

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

THÈSE PRÉSENTÉE À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DU DOCTORAT EN GÉNIE PAPETIER

PAR  
YVES DIONNE

NETTOYAGE DU CIRCUIT D'EAU BLANCHE PRIMAIRE  
D'UNE USINE DE PAPIER JOURNAL PAR LE PROCÉDÉ  
DE FLOTTATION SUR COLONNE

NOVEMBRE 2013

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.

# UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

## Cette thèse a été dirigée par :

Claude DANEAULT, Doct.-Ing. Université du Québec à Trois-Rivières

Directeur de recherche, grade Institution à laquelle se rattache l'évaluateur

Gilles DORRIS, Ph. D. FPIInnovation à Pointe Claire, Québec

Codirecteur de recherche, grade Institution à laquelle se rattache l'évaluateur

## Jury d'évaluation de la thèse :

Claude DANEAULT, Doct.-Ing. Université du Québec à Trois-Rivières

Prénom et nom, grade Institution à laquelle se rattache l'évaluateur

Gilles DORRIS, Ph. D. FPIInnovation à Pointe Claire, Québec

Prénom et nom, grade Institution à laquelle se rattache l'évaluateur

Bruno CHABOT, Ph. D. Université du Québec à Trois-Rivières

Prénom et nom, grade Institution à laquelle se rattache l'évaluateur

Yuxia BEN, Ph. D. FPIInnovation à Pointe Claire, Québec

Prénom et nom, grade Institution à laquelle se rattache l'évaluateur

Daniel MONTPLAISIR, Ph. D. Université du Québec à Trois-Rivières

Prénom et nom, grade Institution à laquelle se rattache l'évaluateur

Thèse soutenue le 23 novembre 2012

## Avant-propos

La fabrication du papier requiert une circulation importante d'eau et de fibres. Cette eau sert de véhicule aux matières solides telles les fibres, les charges et les adjuvants, entrant dans la fabrication du papier. L'eau blanche constitue l'eau extraite d'une suspension de pâte sur la machine à papier. Elle se compose principalement de fibres fines et de charges non retenues sur les toiles de formation mais aussi d'autres matières en suspension et dissoutes. Tout surplus d'eau blanche sera traité et acheminé vers un réservoir central. Cette eau, nommée «eau blanche centrale», servira d'eau d'appoint dans les départements de fabrication des pâtes et d'eau de dilution pour les pâtes alimentant la machine à papier.

L'eau blanche a des impacts majeurs sur les procédés de fabrication des pâtes, de blanchiment des pâtes et de fabrication du papier. Qu'en est-il vraiment? Comment peut-on y remédier? Voilà la problématique que nous cernerons dans ce projet de recherche.

## Remerciements

L'aboutissement de ce projet de recherche a été possible grâce à la collaboration de plusieurs personnes œuvrant au sein de l'usine Abitibi Bowater de Gatineau, Québec. Je tiens à remercier spécialement l'ancienne direction de l'usine, M. Patrice Cayouette, VP et directeur résidant ainsi que M. Marc Levasseur, directeur de production, de m'avoir permis d'entreprendre ce projet de recherche et de m'avoir fourni le temps, les équipements ainsi que le personnel nécessaires à la bonne marche de ce projet.

Je remercie également mon épouse, Mme Marie Letendre, pour son soutien et son aide tout au long de ce cheminement académique.

Je tiens également à remercier mon directeur de thèse, Dr Claude Daneault, de l'UQTR, ainsi que mon co-directeur, Dr Gilles Dorris, chercheur à FPInnovations, pour leur excellente collaboration et leur grand dévouement dans cette longue quête de la science, et dans la rédaction de cette thèse.

Pour terminer, un gros merci sincère à toutes les équipes techniques et professionnelles de FPInnovations qui ont participé activement de près ou de loin au succès de ce projet d'études, spécialement à Mesdames Michelle Ricard, Christine Lapointe, Nathalie Pagé et Dr Yuxia Ben. Grâce à elles, il m'a été possible de mener à terme ce projet de recherche de façon à pouvoir contribuer au maximum à l'avancement de la science et de la technologie.

## Résumé

La fermeture des circuits d'eau blanche a entraîné une baisse significative des propriétés optiques, physiques et mécaniques des pâtes et du papier fini. Cela est dû à une quantité croissante de fines noirâtres circulant dans la boucle des circuits d'eau blanche. Ces fines noirâtres sont hautement contaminées et réceptives et absorbent les colorants ajoutés à la fourniture de pâte des machines à papier. De plus, elles contribuent à réduire la réponse de blanchiment des pâtes ainsi que la brillance du papier produit.

L'industrie des pâtes et papiers utilise actuellement la technologie de la flottation conventionnelle pour le désencrage des vieux papiers. C'est un procédé physico-chimique impliquant la flottation sélective des particules d'encre décrochées des fibres lors de la mise en pâte. La flottation conventionnelle est une technologie adaptée à l'élimination des particules d'encre de 10 à 150 microns. L'aptitude à la flottation des petites particules (< 10 microns) est si faible qu'une élévation de la durée de flottation entraîne une augmentation excessive des pertes en fibres sans amélioration appréciable du degré de blancheur.

La flottation sur colonne à air dispersé est une technique dérivée du traitement des minerais. Elle permet de séparer sélectivement les particules hydrophobes (fines contaminées, charges et contaminants nuisibles tels la poix, les points de colle, les matières collantes et les encres) tout en minimisant la perte de matières hydrophiles et utiles, comme les fibres. Les particules hydrophobes de faibles dimensions, soit de 1 à 10 microns, y sont flottées préférentiellement d'une suspension d'eau blanche car elles sont les plus contaminées dues à leur surface spécifique très élevée.

Grâce à cette technique, nous avons sélectivement nettoyé le circuit d'eau blanche circulant autour de la machine à papier. La colonne de flottation nous a permis d'éliminer jusqu'à 73 % de l'encre résiduelle et 88 % des matières totales extractibles. La blancheur des solides de l'eau blanche s'est ainsi accrue jusqu'à 3,5 points ISO.

Des formettes ont été fabriquées en recombinant les acceptés de la flottation sur colonne de l'eau blanche avec un mélange de pâte désencrée et de pâte thermomécanique fraîche. Ces formettes ont montré une amélioration des propriétés optiques et de résistance, ainsi qu'un coefficient de friction plus élevé et une teneur plus faible en matières extractibles et en cendres par rapport aux formettes fabriquées avec de l'eau blanche non flottée. Ainsi, la blancheur des formettes s'est accrue jusqu'à 1,3 point ISO et l'encre résiduelle a été réduite jusqu'à 33 % alors que les matières extractibles ont diminué jusqu'à 47 %. Des améliorations du coefficient de friction dynamique jusqu'à 24 % et de l'indice d'étiement jusqu'à 8 % ont été aussi mesurées.

La flottation sur colonne agit comme un rein dans le circuit d'eau blanche en traitant l'eau blanche de la machine à papier afin d'en éliminer sélectivement les contaminants hydrophobes indésirables. Les améliorations majeures à la qualité de l'eau blanche recyclée lors de la fabrication du papier permettront certainement d'obtenir une meilleure stabilité de fonctionnement de la machine à papier ainsi qu'une réduction des coûts d'opération (produits chimiques) et de production (augmentation de l'efficacité machine).

## Mots Clés

Eau blanche, circuit d'eau blanche, fines, machine à papier, flottation, colonne de flottation, blancheur, contaminants, encres, matières extractibles, cendres, enlèvement, propriétés optiques, propriétés mécaniques, papier journal.

## Table des Matières

Remerciements .....	iv
Résumé .....	v
Mots Clés .....	vi
Table des Matières .....	vii
Liste des Figures.....	xii
Liste des Tableaux.....	xvi
Liste des Équations .....	xvii
Liste des Abréviations.....	xviii
Chapitre 1 - Introduction .....	1
1.1    Généralités .....	1
1.2    Fabrication du papier .....	3
1.3    Structure de la thèse .....	6
Chapitre 2 - Circuits d'eau blanche.....	8
2.1    Eau blanche.....	8
2.1.1    Circuit primaire.....	10
2.1.2    Circuit secondaire .....	12
2.1.3    Circuit tertiaire.....	14
2.2    Fermeture des circuits d'eau blanche.....	16
2.3    Constituants de l'eau blanche .....	17
2.3.1    Contaminants de l'eau blanche .....	20
2.3.1.1    Pâte thermomécanique - fibres fines .....	20
2.3.1.2    Matières colloïdales et dissoutes.....	22
2.3.1.3    Pâte recyclée - Matières collantes .....	23
2.3.1.4    Ions métalliques.....	26

2.4	Impacts des contaminants .....	27
2.4.1	Effet sur les propriétés physiques et mécaniques du papier.....	28
2.4.2	Effet sur les propriétés optiques du papier.....	29
2.4.3	Effet sur la fabrication du papier .....	29
	Chapitre 3 – Technologie de nettoyage des circuits d'eau blanche.....	31
3.1	Problématique .....	31
3.2	Objectifs.....	33
3.3	Principe du nettoyage.....	37
3.4	Équipements de nettoyage – machine à papier .....	38
3.4.1	Lavage.....	38
3.4.2	Tamisage.....	39
3.4.3	Épuration.....	41
3.4.4	Flottation.....	42
3.4.5	Épaississement .....	42
3.4.6	Désaération .....	43
3.5	Solutions possibles.....	44
3.5.1	Élimination du retour des fines.....	44
3.5.2	Rétention accrue des fines .....	45
3.5.3	Blanchiment des fines.....	46
3.5.4	Traitements enzymatiques des fines .....	46
3.5.5	Nettoyage des fines par une séquence de flottation .....	49
3.6	Solution innovante retenue : la flottation sur colonne .....	50
	Chapitre 4 - Flottation .....	51
4.1	Flottation à air dispersé versus à air dissous.....	52
4.2	Flottation conventionnelle à air dispersé .....	53
4.2.1	Principes de la flottation .....	54
4.3	Flottation sur colonne .....	57
4.3.1	Historique .....	57
4.3.2	Principes d'opération .....	57
4.3.3	Stratégie de contrôle .....	58
4.3.4	Avantages et inconvénients .....	60

4.3.5	Autres caractéristiques.....	61
4.3.6	Principes théoriques et éléments de contrôle.....	62
4.3.6.1	Vélocité du débit .....	62
4.3.6.2	Contenu en air («gas holdup»).....	63
4.3.6.3	Dimension des bulles d'air.....	64
4.3.6.4	Surface superficielle des bulles d'air .....	65
4.3.6.5	Temps de résidence .....	65
4.4	Surfactants .....	66
	Chapitre 5 – Flottabilité des fines contaminées .....	71
5.1	Caractéristiques des fines contaminées.....	74
5.2	Mécanisme de contamination .....	75
5.3	Distinction entre flottation et entraînement .....	77
	Chapitre 6 - Matériels et méthodes .....	81
6.1	Méthodologie .....	81
6.2	Eaux blanches utilisées .....	82
6.3	Caractérisation de l'eau blanche .....	82
6.4	Description de la cellule de flottation Leeds.....	83
6.5	Description de la colonne de flottation .....	84
6.6	Protocole des essais pour la flottation sur colonne sur l'unité pilote de FPIInnovations à Pointe Claire (Qc) .....	87
6.7	Plan expérimental pour les essais pilotes à l'usine Abitibi Bowater .....	88
6.8	Opération de la colonne mobile .....	89
6.9	Sélection du surfactant.....	93
6.10	Méthodes d'analyses .....	94
6.10.1	Consistance, cendres et formation des feuilles pour essais .....	94
6.10.2	Détermination du niveau de blancheur .....	94
6.10.3	Détermination de la dimension des particules .....	94
6.10.4	Classification des fibres Bauer-McNett.....	94
6.10.5	Détermination des matières extractibles.....	95
6.10.6	Coefficients de friction statique et dynamique .....	95
	Chapitre 7 - Résultats et Discussion.....	97

7.1	Essais exploratoires de flottation dans une cellule (faisabilité) .....	97
7.2	Essais préliminaires chez FPIInnovations.....	101
7.3	Essais de flottation sur colonne à l'unité pilote chez FPIInnovations.....	104
7.3.1	Échantillons d'eau blanche .....	104
7.3.2	Analyse des résultats chez FPIInnovations .....	105
7.3.2.1	Amélioration de niveau de blancheur .....	105
7.3.2.2	Élimination de l'encre résiduelle .....	107
7.3.2.3	Élimination des matières extractibles .....	109
7.3.2.4	Eau de lavage .....	110
7.3.2.5	Perte de rendement et distribution de la dimension des particules.....	111
7.4	Essais de flottation sur l'unité pilote à l'usine .....	114
7.4.1	Préparation des formettes et des pâtons.....	116
7.4.2	Variabilité de l'eau blanche .....	118
7.4.3	Corrections apportées aux débits .....	120
7.4.4	Conditions d'hyper-flottation sur colonne .....	121
7.4.5	L'enlèvement des encres résiduelles.....	121
7.4.6	Gain du niveau de blancheur .....	125
7.4.7	Élimination des matières extractibles (DCM) .....	127
7.4.8	Impact sur le rendement.....	130
7.4.9	Impact de la douche de lavage .....	132
7.4.10	Impact de l'ajout de surfactant.....	134
7.4.11	Impact du contenu en air dans la zone de mélange.....	137
7.5	Essais de recombinaison .....	139
7.5.1	Méthodologie utilisée .....	139
7.5.2	Propriétés optiques.....	140
7.5.3	Propriétés physiques et mécaniques .....	144
7.6	Synthèse et analyses des essais .....	150
7.7	Essais industriels pour traiter l'eau blanche sur le silo MP 6 .....	151
7.8	Évaluation sommaire des bénéfices de la colonne sur la MP 6 .....	151
	Chapitre 8 - Conclusions et Recommandations .....	153
8.1	Conclusions.....	153

8.2      Recommandations.....	154
Bibliographie.....	156
Annexe .....	179

## Liste des Figures

Figure 1.1	Schéma général de la fabrication du papier .....	2
Figure 1.2	Représentation d'une machine à papier de type Fourdrinier .....	4
Figure 2.1	Circuits d'eau blanche .....	10
Figure 2.2	Schéma simplifié d'un circuit d'eau blanche primaire .....	11
Figure 2.3	Schéma simplifié d'un circuit d'eau blanche secondaire.....	13
Figure 2.4	Schéma simplifié d'un circuit d'eau blanche tertiaire .....	15
Figure 2.5	Évolution des rejets d'eaux usées de 1981 à 2007.....	17
Figure 2.6	Filtre à disques .....	18
Figure 2.7	Clarificateur à air dissous.....	19
Figure 2.8	Types de raffineur .....	21
Figure 2.9	Pâte thermomécanique de résineux pour le papier journal .....	21
Figure 3.1	Perte de blancheur lors de la fabrication du papier journal – MP 3.....	34
Figure 3.2	Perte de blancheur lors de la fabrication du papier journal – MP 4.....	35
Figure 3.3	Perte de blancheur lors de la fabrication du papier journal – MP 6.....	36
Figure 3.4	Principe de nettoyage d'une pâte .....	37
Figure 3.5	Schéma d'un tamis pressurisé.....	40
Figure 3.6	Schéma d'un épurateur tourbillonnaire (Bird Machine Co.) .....	41
Figure 3.7	Schéma de fonctionnement d'un désaérateur (de type Deculator).....	43
Figure 3.8	Action enzymatique .....	47
Figure 4.1	Surface de contact des bulles .....	52
Figure 4.2	Vue en coupe d'une cellule de flottation Voith à injection multiple .....	53
Figure 4.3	L'oléate de sodium.....	55
Figure 4.4	Mécanismes possibles d'action de la flottation .....	56
Figure 4.5	Flottation sur colonne .....	58
Figure 4.6	Structure du système de contrôle .....	59
Figure 4.7	Consistance et taux de rejet .....	60
Figure 4.8	Distribution des fines dans les rejets.....	61
Figure 4.9	Effet du niveau de mousse sur le taux de rejets .....	62
Figure 4.10	Diagramme d'une colonne de flottation .....	63
Figure 4.11	Structure amphiphile des surfactants .....	66

Figure 4.12	Formation d'une micelle .....	67
Figure 4.13	Isotherme de tension de surface .....	68
Figure 4.14	Modèle de flottation.....	69
Figure 5.1	Représentation de la double couche électrostatique .....	73
Figure 5.2	Description du potentiel zéta .....	74
Figure 5.3	Représentation schématique des trois étapes de capture.....	78
Figure 5.4	Mécanisme de formation de la mousse.....	78
Figure 5.5	Mécanisme de la flottation.....	79
Figure 5.6	Mécanisme d'entraînement.....	80
Figure 6.1	Cellule de flottation Leeds .....	84
Figure 6.2	Colonne de flottation .....	85
Figure 7.1	Cellule de flottation FRED .....	97
Figure 7.2	Réduction des encres résiduelles .....	102
Figure 7.3	Hausse de la blancheur.....	102
Figure 7.4	Perte de rendement.....	103
Figure 7.5	Impact de la flottation sur la blancheur – Silo MP 6 .....	106
Figure 7.6	Impact de la flottation sur la blancheur – EBC .....	107
Figure 7.7	Impact de la flottation sur l'encre résiduelle – Silo MP 6 .....	108
Figure 7.8	Impact de la flottation sur l'encre résiduelle – EBC .....	108
Figure 7.9	Impact de la flottation sur les matières extractibles – Silo MP 6.....	109
Figure 7.10	Impact de la flottation sur les matières extractibles – EBC .....	110
Figure 7.11	Impact du débit de l'eau de lavage – EBC .....	111
Figure 7.12	Impact sur les pertes en rendement .....	112
Figure 7.13	Composantes des pertes en rendement .....	112
Figure 7.14	Impact de l'efficacité de flottation sur le rendement .....	113
Figure 7.15	Distribution des particules selon le temps de flottation .....	114
Figure 7.16	Installation de la colonne de flottation à l'usine .....	115
Figure 7.17	Formettes de fines – Impact sur la blancheur .....	117
Figure 7.18	Préparation des formettes de fines – Impact sur la valeur ERIC .....	118
Figure 7.19	Variabilité de la consistance des eaux blanches .....	119
Figure 7.20	Correction apportée aux débits des eaux blanches acceptés.....	120
Figure 7.21	Enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6.....	122

Figure 7.22	Enlèvement des encres pour l'échantillon EBC .....	122
Figure 7.23	Impact du % de pâte PTM sur l'enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6 .....	123
Figure 7.24	Variabilité relative du % d'enlèvement des encres pour les échantillons Silo MP 6 et EBC.....	124
Figure 7.25	Impact visuel des acceptés versus les rejets pour l'échantillon - Silo MP 6.....	125
Figure 7.26	Gain de blancheur pour l'échantillon Silo MP 6 .....	126
Figure 7.27	Gain de blancheur pour l'échantillon EBC.....	126
Figure 7.28	Variabilité relative des gains de blancheur pour les échantillons - Silo MP 6 et EBC.....	127
Figure 7.29	Impact de la flottation sur colonne sur l'enlèvement des matières extractibles de l'échantillon - Silo MP 6 .....	128
Figure 7.30	Impact de la flottation sur colonne sur l'enlèvement des matières extractibles de l'échantillon - EBC .....	129
Figure 7.31	Variabilité relative du % d'enlèvement des matières extractibles de l'échantillon - Silo MP 6.....	129
Figure 7.32	Pertes de rendement - Silo MP 6 .....	130
Figure 7.33	Composition des acceptés provenant de la flottation de l'échantillon Silo MP 6.....	131
Figure 7.34	Composition de rejets provenant de la flottation de l'échantillon Silo MP 6.....	131
Figure 7.35	Pertes de rendement pour l'échantillon EBC .....	132
Figure 7.36	Impact de la douche de lavage sur l'enlèvement des encres .....	133
Figure 7.37	Impact de la douche de lavage sur le gain de blancheur .....	134
Figure 7.38	Impact de l'ajout de surfactant sur l'enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6.....	135
Figure 7.39	Impact de l'ajout de surfactant sur le débit d'air pour l'échantillon Silo MP 6.....	135
Figure 7.40	Impact de l'ajout de surfactant sur le gain de blancheur pour l'échantillon Silo MP 6 .....	136
Figure 7.41	Impact du contenu en air (%) sur le gain de blancheur pour l'échantillon EBC.....	137
Figure 7.42	Impact du contenu en air (%) sur le % d'enlèvement des encres pour l'échantillon EBC .....	138
Figure 7.43	Impact du contenu en air (%) sur le % d'enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6 .....	138

Figure 7.44	Variation de la blancheur des formettes calandrées .....	141
Figure 7.45	Variation de la valeur ERIC des formettes calandrées.....	141
Figure 7.46	Variation de la réduction de la valeur ERIC des formettes calandrées....	142
Figure 7.47	Variation de la coloration (coefficient a*) des formettes calandrées.....	142
Figure 7.48	Variation de la coloration (coefficient b*) des formettes calandrées.....	143
Figure 7.49	Variation de l'opacité des formettes calandrées .....	143
Figure 7.50	Variation du contenu en cendres des formettes calandrées.....	144
Figure 7.51	Variation des matières extractibles DCM des formettes calandrées.....	145
Figure 7.52	Variation du coefficient de friction statique après chaque passe de calandrage des formettes calandrées .....	145
Figure 7.53	Variation du coefficient de friction dynamique après chaque passe de calandrage des formettes calandrées .....	146
Figure 7.54	Variation de l'indice d'étirement des formettes calandrées.....	147
Figure 7.55	Variation de l'indice de déchirure des formettes calandrées .....	147
Figure 7.56	Variation de la longueur de rupture des formettes calandrées .....	148
Figure 7.57	Variation du % d'elongation des formettes calandrées.....	148
Figure 7.58	Variation de la perméabilité à l'air des formettes calandrées .....	149

## Liste des Tableaux

Tableau 2.1	Dimension de diverses matières solides dans une eau blanche .....	9
Tableau 2.2	Impacts négatifs des contaminants sur la machine à papier.....	30
Tableau 3.1	Évolution des propriétés optiques de la pâte – MP 3.....	33
Tableau 5.1	Dimensions des constituants d'une suspension fibreuse .....	71
Tableau 7.1	Classification des eaux blanches – Machine à papier no. 4 .....	98
Tableau 7.2	Flottation conventionnelle - Silo MP 4.....	99
Tableau 7.3	Flottation conventionnelle - Silo MP 6.....	100
Tableau 7.4	Flottation conventionnelle – Eau Blanche Centrale.....	101
Tableau 7.5	Principales caractéristiques des eaux blanches .....	105
Tableau 7.6	Préparation des formettes de fines .....	116
Tableau 7.7	Principales caractéristiques des eaux blanches .....	119
Tableau 7.8	Impact de l'hyper-flottation .....	121
Tableau 7.9	Contenu en fines des formettes calandréées .....	140

## Liste des Équations

J <sub>i</sub> = Q <sub>i</sub> / A <sub>i</sub>	Équation 4.1 ..... 62
E <sub>g</sub> = 100 x (1- dP / dL)	Équation 4.2 ..... 64
U <sub>sg</sub> = J <sub>g</sub> / E <sub>g</sub> + J <sub>l</sub> / (1- E <sub>g</sub> )	Équation 4.3 ..... 64
U <sub>sg</sub> = g db <sup>2</sup> pl (1- E <sub>g</sub> ) <sup>n-1</sup> / 18 ul (1 + 0,15 Re <sup>0,687</sup> )	Équation 4.4 ..... 64
Re = db U <sub>sg</sub> pl (1-E <sub>g</sub> ) / ul	Équation 4.5 ..... 65
S <sub>b</sub> = 6 J <sub>g</sub> / db	Équation 4.6 ..... 65
t = (1-E <sub>g</sub> ) (H <sub>col</sub> - H <sub>f</sub> ) / J <sub>acc</sub>	Équation 4.7 ..... 65
% Enlèvement d'encre = ((ERIC <sub>alim</sub> - ERIC <sub>accepté</sub> ) / ERIC <sub>alim</sub> ) * 100	Équation 6.1 ..... 94
% Enlèvement des matières extractibles = ((Extractibles <sub>alim</sub> - Extractibles <sub>accepté</sub> ) / Extractibles <sub>alim</sub> ) * 100	Équation 6.2 ..... 95

## Liste des Abréviations

%/p.s.	Consistance en pourcentage par rapport à la pâte sèche
y	Tension de surface (mN/m)
Alim	Alimentation
Ac	Aire d'une section de la colonne
Acc	Acceptés
a*	Axe de couleur allant du rouge (+) au vert (-)
b*	Axe de couleur allant du jaune (+) au bleu (-)
c	Concentration (mole/L)
CCA	Consistance de la caisse d'arrivée
CFT	Consistance de la fosse sous toile
cmc	Concentration micellaire critique
conc.	Concentration
COV	Composés organiques volatils
DBO <sub>5</sub>	Demande biochimique en oxygène sur 5 jours
DCM	Dichlorométhane
DCO	Demande chimique en oxygène
DES	Pâte désencrée
db	Diamètre moyen des bulles d'air
dL	Distance entre les transmetteurs de pression (dL = H2-H1)
dP	Différence de pression (dP = P2-P1)
DTPA	Diéthylénetriaminepentaacétate de sodium
EBC	Eau blanche centrale
EDTA	Éthylènediaminetétraacétate de sodium
Eg	Contenu en air
EO/PO	Polymère à base d'oxyde d'éthylène/d'oxyde de propylène
ERIC	Concentration effective d'encre résiduelle
FT	Débitmètre
g	Gravité

H1, H2	Sonde de niveau no.1 et no.2
Hcol	Hauteur de la colonne
HD	Réservoir à haute densité
Hf	Hauteur de la mousse
ISO	Organisation internationale de normalisation
Jacc	Vélocité superficielle de l'accepté
Jg	Vélocité superficielle du gaz
Ji	Vélocité superficielle d'un fluide
Jl	Vélocité superficielle des acceptés
LPM	Litre par minute (lpm)
l/m	Litre par minute
L*	Axe de clarté allant de 0 (noir) à 100 (blanc)
MDC	Matières dissoutes et colloïdales
MES	Matières en suspension
mm	Millimètre
MP 3	Machine à papier no. 3
MP 4	Machine à papier no. 4
MP 6	Machine à papier no. 6
n	Une fonction du nombre de Reynolds
P1, P2, P3	Sonde de pression no.1, no.2 et no. 3
PAPTAC	Association technique des pâtes et papiers du Canada
PEI	Polyéthylèneimine
PID	Régulateur de contrôle « proportionnel intégral dérivé »
pl	Densité de la suspension
PPS	rugosité Parker Print Surf
PT	Sonde de pression
PTM	Pâte thermomécanique
Qi	débit volumétrique d'un fluide
Re	Nombre de Reynolds
RÉCUP.	Pâte récupérée par les filtres à disques

RM	Réservoir de mélange
Sb	Taux de surface superficielle des bulles d'air
t	Temps, temps de résidence
tm/j	Tomme métrique par jour
TMS	Tonne métrique sèche (0 % humidité)
TMSA	Tonne métrique séchée à l'air (10 % humidité)
tpm	Tour par minute
ul	Viscosité de la suspension
$\mu\text{m}$	Micron
Usg	Vélocité de glissement
UV	Rayonnement ultraviolet

# **Chapitre 1 - Introduction**

L'industrie des pâtes et papiers est à la fois une grande consommatrice d'eau, de bois et d'énergie. Suivant des normes environnementales de plus en plus exigeantes, l'industrie des pâtes et papiers a été obligée de réduire sa consommation d'eau. Cette réduction n'a été possible que grâce à des efforts de recyclage de l'eau blanche à l'intérieur de l'usine de pâtes et de papiers afin de minimiser son apport d'eau fraîche. Ainsi, l'eau fraîche, autrement utilisée sans modération, a été remplacée par une eau chaude, plus chargée en fibres, en matières dissoutes et colloïdales et en matières inertes (charges). Nous avons donc assisté dans les années 1980 et 1990 à la fermeture des circuits d'eau blanche. Cette fermeture a entraîné des économies de fibres (moins de pertes aux égouts) et des économies d'énergie (moins d'eau fraîche froide à chauffer). Cependant, certains inconvénients majeurs, tels pertes de blancheur, dépôts de matières collantes sur la machine à papier, dosage d'agents de rétention, corrosion accrue, sont venus réduire l'efficacité de production des machines à papier et augmenter les coûts de production.

