papiers fabriqués à partir de vieux papiers couchés	333
16.2.4	Influence de la présence de fines sur l'imprimabilité	333
16.2.5	Influence des propriétés papetières sur l'imprimabilité	333

16.3	Effets de la présence de fibres recyclées sur le fonctionnement de la machine à papier et sur la qualité du papier produit	334
16.3.1	Effets sur le fonctionnement de la machine à papier	335
a)	Les matières solides en suspension	335
b)	Les matières solides dissoutes	336
c)	Les microorganismes	337
d)	Les fragments de fibres	338
16.3.2	Effets sur la qualité du papier produit	338
Chapitre 17	Aperçu des procédés	341
	Objectifs d'apprentissage spécifiques	341
17.1	Principes d'aménagement d'une usine de désencrage	341
17.2	Sélection du procédé en fonction du produit final	343
17.2.1	Papiers bruns	344
17.2.2	Papiers impression-écriture	346
17.2.3	Papier mousseline et papiers pour usages sanitaires et domestiques	350
17.2.4	Papier journal et papier pour publication	351
	Bibliographie - Partie VI	355
Annexe I	– Normes et recommandations de l'ISRI en matière de commerce des vieux papiers et cartons aux États-Unis et au Canada	357
	– Traduction française de la classification des sortes courantes de vieux papiers et cartons de l'ISRI	366
Annexe II	– Exemples de formulation de surfactants	377
Annexe III	– Sources des figures	381
Annexe IV	– Sources des tableaux	389