## **1.1 Généralités**

Le papier est essentiellement composé de fibres végétales et fabriqué en milieu aqueux. Les matières de base pour le papetier sont : les pâtes mécaniques, mi-chimiques, chimiques du bois, les pâtes recyclées et l'eau. Cependant, pour améliorer certaines qualités du papier (aspects, propriétés mécaniques, propriétés spécifiques) en vue de le rendre plus apte à l'usage auquel il est destiné, on a recours à divers produits non fibreux tels que :

- 1) Les charges (matières minérales);
- 2) Les colorants et pigments colorés;

- 3) Les hydrofugeants (colophane, etc.) et les produits chimiques aptes à les fixer sur les fibres;
- 4) Les divers agents améliorants les liaisons entre les fibres afin d'accroître leurs résistance à l'état sec ou humide;
- 5) Les floculants, dispersants, antimousses, etc.;
- 6) Les produits barrières, etc.

Ces produits sont incorporés dans la masse avant la formation de la feuille ou déposés sur une ou sur les deux faces du papier encore humide ou séché. Le schéma de la fabrication du papier, représenté sur la figure 1.1, permet d'avoir un point de vue général et de constater la complexité et le nombre d'opérations nécessaires pour arriver à obtenir la «feuille» de papier telle se présentera chez son utilisateur final [1]. On peut entrevoir que c'est l'usage auquel est destiné le papier qui va nécessiter l'obtention de certaines caractéristiques à lui donner et, de ce fait, les sortes de pâtes et d'adjuvants à utiliser dans sa composition

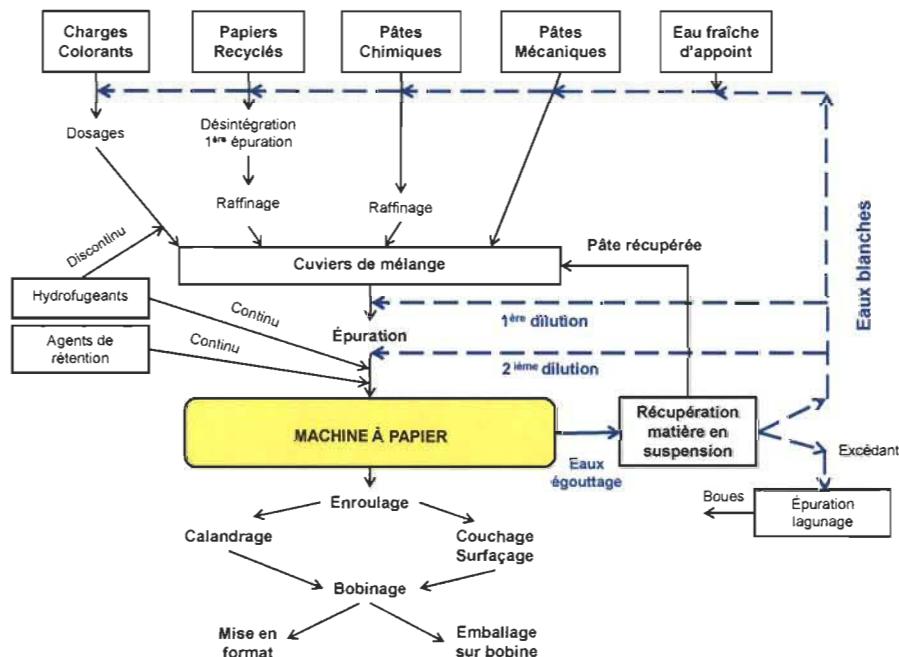


Figure 1.1 Schéma général de la fabrication du papier

L'industrie papetière moderne est très diversifiée, on dénombre plusieurs sortes de papiers, classés en cinq grandes familles :

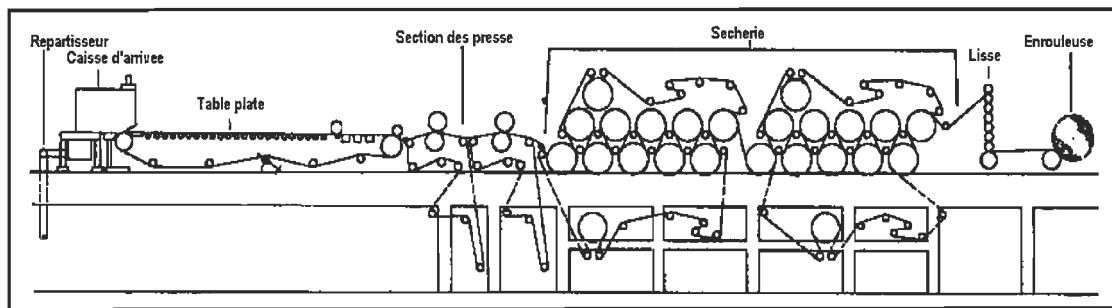
- 1) Papiers pour usages graphiques : journal, magazine, revues livres, lettres etc.;
- 2) Papiers d'emballage : sacs, emballages de denrées alimentaires etc.;
- 3) Cartons : Boîtes pliantes;
- 4) Papiers industriels et spéciaux : papier peint, filtre, buvard, chèque, condensateur etc.;
- 5) Papiers domestiques et sanitaires : papier hygiénique, mouchoirs, essuie-tout, nappes, serviettes etc.

L'usine d'Abitibi Bowater de Gatineau fabrique du papier journal constitué de pâte thermomécanique (100% de résineux) et de pâtes recyclée (fabriquée à partir d'un mélange de vieux journaux et de magazines) sur 3 machines à papier soit la machine à papier no. 3, no. 4 et no. 6.

## **1.2 Fabrication du papier**

La fabrication du papier est essentiellement un processus de filtration. En effet, la toile d'une machine à papier peut être considérée comme étant un filtre continu sur lequel la plus grande partie de la proportion de solides de la pâte sera retenue. Les solides non retenus s'égouttent à travers la toile avec la majorité du liquide pour former un liquide d'aspect laiteux, l'eau blanche. Une eau blanche typique est composée de divers constituants tels que des fibres, des fines, des charges minérales, divers additifs chimiques nécessaires à la fabrication (agent de rétention et drainage, biocides, agent anti-mousse, etc.), ainsi que des matières dissoutes et colloïdales (MDC) provenant des étapes précédentes de fabrication.

De façon générale, une machine à papier conventionnelle comporte trois sections essentielles telles qu'illustrées à la figure 1.2 [2]. La première section est la section fabrication du matelas fibreux [3]. Celui-ci se forme sur une ou plusieurs toiles avec l'arrivée d'une suspension diluée à 0,5 % de consistance par l'intermédiaire d'un distributeur, la caisse d'arrivée. Sur la table plate, la pâte est drainée de son eau sous forte turbulence pour ainsi sortir de cette section à une consistance d'environ 20 %. La qualité de la formation de la feuille est tributaire de cette turbulence. Un ajout de produits chimiques, des polymères, peut aider à une bonne formation du papier en contrôlant la taille et la dispersion physique des flocons de fibres le constituant. À cette étape, on ajoute aussi des polymères qui favoriseront le drainage de l'eau et la rétention des matières solides sur la toile par une augmentation de la floculation des fibres. L'augmentation de la quantité de flocons favorise l'écoulement d'eau et permet, par leur intermédiaire, d'augmenter la quantité de charges minérales et de fines emprisonnées dans la feuille de papier. Le drainage de l'eau peut aussi être accéléré par plusieurs éléments physiques tels que des racles et des caisses aspirantes. Ils s'appuient, respectivement, sur un vide hydrodynamique, créé par la vitesse de la toile, et sur un vide extérieur. La caisse aspirante utilise des pompes à vide qui ont besoin d'une grande quantité d'eau afin de créer le vide nécessaire qui pourrait, en cas de défectuosité, être contaminé de métaux et d'huiles générées par la friction des pièces mobiles.



**Figure 1.2 Représentation d'une machine à papier de type Fourdrinier**

La deuxième section est la section des presses et elle a pour but de retirer le maximum d'eau de la feuille par pressage entre des rouleaux. L'eau enlevée à cette étape constitue une économie au niveau de la sécherie. Typiquement, pour 1% de siccité supplémentaire obtenue aux presses, on note une réduction de la consommation d'énergie à la sécherie d'environ 4%. La teneur en solides de la pâte à la sortie de la section des presses est d'environ 45 %.

La troisième section est la section de la sécherie qui évapore le reste de l'eau de la pâte qui ne peut plus être éliminée par égouttage ou par pressage. Elle évapore l'eau par le passage de la feuille sur des cylindres chauffés à la vapeur, afin d'arriver à une siccité d'environ 95 %.

La fabrication de papier est un processus qui consomme beaucoup d'eau, bien souvent au détriment du rendement matières premières/papier. Depuis quelques années, de gros efforts techniques ont permis de limiter la consommation à une moyenne de 40 m<sup>3</sup> la tonne de papier fabriqué. Malgré tous ces efforts, la rationalisation de la consommation d'eau fraîche demeure encore élevée. L'idéal serait de descendre en dessous de 10 m<sup>3</sup> la tonne. Pour atteindre cet objectif de réduction de la consommation, il faut fermer les circuits d'eau jusqu'à la limite du possible. Cette fermeture entraîne une augmentation de la concentration des éléments fins (fibrilles, charges) du circuit d'eau blanche.

Ces éléments fins tournant en rond s'enrichissent en matières lipophiles et en charges, diminuent la capacité d'égouttage de la toile, et donnent des papiers moins résistants à l'état humide. Afin d'éviter ces ennuis, le papetier s'efforce de retenir le maximum d'éléments fins dans la feuille pendant sa formation en évitant des égouttages brutaux et si nécessaire par l'utilisation d'agents de rétention. La plupart des usines ne clarifient que la partie des eaux blanches dirigées vers le circuit secondaire, c'est-à-dire non utilisées pour la dilution du circuit primaire. Aucune technologie (décantation, filtration) ne permet actuellement d'assainir entièrement le circuit d'eau blanche de ces éléments fins pour atteindre une fermeture complète.

### 1.3 Structure de la thèse

L'objectif de ce projet de recherche est de greffer une opération unitaire au cœur de la machine à papier afin de pouvoir réaliser un nettoyage sélectif de son circuit d'eau blanche. Tel un rein, la colonne de flottation arrive à décontaminer sélectivement le circuit d'eau blanche primaire d'une machine à papier.

Le manuscrit présenté ici est divisé en trois parties principales. Une première partie de cette thèse traite de la fabrication du papier, de l'eau blanche, de ses contaminants, des effets néfastes sur la productivité d'une machine à papier, des technologies mis à la disposition du papetier pour y remédier et des travaux antérieurs. Ainsi, le chapitre 1 fait un bref aperçu de la fabrication du papier. Le chapitre 2 est consacré à l'eau blanche et aux circuits d'eau blanche que l'on retrouve dans une usine de papier intégrée ainsi que la provenance des différents contaminants qui se retrouvent dans cette eau blanche en fonction de l'origine de fabrication des pâtes utilisées (pâte thermomécanique et pâte désencreée) et leurs impacts sur les propriétés physiques, mécaniques et optiques ainsi que sur la production du papier. Dans le chapitre 3, nous aborderons les différents équipements (ou opérations unitaires) disponibles aux usines de pâtes et papiers pour nettoyer les circuits d'eau blanche. Le chapitre 4 sera consacré à la flottation sur colonne, l'innovation faisant l'objet de cette thèse. Nous décrirons son utilisation, ainsi que les paramètres utilisés pour assurer son bon fonctionnement. Le chapitre 5 traite de la flottabilité des fines contaminées et vise à faire la distinction entre la flottation et l'entraînement des fines contaminées.

Dans la seconde partie, l'approche expérimentale appliquée et les résultats expérimentaux des essais de flottation sur colonne effectués sur de l'eau blanche provenant de l'usine de papier journal Abitibi Bowater de Gatineau (Qc) sont exposés au chapitre 6 et discutés au chapitre 7. Ces résultats découlent d'une part, d'essais effectués sur des équipements de flottation en laboratoire, puis d'autre part, d'essais effectués sur une uni-

té pilote mobile, installée en premier lieu, au centre de recherche FPInnovations, de Pointe-Claire (Qc), puis en second lieu, à l'usine d'Abitibi Bowater de Gatineau (Qc).

Dans la troisième partie, des essais de recombinaison en laboratoire de pâte thermomécanique et de pâte désencrée ont été effectués avec de l'eau blanche ayant été traitée ou non par la flottation sur colonne. Ces essais visent à déterminer l'impact de la flottation sur colonne sur les propriétés optiques, physiques et mécaniques du papier fini.

Une étude économique sommaire est dressée suite à ces différents résultats et des conclusions en sont tirées ainsi que plusieurs recommandations pertinentes visant la poursuite de projets de recherche et de développement complémentaires.

## Chapitre 2 - Circuits d'eau blanche

La machine à papier constitue le cœur de l'industrie des pâtes et papiers à travers le monde. D'origine modeste, elle constitue aujourd'hui un chef-d'œuvre de la technologie où contrôle de procédés à multivariables, vitesses extrêmes et largeurs excessives se côtoient. Cependant, malgré les années, ses fonctions de base n'ont guère changé : drainage, aspiration, pressage, séchage, calandrage.

La fabrication du papier requiert une circulation importante d'eau et de fibres. Pour des raisons économiques (fibres et énergie) et environnementales (effluent), l'industrie des pâtes et papiers doit réduire sa consommation d'eau fraîche en récupérant et en réutilisant des eaux blanches qui autrefois étaient envoyées au traitement des eaux usées [4]. La tendance est donc clairement à la fermeture des circuits d'eaux blanches [5, 6].

### 2.1 Eau blanche

Depuis l'invention du papier, l'eau est une composante essentielle à sa fabrication. Son utilisation équivaut à une consommation moyenne d'eau fraîche de  $48,7 \text{ m}^3$  par tonne de papier produit [7]. Ses rôles sont nombreux : transport, désintégration, dilution, trituration, formation du matelas fibreux, stockage et diffusion d'énergie, nettoyage, etc. À titre d'exemple dans son rôle de transport, d'une consistance à la caisse d'arrivée de 0,8 à 1,0 % de pâte sèche, la feuille de papier consolidée quitte la section des presses à une consistance allant jusqu'à 45 % de pâte sèche. L'eau utilisée pour véhiculer la suspension fibreuse comporte une certaine quantité de petites fibres, de débris de fibres, de matières non fibreuses, de charges, d'amidon et de matières colorantes qui passent à travers la toile de formation en même temps que l'eau. Cette eau d'égouttage est appelée «eau

blanche». Elle provient également en partie des caisses aspirantes, du rouleau coucheur et des presses.

L'eau blanche tient son nom de son aspect blanchâtre, son apparence laiteuse provient des constituants qui la composent. Elle est constituée principalement de fibres, de fibres fines, de charges minérales, de divers additifs chimiques, ainsi que de matières dissoutes et colloïdales (MDC) non retenues sur la toile de formation [8].

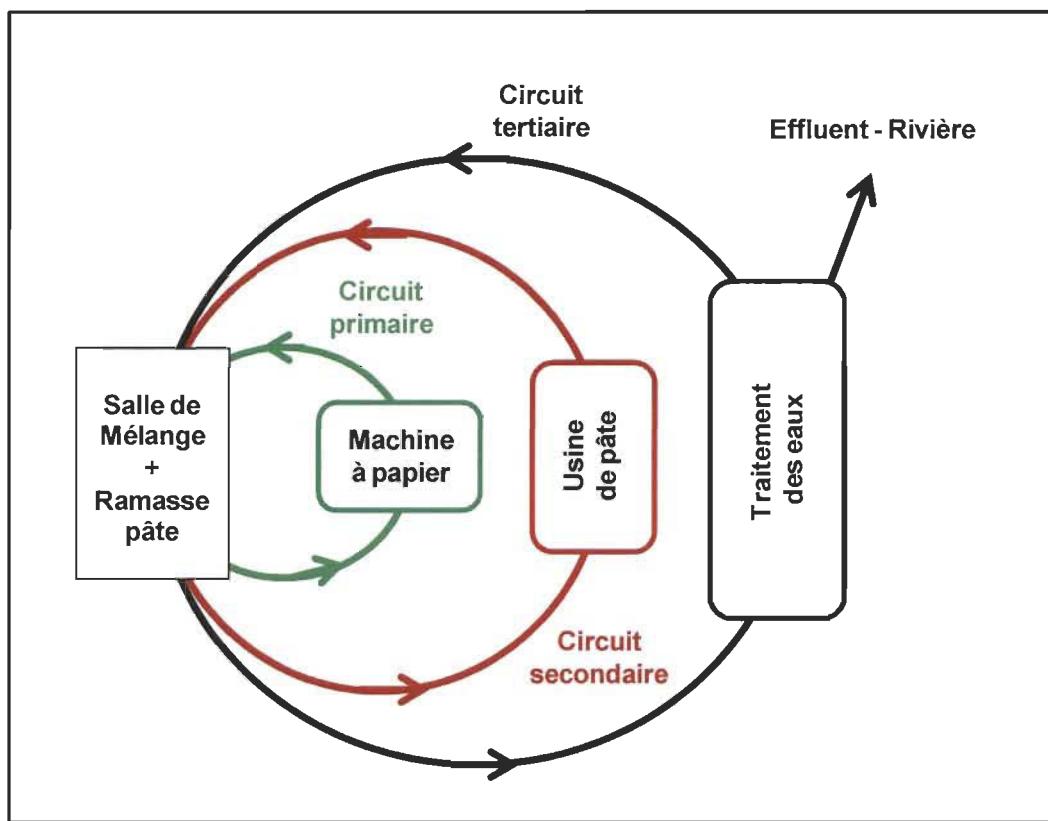
La consistance de l'eau blanche recueillie sous les toiles de formation dans la fosse sous toile peut atteindre 0,5 % de pâte sèche, dont près de 95 % seront des fines et des fragments de fibres produits lors de la fabrication des pâtes. Ces fines ont une importance majeure dans la consolidation de la feuille de papier en améliorant de façon significative les propriétés optiques, physiques et mécaniques [9]. Cependant, ces fines réduisent l'indice d'égouttage de la pâte et la porosité du papier. Cette réduction de la porosité réduit le taux d'évaporation dans la sécherie ce qui nuira à la productivité de la machine à papier.

La dimension et la forme des particules contenues dans l'eau blanche (tableau 2.1) affectent le comportement des matières solides dans les procédés de filtration, de fractionnement et de séparation à l'intérieur de l'usine [6].

**Tableau 2.1 Dimension de diverses matières solides dans une eau blanche**

Composante	Longueur (µm)	Largeur (µm)
<b>Fibres</b>	1000-3500	30
<b>Fines</b>	< 150	30
<b>Charges</b>	1-5	1-5
<b>Matières colloïdales</b>	< 1	< 1

Les eaux blanches doivent être récupérées et réutilisées pour conserver l'eau, les fibres et autres matières qui, sans cela, seraient perdues. Un circuit d'eau blanche fermé permet de récupérer plus de 95 % de l'eau blanche produite autour de la machine à papier [4]. Ce haut taux de recyclage permet aux usines de réduire leur consommation d'eau fraîche et leurs dépenses en énergie. Ces eaux blanches récupérées de la fabrication du papier se retrouveront dans trois circuits d'eau blanche distinctifs [4, 8]: primaire, secondaire et tertiaire (figure 2.1).

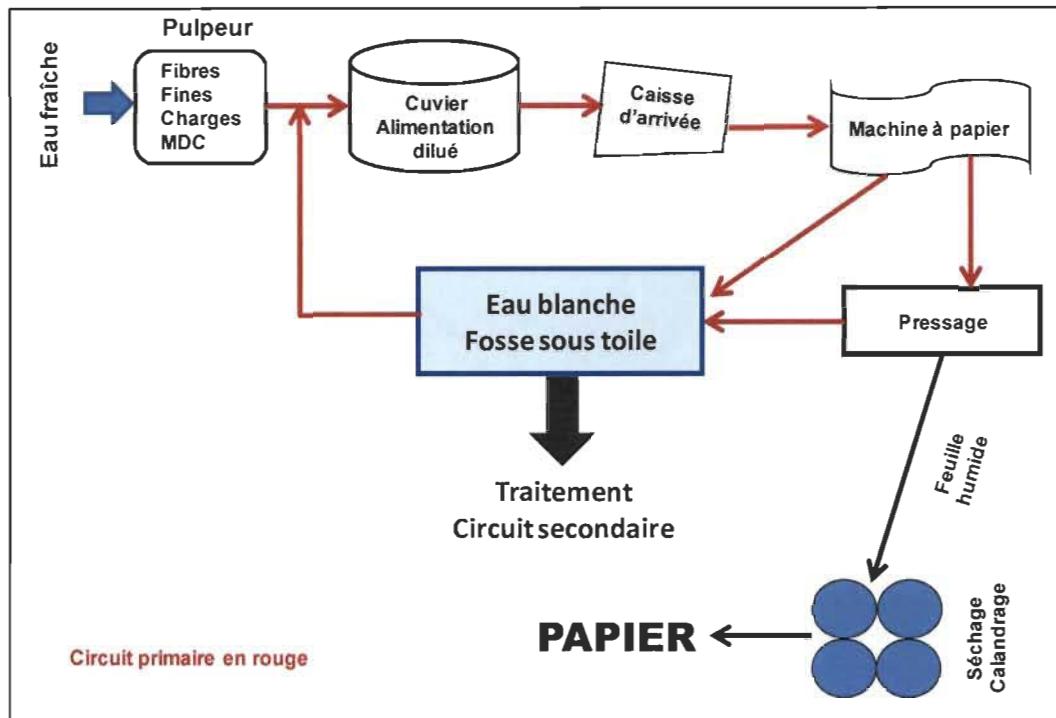


**Figure 2.1    Circuits d'eau blanche**

### 2.1.1 Circuit primaire

Le circuit primaire est relativement court et constitue le système d'approche d'une machine à papier. Il comprend entre autres les systèmes de dilutions des pâtes, les épurateurs, les tamis, la caisse d'arrivée, les toiles de formation et la fosse sous toile. Ce cir-

cuit contient les eaux blanches les plus chargées, car elles sont recueillies au début du bout humide de la machine à papier. Il renvoie l'eau de la phase d'égouttage à la phase de dilution. Cette eau permet d'ajuster la concentration de la pâte à la caisse d'arrivée en la faisant passer de 2,5 – 3,0 % de pâte sèche au cuvier de mélange des pâtes à 0,8 – 1,0 % de pâte sèche à la caisse d'arrivée (figure 2.2).



**Figure 2.2 Schéma simplifié d'un circuit d'eau blanche primaire**

La rétention (sans adjuvants chimiques) d'une machine à papier diffère d'une machine à l'autre, car plusieurs facteurs mécaniques l'influencent [10]:

- La dimension des particules à être retenues;
- La dimension des pores de la toile de la machine;
- La grosseur des pores du matelas fibreux lors de sa formation;
- La vitesse de la machine qui impacte sur la vitesse à laquelle le matelas fibreux est formée;
- Le poids de base du papier produit;

- Les méthodes de drainage utilisées (lame, rouleau, double toile, caisse aspirante).

En pratique, ces facteurs sont difficilement modifiables pour une machine existante. Pour augmenter la rétention d'une machine à papier, il est, dès lors, nécessaire d'utiliser une approche chimique où plusieurs stratégies peuvent être envisagées pour accroître la rétention [10]. Pour se faire, il est possible, grâce à des polymères cationiques de haut poids moléculaire et de faible densité de charge avec ou sans micro particules (bentonite, silice, ou autres), d'augmenter la taille des petites particules par la formation de flocs qui seront alors retenus dans les interstices du matelas fibreux. On peut aussi lier les petites particules fines aux fibres à l'aide d'un agent coagulant (polymère de bas poids moléculaire et de haute densité de charge cationique).

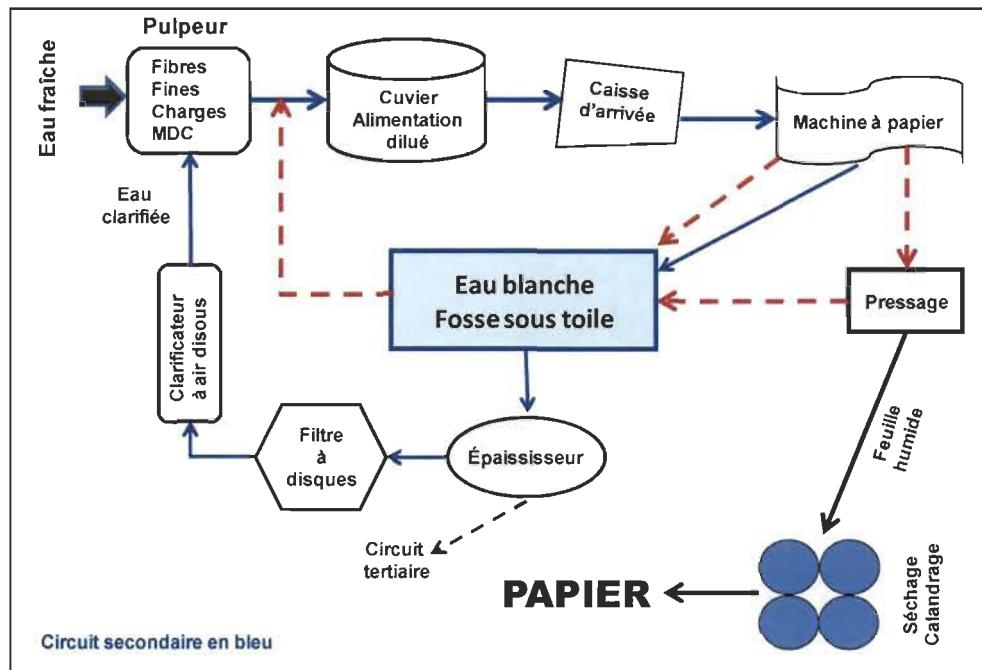
Même avec des adjuvants chimiques, la rétention ne pourra jamais être 100 %, car il y aura toujours des particules fines qui s'écouleront avec l'eau à travers la toile.

### 2.1.2 Circuit secondaire

Le circuit secondaire est assez long et englobe l'ensemble des circuits de fabrication des pâtes, le système de récupération de fibres ainsi que le stockage du surplus d'eau blanche du circuit primaire. Le circuit secondaire a pour but de récupérer au maximum l'eau blanche afin de minimiser les besoins en eau fraîche à travers les différentes étapes de fabrication. La figure 2.3 représente un schéma très simplifié du circuit secondaire, car en fait, le circuit secondaire comprend plusieurs éléments non présentés dans cette figure :

- la récupération de l'excédent d'eau blanche du circuit primaire;
- la clarification d'une partie de cette eau pour obtenir une eau de rinçage;
- le réservoir central de stockage d'eau blanche;
- la dilution de la pâte dans le trituateur;
- le raffinage et le mélange des pâtes;

- la récupération de la pâte cassée;
- la préparation de pâtes d'appoint (ex. pâte kraft);
- les diverses douches de rinçage à l'eau fraîche, clarifiée ou blanche.



**Figure 2.3 Schéma simplifié d'un circuit d'eau blanche secondaire**

L'emploi d'eau récupérée présente de nombreux avantages : économie sur le traitement de l'eau fraîche avant son utilisation et surtout sur l'épuration des eaux usées avant leur rejet à la rivière; diminution des pertes de fibres, des charges et des adjuvants tels les colorants et pigments; et enfin, économie sur le chauffage de l'eau. Aujourd'hui, de nombreuses usines ont réduit leur consommation d'eau fraîche en évitant les gaspillages et en se servant d'eau clarifiée pour les douches de rinçage. Cela permet de supprimer l'impact des chocs de température et de pH [11] causés habituellement par des douches à l'eau fraîche, car l'eau clarifiée a les mêmes caractéristiques que la pâte mise en œuvre sur la toile de formation [4].

Dans un circuit secondaire, on retrouve un épaississeur afin de récupérer la pâte et des récupérateurs clarificateurs (décanteurs, flottation à air dissous, filtre à disques) qui ont pour objectifs de récupérer le maximum de matières fines en suspension et d'obtenir des eaux clarifiées utilisables pour les rinçages.

### **2.1.3 Circuit tertiaire**

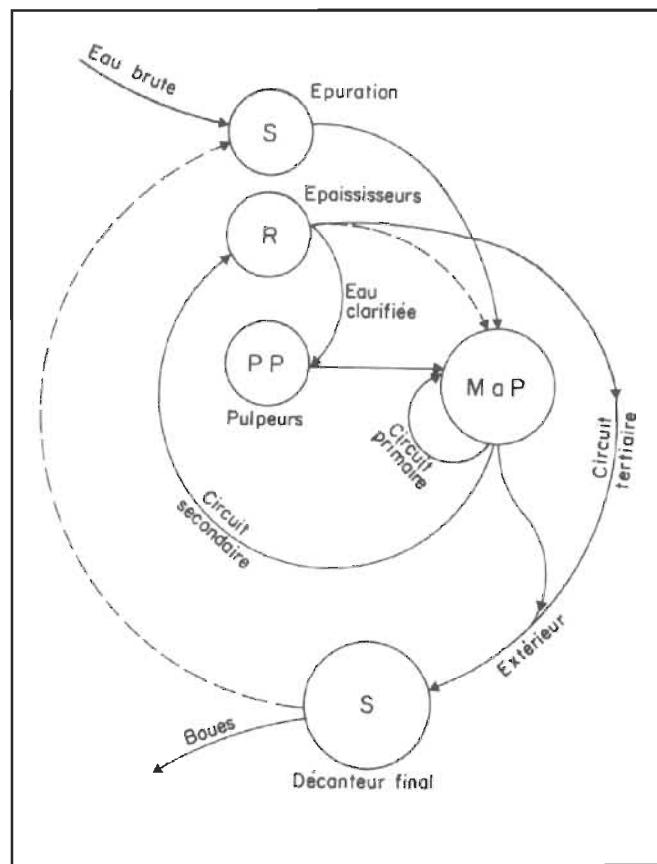
Le circuit tertiaire, quant à lui, ne fait pas encore partie intégrante de la fabrication de la pâte ou du papier en Amérique du Nord. Il est constitué par les eaux de fabrication envoyées au système de traitement des effluents et par les filtrats provenant de l'élimination des boues primaires (fibres - procédés) et secondaires (biologiques) de l'usine. Un réseau d'eau blanche dans une usine intégrée n'est jamais complètement fermé. Le trop-plein du cuvier d'eau blanche est évacué dans le circuit tertiaire. Ce volume excédentaire est directement proportionnel à l'eau fraîche introduite dans les circuits primaire et secondaire [6]. Le circuit tertiaire a pour fonction :

- d'éliminer des circuits de fabrication les éléments colloïdaux qui réduisent l'égouttage, nuisent à la qualité de la feuille et causent le développement de micro-organismes;
- d'évacuer certaines matières solubles dont l'accumulation dans l'eau risque de perturber l'équilibre physico-chimique;
- d'empêcher l'accumulation de particules de résine et de la poix qui peuvent adhérer aux toiles, colmater les feutres, encrasser les lames de docteur.

Quant aux rejets de fibres à l'égout, ils sont inévitables bien qu'il faille les réduire au minimum afin d'éviter les pertes et leurs traitements coûteux. Le circuit tertiaire recueille donc toutes les eaux destinées à l'égout (figure 2.4) [1]. Ces eaux rejetées proviennent aussi de plusieurs points des procédés de fabrication :

- les purges en continu qui évacuent les agents colloïdaux et les matières dissoutes;

- certaines eaux de lavage (ex. lavage des copeaux) dont la faible concentration en fibre ne justifie pas leur récupération ou encore qui contiennent des impuretés nuisibles, comme des poils de couverte ou du sable;
- les rejets des derniers stades des épurateurs tourbillonnaires chargés de bûchettes, de sable, de morceaux d'écorces, de résine et autres contaminants;
- les volumes excédentaires de pâte et d'eau blanche provenant des casses sur la machine à papier et aux changements de fabrication (couleur, poids de base).



**Figure 2.4 Schéma simplifié d'un circuit d'eau blanche tertiaire**

Les eaux usées du circuit tertiaire doivent obligatoirement être traitées avant d'être rejetées à la rivière.

## 2.2 Fermeture des circuits d'eau blanche

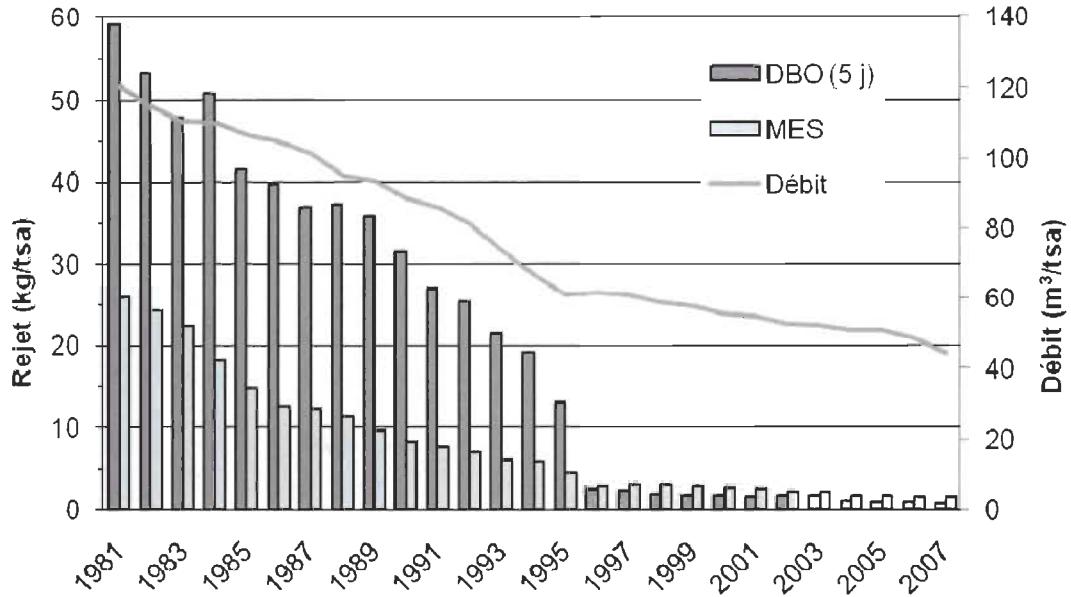
L'industrie des pâtes et papiers au Québec est assujettie au « Programme de réduction des rejets industriels » [12]. Adopté par le gouvernement du Québec en 1988, ce programme consiste en une stratégie d'intervention visant à rendre les rejets industriels compatibles avec les milieux récepteurs. Tous les types de rejets sont considérés : les rejets d'eaux usées, les émissions atmosphériques, d'odeurs et de bruit ainsi que les matières résiduelles.

La réduction des rejets d'eaux usées dans le milieu récepteur aquatique force l'industrie à réduire sa consommation d'eau fraîche et à recycler le plus possible ses eaux blanches. Les eaux usées doivent être débarrassées de leurs solides en suspension par l'installation de systèmes de traitement primaire (décanteur, cellule de flottation à air dissous) et par une dégradation de la matière organique dissoute à l'aide d'un traitement biologique suivi d'une décantation secondaire des solides (traitement secondaire) avant d'être rejetées à la rivière.

Ainsi, depuis l'adoption au Québec de limites de rejets prévues par le « Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers » en 1979, une baisse significative des rejets en MES et de matières organiques biodégradables (exprimées en  $\text{DBO}_5$ ) s'en est suivie. De 1992 à 1995, l'entrée en vigueur de nouvelles normes de rejets en  $\text{DBO}_5$  et en MES a initié une seconde phase de réduction des rejets.

La figure 2.5 illustre les diminutions de rejets de  $\text{DBO}_5$ , de MES et de consommation d'eau fraîche de 1981 à 2007, par unité de production, pour l'ensemble des papetières du Québec [12].

La fermeture des circuits d'eau blanche s'accomplit en maximisant la réutilisation d'eau à l'intérieur des procédés de fabrication afin de réduire la consommation d'eau fraîche et le volume de l'effluent à traiter [13, 14, 15].



**Figure 2.5** Évolution des rejets d'eaux usées de 1981 à 2007

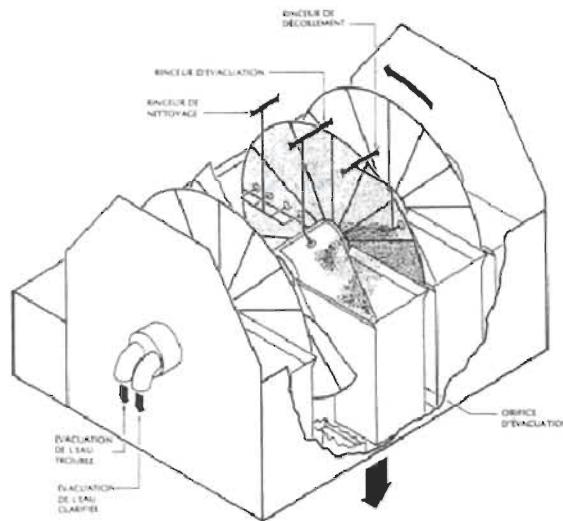
La modification des procédés et les efforts de récupération interne mise en place par les papetières ont entraîné une fermeture des circuits d'eau blanche. La consommation moyenne est ainsi passée de 120 m<sup>3</sup>/TMSA en 1981 à près de 40 m<sup>3</sup>/TMSA en 2007. Cette fermeture des circuits d'eau blanche a permis aux usines de purger partiellement ses circuits d'eau blanche des fines et des contaminants.

### 2.3 Constituants de l'eau blanche

L'eau blanche provenant de la fabrication du papier est composée de divers constituants tels que les fibres, les fines, les charges minérales, divers additifs chimiques, ainsi que des matières dissoutes et colloïdales (MDC). Ces dernières sont générées lors des opérations de mise en pâte, de blanchiment ou encore de l'incorporation de pâtes désencrées [16] dans la recette de fabrication du papier. De nos jours, dans les circuits d'eau blanche, nous pouvons considérer globalement que les fibres longues (pâte thermomécanique, pâte désencrée) et des charges minérales sont récupérées. Il est presque impos-

sible aujourd’hui d’imaginer un réseau d’eau blanche en circuit fermé qui ne comporte pas de ramasse-pâte [4] car ceux-ci constituent l’élément clé du recyclage des eaux blanches. Dans un système bien conçu, ils permettent de récupérer en moyenne 95% des matières en suspension tout en clarifiant l’eau blanche afin qu’elle soit réutilisable sur la machine à papier (ex. douches de rinçage). La pâte récupérée par les ramasse-pâte est réintroduite dans le réservoir de mélange des pâtes.

On retrouve dans l’industrie papetière des ramasse-pâte basés sur l’un des trois principes de séparation suivants : filtration (filtre à disques ou à tambour), flottation (clarificateur à air dissous) et décantation/sédimentation [4]. Les deux types d’équipements [14, 17] les plus fréquemment installés sont le filtre à disques (figure 2.6) et le clarificateur à air dissous (figure 2.7).

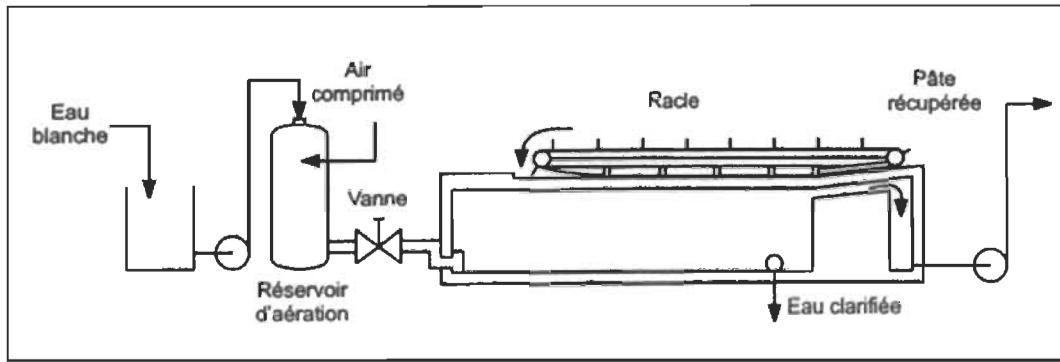


**Figure 2.6 Filtre à disques**

Le filtre à disques produit le plus souvent trois types d’eau blanche soit de l’eau blanche riche (ou trouble), pauvre et claire. Chaque eau blanche générée sera utilisée de façon appropriée autour de la machine à papier (dilution, douches de lavage, rinceurs à haute pression).

Le clarificateur à air dissous permet de récupérer les fibres et les charges par injection de petites bulles d’air pressurisé qui font flotter de façon non sélective les particules en

Le clarificateur à air dissous permet de récupérer les fibres et les charges par injection de petites bulles d'air pressurisé qui font flotter de façon non sélective les particules en suspension à la surface, où elles seront éliminées à l'aide d'un racloir ou d'une écumoire (figure 2.7) [6].



**Figure 2.7 Clarificateur à air dissous**

La concentration moyenne des eaux blanches recueillies sous la toile de formation (fosse sous toile) peut être très faible ( $< 0,3 \text{ g/L}$ ) avec des fibres longues peu raffinées, assez faibles avec des fibres courtes ( $< 1 \text{ g/L}$ ) mais elle peut se situer au-dessus de  $2 \text{ g/L}$  en présence de charges, de pâtes thermomécaniques et désencrées et atteindre  $4 \text{ g/L}$  et plus si on n'utilise pas d'agents de rétention. Ces valeurs ne sont données qu'à titre purement indicatif et peuvent varier d'un type de fabrication à l'autre dépendant de la finesse de la suspension, de la dimension et de la forme des mailles de la toile, du degré de dilution et de la vitesse de formation de la feuille, du grammage, du degré de rétention physico-chimique des éléments fins se fixant sur les éléments longs, de la vitesse de la machine et à un degré moindre de la force d'aspiration des caisses aspirantes.

Malgré la récupération de la matière fibreuse par les récupérateurs clarificateurs (épaisseur, filtre, décanteur), il n'en demeure pas moins que l'augmentation du recyclage des eaux blanches provoque l'augmentation l'accumulation de différents contaminants tel que les fines, la poix, des matières dissoutes et colloïdales, des matières collantes, des encres, des ions métalliques et des contaminants grossiers externes dans la fabrication du

des MDC augmente de façon exponentielle lorsque la quantité d'eau fraîche utilisée est graduellement réduite à des niveaux inférieurs à  $10 \text{ m}^3$  par tonne de papier produit [18].

La présente thèse s'attaque à cette problématique dans le but de développer une nouvelle technologie de réduction des contaminants à de très forts degrés de recyclage des eaux blanches provenant du circuit primaire.

### **2.3.1 Contaminants de l'eau blanche**

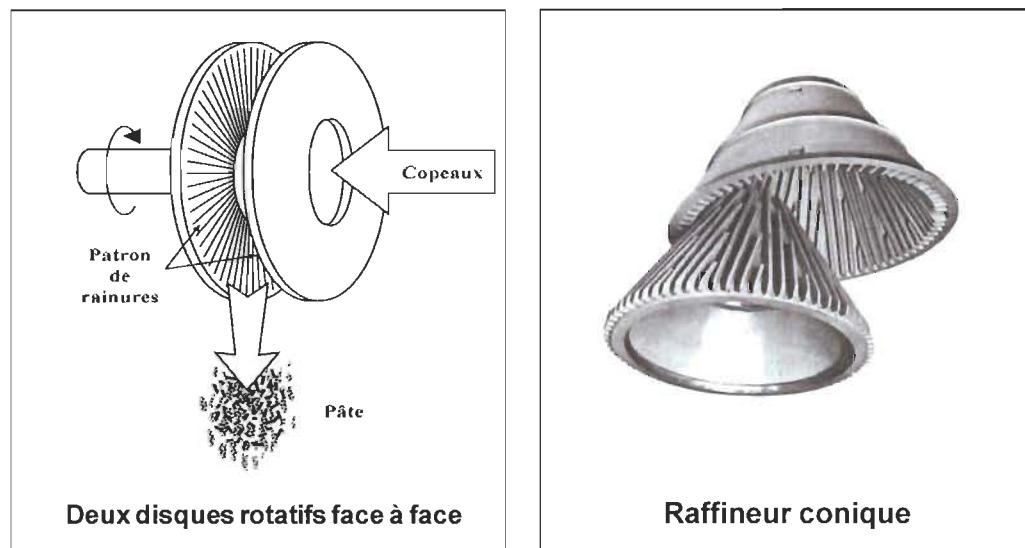
Les contaminants que l'on retrouve dans l'eau blanche sont très majoritairement générés lors des opérations de mise en pâte, de blanchiment et par l'incorporation des pâtes dé-sencrées dans les diverses formulations de papier impression-écriture notamment le papier journal.

#### **2.3.1.1 Pâte thermomécanique - fibres fines**

Le procédé de mise en pâte en pâte utilisé à l'usine d'Abitibi-Bowater de Gatineau pour la fabrication de son papier journal est un procédé thermomécanique (PTM) de bois résineux.

Le procédé consiste à l'arrachement physique des fibres de bois de la matrice du bois par une action de cisaillement après une étape de préchauffage des copeaux à la vapeur. Pour effectuer cet arrachage, la séparation des fibres s'effectue dans un raffineur sous pression. La figure 2.8 représente schématiquement deux types de raffineurs.

Le procédé de production de la pâte thermomécanique implique l'utilisation de copeaux de bois qui sont alimentés sous pression et à haute température dans un arrangement en série de 2 raffineurs pressurisés (primaire et secondaire). La pâte produite requiert une grande quantité d'énergie électrique et thermique qui permet de ramollir la structure de la lignine et de permettre le raffinage du copeau de bois en fibre élémentaire [15].



**Figure 2.8    Types de raffineur**

La température de ramollissement de la lignine se situe autour de 180 °C. Le rendement de cette mise en pâte, défini par le rapport entre la pâte produite et le bois requis, se situe entre 90 et 95 % [2]. La pâte produite contient des fibres, des débris de fibres dont certains sont très fins (figure 2.9). Ces éléments fins, les fines, font partie partiellement de l'eau blanche.



**Figure 2.9    Pâte thermomécanique de résineux pour le papier journal**

Les contaminants provenant de la mise en pâte thermomécanique sont associés à une extraction à la vapeur du bois. L'effluent contient différentes résines et acides gras ainsi que des composés organiques volatils (COV) tels que des terpènes, des alcools, des phénols, du méthanol, de l'acétone et du chloroforme [19]. Comme il y a aussi des matières organiques dissoutes et colloïdales (MDC), l'effluent possède une forte demande biologique (DBO) et chimique en oxygène (DCO).

Dans une fermeture total d'un circuit primaire d'eau blanche, les fines et les matières organiques dissoutes et colloïdales se doivent d'être éliminés au maximum. Pour les pâtes à haut rendement comme la pâte thermomécanique, la proportion de telles matières extractibles influe également sur la blancheur initiale et finale de la pâte [20].

### **2.3.1.2 Matières colloïdales et dissoutes**

Il est connu que les substances dissoutes et colloïdales (MDC) sont libérés lors de la fabrication des pâtes mécaniques et s'accumulent dans le système d'eau blanche [21, 22]. Ces substances sont principalement composées de matières lipophiles (acides gras, résiniques, cire, stérols, résines), de fragments de lignine (lignanes, stilbènes, phénols, polyphénols), de polysaccharides et de matières inorganiques [23, 24]. La plupart de ces composants sont préjudiciables au processus de fabrication du papier et aux propriétés du papier. Leur présence entraîne souvent des dépôts de poix (matières extractibles du bois) ou familièrement le «pitch» [25, 26, 27] et une réduction des caractéristiques physiques des produits papetiers [28, 29, 30]. La poix est une matière collante, souvent de couleur noire, constitué d'un mélange de résines et de goudrons contenus dans le bois résineux qui a une forte propension à se déposer sur les équipements de production lorsqu'elle est déstabilisée [31, 32, 33, 34]. Ces problèmes devraient devenir encore plus significatifs dans une dynamique de fermeture totale des circuits d'eau blanche [35, 36]. Plusieurs groupes ont étudié l'influence des substances dissoutes et colloïdales au sein de l'eau blanche et leurs effets à la fois sur le processus de fabrication du papier et de sa qualité [37, 38, 39]. La plupart de ces travaux ont montré que les matières extractibles

lipophiles et les fragments de lignine sont les principales substances nuisibles dans l'eau blanche. Il est reconnu que la composition et les propriétés des différentes eaux blanches sont très diverses en raison de fournisseurs différents et des procédés qui sont utilisés. En conséquence, il est difficile d'établir une eau blanche «modèle» qui peut être utilisé pour étudier l'influence des substances.

Zhang et ses collaborateurs [40] ont montré que l'augmentation de la concentration des substances dissoutes et colloïdales suite au recyclage de l'eau blanche altérait les propriétés physiques et optiques du papier. Les fragments de lignine sont principalement responsables de la perte de luminosité alors que la présence d'acides gras et résiniques réduit la résistance humide des papiers. La présence de substances lipophiles entraîne également une diminution de la densité des feuilles et du collage interfibres ce qui a pour conséquence de réduire la résistance à la traction des papiers.

La technologie choisie devra réduire la présence de ces matières dissoutes et colloïdales dans le système d'eau blanche.

### **2.3.1.3 Pâte recyclée - Matières collantes**

À l'exception des qualités supérieures, presque toutes les pâtes recyclées contiennent plus ou moins d'impuretés. Les fibres recyclées à base de papier journal ne font pas exception. Elles introduisent une quantité considérable de contaminants dans les circuits d'eau blanche [41]. Dans cette fibre recyclée, les contaminants peuvent être regroupés en quatre catégories distinctes :

- A- sauce de couchage;
- B- colles et rubans adhésifs;
- C- encres;
- D- contaminants externes.

### A- Sauce de couchage

Le procédé de couchage vise à améliorer les propriétés optiques et physiques du papier. La sauce de couchage utilisée est constituée de pigments (glaise, carbonate de calcium, dioxyde de titane, polystyrène, chlorure de polyvinyle), de liants (amidon, soya, caséine, latex styrène butadiène, acétate de polyvinyle, carboxyméthylcellulose) ainsi que certains additifs afin d'insolubiliser, de plastifier, d'épaissir, de disperser ou de teindre celle-ci.

Dans la pâte recyclée, en général, les pigments organiques et les liants naturels se dispersent bien. Ces pigments participent cependant à l'augmentation des dépôts et de l'abrasion sur la machine à papier. De plus, ils diminuent les liens fibres-fibres dans la feuille de papier ainsi que l'efficacité de certains adjuvants. Quant aux pigments plastiques et aux liants synthétiques, ils peuvent former des amas ou agglomérats qui se déposeront sur les équipements et sur le papier fini [41].

Les liants, une fois dissous, augmenteront la demande cationique de l'eau blanche entraînant une baisse d'efficacité des agents de rétention d'où un dosage accru pour compenser leurs présences. De plus, il y aura augmentation de la demande biologique en oxygène des effluents et de l'activité microbiologique dans les eaux blanches.

### B- Colles et adhésifs

Pour adhérer, un matériau doit contourner la rugosité de manière à entrer en contact avec la majeure partie de la surface de l'autre matériau. En l'absence d'un tel mécanisme de contournement de la rugosité, la surface réellement en contact est trop peu étendue, et l'adhésion est très faible, voire inexistante. Nous pouvons faire une distinction entre les colles et les adhésifs selon la façon dont il contourne la difficulté de la rugosité pour fixer des objets ensemble [42]. Une colle est liquide et donc mouille l'ensemble de la surface à coller, y compris les surfaces rugueuses.

Par contre, un adhésif est un solide mou : au contact de la surface rugueuse, il se déforme spontanément, sous l'effet des forces de surface, et épouse la surface rugueuse. Les adhésifs synthétiques ont un domaine d'utilisations plus étendu que les adhésifs naturels. Ils forment des réseaux solides qui collent durablement sur les surfaces.

Dans le papier recyclé, nous retrouvons les colles et les adhésifs surtout en reliure, comme liants au dos des catalogues, sur les rubans adhésifs, sur les autocollants de type « Post-it » et sur le dos des enveloppes. Tous ces types de colles et d'adhésifs produits par l'homme (artificiels), une fois introduits dans l'usine de pâte de recyclée, conserveront leurs propriétés d'adhésion. Sous certaines conditions de température (supérieure au point de fusion) et de chimie (choc de pH et/ou de température), ces matières collantes, appelées familièrement « *stickies* », se déposeront sur les équipements de la machine à papier [43] et entraîneront des casses et des baisses d'efficacité de production [44, 45].

## C- Encres

Les encres se distinguent essentiellement par leur composition chimique et leurs procédés physiques ainsi que par leur mode de fixation. Il existe trois grands types d'encres pour papier journal :

- 1- Les encres typographiques,
- 2- Les encres lithographiques,
- 3- Les encres flexographiques

Les encres à l'eau (flexographiques) posent des problèmes pour le recyclage des papiers. En effet, l'élimination de l'encre se fait par flottation et nécessite que l'encre soit hydrophobe. L'encre à l'eau (hydrophile) n'est pas éliminée et s'accumule dans les circuits. Cette problématique n'a pas encore été résolue.

La quantité d'encre résiduelle susceptible de se retrouver dans les eaux blanches est fonction de la concentration des impuretés (encres) dans la pâte recyclée [46].

## D- Contaminants externes

Le recyclage des vieux papiers (journal et magazine) a entraîné une explosion des contaminants externes introduits dans la pâte recyclée [41, 47]. Aujourd’hui, les ballots de papiers livrés aux usines de recyclage contiennent une forte proportion de contaminants lourds tels des agrafes, des trombones, du verre, du sable, des pièces de métal ainsi que divers déchets ménagers (vêtements, jouets, etc.). De plus, des contaminants légers sont aussi introduits tels des films de plastiques, des styromousses, ainsi que des cartons et des papiers imperméabilisés ou laminés. L’abandon par les villes des collectes sélectives réservées uniquement aux vieux papiers a aggravé cette situation [48].

Malgré l’installation d’équipements de nettoyage de la pâte recyclée performants, des contaminants résiduels sont introduits dans le circuit d’eau blanche primaire de la machine à papier. Ces contaminants de faibles dimensions (sable, plastiques, glaise et carbonate de calcium) dégradent la qualité de pâte désencrée et réduisent les propriétés mécaniques, physiques et optiques du papier. Iosip et ses collaborateurs [49] ont démontré que chaque augmentation de 1 % du contenu en cendres dans le papier réduisait la longueur de rupture du papier de 100 mètres. De plus, la présence accrue de fibres brunes (cartons) dans la pâte recyclée entraîne une baisse drastique de la blancheur du papier, nécessitant un dosage plus élevé en agents de blanchiment.

### 2.3.1.4 Ions métalliques

Les ions métalliques ( $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) de transition présents dans la pâte thermomécanique et dans la pâte recyclée proviennent premièrement de la matière première (bois ou les vieux papiers), mais aussi de l’eau fraîche, de l’usure des équipements (plaques de raffineurs) et de la corrosion généralement présente à l’usine [50]. Ces ions métalliques sont ainsi transportés dans les eaux de procédés et se retrouvent solidement liés aux fines contenues dans la pâte et dans l’eau blanche. Ils sont responsables de la formation de groupements chromophores qui réduisent la blancheur de la pâte [51].

Quelques études réalisées sur les fines contenues dans divers circuits d'eau blanche des usines de pâtes et papiers au Canada [52, 53, 54] ont isolés les fractions P200 et P400 de pâtes produites à partir de plusieurs différents procédés de fabrication (pâtes thermomécaniques (PTM), pâte désencrée (DES), pâte de meule (SGW), pâte thermomécanique blanchie au peroxyde d'hydrogène (BTMP), pâte chimico-thermomécanique blanchie au peroxyde d'hydrogène (BCTMP) et pâte chimique de procédé Kraft) afin d'analyser et de découvrir la nature des fines et les modifications survenues suite à la fermeture des circuits d'eau blanche. Ces analyses ont montré que la fraction P200 a une surface spécifique plus élevée que les fibres de bois. De plus, elles ont démontré que les fractions P200 - P400 étaient plus foncées et contenaient plus de lignine, d'encre résiduelle, d'ions métalliques, de couleur et de matières extractibles que l'ensemble de l'échantillon-pâte analysé. Les fractions P200 et P400 ne sont pas seulement enrichies en fines mais aussi en charges minérales et en ions métalliques [53, 54]. Cette contamination provient de la recirculation d'eau blanche générée principalement par le circuit d'eau blanche primaire.

D'autres études réalisées sur l'eau blanche d'une usine de pâte thermomécanique [55] ont démontré que les eaux blanches sont plus foncées dues à une contamination provenant des matières dissoutes et colloïdales circulant dans l'eau blanche. Ainsi, les charges, comme les fines, absorbent successivement des couches de matières colloïdales et de colorants utilisés dans la fabrication du papier.

## 2.4 Impacts des contaminants

Avec un faible apport d'eau fraîche, la concentration en matières en suspension et en matières dissoutes dans l'eau blanche peut devenir si élevée qu'elle influencera l'équilibre chimique de la suspension de pâte alimentant la machine à papier [56, 57]. Inévitablement, la fermeture des circuits d'eau blanche entraîne des impacts très néfastes

dans les processus de production des pâtes ainsi que dans la fabrication des papiers et des cartons.

Ces impacts néfastes des contaminants sur les procédés des pâtes et papiers sont décrits abondamment dans la littérature [38, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72]. Tous ces auteurs ont montré les impacts négatifs générés par la fermeture des circuits d'eau blanche. Les contaminants hydrophobes créent une discontinuité dans la feuille de papier, ce qui réduit les interactions entre les fibres (ponts hydrogène) et provoque une diminution des propriétés physiques et mécaniques.

#### **2.4.1 Effet sur les propriétés physiques et mécaniques du papier**

Les travaux de Wearing [30] et de Francis et Ouchi [67] ont montré que les propriétés physiques des formlettes sont affectées négativement lorsque de l'eau blanche contaminée avec des matières dissoutes et colloïdales provenant de pâte PTM ou SCMP est introduite lors de leur fabrication. Les forces de traction humides sont réduites dues à des forces de tension de surface plus faibles ainsi qu'à une réduction des liaisons interfibres. La diminution des propriétés de résistance du papier sec est attribuable à la réduction de la surface et de la force de ces mêmes liaisons interfibres. Les acides gras sont les plus dommageables à cause de leur grande activité de surface [30]. Francis et Ouchi [67] ont de plus démontré qu'en éliminant de façon sélective (filtration) ces matières solides colloïdales de l'eau blanche, il était possible d'améliorer la résistance à la rupture par traction. La composante majeure de ces particules colloïdales est des matières extractibles lipophiles.

Dans son étude, Tay [64] a échantillonné la pâte de la caisse d'arrivée de onze machines à papier journal différentes. Il a démontré que les contaminants présents dans l'eau blanche diminuaient la tension de surface Fisher de 72 dynes/cm (eau distillée à 25 °C) à des tensions de surface comprises entre 45,3 et 60,1 dynes/cm. Il a montré que les contaminants les plus néfastes sont les acides gras, les triglycérides et les acides résiniques,

et que leur niveau de présence entraîne une réduction des liens inter-fibres. Il a également déterminé une réduction des propriétés mécaniques (longueur de rupture, indice d'éclatement, indice de déchirure) allant jusqu'à 42 % sur la feuille de papier suivant l'augmentation des contaminants.

L'étude de Gurnagul et de ses collaborateurs [72] montrent très clairement, à l'aide d'un spectroscope électronique, que le coefficient de friction est une fonction de la quantité de matières extractibles mesurées à la surface d'une feuille de papier. Plus la concentration en matières extractibles est élevée, plus faible sera le coefficient de friction. Elle démontre que certaines composantes de la résine du bois (entre autres les acides gras et les glycérides) agissent comme des lubrifiants et réduisent ainsi le coefficient de friction statique.

#### **2.4.2 Effet sur les propriétés optiques du papier**

Les travaux de Francis et Ouchi [67] ont montré que les propriétés optiques des formettes furent affectées négativement lors de leur fabrication dans l'eau blanche contaminée. En réduisant l'apport d'eau fraîche de  $47,4 \text{ m}^3/\text{t}$  à  $2 \text{ m}^3/\text{t}$ , la blancheur des formettes est passée de 54,2 %ISO à 49,8 %ISO, soit une baisse de 3,4 points de blancheur. Cette perte de blancheur est directement attribuable à la contamination de l'eau blanche, soit des matières extractibles lipophiliques.

#### **2.4.3 Effet sur la fabrication du papier**

Les travaux de Webb [71] dressent un bon portrait de l'origine des dépôts retrouvés sur une machine à papier ainsi que certaines méthodes de contrôle (vieillissement du bois, traitements chimiques à l'aide de talc, de dispersant et/ou d'enzymes). Ces substances « interférentes », bien connues du papetier, ont augmenté en concentration dans l'eau blanche suite aux efforts déployés pour réduire la consommation d'eau fraîche et ont un impact négatif sur la fabrication du papier. Sitholé et Allen [66] ont effectué une revue

littéraire fort bien détaillée sur les problèmes potentiels néfastes liés à la présence des matières dissoutes et colloïdales provenant du bois suivant la fermeture systématique des circuits d'eau blanche des usines de pâtes et papiers. Le tableau 2.2 résume, de façon générale, les impacts négatifs qu'entraîne l'accumulation des contaminants dans le circuit d'eau blanche primaire d'une machine à papier.

Sans être exhaustive, cette liste montre les défis que doit surmonter le papetier afin de produire un papier de qualité supérieure qui répondra aux exigences toujours plus élevées du client, l'imprimeur. Le problème de base avec la fermeture des circuits d'eau blanche ne consiste pas à identifier les contaminants présents, mais plutôt, à trouver des équipements ou des traitements adéquats permettant de les éliminer ou, tout au moins, de minimiser leurs effets négatifs sur la machine à papier ainsi que sur le papier fini [73, 74].

**Tableau 2.2 Impacts négatifs des contaminants sur la machine à papier**

<b>Augmentation de la température du circuit d'eau blanche</b>
<b>Réduction de la qualité du papier</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte des propriétés physiques et mécaniques</li> <li>• Perte de la blancheur</li> <li>• Perte de la friction du papier</li> </ul>
<b>Réduction de l'efficacité de la machine à papier</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépôts sur les toiles de formation et les feutres</li> <li>• Dépôts sur les boîtes à vide et lames de docteur</li> <li>• Abrasion et corrosion des équipements</li> </ul>
<b>Formation de mousse</b>
<b>Croissance microbiologique</b>
<b>Développement d'odeurs fortes</b>
<b>Diminution de l'efficacité des agents de rétention</b>
<b>Augmentation des casses et du papier rejeté</b>

## Chapitre 3 – Technologie de nettoyage des circuits d'eau blanche

### 3.1 Problématique

Dans sa quête de fermeture des circuits d'eau blanche, l'industrie des pâtes et papiers doit faire face à de nombreux problèmes [75] et développer de nouvelles stratégies de gestion des eaux blanches [76,77]. L'accumulation des fines nuit à l'égouttage de la feuille, alors que l'enrichissement en matières solides dissoutes [78] accroît la corrosion et les dépôts calcaires [79] et compromet la qualité du papier [40, 80, 81] ainsi que l'efficacité de production de la machine à papier [82]. L'accroissement de la température de l'eau peut entraîner des problèmes de limon et de moussage suite à un accroissement de l'activité microbiologique [83].

Outre l'ajout d'agents de rétention, il n'existe, de fait, aucune opération unitaire présentement sur la machine à papier qui permet de nettoyer le circuit primaire d'eau blanche. Le ramasse-pâte permet, certes, de séparer les eaux blanches, mais il ne fait que ramener les contaminants dans le système d'approche de la machine à papier sans les éliminer. En fait, il accentue le phénomène de concentration des contaminants autour de la machine à papier. Avec les nombreux cycles de circulation et de recyclage des eaux blanches, les fines deviennent noirâtres, colorées, de faible blancheur, très collantes et facilement déstabilisables suite à des chocs de pH ou de température [11, 55, 84].

Ces vieilles fines entraînent à la fois une perte de brillance de la pâte lorsqu'elles sont retournées à contre-courant vers les usines de pâte ainsi qu'une perte de brillance au niveau de la feuille de papier produit [85], ce qui nécessite un dosage accru d'agent de blanchiment (hydrosulfite de sodium et/ou peroxyde d'hydrogène) augmentant les coûts de production. De plus, ces fines contiennent une proportion très élevée des métaux contenus dans une pâte, contribuant largement à la décomposition des agents de blanchiment.

Les figures 3.1, 3.2 et 3.3 présentent une photo instantanée des différents résultats de blancheur %ISO/encre résiduel ERIC (ppm)/consistance (% de pâte sèche) mesurée dans les circuits d'eau blanche primaire et secondaire sur les machines à papier no. 3, no. 4 et no. 6 à l'usine Abitibi Bowater de Gatineau. Notez qu'une blancheur aux usines de fabrication de pâte PTM et désencrée de l'ordre de 62 % ISO est nécessaire pour produire un papier journal d'une blancheur de 58 – 58,5 % ISO. Cela signifie une perte de blancheur entre 3,5 à 4 points de blancheur.

Dans le tableau 3.1, tirée de la figure 3.1, la pâte désencrée finale sortant du réservoir à haute densité (DES HD) a une blancheur de 62,4 %ISO, un ERIC de 157 ppm et une consistance de 3,61 % de pâte sèche. Pour sa part, la pâte thermomécanique sortant du réservoir à haute densité (PTM HD) a une blancheur de 63,2 %ISO, un ERIC de 31 ppm et une consistance de 3,89 % de pâte sèche. Une fois ces 2 pâtes mélangées avec la pâte cassée (papier non vendu) et la pâte récupérée provenant des filtres à disques, la pâte sortant du réservoir de pâtes mélangées a une blancheur de 60,7 %ISO, un ERIC de 117 ppm et une consistance de 2,99 % de pâte sèche.

À la caisse d'arrivée, la pâte a une blancheur de 57,9 %ISO, un ERIC de 170 ppm et une consistance de 1,00 % de pâte sèche. Le papier produit et enroulé sur la bobineuse a une blancheur de 58,8 %ISO, un ERIC de 108 ppm et une consistance de 92,1 % de pâte sèche.

L'eau blanche du silo de la MP 3 a une blancheur de 54,4 %ISO, un ERIC de 244 ppm et une consistance de 0,532 % de pâte sèche. Cette eau blanche, déjà enrichie en contaminants, retourne diluer à nouveau la pâte du système d'approche. L'enrichissement se poursuivra jusqu'à l'atteinte d'un état d'équilibre.

Plus le circuit d'eau blanche d'une machine à papier est fermée (MP 6 versus MP 4), plus l'eau blanche sera contaminée et aura une faible blancheur, un niveau d'encre résiduel (ERIC) élevé ainsi qu'un pourcentage élevé de matières extractibles.

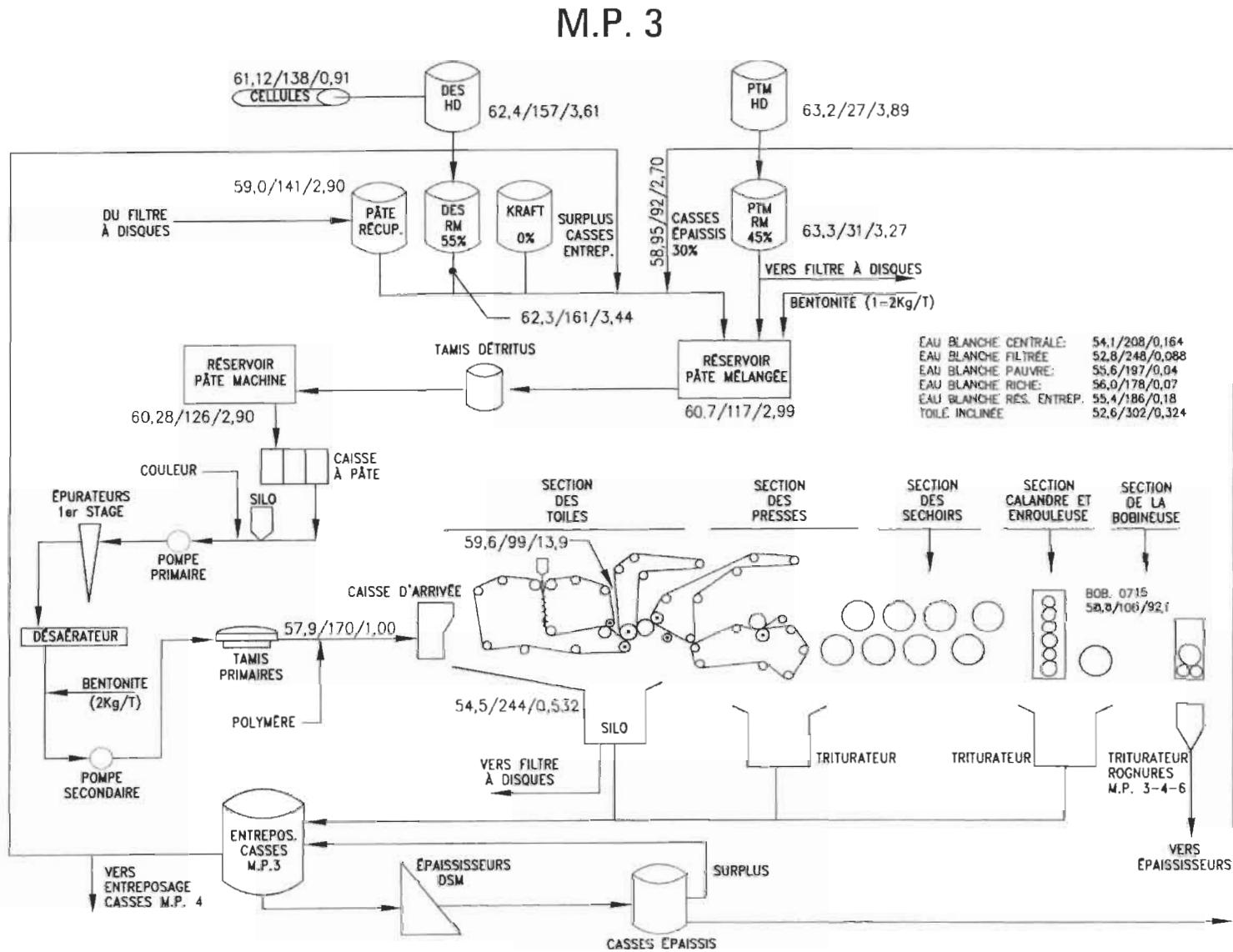
**Tableau 3.1 Évolution des propriétés optiques de la pâte – MP 3**

<b>Localisation</b>	<b>Pâte</b>	<b>Blancheur (%ISO)</b>	<b>ERIC (ppm)</b>	<b>Consistance (%)</b>
<b>DES HD</b>	Pâte Désencrée	62,4	157	3,61
<b>PTM HD</b>	PTM	63,2	31	3,89
<b>Réservoir</b>	Pâte mélangée	60,7	117	2,99
<b>Caisse d'arrivée</b>	Pâte mélangée	57,9	170	1,00
<b>Bobineuse</b>	Papier	58,8	108	92,1
<b>Silo – MP 3</b>	Eau blanche	54,4	244	0,532

### 3.2 Objectifs

Face à cette problématique énoncée, les objectifs principaux de ces travaux de recherche sont de permettre le développement d'une opération unitaire qui pourra effectuer un nettoyage sélectif des circuits d'eau blanche tout en minimisant les pertes de fibres utiles aux égouts (perte de rendement minimale) soit l'élimination ou l'enlèvement des fibres fines noirâtres et hautement contaminées par les matières extractibles. Ce nettoyage se doit de préserver voire d'améliorer, si possible, les propriétés optiques, physiques et mécaniques du papier produit. La technologie de nettoyage développée ou adaptée doit aussi être simple, être peu coûteuse à l'installation, engendrer de faibles coûts d'opération et d'entretien et être naturellement applicable à l'industrie des pâtes et papiers.

Figure 3.1 Perte de blancheur lors de la fabrication du papier journal – MP 3



**Figure 3.2** Perte de blancheur lors de la fabrication du papier journal – MP 4

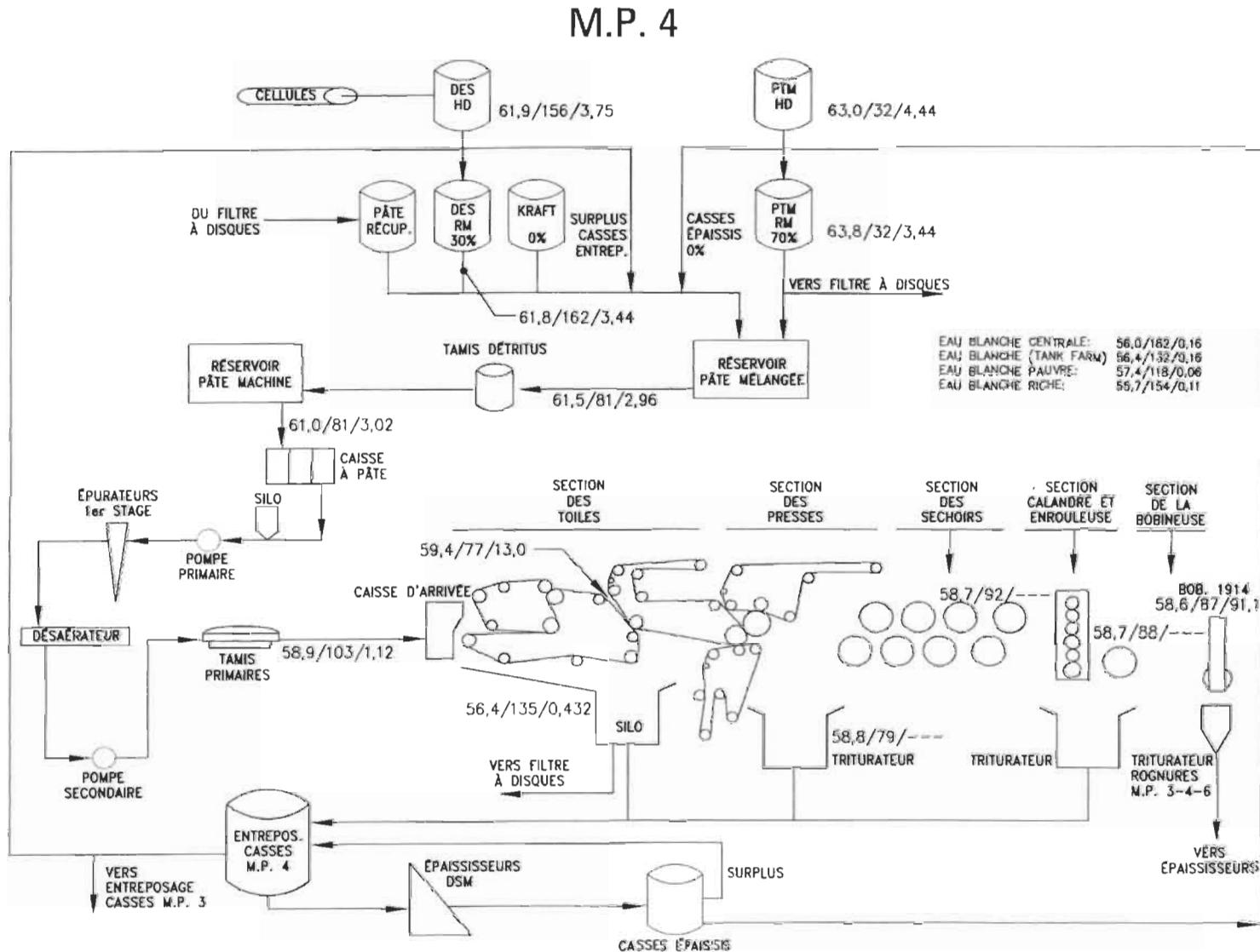
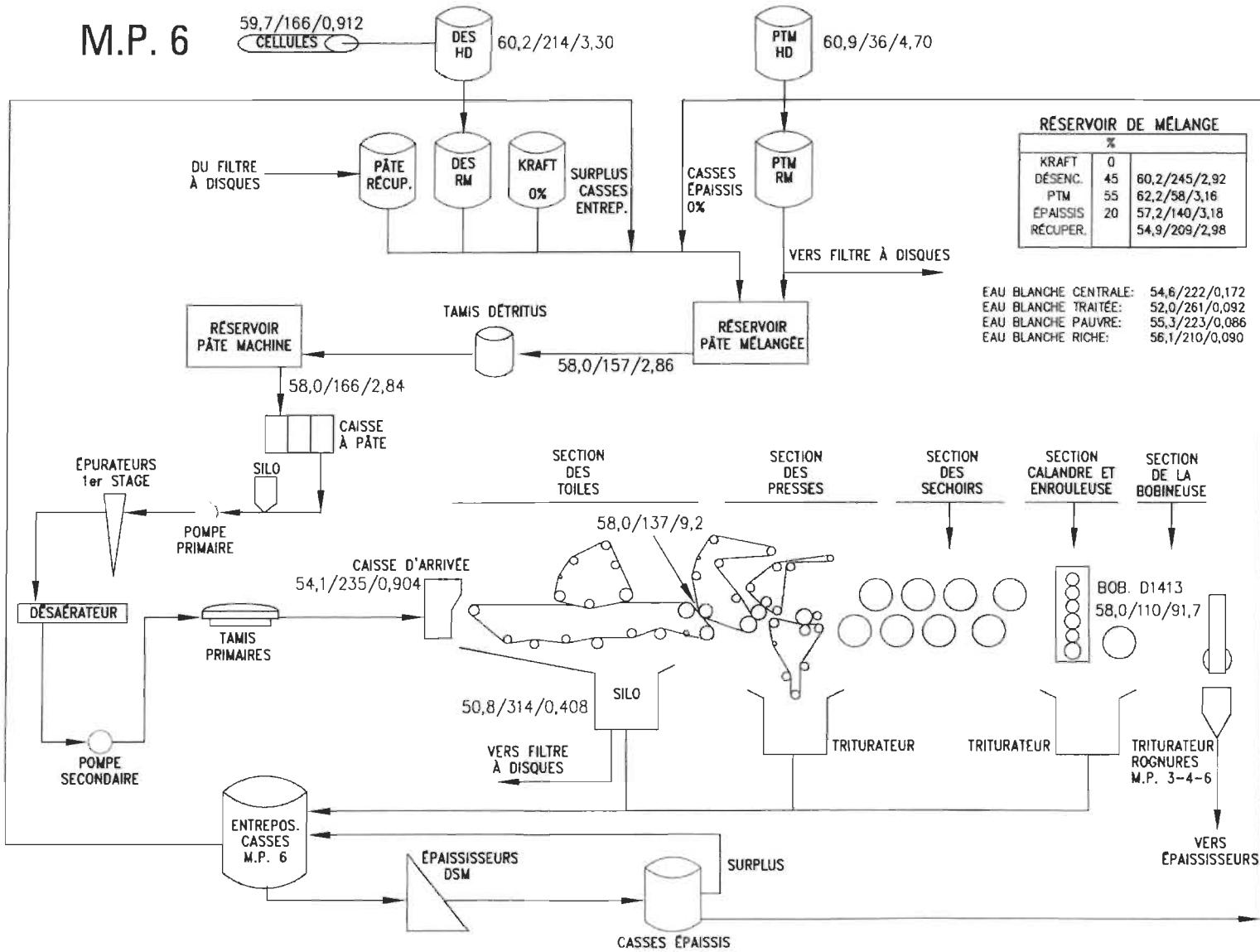


Figure 3.3 Perte de blancheur lors de la fabrication du papier journal – MP 6



De plus, une technologie facilement modélisable serait la bienvenue car elle permettrait d'être aisément automatisable ce qui garantirait une opération en mode automatique sans surveillance humaine, limitant ainsi l'intervention des employés de l'usine de pâtes et papiers.

Mais, qu'entend-on nous par nettoyage des circuits d'eau blanche? Quelles sont les technologies disponibles actuellement?

### 3.3 Principe du nettoyage

Une grande diversité d'équipements existe sur le marché pour nettoyer la pâte. Chaque équipement fait appel à différents mécanismes de séparation mécanique et/ou physique afin d'éliminer de façon sélective les contaminants introduits dans la pâte lors de leur processus de fabrication. Les contaminants sont éliminés en exploitant leurs caractéristiques intrinsèques [86], soit leur taille, leur dimension, leur densité et leur hydrophobilité (mouillabilité). C'est ainsi qu'il est possible, pour un équipement de nettoyage donné (un laveur, un tamis/classeur, un épurateur ou une cellule de flottation) d'obtenir des courbes de pourcentage d'enlèvement en fonction des caractéristiques du contaminant à rejeter (figure 3.4) [87].

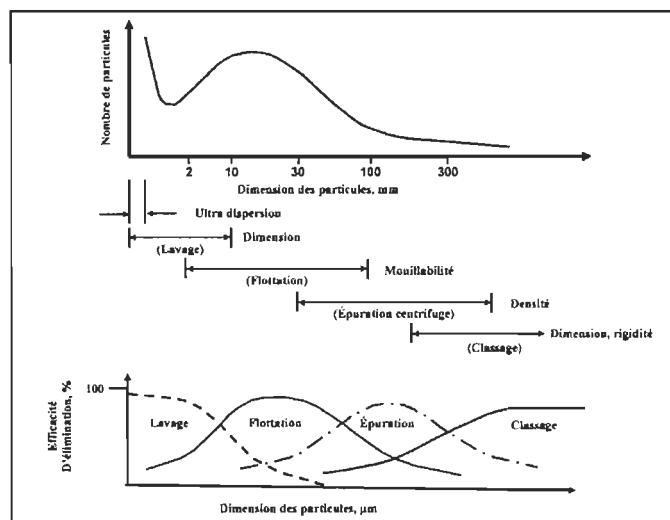


Figure 3.4 Principe de nettoyage d'une pâte

### **3.4 Équipements de nettoyage – machine à papier**

Lors de la formation du papier, une suspension très diluée de pâte, composée principalement de longues fibres, de fibres fines, de charges et d'eau (tableau 2.1), est distribuée sur une toile de formation à l'aide de la caisse d'arrivée. À l'image des usines de production de pâte thermomécanique et de pâte désencrée, la machine à papier possède, elle aussi, de nombreux équipements visant à nettoyer le circuit d'eau blanche primaire et surtout à protéger la caisse d'arrivée d'objets contondants (marteau, boulons, écrous, roches). Ces équipements font partie du système d'approche de la machine à papier (section 2.1.1).

Les contaminants non éliminés par les usines de pâtes se retrouvent donc dans le circuit d'eau blanche primaire. Une étape supplémentaire de nettoyage permet d'éliminer du circuit d'eau blanche de la machine plusieurs contaminants selon les équipements de nettoyage utilisés.

#### **3.4.1 Lavage**

La section comprise par la toile de formation d'une machine à papier est souvent considérée comme une grosse laveuse. Toutes les particules fines non retenues par la toile et le système de rétention quittent la feuille de papier en formation et se retrouvent principalement dans la fosse sous toile de la machine à papier. Cette toile est lavée en permanence par de l'eau sous pression (eau blanche pauvre filtrée ou eau fraîche chauffée) afin de bien dégager les ouvertures entre les mailles de la toile de formation.

Une ouverture obstruée signifie la présence d'un petit trou dans le papier. Qui dit petit trou, dit un risque accru de casses sur la bobineuse ou chez l'imprimeur.

Avec la fermeture des circuits d'eau blanche, l'eau blanche du silo de la machine n'est plus purgée. Elle est réutilisée comme eau de dilution dans le système d'approche, d'où son enrichissement en matières collantes.

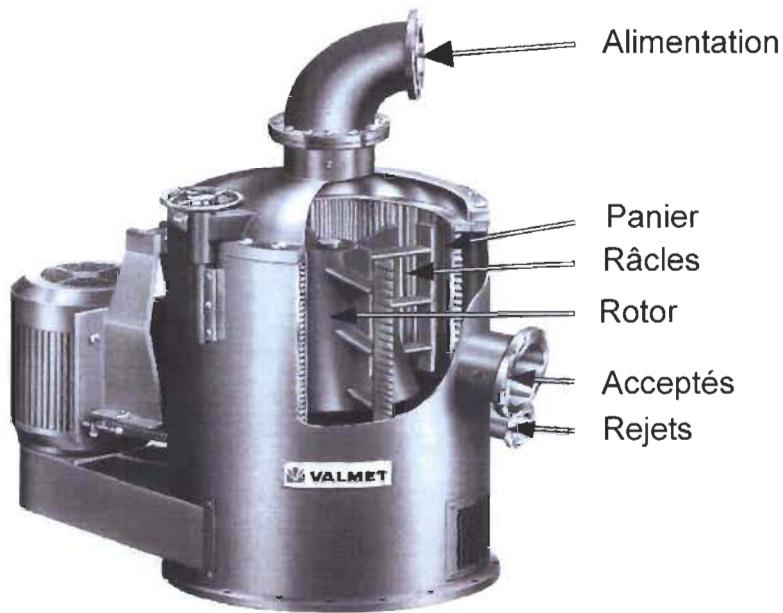
### **3.4.2 Tamisage**

La pâte passe à travers un tamis primaire afin d'éliminer les bûchettes et autres corps étrangers ainsi que pour briser tout amoncellement de pâte avant d'atteindre la caisse d'arrivée.

Le principe de fonctionnement du tamis est le suivant : la pâte est injectée sous pression au centre d'un panier à paroi perforée. La pâte acceptée passe au travers des perforations (normalement des trous) et les rejets sont évacués par le fond. Un cylindre pivotant muni de racles ou de bosses permet de dégager les perforations. Pour réduire les pertes de bonnes fibres, ce tamisage se fait en 2 stages. Les rejets du tamisage secondaire seront ultérieurement traités par l'usine de production de pâte, mieux équipée pour tamiser la pâte (tamisage à fentes fines, raffineur de rejets).

L'utilisation de tamis pressurisés (figure 3.5) est largement utilisée dans le classage de la pâte thermomécanique et la pâte désencrée. Le tamis sous pression est constitué d'une plaque cylindrique (le panier) perforée de trous ou de fentes et d'un rotor pivotant sur son axe muni de déflecteurs, de racles, d'ailettes ou de bosses [88]. Ces différents éléments causent des pulsations hydrauliques près de la plaque au passage du rotor et maintiennent les ouvertures du panier dégagé [20]. Cela évite la formation d'un matelas qui bloquerait l'opération du tamis. La pression de la pompe d'alimentation force l'eau et les fibres bien développées à passer à travers les trous ou les fentes.

Les vitesses axiale, radiale et tangentielle de la pâte dans le tamis produisent les forces de traînée et de cisaillement qui déterminent la probabilité de séparation des particules [20].



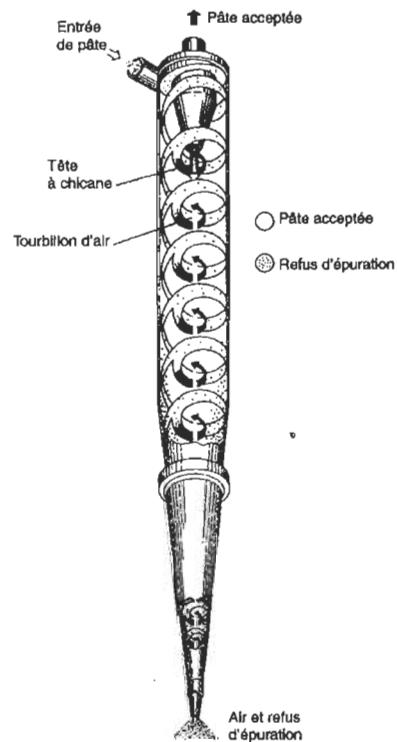
**Figure 3.5 Schéma d'un tamis pressurisé**

Le développement de tamis à fils fins (« wedge-wire ») dans les années 2000 a permis d'obtenir des pâtes PTM avec des taux de bûchettes très faibles. Ces bûchettes, amas de plusieurs fibres faiblement défibrées et dotées de faibles propriétés mécaniques [20], se retrouvent dans les rejets. Elles seront de nouveau raffinées dans le raffineur à rejets afin de bien développer la fibre et d'augmenter leurs propriétés mécaniques.

L'efficacité du tamisage est définie comme le pourcentage de contaminants rejetés par le tamis par rapport à la quantité de contaminants présents à l'alimentation. Plusieurs paramètres influencent l'efficacité de tamisage : le taux de rejet, la consistance de l'alimentation, la dilution, la vitesse de rotation du rotor ainsi que la pression d'alimentation [20]. Par exemple, une augmentation du taux de rejet aura pour effet d'augmenter la capacité et l'efficacité du tamis, mais augmentera aussi la perte de bonne fibre dans les rejets [88]. Ces équipements sont très efficaces pour tamiser adéquatement la pâte. Il suffit de demeurer dans leurs paramètres de conception pour maintenir la stabilité et l'efficacité [89].

### 3.4.3 Épuration

La pâte diluée par l'eau blanche du silo de la machine à papier passe par plusieurs stades d'épurateurs tourbillonnaires. Ces épurateurs utilisent aussi la force centrifuge fournie par la pompe d'alimentation primaire pour séparer les particules lourdes (les rejets) des fibres plus légères (acceptés) [90]. Cela permet d'offrir une dernière occasion d'éliminer le sable résiduel ainsi que des particules d'encre UV de la pâte. Puisqu'il y a peu de différence en taille et en poids entre les particules rejetées et les fibres acceptées, quelques bonnes fibres se retrouvent dans les rejets. C'est pour cette raison que les rejets seront traités à plusieurs reprises (4 à 5 stades) afin de récupérer le maximum de bonnes fibres. Le taux de rejets est contrôlé par le différentiel de pression entre les acceptés et les rejets. Les épurateurs tourbillonnaires (figure 3.6) utilisent la force centrifuge pour séparer les particules les plus lourdes (les rejets) de fibres plus légères (les acceptés).



**Figure 3.6 Schéma d'un épurateur tourbillonnaire (Bird Machine Co.)**

Installés en cascades avec plusieurs stages d'épuration, ils permettent d'éliminer le sable encore présent ainsi que les bûchettes et encres UV [20].

#### **3.4.4 Flottation**

La flottation à air dissous est implantée dans la gestion de l'eau blanche de la machine à papier. Son mode de fonction n'est nullement sélectif, car en réalité il sert à clarifier les eaux blanches, à concentrer toutes les matières en suspension en surface sans discrimination. Son utilisation a déjà été décrite comme ramasse-pâte à la section 2.3. Son utilisation s'apparente plus à un processus d'épaississage.

L'utilisation de la flottation à air dispersé via une cellule de flottation ou une colonne de flottation unitaire pour nettoyer l'eau blanche de la machine à papier n'était pas connue et n'existait pas lors de mes recherches bibliographiques (revue de la littérature) ainsi que lors de l'exécution des nombreux essais de flottation sur colonne. Elle constitue l'objet de l'innovation qu'apportent les travaux contenus dans cette thèse. La quantité d'eau blanche à flotter complexifie cependant son implantation industrielle. Le chapitre 4.0 sera consacré à décrire cette technologie et à établir les paramètres d'opération.

#### **3.4.5 Épaississage**

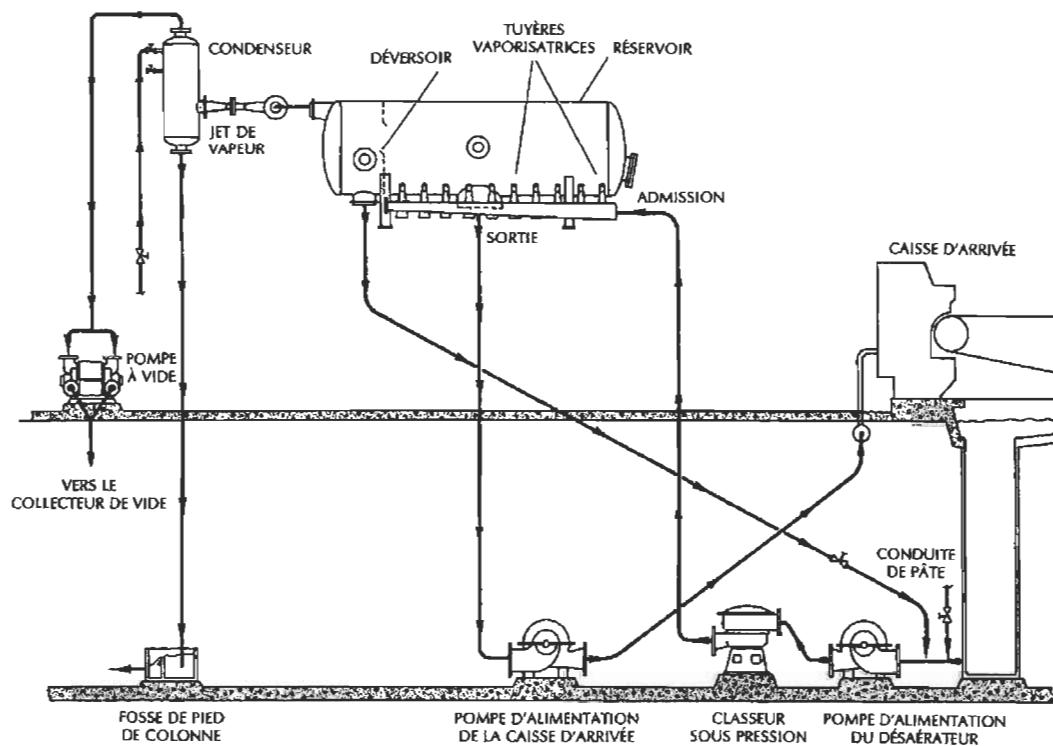
L'épaississage au niveau de la machine est très utilisé au niveau du circuit d'eau blanche primaire ainsi que sur la machine à papier. Les équipements de récupération des fibres (section 2.3) telle le filtre à disque et le clarificateur à air dissous, permettent de séparer l'eau blanche de la pâte. Des consistances de pâte épaisse de 10 à 15 % de pâte sèche peuvent être obtenues.

Cela permet de créer des barrières d'eau en séparant les circuits d'eau blanche primaire, secondaire et tertiaire. Leur mode de fonctionnement n'est nullement sélectif car il sert à clarifier l'eau blanche d'où l'accumulation des fines contaminées dans le circuit d'eau blanche primaire.

### 3.4.6 Désaération

Cette opération unitaire se retrouve exclusivement sur la machine à papier [17]. Le rôle du désaérateur (figure 3.7) consiste à extraire l'air entraîné ou attaché à la fibre de la pâte diluée. Un léger vide est exercé dans l'équipement afin d'y extraire l'air. Ce vide varie en fonction de la température de la pâte entrant dans le désaérateur.

Une bulle d'air obstruant une ouverture sur la toile de formation d'une machine à papier signifie la présence d'un petit trou dans le papier (trou d'épingle) et, qui dit petit trou, dit un risque accru de casses sur la bobineuse ou chez l'imprimeur [91, 92, 93, 94].



**Figure 3.7 Schéma de fonctionnement d'un désaérateur (de type Deculator)**

### 3.5 Solutions possibles

Tel que décrit au chapitre 2, les fines contaminées et l'encre résiduelle sont à l'origine de la chute de brillance et de qualité sur le papier. Nous pouvons envisager plusieurs solutions possibles pour nettoyer le circuit d'eau blanche autour de la machine à papier [95, 96, 97, 98]. Pour des raisons économiques et environnementales, toute utilisation d'eau fraîche additionnelle ou de purge massive pour éliminer ces fines a été d'emblée éliminée. Pour gérer la perte de brillance et de qualité du papier due à la circulation des fines, nous avons exploré sommairement cinq solutions possibles :

- 1) Élimination du retour des fines vers l'usine de pâte;
- 2) Rétention accrue des fines dans la feuille;
- 3) Blanchiment des fines;
- 4) Traitement enzymatique des fines;
- 5) Nettoyage des fines par une séquence de flottation.

#### 3.5.1 Élimination du retour des fines

Éviter le retour des vieilles fines vers l'usine de pâtes peut se réaliser grâce à plusieurs approches. Certes, on peut les retenir plus efficacement dans la feuille de papier (section 3.5.2). On peut aussi s'assurer d'avoir des équipements performants et bien entretenus qui permettront de bien séparer les fibres récupérées dans le ramasse-pâte afin que les vieilles fines demeurent dans le circuit d'eau blanche primaire et ne se retrouvent pas dans le circuit secondaire. Ces équipements (ramasse-pâte ou autre) doivent constituer une véritable barrière d'eau séparant sans exception ou sans contretemps les circuits primaire et secondaire. Ainsi, avec le temps, les vieilles fines seront retenues dans la feuille et le temps de séjour moyen de ces fines circulant autour de la machine avant d'être retenues dans la feuille ira en diminuant.

Dans la réalité, ce scénario idéalisé n'existe pas. Tôt ou tard, il y aura un bris d'équipement, une fausse manœuvre ou une baisse d'efficacité du ramasse-pâte.

N'empêche qu'une gestion active et efficace des circuits d'eau blanche passe par des équipements performants, bien entretenus et répondant à des critères de conception et d'opération prescrits. Cette solution ne permet nullement de nettoyer le circuit d'eau blanche primaire. Il table sur la probabilité qu'avec le temps, la fine contaminée sera suffisamment grosse et d'un bon diamètre pour être retenue dans la feuille. Cela devient la cause réelle de la problématique que nous voulons solutionner.

### 3.5.2 Rétention accrue des fines

L'un des défis du papetier consiste à retenir une quantité optimale de fines dans le papier afin d'augmenter l'opacité de la feuille de papier et aussi de nettoyer les eaux blanches [17]. La rétention accrue des fines implique une augmentation de la rétention 1<sup>re</sup> passe (section 2.1.1) [99, 100]. Une meilleure rétention permettra de retenir plus de fines noircâtres et de charge dans la feuille de papier réduisant dans une première phase la blancheur de la feuille de papier. Par la suite, un nouvel état d'équilibre sera atteint et maintenu grâce au dosage accru d'agents de rétention. Cependant, cela engendra des coûts en agents de rétention plus élevés suite à l'augmentation du dosage des agents de rétention pour maintenir cette nouvelle cible de consistance dans la fosse sous toile de la machine à papier.

Dans la grosse majorité des usines de papier, ce cheminement pour augmenter la rétention a déjà été entrepris. Cependant, au-delà d'un certain seuil critique de rétention caractéristique à chaque machine à papier, une augmentation de la rétention ne procure plus qu'une baisse de productivité à un coût en agents de rétention plus élevé. La rétention additionnelle de fines et de charge entraîne une chute du drainage sur la table de formation, car la feuille devient trop molle et scellée. Une feuille plus humide à la section des presses cause des casses très fréquentes, ce qui réduit de façon dramatique l'efficacité d'opération (« runnabilité ») de la machine à papier.

Pour contrer cette baisse d'efficacité de la machine à papier, on doit ralentir sa vitesse afin de permettre à l'eau de drainer sur la table de formation. Ainsi, il y a un compromis à faire entre hausser la rétention d'une machine à papier en augmentant les coûts d'agents de rétention afin de sortir ces vieilles fines qui circulent et l'efficacité de production d'une machine à papier. La majorité des usines de papier a déjà atteint ce seuil critique et ne peut se permettre d'en retenir plus sans compromettre dramatiquement leur efficacité de production.

### **3.5.3 Blanchiment des fines**

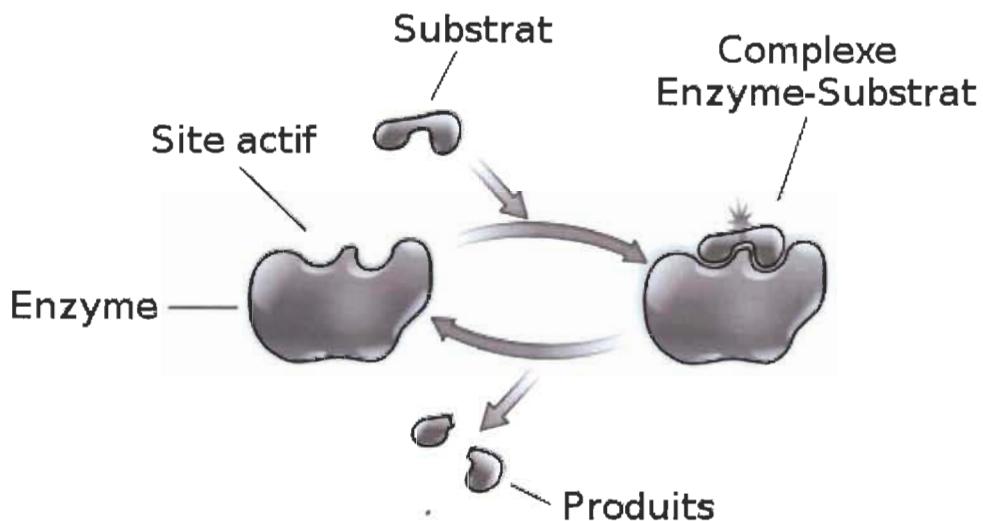
Plusieurs tentatives ont été faites pour blanchir les fines [101, 102]. Selon Lapierre et ses collaborateurs, deux facteurs viennent compromettre le blanchiment des fines et limiter le gain de blancheur : le contenu en encres liés solidement aux fines ainsi que le contenu élevé en métaux de transition des fines. Ces métaux (Fe, Mn, Cu) ne se retrouvent pas dans le filtrat, mais sont solidement ancrés sur la fibre [103]. Toutefois, un prétraitement avec un agent chélatant tel l'EDTA ou le DTPA ou l'utilisation d'un lavage acide, permet d'éliminer une partie des ions manganèse (Mn) et des ions de fer (Fe). Cela permet d'obtenir un gain de blancheur légèrement supérieur [101]. Cependant, cette solution s'effectue à haute consistance et n'arrive pas à donner des gains de blancheur acceptables permettant d'améliorer la blancheur du papier. Elle s'avère donc économiquement non viable.

### **3.5.4 Traitement enzymatique des fines**

Les enzymes sont des protéines, i.e. des molécules biologiques, catalysant des réactions biochimiques [104]. Elles sont donc constituées de chaînes d'acides aminés, c'est-à-dire des composés possédant une fonction amine ( $-NH_2$ ) et une fonction acide carboxylique ( $-COOH$ ).

La partie importante de l'enzyme est constituée du site actif. C'est dans ce site, qui prend souvent la forme d'une cavité, que se fixe le substrat qui pourra alors être soumis à l'ac-

tion de l'enzyme (traitement enzymatique) afin de le transformer en produit (figure 3.8). Chaque enzyme protéique possède une structure adaptée à sa fonction.



**Figure 3.8 Action enzymatique**

La vitesse de réaction enzymatique est mesurée à partir de la quantité de produit formé ou de réactif disparu par unité de temps [104]. Ce temps peut varier de quelques heures allant jusqu'à plusieurs journées selon le type d'enzymes utilisés. De nombreux facteurs peuvent modifier la vitesse de réaction enzymatique :

- les concentrations en enzyme et en substrat;
- les concentrations en ions métalliques (inhibiteurs compétitifs);
- les caractéristiques physico-chimiques du milieu de réaction (température, pH);
- la présence d'inhibiteurs de la réaction enzymatique.

En conditions optimales, la température doit atteindre 35 à 40 °C. Si la température dépasse les 60 °C, l'enzyme est dénaturée (rupture des liaisons hydrogènes situées dans des parties variables de la protéine). Il y aura une modification du site actif, et la réaction ne pourra plus avoir lieu. À l'inverse, si la température est en dessous de 5 °C, l'enzyme est

inactivée, car l'agitation moléculaire provoquée par la chaleur est limitée : les molécules de substrat et les enzymes se rencontrent difficilement.

Côté pH, selon les réactions enzymatiques envisagées, le complexe Enzyme/Substrat devra se faire le plus proche possible du pH isoélectrique de l'enzyme. De façon générale, un pH neutre (6-8) est optimal. Cependant, certaines enzymes sont relativement peu sensibles aux variations de pH. Néanmoins, sous un pH alcalin « extrême » (12-14), l'enzyme est dénaturée comme pour une température dépassant 60 °C.

Dans la nature, les enzymes ont pour mission d'accélérer (catalyser) des millions de fois les réactions chimiques dans les organismes vivants. Il existe un grand nombre d'enzymes spécifiques qui jouent un rôle important dans les processus physiologiques (digestion, conduction nerveuse, synthèse d'hormones, etc.). La nomenclature des enzymes n'est pas standardisée, mais, par convention, elle se compose le plus souvent d'un radical proche du substrat ou du produit de la catalyse suivi du suffixe « ase ».

Dans l'industrie des pâtes et papiers, l'utilisation industrielle d'enzymes n'est encore qu'à ses débuts [105]. Notons que l'utilisation de cellulosases pour dégrader la cellulose ou d'hémicellulases pour dégrader les hémicelluloses entraînerait des pertes de rendement en fibre ainsi que des réductions importantes des propriétés mécaniques de la pâte. Leur utilisation est donc à proscrire. Cependant, les usines de pâtes chimiques ont appris à maîtriser l'utilisation des ligninases visant à compléter la délignification (dégradation de la lignine) de la pâte chimique pendant le stade de blanchiment [106].

L'utilisation d'un traitement enzymatique dans une usine de pâte thermomécanique se bute aux températures extrêmement élevées rencontrées ( $> 80^{\circ}\text{C}$ ) qui dénaturent instantanément l'enzyme [107, 108, 109, 110]. Cependant, de nombreux travaux ont été réalisés dans le système d'approche de la machine à papier [111, 112, 113, 114]. L'utilisation de lipase, de laccase a permis en laboratoire d'obtenir une forte réduction des matières extractibles tout en améliorant les propriétés physiques et mécaniques du papier [115, 116].

Le dosage d'enzymes fongiques (extraits d'un champignon) à grande échelle dans l'eau blanche d'une usine de papier journal a permis de déterminer les impacts réels d'un traitement enzymatique sur les propriétés du papier [117]. Ce traitement à grande échelle a permis d'éliminer plus de 70 % des matières extractives totales et presque la totalité des lignanes, des stérols, des stéryl-esters, et des triglycérides présents dans l'eau blanche. L'ajout d'enzymes a entraîné une réduction importante de la dimension des particules colloïdales, tout en réduisant en même temps le potentiel zêta. Le traitement aux enzymes n'a eu aucune incidence sur la consolidation du papier ou sa résistance à sec, tandis que le traitement aux enzymes suivi d'un post-traitement à l'alun a rehaussé les propriétés de surface du papier. Cependant, le traitement enzymatique a entraîné une baisse de la blancheur du papier fini. Cela a nécessité l'application d'une séquence de blanchiment au peroxyde d'hydrogène en deux étapes afin d'obtenir une blancheur finale comparable à celle de la pâte blanchie de référence.

Cette solution n'arrive pas à traiter les vieilles fines noirâtres. Certes, elle permet d'éliminer les matières extractibles. Cependant, cela se fait au détriment de la blancheur du papier fini. De plus, l'ajout d'une séquence de blanchiment additionnelle au peroxyde d'hydrogène entraîne des coûts d'opération importants. Elle s'avère donc économiquement non viable.

### **3.5.5 Nettoyage des fines par une séquence de flottation**

Le désencrage par flottation est une pratique courante pour enlever l'encre imprimée sur le papier recyclé depuis le début des années 1980. Aujourd'hui, c'est l'opération unitaire clé de toute usine de désencrage [118]. Il est constitué par plusieurs cellules de flottation en série (multistage) où la pâte est aérée à l'entrée de chaque cellule par les diffuseurs d'air ou par des aspirateurs type venturi. Cela crée de très fortes turbulences qui forcent l'air à se mélanger avec la pâte, augmentant la probabilité de contact entre la bulle d'air et l'encre.

La cellule permet de séparer la pâte de la mousse chargée d'encre. Cette mousse n'a qu'une épaisseur de 2 à 5 cm et l'on y retrouve une quantité importante de fibres qui ont été amenées mécaniquement dans les lamelles aqueuses de la structure mousseuse [119]. Ce phénomène est responsable de l'entraînement des fibres dans les rejets, qui réduit le rendement de cette opération unitaire [120]. Comme ces fibres ne sont pas attachées aux bulles d'air, il est possible, grâce à la production d'une mousse plus épaisse et à l'ajout d'une douche de lavage de la mousse, de les retenir dans la pâte flottée. Il en résulte une flottation beaucoup plus sélective. Voilà ce qui sera obtenu grâce à la flottation sur colonne! Il faut cependant bien faire attention de ne pas dissoudre sous pression une grande quantité d'air, car cet air en revenant à la pression atmosphérique, se transformera en très fines bulles (effervescence) entraînant toutes les matières en suspension vers les rejets et ainsi, produira une eau blanche clarifiée [121]. C'est le principe des clarificateurs à air dissous [6].

### **3.6 Solution innovante retenue : la flottation sur colonne**

La flottation sur colonne est une technique qui permet de séparer sélectivement les particules hydrophobes d'une suspension de fibres tout en minimisant la perte de matières hydrophiles et utiles, comme les fibres.

Cette solution innovatrice sera retenue dans le cadre de ce doctorat afin de nettoyer l'eau blanche circulant autour de la machine à papier. Nous verrons dans le chapitre 4 les principaux principes théoriques ainsi que les éléments de contrôles qui permettent à la colonne de flottation à air dispersé d'obtenir des performances de nettoyage de l'eau blanche surprenantes.

## Chapitre 4 - Flottation

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'appliquent à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient. Pour l'industrie des pâtes et papiers, la flottation est considérée comme le cœur des installations de désencrage destinées à la production d'une pâte désencrée de haute qualité [122]. Elle consiste à séparer les particules d'encre (phase solide) d'une suspension de pâte (phase liquide et phase solide) à l'aide d'une injection d'air (phase gazeuse). Ainsi, les trois phases solide, liquide et gazeuse coexistent et se trouvent en interaction constante dans le procédé de flottation.

Il est possible d'identifier 3 types de flottation faisant intervenir des propriétés physiques (la densité) et des propriétés physico-chimiques (l'hydrophobicité) [123]:

1. Flottation naturelle : la différence de masse volumique est naturellement suffisante pour la séparation du solide ou du liquide;
2. Flottation assistée : elle consiste en une injection de bulles d'air au sein de la masse liquide pour améliorer la séparation des particules naturellement flottables;
3. Flottation provoquée : au départ, la masse volumique de la particule est supérieure à celle du liquide. Elle est artificiellement réduite grâce à des bulles de gaz (l'air en général). En effet certaines particules solides ou liquides peuvent s'unir à des bulles pour former des agglomérats " particule-bulle " qui deviennent alors moins denses que le liquide (l'eau en général).

La qualité de la flottation provoquée dépend surtout des interactions physico-chimiques entre les trois phases solide, liquide et gaz.

#### 4.1 Flottation à air dispersé versus à air dissous

La flottation assistée et la flottation provoquée par l'injection d'air sont divisées en 2 catégories suivant la taille des bulles de gaz insufflées [124]:

1. la flottation à air dispersé utilise de l'air dispersée avec production de bulles de 0,2 à 2 mm de diamètre;
2. la flottation à l'air dissous (FAD) utilise des bulles d'air très fines, des micro-bulles de 40 à 70 microns de diamètre.

Ainsi, tel qu'indiqué à la figure 4.1, pour un même volume d'air injecté, la flottation à l'air dissous génère des bulles très fines qui auront une surface de contact de 10 à 100 fois plus élevée que les bulles générées lors de la flottation à air dispersé [125].

Cette plus grande surface spécifique permet aux bulles de couvrir une plus grande surface dans la phase liquide, ce qui réduit leur vitesse ascensionnelle mais augmente la probabilité de collision entre les particules et les bulles d'air. De fait, leur vitesse ascensionnelle est inférieure à celle de la flottation à air dispersé.

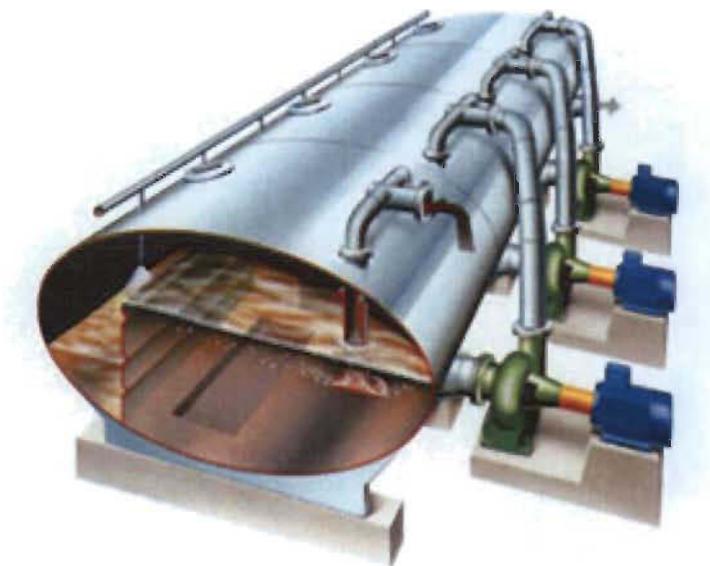
Nombr e de bulles:	1	9
Volum e:	$\frac{4}{3} \pi R^3$	$4 \text{ cm}^3$
Aire:	$4 \pi R^2$	$26 \text{ cm}^2$

Figure 4.1 Surface de contact des bulles

## 4.2 Flottation conventionnelle à air dispersé

La cellule de flottation constitue la pièce maîtresse de toute usine de désencrage [126]. Elle fonctionne de façon atmosphérique ou pressurisée avec de l'air dispersé. Elle sert avant tout à éliminer les particules d'encre variant de 10 à 150 microns par le principe de flottation [127]. La flottation consiste, à l'aide de petites bulles d'air de 1 à 5 mm [128], à amener à la surface de la cellule ces particules d'encre contenues dans la suspension fibreuse. Il s'agit donc d'un procédé qui repose sur le principe d'Archimède et sur la propriété qu'ont les particules d'encre hydrophobes d'exercer une attraction sur les bulles d'air et de s'y fixer [122]. Chaque cellule comporte une zone d'aération, de mélange et de séparation.

La cellule de flottation (figure 4.2) est un bassin se présentant sous différentes formes (elliptique, cylindrique, tubulaire ou rectangulaire), doté d'injecteurs qui permettent à l'air de se mélanger avec la pâte. Normalement, une ligne de flottation est constituée de plusieurs cellules en série afin de maximiser l'efficacité d'enlèvement des encres (le désencrage).



**Figure 4.2** Vue en coupe d'une cellule de flottation Voith à injection multiple

Il existe plusieurs modèles de cellules de flottation conventionnelles et chaque fabricant rivalise d'ingéniosité pour se distinguer [125, 129]. Pour réduire les pertes de rendement en fibres, il est commun d'ajouter des cellules de flottation secondaires, qui permettront de concentrer les rejets en encres et de récupérer des fibres rejetées.

Les pertes de rendement totales varient entre 6 et 10 %. Ces pertes de rendement proviennent en grande partie par l'entraînement de fibres emprisonnées dans l'eau interstitielle entre les bulles d'air de la mousse [119, 120].

#### **4.2.1 Principes de la flottation**

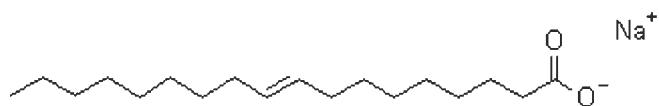
La séparation et l'élimination des encres dans la cellule s'effectuent de plusieurs façons. De façon générale, la mousse monte à la surface de la suspension de pâte (consistance variant de 0,8 à 1,4 % de pâte sèche) en suivant le mouvement de la pâte dans la cellule et est éliminée par débordement via un déversoir ou par succion à l'aide de rampes aspirantes [122]. La hauteur de mousse varie entre 2 et 5 cm.

Il n'existe pas encore de modèle définitif sur les mécanismes de décrochage de l'encre sur le papier. De façon générale, il est admis par les modèles proposés [130, 131, 132, 133, 134], que l'addition d'un agent alcalin (soude caustique et/ou silicate de sodium) permet d'augmenter l'ionisation des groupes carboxyliques des fibres cellulosiques entraînant un gonflement des fibres ainsi que la dissolution des liants fixant les pigments sur la fibre. Cette ionisation augmente la dispersion et la répulsion entre les fibres ainsi qu'entre les fibres et les particules d'encre détachées, car elles sont chargées négativement. Ce phénomène est renforcé par l'addition d'agents tensioactifs (savon et/ou surfactant).

Compte tenu des forces de cisaillement générées dans le trituateur, le décrochage final de l'encre de la surface des fibres se produit. Le décrochage des encres est donc le résul-

tat d'une action mécanique et d'une action chimique. L'élimination des particules d'encre lors de la flottation n'aura lieu que si elles sont entièrement détachées des fibres.

Pour améliorer le désencrage, un agent collecteur est ajouté à la pâte avant son arrivée dans la cellule. Cet agent peut être un acide gras saponifié (un savon) (figure 4.3) et/ou un surfactant. L'agent collecteur est constitué de deux parties distinctes : une partie hydrophile (affinité pour l'eau) et l'autre hydrophobe (affinité pour les huiles).



**Figure 4.3** L'oléate de sodium

De plus, des ions de calcium (chargés positivement) présents ou ajoutés à la pâte [135, 136] afin de maintenir une dureté totale supérieure à 180 ppm CaCO<sub>3</sub> réagissent avec l'agent collecteur pour former un précipitat (savon de calcium) qui favorisera l'agglomération des particules d'encre (figure 4.4). Ces agglomérats doivent être assez gros pour pouvoir s'attacher à la bulle, mais assez petits pour pouvoir être transportés par celle-ci vers les rejets de la cellule de flottation [137].

En résumé, l'enlèvement de l'encre dans la cellule de flottation se fait en 4 étapes :

1. l'agglomération des particules d'encre détachées et dispersées pendant la trituration;
  2. l'hydrophobicité (induite ou naturelle) des agglomérats;
  3. la mise en contact des agglomérats avec les bulles d'air;
  4. l'élimination des particules d'encre attachées aux bulles d'air sous forme de mousse.

Le principe de flottation est aussi utilisé par les clarificateurs à air dissous (section 2.3). Leur mode de fonction n'est nullement sélective, car en réalité il sert à clarifier les eaux grises du circuit d'eau blanche de l'atelier de désencreage c'est-à-dire à concentrer toutes les matières en suspension en surface sans discrimination et à éliminer les solides récupérés. Quelques études ont analysé ces rejets [138, 139, 140] afin de déterminer la proportion de matériaux fibreux récupérables et de parvenir à augmenter le rendement de l'usine de désencreage.

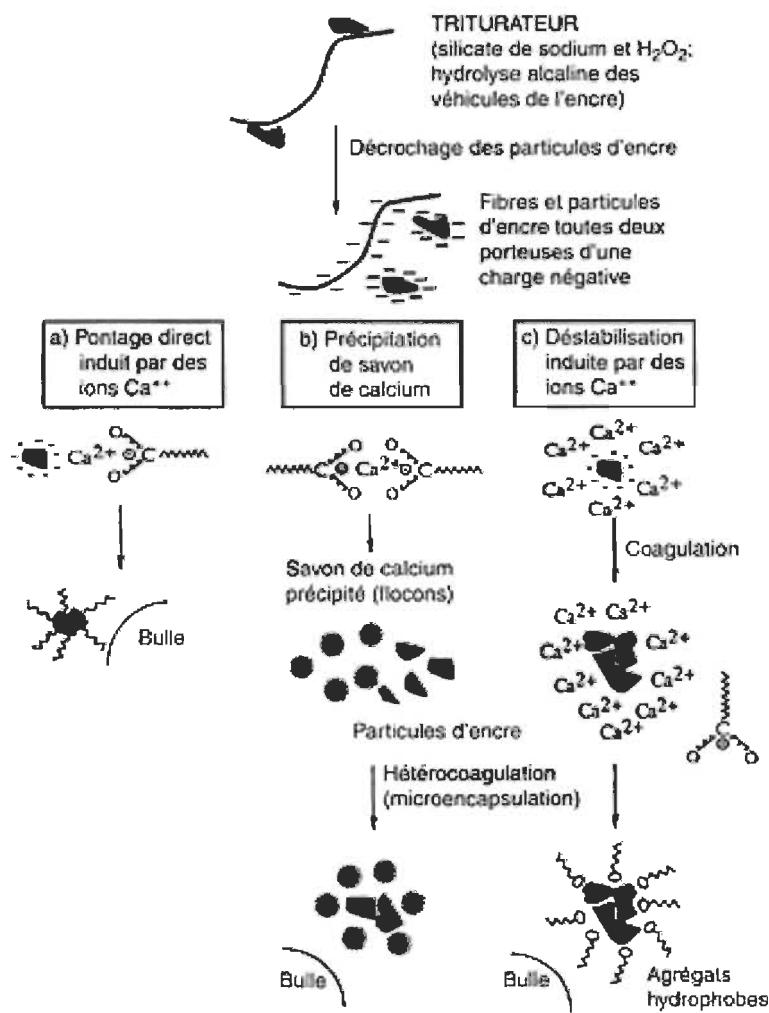


Figure 4.4 Mécanismes possibles d'action de la flottation

## 4.3 Flottation sur colonne

### 4.3.1 Historique

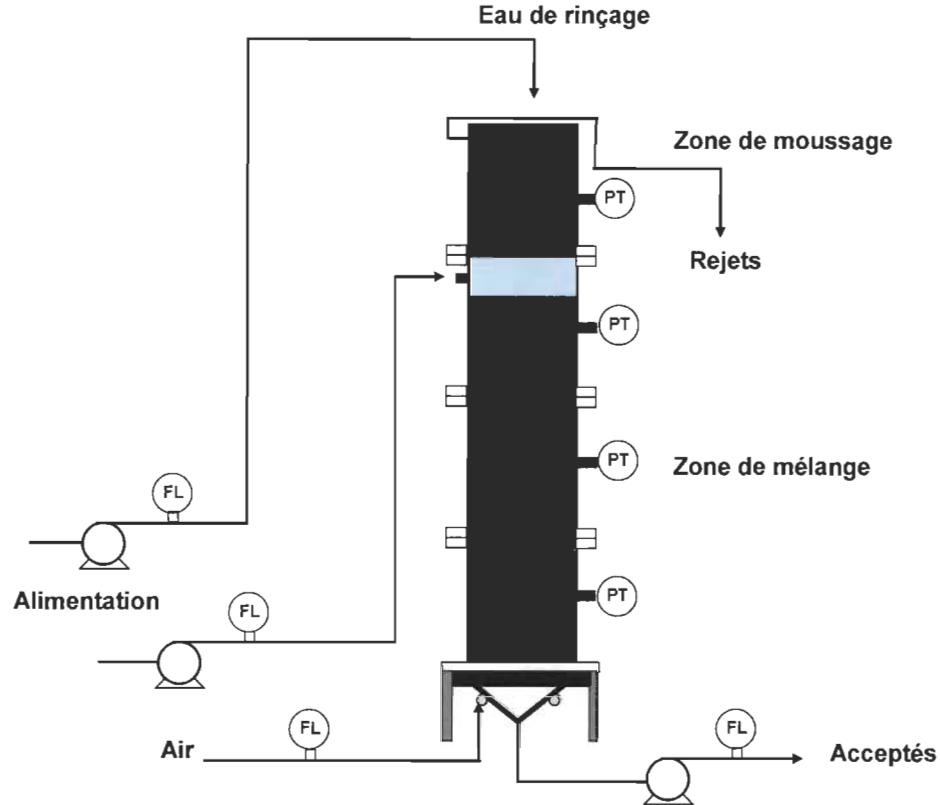
La flottation sur colonne est une technologie qui nous vient de l'industrie minière. La colonne de flottation (ou la colonne canadienne) a été brevetée au début des années 1960 par messieurs Boutin et Tremblay [141, 142]. Ce n'est qu'en 1983 que cette technologie a été commercialisée auprès de l'industrie minière par l'installation de la première colonne de flottation aux installations «Les Mines Gaspé» pour y nettoyer le minerai de cuivre [143]. Pour l'industrie minière, la flottation sur colonne est reconnue comme la plus grande innovation technologique des 50 dernières années.

Son transfert technologique à l'industrie des pâtes et papiers n'a débuté qu'en 1992 par des travaux de recherche et développement d'un consortium canadien dirigé par Kvaerner Hymac Inc. [144]. C'est donc une technologie émergente qui n'a vu, au cours des 30 dernières années, que l'installation d'une dizaine de colonnes de flottation à travers le monde, les plus médiatisées étant celles de l'usine de Greenfield en France [145, 146].

Dans tous les cas, l'utilisation des colonnes de flottation ne visait, à la fin des années 1990, qu'à remplacer l'utilisation des cellules de flottation conventionnelles, couramment utilisée dans les usines de désencrage. Aujourd'hui, avec une meilleure compréhension de cette technologie et l'avancement technique apporté aux colonnes de flottation [147], cette technologie prend de l'expansion dans l'industrie des pâtes et papiers.

### 4.3.2 Principes d'opération

Dans une flottation sur colonne, l'alimentation de la pâte (ou de l'eau blanche) se fait dans le tiers supérieur de la colonne. La pâte descend la colonne à contre-courant par rapport aux bulles d'air générées au bas de la colonne (figure 4.5) [148].

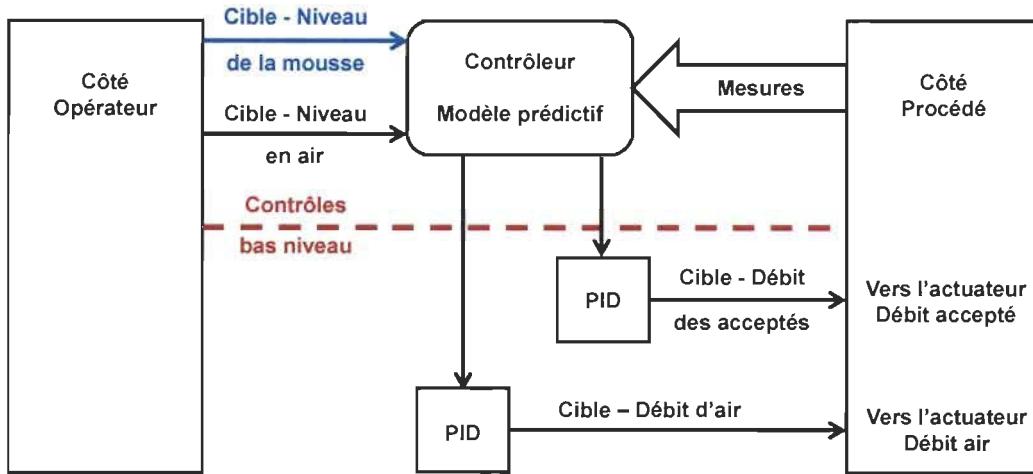


**Figure 4.5 Flottation sur colonne**

La pâte flottée est retirée à la base de la colonne. Il y a 2 zones principales : une zone de mélange liquide où la pâte et l'air sont en contact, et une zone de moussage où la mousse chargée de contaminants hydrophobes (encres, poix, cendres...) s'achemine vers le haut pour y être rejetée.

#### 4.3.3 Stratégie de contrôle

La colonne de flottation est automatisée [144, 146, 149], deux boucles de contrôle assurent sa stabilité (figure 4.6) [150]. La première boucle contrôle le débit d'alimentation de la pâte à flotter. Ce débit est mesuré par un débitmètre magnétique (FL) et son contrôle se fait via une pompe à vitesse variable ou par une valve automatique. Ce débit est fixe et permet de déterminer le temps de séjour (flottation) dans la colonne.



**Figure 4.6 Structure du système de contrôle**

La seconde boucle de contrôle est dédiée au contrôle de niveau de la mousse (son épaisseur ou sa hauteur). Le niveau de la mousse est mesuré de façon indirecte par un minimum de deux transmetteurs de pression (PT) situés dans la zone de mélange. Cela permet aussi de déterminer la quantité d'air dispersée dans la colonne. Ce niveau est contrôlé grâce au débit de sortie de la pâte flottée (les acceptés) via une pompe à vitesse variable ou une valve automatique. Un débitmètre permettra de déterminer le débit des acceptés, mais n'est pas requis pour contrôler le niveau de la mousse. Ainsi, la poussée hydraulique de la pâte acceptée fera monter ou descendre le niveau de la mousse dans la colonne.

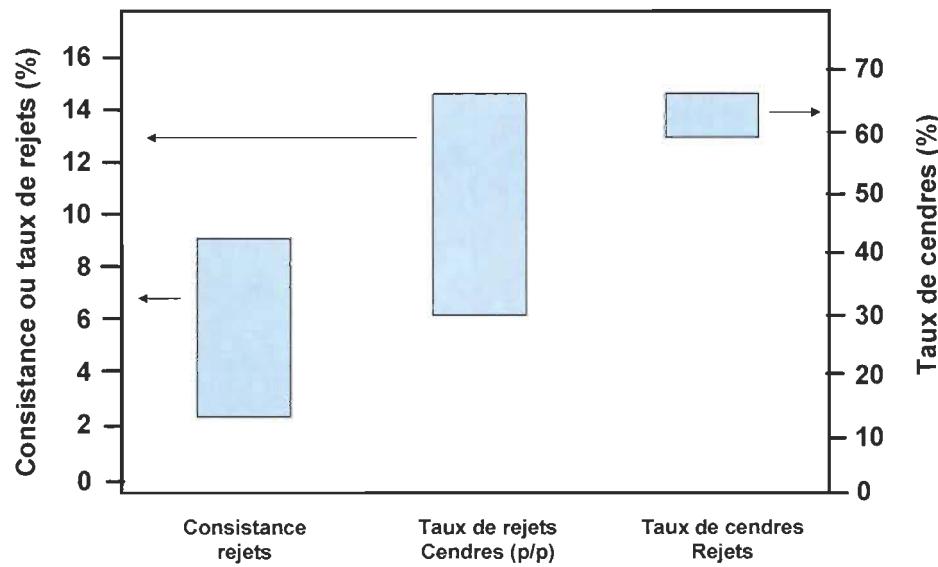
L'air est introduit au bas de la colonne soit à l'aide de diffuseurs d'air ou grâce à une pompe de recirculation munie d'un mélangeur statique [151]. Son débit est mesuré par un débitmètre (plaquette orifice) et son ratio est fixe c'est-à-dire qu'il s'ajuste selon le débit de pâte à l'alimentation via un régulateur d'air et une valve de contrôle. L'utilisation d'une douche de rinçage au sommet de la colonne peut être envisagée afin de réduire l'entraînement de fibres dans les rejets et augmenter le rendement du procédé [152, 153].

#### 4.3.4 Avantages et inconvénients

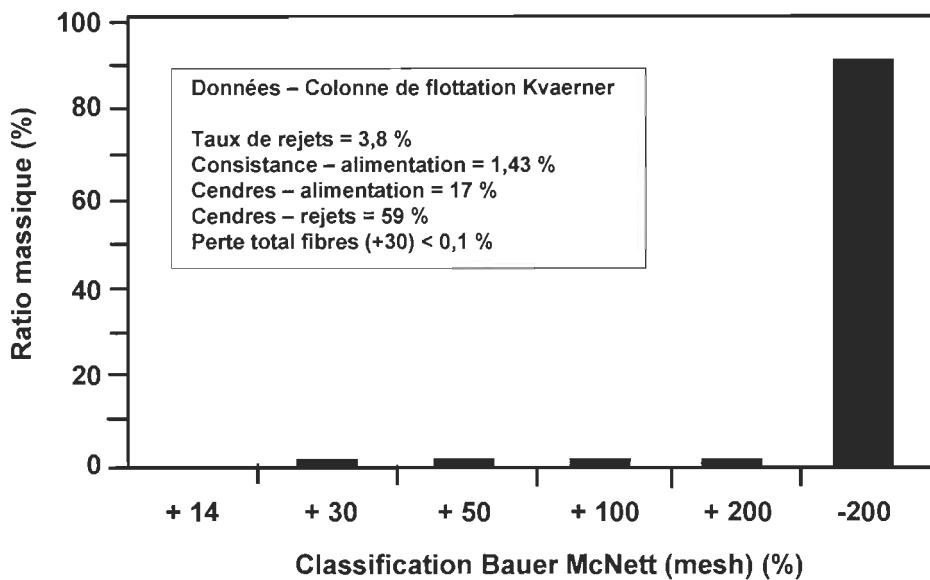
Plusieurs avantages sont liés à l'utilisation d'une colonne de flottation versus une cellule conventionnelle de flottation [154]. Les principaux sont :

- un rendement plus élevé (moins de pertes de fibres, plus concentrées en cendres) (figure 4.7);
- un rejet de consistance plus élevée (figure 4.7);
- une élimination sélective des fines (figure 4.8);
- une faible consommation d'énergie;
- un faible coût d'installation (faible emplacement requis);
- un faible coût d'entretien;
- une automatisation plus aisée.

Les principaux inconvénients sont un mélange inadéquat des bulles d'air (dispersion non uniforme) [155] et le colmatage des diffuseurs d'air [148].



**Figure 4.7 Consistance et taux de rejet**

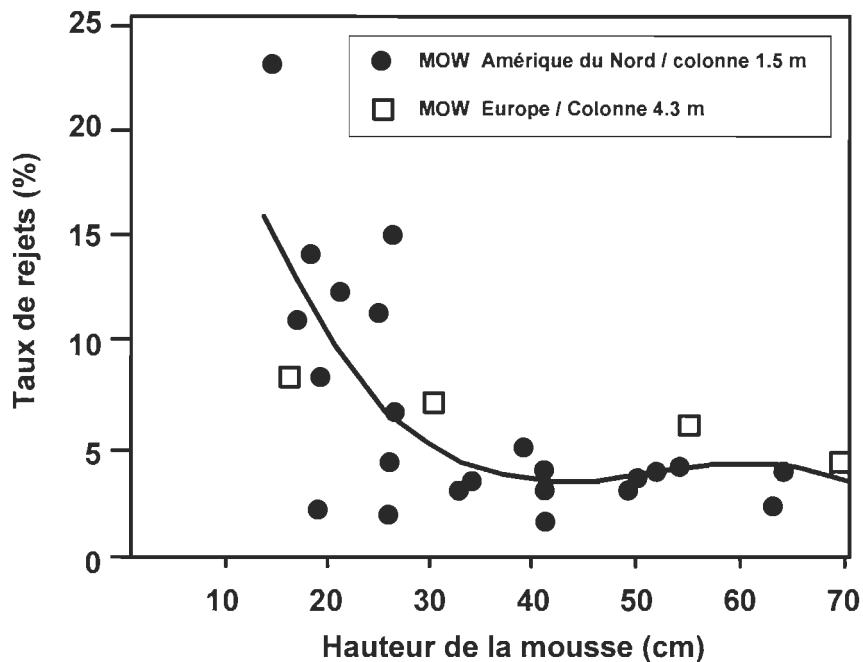


**Figure 4.8 Distribution des fines dans les rejets**

#### 4.3.5 Autres caractéristiques

Typiquement, une colonne de flottation peut avoir une hauteur de 5 à 7 mètres et un diamètre pouvant atteindre 1,0 à 4,6 mètres. Dans certains cas, les pâtes industrielles contiennent déjà les agents tensio-actifs (agent de moussage, acide gras ou surfactant) requis pour la formation d'une mousse compacte (qui se tient) au sommet de la colonne. Ainsi, ils permettent de former et de conserver une population de bulles de petite taille sans ajout supplémentaire d'additifs chimiques [156]. Sinon, comme pour la flottation conventionnelle, il peut être requis pour la production de bulles de petite taille d'ajouter des agents tensio-actifs.

Le niveau de la mousse détermine la sélectivité du taux de rejets de la colonne de flottation (le rendement). Ainsi, une hauteur de 40 à 50 cm de mousse permet de minimiser les pertes de fibres (figure 4.9) [154].



**Figure 4.9** Effet du niveau de mousse sur le taux de rejets

#### 4.3.6 Principes théoriques et éléments de contrôle

La flottation sur colonne est une technologie en émergence dans le domaine des pâtes et papiers. L'efficacité de la flottation dépend principalement de l'effet de quatre variables physiques : le débit d'air, le débit d'alimentation de l'eau blanche (ou de la pâte), la distribution de la taille des bulles d'air ainsi que la consistance de l'eau blanche (ou de la pâte) [153, 157].

##### 4.3.6.1 Vélocité du débit

Les débits sont normalement exprimés en vélocité superficielle ( $J_i$ ). Celle-ci est obtenue en divisant le débit volumétrique d'un élément, soit l'air, l'alimentation, les acceptés, ou les rejets, par la surface d'une section de la colonne :

$$J_i = Q_i / A_i \quad \text{Équation 4.1}$$

où  $J_i$  vélocité superficielle d'un fluide, cm/s

$Q_i$  débit volumétrique d'un fluide,  $\text{cm}^3/\text{s}$

$A_c$  aire d'une section de la colonne,  $\text{cm}^2$

#### 4.3.6.2 Contenu en air («gas holdup»)

Ce paramètre est essentiel au bon fonctionnement de la colonne. L'air dispersé dans la colonne ( $E_g$ ) représente la fraction du volume d'air contenu dans la suspension de fibre. Tel qu'illustré à la figure 4.10, l'air dispersé dans une zone de la colonne peut être déterminé grâce à la lecture de deux transmetteurs de pression ( $P_1$  et  $P_2$ ) localisés à des élévations  $H_1$  et  $H_2$ .

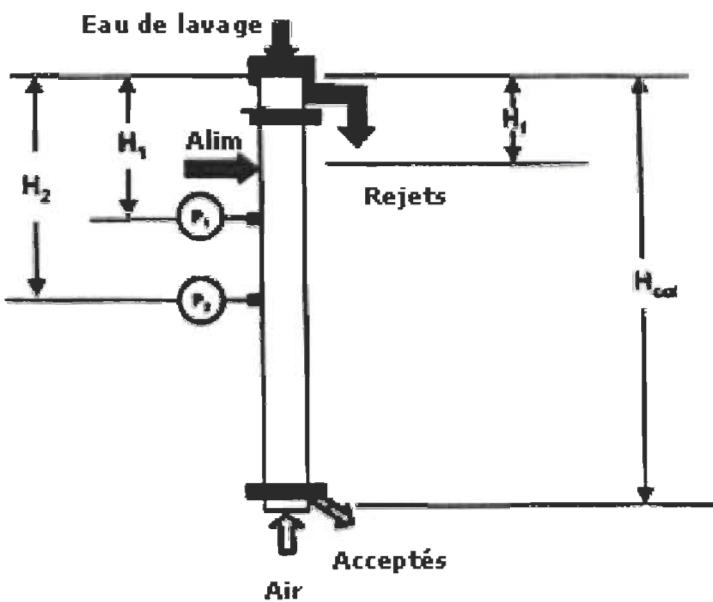


Figure 4.10 Diagramme d'une colonne de flottation

Dans une suspension de fibre (par ex. de l'eau blanche) dont la densité est près de 1,0  $\text{g/cm}^3$ , le contenu en air dans une zone définie ( $H_2 - H_1$ ) est estimé par l'équation suivante :

$$Eg = 100 \times (1 - dP / dL)$$

**Équation 4.2**

où      Eg : contenu en air, %

dP : différence de pression, cm H<sub>2</sub>O. dP = P<sub>2</sub>-P<sub>1</sub>

dL : distance entre les transmetteurs de pression, cm. dL = H<sub>2</sub>-H<sub>1</sub>

#### 4.3.6.3      Dimension des bulles d'air

Le contenu en air et la vitesse superficielle de l'air sont utilisés pour établir un modèle d'écoulement des bulles d'air [157], aussi référé à l'analyse du flux « drift », afin d'estimer la dimension moyenne des bulles d'air (db). Dans la flottation sur colonne, la vitesse relative « slip » (U<sub>sg</sub>) entre la phase gazeuse et la phase liquide est définie par :

$$U_{sg} = J_g / Eg + J_l / (1 - Eg)$$

**Équation 4.3**

où      J<sub>g</sub> : vitesse superficielle du gaz, cm/s

J<sub>l</sub> : vitesse superficielle des acceptés, cm/s

E<sub>g</sub> : contenu en gaz, %

La vitesse de glissement « slip » est aussi reliée aux variables du système. Pour la dimension des bulles d'air inférieure à un diamètre de 2 mm,

$$U_{sg} = g db^2 pl (1 - Eg)^{n-1} / 18 ul (1 + 0,15 Re^{0,687})$$

**Équation 4.4**

où      U<sub>sg</sub> : vitesse de glissement, cm/s

g : gravité

db : diamètre des bulles d'air, mm

pl : densité de la suspension, g/cm<sup>3</sup>

E<sub>g</sub> : contenu en air, %

n : une fonction du nombre de Reynolds

$\mu_l$  : viscosité de la suspension, g/cm.s

Re : Nombre de Reynolds, donné par

$$Re = \frac{db \cdot Usg \cdot pl}{\mu_l}$$

**Équation 4.5**

La technique utilisée pour estimer la dimension moyenne des bulles d'air est de substituer à plusieurs reprises db dans les équations 4.4 et 4.5 jusqu'à ce que le Usg prédit à l'équation 4.4 égale le Usg mesuré de l'équation 4.3.

#### 4.3.6.4 Surface superficielle des bulles d'air

Le critère le plus important lors d'un « scale-up » est la surface superficielle des bulles d'air ( $S_b$ ) [156]. Elle est calculée à partir de la vitesse superficielle du gaz et du diamètre moyen des bulles d'air :

$$S_b = \frac{6 \cdot J_g}{db}$$

**Équation 4.6**

où  $S_b$  : taux de surface superficielle des bulles d'air,  $s^{-1}$

$J_g$  : vitesse superficielle de l'air, cm/s

db : diamètre moyen des bulles d'air, cm

#### 4.3.6.5 Temps de résidence

Le temps de résidence ou de rétention moyen ( $t$ ) dans la colonne de flottation est calculé en utilisant le contenu en air, la hauteur de la colonne, la hauteur de la mousse et la vitesse superficielle de l'accepté. Ainsi, on obtient :

$$t = \frac{(1-E_g) \cdot (H_{col} - H_f)}{J_{acc}}$$

**Équation 4.7**

où  $t$  : temps de résidence

Eg : contenu en air, %

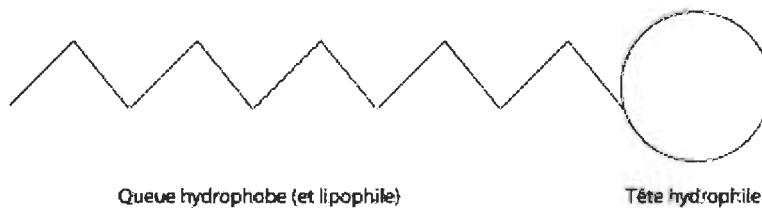
Hcol : hauteur de la colonne, cm

Hf : hauteur de la mousse, cm

Jacc : vitesse superficielle de l'accepté, cm/s

#### 4.4 Surfactants

Les surfactants sont des composés chimiques qui modifient la tension superficielle entre deux surfaces. Ce sont des agents tensio-actifs. De fait, « surfactant » est un mot anglais provenant de la contraction de l'expression anglophone « *surface active agent* » (agent de surface actif). Les surfactants jouent un rôle important dans le désencrage par flottation [158, 159]. Ils peuvent affecter positivement ou négativement le processus de désencrage dépendamment de leurs compositions. Ce sont des molécules organiques possédant une structure amphiphile, c'est-à-dire qu'à une extrémité, ils possèdent un groupe hydrophobe (qui fuit l'eau) et à l'autre extrémité, un groupe hydrophile (qui adore l'eau) (figure 4.11).



**Figure 4.11 Structure amphiphile des surfactants**

Les surfactants se distinguent selon quatre types de composés tensio-actifs, regroupés selon la nature de leur partie hydrophile :

- Anioniques : leur partie hydrophile est chargée négativement;
- Cationiques : leur partie hydrophile est chargée positivement;

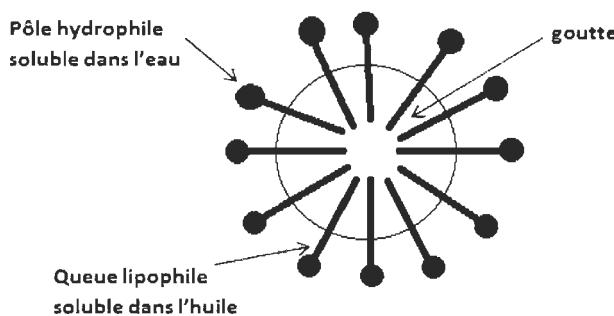
- Amphotères ou zwitterioniques : leur partie hydrophile comporte une charge positive et une charge négative, la charge globale est nulle;
- Non ioniques : la molécule ne comporte aucune charge nette.

Les principaux groupements hydrophiles composants les surfactants anioniques sont :

- les carboxylates, formant des acides gras ( $\text{RCO}_2\text{-Na}^+$ );
- Les sulfates ( $\text{RSO}_4\text{-Na}^+$ );
- Les sulfonates ( $\text{RSO}_3\text{-Na}^+$ ).

Les surfactants peuvent aussi être dénommés selon la tâche ou la fonction qu'ils remplissent. Ainsi, les plus importants sont les dispersants, les agents moussants, les détergents, les agents mouillants, certains agents antiseptiques (biocides) ainsi que les collecteurs (utilisés entre autres, dans le désencrage par flottation).

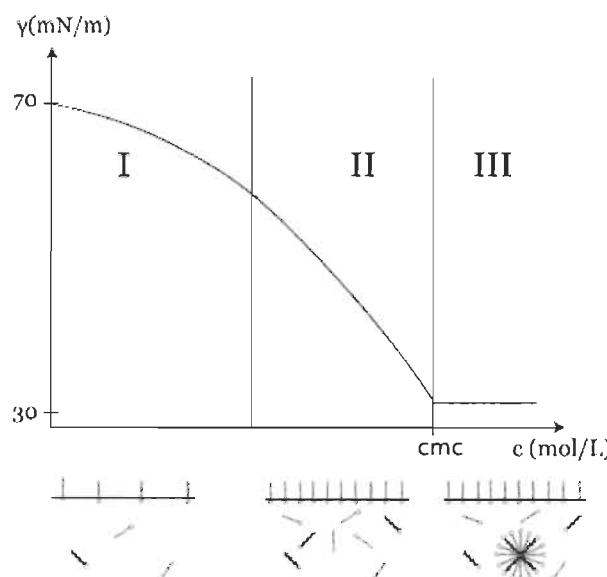
Comme discuté à la section 4.2.1, le savon ou les tensioactifs synthétiques favorisent le décrochage de l'encre sur la surface des fibres et la stabilisent dans la suspension. Cette stabilisation est apportée par la formation de micelles [160] enrobant les contaminants hydrophobes (figure 4.12).



**Figure 4.12 Formation d'une micelle**

Les agents tensio-actifs agissent en réduisant la tension superficielle à l'interface de 2 phases (solide-liquide, liquide-gazeux, liquide-liquide). Comme illustrés à la figure 4.13,

à basse concentration (I), les tensio-actifs sont libres dans le volume liquide et s'adsorbent à la surface. Au fur et à mesure que la concentration d'agents tensio-actifs augmente (II), l'interface est saturée en agents tensio-actifs et la tension superficielle continue de diminuer [161]. Au-dessus de la concentration micellaire critique (cmc), l'addition supplémentaire d'agents tensio-actifs commence à former des micelles en volume (III) et aucune réduction additionnelle de la tension de surface n'est mesurée. En fait, la tension de surface atteint une valeur limite, un plateau.

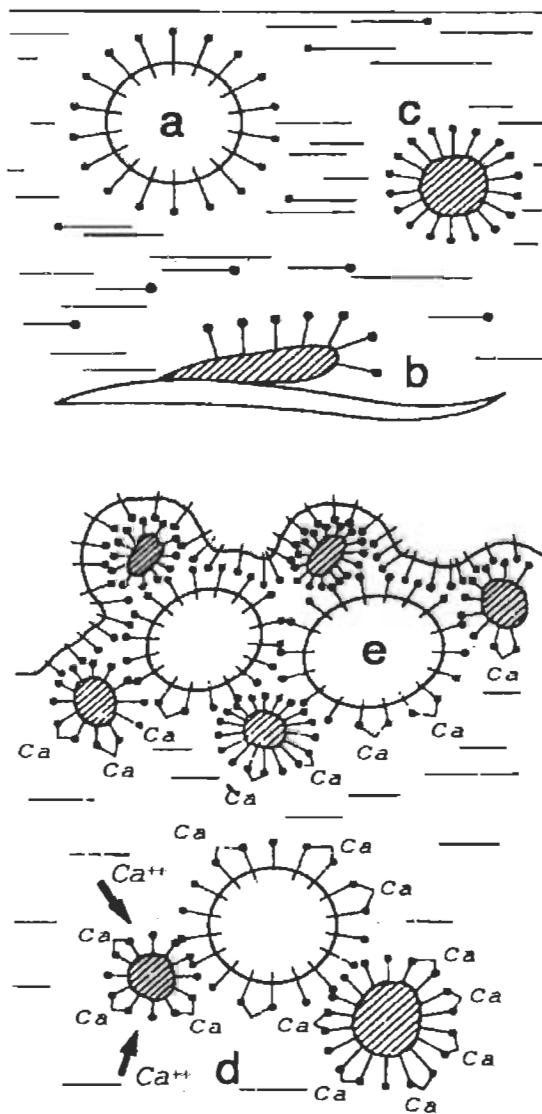


**Figure 4.13 Isotherme de tension de surface**

Lors du désencrage par flottation, les surfactants jouent, en général, trois rôles importants [122], tel qu'illusttré à la figure 4.14:

1. dispersant, afin de séparer les particules d'encre de la surface des fibres et ainsi prévenir le redéposition d'encre sur les fibres;
2. collecteur, afin d'agglomérer les petites particules d'encre ensemble et change la surface active de ces particules d'hydrophiliques à hydrophobiques;

3. agent moussant, afin de générer une mousse à la surface de la cellule de flottation pour l'évacuation des encres.



- a. Bulles d'air stabilisées par l'agent moussant.
- b. Particules d'encre qui se détachent des fibres.
- c. Particules d'encre dispersées.
- d. Particules d'encre dont l'agent de surface (savon) a réagi avec les éléments durcisseurs et qui peuvent désormais se déposer à la surface des bulles d'air.
- e. Mousse renfermant les particules d'encre.

**Figure 4.14 Modèle de flottation**

Même si les surfactants jouent des rôles importants en désencrage, ils peuvent aussi avoir des effets néfastes sur l'enlèvement des encres, la qualité des fibres et la réutilisation des eaux grises provenant des filtres à disques et/ou des presses à double toile. Par exemple, un dosage trop élevé de surfactant à l'usine de désencrage peut réduire les liens fibres-fibres et créer de graves problèmes de moussage et de casses sur la machine à papier [162].

Ce ne sont pas tous les types de surfactants qui sont nécessaires lors du désencrage par flottation. Ainsi, aucun collecteur n'est utilisé lors du désencrage de papiers mélangés de bureau (« Mixed-Office Waste ») imprimés d'encres hydrophobiques, telle l'encre des photocopieurs [163].

Règle générale, il est toujours important, avant de doser un surfactant, de faire de nombreux essais de laboratoire afin de connaître le comportement du surfactant dans le procédé de flottation, car lors de son dosage à l'usine de désencrage, de mauvaises performances d'enlèvement d'encres risquent de mettre la production des machines à papier en péril [164].

## Chapitre 5 – Flottabilité des fines contaminées

Dans les chapitres précédents, nous avons établi qu'une eau blanche typique est composée de divers constituants tels que des fibres, des fines, des charges minérales, divers additifs chimiques nécessaires à la fabrication (agent de rétention, biocides, agent anti-mousse, etc.), ainsi que des matières dissoutes et colloïdales (MDC) provenant des étapes précédentes de fabrication de la pâte.

La fermeture des circuits d'eau blanche a généré des eaux blanches plus chargées en fibres, en matières dissoutes et colloïdales et en matières inertes (charges) et plus contaminées.

Les concepts de base de la chimie colloïdale et de la chimie des surfaces peuvent paraître arides à première vue, mais une fois simplifiés, ces concepts permettent d'apporter des solutions assez simples à des problèmes qui semblent très souvent complexes. La dimension des particules d'un système colloïdal est généralement entre 0,01 et 2 µm de diamètre, dans un fourni papetier, il est évident que les additifs non fibreux entrent bien souvent dans cette catégorie. Les dimensions des fibres ne sont pas dans le domaine colloïdal mais celles des fibres fines le sont (tableau 5.1).

**Tableau 5.1 Dimensions des constituants d'une suspension fibreuse**

Constituants	Taille	Dimension	Aire de surface (m <sup>2</sup> /g)
Fibres	10 – 20 µm	largeur	1
Fines	< 1 – 2 µm	diamètre	10 -50
Charges minérales	0,1 – 10 mm	diamètre	grande
Molécules de polymères dissoutes	< 1 µm	longueur	----

Dans un système colloïdal, il y a des forces attractives et des forces répulsives entre les particules. Ces forces dépendent des propriétés de surface des particules et de la fréquence des collisions entre ces particules. Ces forces peuvent être caractérisées comme suit :

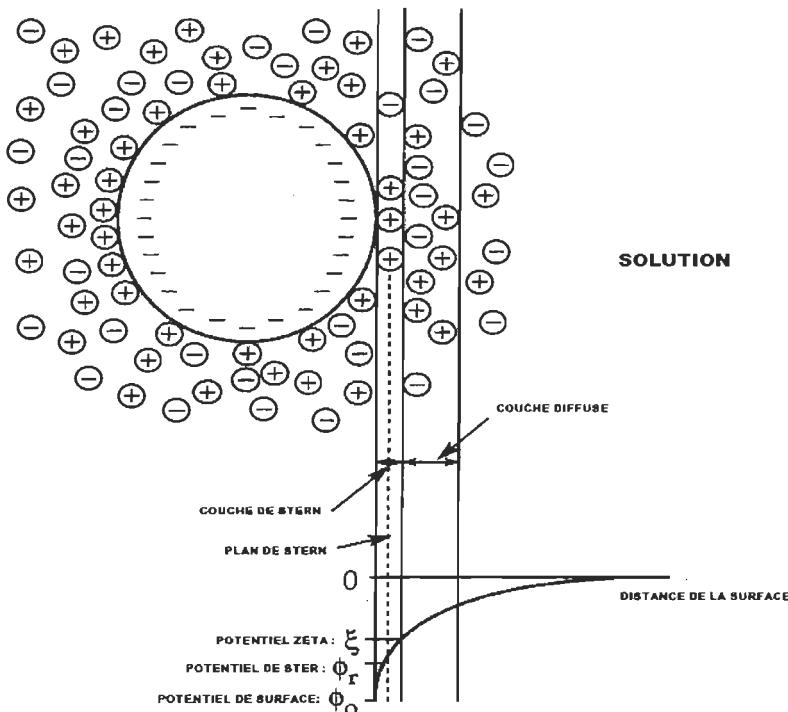
- 1) Forces électrostatiques;
- 2) Forces de Van der Waal;
- 3) Interactions entre molécules adsorbées;
- 4) Forces hydrodynamiques.

La principale raison pour laquelle une solution colloïdale peut être stable dépend des charges des particules. La stabilité d'une suspension colloïdale repose donc principalement sur l'existence de forces répulsives de nature électrostatique. Ces forces répulsives sont causées par la présence d'une double couche électrostatique autour des particules en suspension. Ces forces dépendent du potentiel de surface assimilé au potentiel zéta, de l'épaisseur de la double couche et du rayon des particules.

La plupart des constituants d'une suspension fibreuse ont des charges ioniques négatives sur leur surface qui attirent les ions positifs en solution. Ces charges se forment en milieu aqueux à la suite de l'ionisation de leurs groupes anioniques (groupes carboxyliques, groupes d'acides sulfoniques, les acides catéchols, les groupes phényles et les groupes hydroxyles). L'interaction entre les charges opposées crée un potentiel zéta qui détermine l'intensité des forces de répulsion.

Les charges négatives à la surface des particules tendent à attirer les contre-ions positifs qui s'accumulent autour de la surface en formant une mince couche autour d'elle. Une zone ayant une concentration en charge cationique élevée se forme près de la particule et un gradient de concentration apparaît entre la surface de la particule et la phase liquide. L'accumulation de charges est le résultat d'attraction vers la surface de la particule et de la diffusion vers la phase liquide, la combinaison de ces deux actions crée une attraction préférentielle des contre-ions à la surface solide. D'autre part, les ions avec la même

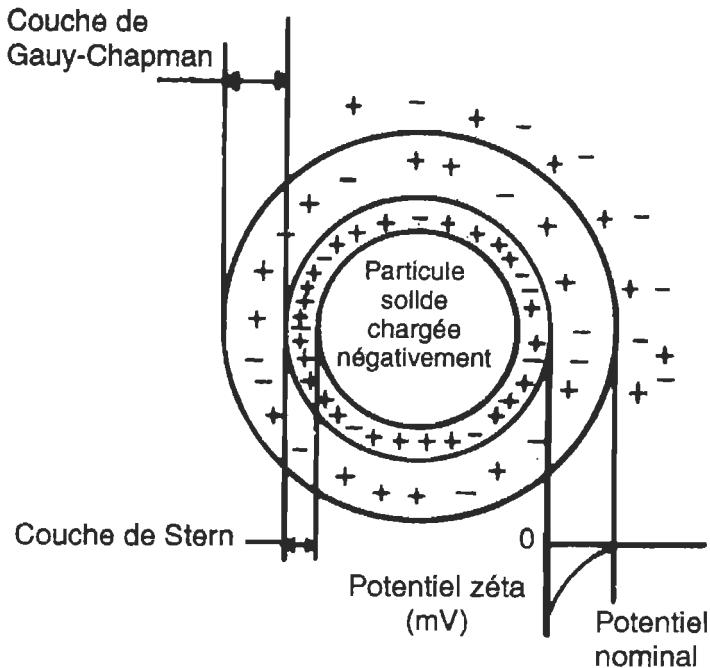
charge que la surface solide seront repoussés, générant un déficit de ces ions autour des particules. Ce processus combiné à la tendance des particules à se mélanger en raison de courants thermiques, conduit à la formation d'une double couche électrostatique (figure 5.1).



**Figure 5.1 Représentation de la double couche électrostatique**

La double couche électrostatique génère une répulsion entre les particules, lesquelles restent dispersées tant que le potentiel zêta est suffisamment élevé [10, 165].

Le potentiel zêta est la mesure de l'intensité de la répulsion ou de l'attraction électrostatique ou électrique entre particules. C'est la différence de potentiel électrique habituellement mesuré en millivolts entre la couche dense d'ions qui entoure la particule et le cœur de la suspension comme présentée à la figure 5.2.



**Figure 5.2 Description du potentiel zéta**

C'est l'un des paramètres fondamentaux connus pour affecter la stabilité. La mesure apporte une vision détaillée des causes de dispersion, d'agrégation ou de flocculation et peut être appliquée pour améliorer la formulation de dispersions, d'émulsions ou de suspensions. Une valeur du potentiel zéta proche de zéro permet aux particules colloïdales de se rapprocher et de coaguler. La rétention des éléments fins sera donc maximale pour une telle valeur du potentiel zéta.

## 5.1 Caractéristiques des fines contaminées

La qualité des fines circulant dans les circuits d'eau blanche se détériore avec les cycles répétés de recirculation autour de la machine à papier. Ce processus est souvent désigné comme le vieillissement des fines. Les fines recirculées deviennent ainsi noirâtres et contribuent à réduire les propriétés optiques, physiques et mécaniques du papier produit.

Luukko et ses collaborateurs [166] ont montré que le contenu en matières extractibles à la surface des fines est environ 40 fois plus élevé que pour l'ensemble des fines. Cette constatation nous indique que les matières extractives sont adsorbées à la surface des fines pendant les différentes étapes de production. De plus, la proportion de lignine à la surface des fines dans l'eau blanche est légèrement supérieure à l'ensemble des fines. Ces observations ont également été confirmées par Rundlöf et ses collaborateurs [55] en 2000. Ils ont remarqué que les fines provenant du circuit d'eau blanche ont subi un fort enrichissement en matières extractives à leur surface.

## 5.2 Mécanisme de contamination

Les matières dissoutes et colloïdales constituent les principaux contaminants retrouvés dans l'eau blanche. Elles incluent autant des substances organiques que des substances inorganiques. Elles ont tendance à s'adsorber sur les fines, ce qui a pour conséquence de réduire leur pouvoir de liaison et de diminuer les propriétés de résistance du papier. Ces matières dissoutes et colloïdales englobent ce que l'on appelle communément «détritus anioniques», soit les points de colle, la poix, les micro-organismes, et les sels [167]. Ces substances sont chargées négativement.

Pour neutraliser leurs charges, il faut tenir compte de la demande cationique de la suspension fibreuse afin de ramener le potentiel zéta de la suspension fibreuse à zéro (sans charge) [168].

De plus, nous savons que les fines sont aussi de charge négative. Ces fines ont une morphologie bien distincte, elles possèdent une nature nanoporeuse. Les pores présents dans les fines sont identifiés comme microporeux, c'est-à-dire que la largeur interne a une valeur inférieure à 2 nanomètres. La surface spécifique des fines est plus élevée que celle des fibres ce qui correspond à un nombre de pores plus grand pour les fines. Le comportement pour les micropores est dominé presque entièrement par les interactions entre les molécules du fluide et les parois du pore. En fait, les potentiels d'adsorption des parois opposées deviennent saturés. Les pores s'avèrent d'une grande importance dans le phé-

nomène d'adsorption. Ils constituent des sites d'adsorption pour les contaminants de l'eau blanche s'ils peuvent entrer. La taille des pores doit être suffisamment grande pour laisser entrer la molécule de contaminant. La taille de la molécule de contaminant est donc importante [169]. Les fines provenant de pâte mécanique ont une petite taille et une très grande surface spécifique ( $10 \text{ à } 50 \text{ m}^2/\text{g}$ ) en comparaison avec les fibres ( $1 \text{ m}^2/\text{g}$ ) [170]. De son côté, Marton [171] a démontré une surface spécifique des fines de 5 à 8 fois supérieure à celle des fibres. Cette grande surface spécifique [172] des fines favorisent en première instance, l'adsorption des contaminants sur leur surface.

Les travaux de Rivard [173] ont démontré que nous sommes en présence d'un phénomène d'adsorption en surface des fines. Une partie de l'agent de rétention utilisé dans la fabrication du papier se retrouve dans l'eau blanche et rend les fines cationiques. Le contaminant le plus nuisible retrouvé dans l'eau blanche provient du bois lui-même lors de sa transformation, soit l'acide polygalacturonique (pectine) qui est chargé négativement. Le modèle d'adsorption de Langmuir décrit bien ce phénomène. Ainsi, l'acide polygalacturonique se lierait aux sites en surface présents et ensuite, il comblerait les sites restants dans les pores. L'adsorption est physique, réversible et monocouche. L'adsorption rapide au départ est liée à l'adsorption de surface, ensuite l'adsorption se produit dans les pores. Le modèle de diffusion intra-particulaire est applicable, mais la réaction d'adsorption de surface est limitée et est suivie par une adsorption dans les pores. Le modèle de cinétique basé sur le calcul des réacteurs est appliqué. La réaction se déroule dans un réacteur en cuvée et serait de pseudo premier ordre.

Ce processus d'adsorption des matières dissoutes et colloïdales à la surface des fines, les rend hydrophobe, c'est-à-dire qu'elles ont de moins en moins la capacité de créer des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau. Comme les matières hydrophobes sont souvent lipophiles (solubles dans les corps gras), les fines contaminées continuent d'adsorber en surface d'autres matières hydrophobes. Elles acquièrent ainsi une plus grande affinité avec les bulles d'air et sont éliminés plus rapidement par flottation.

Les fines, de nature hydrophile lors de leur création, deviennent de plus en plus hydrophobes suivant le degré de fermeture du circuit d'eau blanche ainsi que le temps de séjour dans le circuit d'eau blanche. Le changement des propriétés de surface des fines durant la circulation des eaux blanches témoigne donc de leur degré de vieillissement.

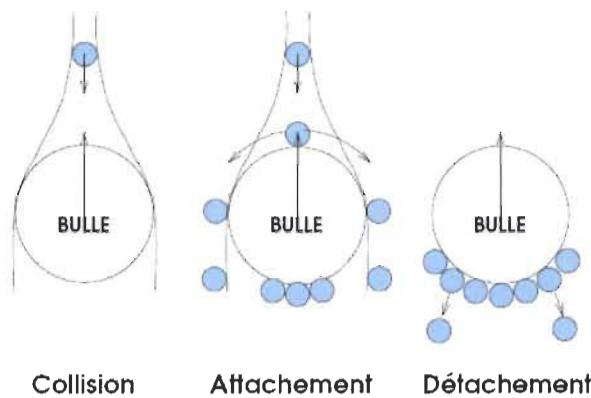
### **5.3 Distinction entre flottation et entraînement**

Le procédé de flottation fonctionne d'après le principe d'affinité ou répulsion entre les surfaces des éléments qui sont en jeu. Il faut se rappeler que les contaminants, avant la flottation, doivent présenter un caractère hydrophobe pour être éliminées au cours de cette opération unitaire. La « vraie » flottation utilise surtout les différences physiques (densité) et physico-chimiques superficielles (mouillabilité, tension de surface) pour séparer les particules hydrophobes de la suspension fibreuse.

Dans un article consacré au détachement des particules après leur capture, Ralston et ses collaborateurs [174] ont décrit ce découpage du processus de capture en trois étapes. Dans un premier temps, une bulle et une particule s'approchent l'une de l'autre jusqu'à former un film liquide entre elles. Ce film liquide est ensuite drainé pendant que la particule glisse à la surface de la bulle. Il atteint son épaisseur critique et se rompt, permettant à la bulle et à la particule de créer une liaison stable que l'inertie de la particule ou l'agitation dans le liquide ne peuvent pas casser avant que l'attelage bulle-particule n'arrive à la surface libre. Ces trois étapes successives sont appelées généralement : la collision, l'attachement et la stabilité de l'attelage (figure 5.3). Ces trois étapes de capture sont contrôlées par les différents types d'interactions entre la bulle et la particule : l'interaction hydrodynamique, l'interaction gravitaire, l'interaction capillaire et l'interaction due aux forces de surface.

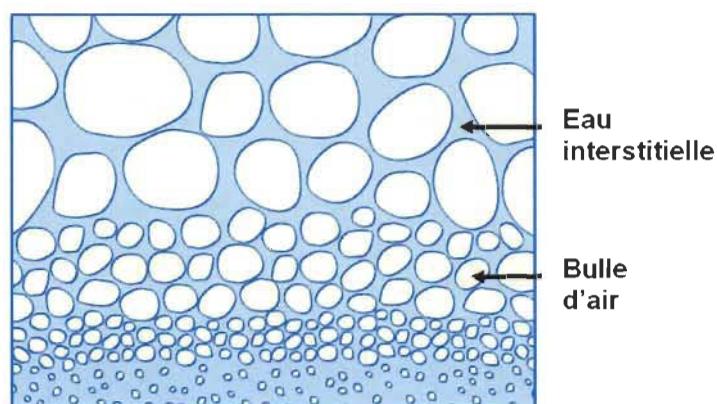
La sélectivité de la flottation réside donc dans l'attraction que subissent les particules hydrophobes auprès des bulles d'air (hydrophobe). Sans cette propension ou cette attirance, le procédé de flottation éliminerait les particules sans discernement, sans sélectivit-

té, entraînant dans les rejets des fibres et des fines de haute valeur par entraînement, ce qui rendait économiquement non-rentable le procédé de flottation. Le phénomène d'entraînement dans le procédé de flottation est donc indésirable.



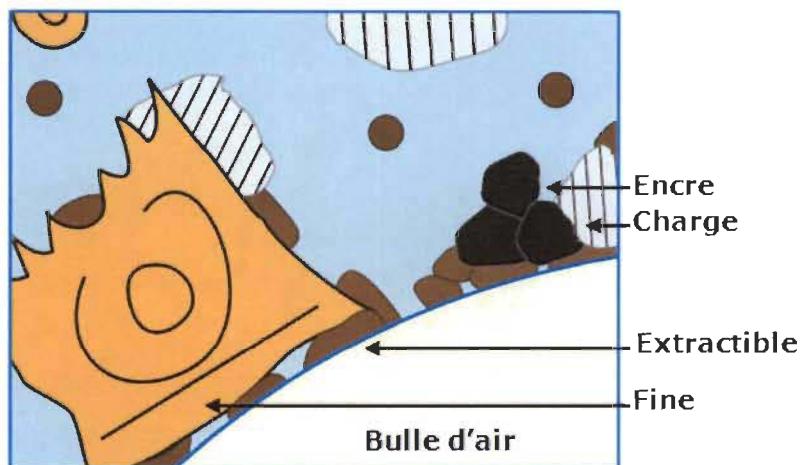
**Figure 5.3** Représentation schématique des trois étapes de capture

Tel que décrit par Dorris et ses collaborateurs [134], à l'interface entre la phase liquide et la phase gazeuse dans une cellule de flottation, les bulles d'air qui s'extirpent de la phase liquide, sont humides et entraînent avec elles, du liquide (figure 5.4). Cette eau interstitielle, d'abord abondante, se draine vers la phase liquide au fur et à mesure que les bulles d'air s'agglomèrent et coalescent, et que la hauteur de mousse s'élève vers le haut de la cellule.



**Figure 5.4** Mécanisme de formation de la mousse

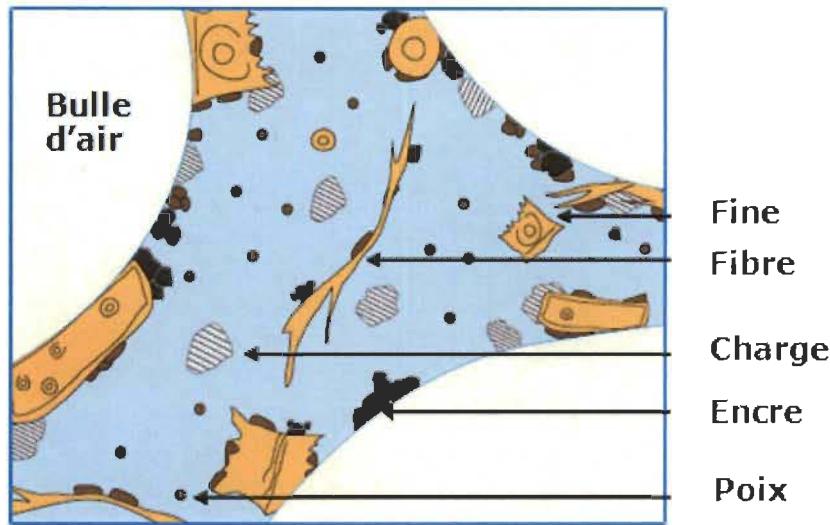
Lors du nettoyage du circuit d'eau blanche par flottation, les particules présentes sont déjà de nature hydrophobe. Comme illustré à la figure 5.5 [134], les fines, de nature hydrophile, sont maintenant contaminées en surface par des matières extractibles et des charges aussi contaminées. Comme discuté préalablement, ces fines acquièrent un degré d'hydrophobie qui augmentera en fonction de son séjour dans le circuit d'eau blanche ainsi que le niveau de concentration en matières dissoutes et colloïdales retrouvés dans l'eau blanche.



**Figure 5.5 Mécanisme de la flottation**

Ces fines contaminées auront une attraction pour les bulles d'eau suivant son niveau de contamination (% de matières extractives adsorbées à sa surface). Attachée à la bulle d'eau, la fine contaminée se retrouvera dans la mousse et sera éliminée dans les rejets. Cela constitue la flottation sélective, la « vraie » flottation.

L'entraînement d'une quantité d'eau trop élevée dans la mousse des rejets, réduit énormément l'efficacité de la flottation et sa sélectivité. Tel qu'illustré à la figure 5.6 [134], des éléments hydrophiles se trouvent entrappés dans le liquide interstitiel et se retrouvent dans la mousse.



**Figure 5.6 Mécanisme d'entraînement**

Ces éléments sont principalement des fibres et des fines peu ou pas contaminés. Entraînées dans les rejets, elles augmentent les pertes du procédé de flottation et en réduisent ainsi le rendement, ce qui augmente les coûts de production. Pour cette raison, la minimisation des pertes d'eau dans les rejets doit être un enjeu important pour s'assurer de la haute sélectivité du procédé de flottation.

## Chapitre 6 - Matériels et méthodes

### 6.1 Méthodologie

Dans le domaine papetier à la fin des années 1990, la colonne de flottation [144, 145, 146, 154] est utilisée uniquement comme substitut aux cellules de flottation conventionnelles. La colonne est utilisée pour flotter de la pâte recyclée produite à partir de papier mélangé («mixed paper»), de papier blanc («office waste») ou de mélange de papier journal et de revues (ONP/OMG). Dans la littérature, aucune mention n'y est faite comme outil pour flotter des eaux blanches, telles l'eau blanche d'un réservoir central ou l'eau blanche du silo d'une machine à papier. Depuis, des travaux de recherche [150, 157] ont permis d'expérimenter la colonne de flottation à d'autres usages. Fruit de ces travaux, il existe actuellement des colonnes de flottation industrielles utilisées pour récupérer de bonnes fibres à partir des rejets.

Dans le cadre de nos travaux, nous avons en premier lieu évalué la possibilité de flotter/nettoyer les eaux blanches avec des cellules de flottation conventionnelles et déterminer le gain de blancheur maximum nous pouvons atteindre. Le niveau de blancheur, l'encre résiduelle (ERIC), le pourcentage de cendres et la présence de matières extraitables sont les paramètres qui ont servis à la caractérisation des eaux blanches après leur flottation.

Afin de comparer nos résultats obtenus avec une cellule de flottation conventionnelle, nous avons utilisé l'unité de flottation sur colonne de FPIInnovations. Les résultats obtenus nous ont permis d'établir un protocole d'essais expérimental avec l'unité pilote installée l'usine Abitibi Bowater de Gatineau. Les paramètres d'opération suivants ont été étudiés, soit :

- 1) le temps de résidence;
- 2) le contenu en air;

- 3) l'ajout de surfactant;
- 4) la douche de lavage.

En utilisant des eaux blanches fraîches, nous avons déterminé l'efficacité d'enlèvement des cendres, de l'encre résiduelle, des matières extractibles et le gain de blancheur. Ces paramètres serviront à obtenir la création de bloc opérationnel dans le cadre d'une simulation par ordinateur. Il deviendra ainsi possible de déterminer la proportion d'eaux blanches à traiter en fonction des gains recherchés, en d'autres termes de calculer le volume requis ( $m^3$ ) pour la colonne de flottation et par conséquent le coût de fabrication et d'installation pour obtenir un gain de blancheur optimal du papier (économie de blanchiment).

Suite aux résultats de nos travaux, l'objectif visé est l'implantation d'une colonne de flottation industrielle pour traiter l'eau blanche sur le silo de la machine à papier MP 6 (ou sur le réservoir central).

## **6.2 Eaux blanches utilisées**

Dans le cadre du projet, nous utiliserons principalement deux types d'eau blanche :

- Eau blanche provenant de la fosse sous toile de la machine à papier no. 6 à l'usine d'Abitibi Bowater de Gatineau;
- Eau blanche centrale provenant du réservoir d'eau blanche centrale contenant les surplus d'eau blanche des machines à papier no. 3, 4 et 6 à l'usine d'Abitibi Bowater de Gatineau.

## **6.3 Caractérisation de l'eau blanche**

L'eau blanche est un mélange très complexe de divers composants (fibres, fines, pigments, agent d'encollage, agent de rétention, additifs, acides gras) dilué dans une eau de procédé composée de matières dissoutes et colloïdales. Cette composition devient plus

complexe si la fabrication du grade de papier nécessite l'utilisation d'une forte proportion de pâte désencrée.

Tel que décrit à la section 2.2, le niveau de fermeture des circuits d'eau blanche dans l'usine entraîne une augmentation de la concentration des matières contaminées dans l'eau blanche recirculée. Ces contaminants tels que des oligomères anioniques, polymères et des colloïdes non ioniques s'accumulent donc dans le circuit. Les fibres mécaniques vierges apportent également son taux de contaminants à l'eau, la poix représentant le principal contaminant des pâtes mécaniques.

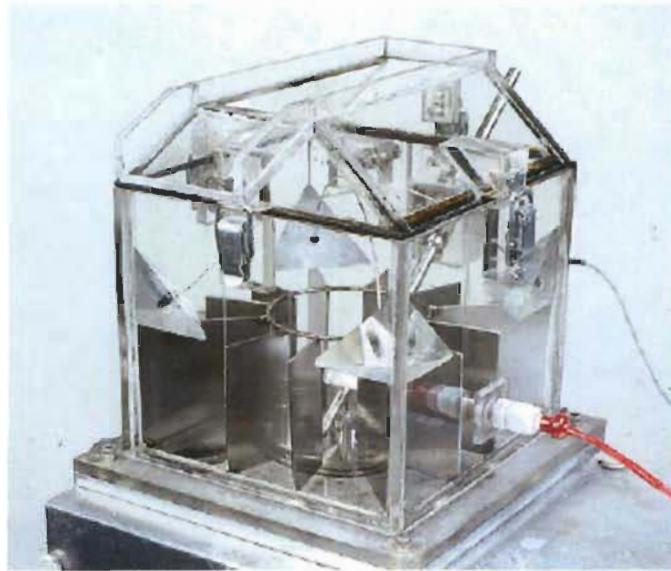
Dans le cadre de ce projet, nous utiliserons les techniques conventionnelles d'identification et de quantification pour caractériser nos eaux blanches. La brillance ISO, les coordonnées de couleur L\* a\* b\*, la consistance, les cendres, les encres résiduelles (ERIC), la dimension des particules ainsi que les matières extractibles seront les techniques privilégiées.

#### **6.4 Description de la cellule de flottation Leeds**

Pour effectuer les essais de flottation préliminaires, nous avons utilisé une cellule de flottation Leeds d'un volume de 6,5 litres (figure 6.1) tel que décrite par Milanova et Dorris [175].

Nos séries d'essais préliminaires ont été réalisées selon les conditions de flottation suivantes :

- Température : 50 °C;
- Débit d'air : 3 LPM;
- Temps de flottation : 2 minutes;
- Vitesse du rotor : 1200 tpm;
- Ajout d'un surfactant commercial : 0 et 0,06 % / pâte sèche.



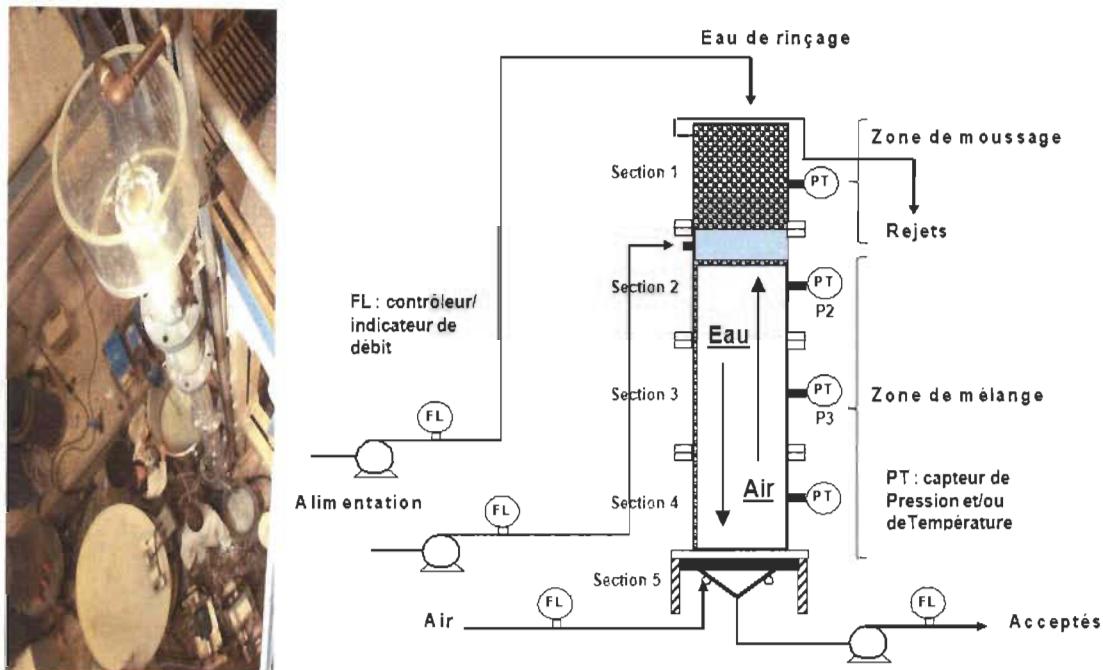
**Figure 6.1 Cellule de flottation Leeds**

## 6.5 Description de la colonne de flottation

La colonne de flottation utilisée pour les essais pilotes en laboratoire et en usine a été conçue par FPInnovations (figure 6.2). Elle possède un diamètre de 10,2 cm et une hauteur de 4,65 mètres. L'eau blanche est alimentée dans la partie supérieure de la colonne et descend à contre-courant des bulles d'air qui, injectées au bas de la tour, montent vers le haut. Cet air est généré par un système de diffusion d'air externe.

Dans la zone de collection, les matières hydrophobes (charges, fines sales hydrophobes, matières extractibles (point de colle et poix)) sont collectées par les bulles d'air et sont transférées dans la zone de moussage. La mousse est ainsi poussée vers le haut jusqu'au déversoir des rejets par les nouvelles bulles d'air arrivant de la zone de moussage pendant que l'eau blanche traitée est retirée à l'aide d'une pompe à la base de la colonne de flottation. Au sommet de la colonne, une douche de lavage est présente afin de réduire l'entraînement de fibres vers les rejets et de stabiliser la mousse. Le temps de résidence dans la colonne de flottation est contrôlé en augmentant proportionnellement les débits d'alimentation et d'acceptés. Le contenu en air (%) dans la zone de collection est main-

tenu stable pendant les essais à 20 % v/v en ajustant le débit d'entrée d'air. La colonne est automatisée et permet ainsi d'étudier adéquatement les différents paramètres d'opération de la colonne de flottation et de prélever les échantillons requis pour déterminer leur performance et l'impact sur l'eau blanche traitée.



**Figure 6.2    Colonne de flottation**

La colonne de flottation mobile (figure 6.2) est composée de cinq sections démontables. Une fois assemblée, elle a une hauteur totale de 4,88 mètres [157] :

- 1) La section 1 constitue la section la plus élevée. Elle est dotée d'un «chapeau» muni d'un système de douche interne et externe à la tête de la colonne ainsi que d'un tuyau de renvoi des rejets vers les égouts. Le contrôleur d'air («Mass flow controller MKS») est attaché au sommet de la colonne au-dessus du chapeau afin d'éviter tout retour d'eau dans le contrôleur du débit d'air.

- 2) C'est dans la section 2 que l'échantillon d'eau blanche est alimenté, à l'aide d'un tuyau de 3/4 pouce.
- 3) Dans les sections 2 et 3, il y a deux capteurs de pression P2 et P3 séparés de 91 cm, qui permettent de mesurer la teneur gazeuse («gaz holdup») dans la colonne.
- 4) Le capteur de température est localisé dans la section 4.
- 5) Dans la section 5, il y a trois valves: la valve de rinçage de la colonne, la valve de recirculation et la valve de l'accepté. Il y a aussi le système d'injection d'air muni d'un mélangeur statique.

L'unité de contrôle est constituée de quatre pompes, de deux débitmètres, d'une vanne pneumatique sur la ligne des acceptés qui fonctionne avec une entrée d'air de 135 kPa. Il reçoit les signaux provenant des deux capteurs de pression soit 0 - 70 kPa (P3) et 0 - 25 kPa (P2), mais il est toujours possible d'ajouter d'autres capteurs au besoin. Il reçoit aussi les signaux du capteur de température (RTD) et du contrôleur/indicateur de débit d'air (max 415 kPa).

Un réservoir pouvant contenir un minimum de 400 litres d'échantillon muni d'un agitateur vient avec la colonne. Ce réservoir pourra contenir l'échantillon d'eau blanche ou de l'eau fraîche pour le démarrage et le nettoyage de la colonne.

L'unité d'échantillonnage consiste en deux vannes permettant d'échantillonner les acceptés et les rejets. Le mélangeur statique est y aussi fixé afin d'introduire l'air dans le bas de la colonne via la recirculation.

L'ordinateur de type «Desktop ou Toughbook» est muni du logiciel de contrôle «Colonne de Flottation» ainsi que du programme «Runtime Engine» de Labview afin de contrôler les paramètres d'opération et de sauvegarder les données. La communication entre l'ordinateur et la boîte de contrôle se fait par le port série de l'ordinateur.

La colonne est fixée à une barre de support qui est elle-même fixée à une poutre de soutènement près du filtre à disques de la machine à papier no 6 à l'aide de « Cantrust » de 1 1/2 pouce et doit impérativement être au niveau afin de ne pas créer de mouvements préférentiels.

## **6.6 Protocole des essais pour la flottation sur colonne sur l'unité pilote de FPIInnovations à Pointe Claire (Qc)**

Les essais de flottation sur colonne ont été effectués selon les conditions de flottation suivantes:

- Température : 50 °C;
- Débit d'air : 7,3 LPM;
- Vélocité de l'air: 1,5 cm/s;
- Temps de flottation : 1, 2, 3 et 6 minutes;
- Débit de pâte à l'accepté : ajusté pour chaque temps de flottation;
- Débit de recirculation au bas de la colonne: 20 LPM;
- Hauteur de moussage: 60 +/- 5 cm;
- Contenu en air : 15 - 20 % v/v;
- Débit de la douche de rinçage : 0 à 0,7 LPM;
- Ajout de surfactant : 0, 0.015, 0,03 et 0,06 % EKA 4283/ pâte sèche.

L'échantillonnage a été prélevé après avoir attendu au minimum l'équivalent en volume de 3 fois le temps de flottation sélectionné. Ainsi 40 litres ont été prélevés avant flottation (alimentation), de même que 40 litres après flottation (acceptés) et 2 litres des rejets (mousse).

Sur chaque échantillon, nous avons déterminé la consistance ainsi que les charges inorganiques. Ces mesures nous ont permis de calculer le taux de rejets pour chaque série de flottation.

Avec chaque échantillon, quatre formettes ont été préparées pour mesurer la blancheur, l'encre résiduelle (ERIC) ainsi que les matières extractibles.

## **6.7 Plan expérimental pour les essais pilotes à l'usine Abitibi Bowater**

Les essais pilotes de flottation sur colonne ont été réalisés avec la colonne de flottation de FPInnovations érigée à l'usine Abitibi Bowater de Gatineau. Ils visent trois objectifs principaux:

1. S'assurer que les résultats obtenus lors des essais de flottation sur colonne chez FPInnovations de Pointe Claire sont reproductibles avec des échantillons frais provenant du silo de la MP 6 ainsi que du réservoir d'eau blanche centrale;
2. Déterminer les effets de décontamination des eaux blanches en mesurant les propriétés optiques et physiques des formettes préparées à l'usine. Des échantillons de 20 litres d'eau blanche flottée (acceptés) à divers temps de résidence ont été prélevés et ont servi pour être recombinés avec de la pâte PTM (10 % de pâte sèche) et de la pâte désencrée (10 % de pâte sèche) afin de déterminer l'impact potentiel de la décontamination de l'eau blanche sur les propriétés physiques et mécaniques du papier reconstitué à FPInnovations.
3. Déterminer la variabilité du procédé de flottation sur colonne des eaux blanches en opérant la colonne pendant une période de 6 à 8 heures/jour.

Les autres paramètres étudiés pendant les essais sont:

- L'effet de l'addition de surfactant;
- L'effet de la douche de lavage;
- L'impact d'une hyperflotation;
- Le profil à l'intérieur de la colonne en termes de sédimentation des solides;

Les essais de flottation sur colonne sur l'unité pilote ont été effectués selon les conditions de flottation suivantes:

- Température : 50 °C;
- Débit d'air : variable afin de conserver un contenu en air de 20 % et 26 %;
- Pression de l'air: air d'instrument à l'usine à 620 KPa minimum;
- Temps de flottation : 1, 2, 3, 6 et 10 minutes;
- Débit de pâte à l'accepté : ajusté pour chaque temps de flottation;
- Débit de recirculation au bas de la colonne: 20 LPM;
- Hauteur de moussage: 60 +/- 5 cm;
- Débit de la douche de rinçage : 0 à 1 LPM;
- Ajout de surfactant commercial : 0, 0,03 et 0,06 % / pâte sèche.

L'échantillonnage a été effectué après avoir attendu au minimum l'équivalent en volume de 3 fois le temps de flottation sélectionné. Ainsi, 40 litres ont été prélevés avant flottation (alimentation), de même que 40 litres après flottation (acceptés) et 2 litres des rejets (mousse).

Sur chaque échantillon, nous avons déterminé la consistance ainsi que les charges inorganiques. Ces mesures nous ont permis de calculer le taux de rejets pour chaque série de flottation.

Avec chaque échantillon, quatre formettes ont été préparées pour mesurer le niveau de blancheur, l'encre résiduelle (ERIC) ainsi que les matières extractibles.

## **6.8 Opération de la colonne mobile**

L'opération de la colonne mobile (figure 6.2) est simple, on y retrouve trois états fondamentaux: la mise en marche, en opération (mode test) et l'arrêt [176].

La mise en marche se décortique en 18 étapes:

1. Démarrage de la douche externe en haut de la colonne. Maintenir un débit suffisant pour que les rejets puissent s'écouler facilement dans le conduit une fois qu'ils ont franchi le niveau de débordement;
2. Ouvrir la vanne de l'eau de la douche de rinçage de la colonne;
3. Brancher l'alimentation électrique du panneau de contrôle et du mélangeur du réservoir pour l'échantillon d'eau blanche;
4. Mettre le contrôleur sous tension. S'assurer que le bouton d'arrêt d'urgence ne soit pas enfoncé, tourner le bouton de mise en marche à la position ON et presser sur le bouton vert;
5. Remplir le réservoir de l'échantillon avec de l'eau chaude (environ 50 °C), et par tir l'agitation;
6. Ouvrir la vanne d'alimentation d'air à une pression maximale de 415 kPa;
7. Ouvrir les vannes sur la colonne permettant l'alimentation en air;
8. Ouvrir la vanne d'alimentation d'air pour la vanne pneumatique, et ajuster à une pression de 135 kPa;
9. Ouvrir le drain des acceptés et des rejets;
10. Ouvrir la vanne des acceptés vers la pompe près de la colonne
11. Fermer le drain de la colonne;
12. Démarrer l'ordinateur et activer le logiciel en appuyant sur l'icône «Colonne de flottation»;
13. Vérifier que la communication est bien établie en observant les valeurs de température par exemple;

14. Actionner la pompe de la douche de rinçage (« washwater »), généralement à un débit de 1 L/min. À l'écran, appuyer sur la pompe pour appeler l'écran de contrôle des pompes. Dans l'écran des pompes, activer la pompe requise et ajuster le débit, puis appuyer sur le bouton « Launch » ou la touche F5 \*;
15. Alimenter la colonne en eau en actionnant la pompe d'alimentation ("Feed pump"); \* Même procédure pour **toutes** les pompes qu'au point 14. \*;
16. Lorsque la colonne est remplie, partir la pompe de recirculation (ex. 20 LPM);
17. Alimenter la colonne en air au débit requis (ex. 6 LPM);
18. Arrêter la pompe d'alimentation (feed pump) quand la colonne est remplie et que la température est à 50 °C, puis laisser la recirculation et l'air en fonction.

Lorsque les étapes de mise en marche de la colonne de flottation sont complétées, nous pouvons procéder au début des tests en suivant les étapes suivantes pour mettre la colonne en opération [176]:

1. Arrêter l'agitation dans le réservoir de 400 litres;
2. Drainer le réservoir d'eau chaude en ouvrant le drain, puis refermer le drain lorsqu'il est vide;
3. Introduire l'échantillon d'eau blanche dans le réservoir. Diluer si nécessaire à environ 1 % de pâte sèche avec de l'eau chaude;
4. Partir l'agitateur dans le réservoir. Si nécessaire, ajouter les produits chimiques à l'échantillon;
5. Démarrer l'acquisition des données. \* Appuyer sur «Datalog», «logging rate (15)» soit 1 lecture au 15 secondes, «On», «Exit», «File name» soit le numéro de l'essai en cours \*;

6. Ajuster le débit de la pompe d'alimentation pour obtenir le temps de résidence fixé pour l'essai en cours;
7. Ajusté le débit de la pompe des acceptés à environ 1 litre de moins que l'alimentation. Sans vider la colonne, appuyer sur les pompes, ajuster les débits, et appuyer sur le bouton «Launch» ou la touche F5;
8. Établir une mousse de 50 à 60 cm de hauteur en variant la vitesse de la pompe des acceptés;
9. Vérifier que le contenu en air («gas holdup») se maintient entre 15 et 25 % en augmentant le débit d'air ou en augmentant le débit de recirculation;
10. Lorsque les conditions d'opération ont été établies, attendre trois fois le temps de résidence dans la cellule avant d'échantillonner les acceptés et les rejets. Il est nécessaire d'arrêter la douche externe d'évacuation des rejets avant d'échantillonner les rejets afin de ne pas diluer inutilement les rejets;
11. Arrêter l'acquisition des données.
12. Passer aux conditions du prochain essai puis retourner à l'étape 4.

Lorsque les essais prévus sont terminés, il faut s'assurer de procéder méthodiquement à l'arrêt de la colonne de flottation en suivant les étapes suivantes [176]:

1. Arrêter les pompes de l'alimentation et des acceptés ainsi que l'agitateur du réservoir;
2. Vider et nettoyer le réservoir;
3. Remplir le réservoir avec de l'eau chaude;
4. Ouvrir doucement le drain de la colonne et simultanément, alimenter la colonne avec l'eau chaude en partant la pompe de l'alimentation;

5. Nettoyer ainsi la colonne, les pompes d'alimentation et des acceptés ainsi que la vanne pneumatique, la pompe de recirculation et le mélangeur statique pendant plusieurs minutes;
6. Arrêter les 4 pompes;
7. Arrêter l'alimentation en air par le logiciel;
8. Fermer les vannes d'air;
9. Vider la colonne en ouvrant la vanne du drain de la colonne;
10. Fermer la douche externe en haut de la colonne;
11. Fermer le logiciel, fermer le contrôleur.

En suivant méthodiquement ces procédures de mise en marche, en opération et d'arrêt, la colonne de flottation est disponible le lendemain matin pour effectuer d'autres essais sans risquer une contamination transversale des échantillons d'eau blanche ou des dépôts indus sur les parois de la colonne.

## **6.9 Sélection du surfactant**

La sélection d'un surfactant non ionique commercial (EKA RF 4283) provient d'une optimisation (0,05 à 0,06 % / pâte sèche) en collaboration avec Eka Chimie à l'usine de désencrage d'Abitibi Bowater de Gatineau [177].

Ce surfactant commercial est un copolymère non ionique de type oxyde d'éthylène / oxyde de propylène (EO/PO). Il a été utilisé lors de certains de nos essais à de faibles dosages (0,06 % / pâte sèche), afin d'évaluer la nécessité de mieux détacher les encres et d'améliorer la stabilité de la mousse. Il est important de bien doser la concentration du surfactant, car un mauvais dosage peut entraîner de mauvaises performances d'enlèvement d'encres [164].

## 6.10 Méthodes d'analyses

### 6.10.1 Consistance, cendres et formation des feuilles pour essais

Les échantillons d'eau blanche ont été prélevés avant (alimentation) et après flottation (acceptés, rejets). La consistance des échantillons d'eau blanche ainsi que leur teneur en cendres ont été déterminées selon les méthodes standards PAPTAC D.16 et G.30P, respectivement. Des formettes de 1,2 g ont été fabriquées à partir des différents échantillons selon la méthode standard PAPTAC C.5, à l'exception d'un filtre de 500-mailles lors de la formation de la feuille. De plus, pour prévenir tout lavage de fines, aucun ajout d'eau n'a été fait [52, 178].

### 6.10.2 Détermination du niveau de blancheur

La blancheur a été mesurée sur les formettes ou les pâtons de rejets selon la méthode standard PAPTAC E.1. Le contenu en encres résiduelles (ERIC) a été mesuré sur un instrument Technibrite ERIC 950 (Technidyne Corp., New Albany, Indiana, USA) en utilisant le coefficient de diffusion de  $47 \text{ m}^2/\text{kg}$  [179]. L'efficacité d'enlèvement des encres résiduelles a été calculée selon l'équation 6.1 :

$$\% \text{ Enlèvement d'encres} = ((\text{ERIC}_{\text{alim}} - \text{ERIC}_{\text{accepté}}) / \text{ERIC}_{\text{alim}}) * 100 \quad \text{Équation 6.1}$$

### 6.10.3 Détermination de la dimension des particules

La distribution de la dimension des particules solides en suspension a été déterminée en utilisant un analyseur de particules Mastersizer S (Malvern Instruments) [53].

### 6.10.4 Classification des fibres Bauer-McNett

La classification des fibres a été déterminée selon les mesures effectuées par le classeur de fibres Bauer-McNett suivant la méthode standard PAPTAC C.5V [180]. Cet équipement permet de classer les fibres selon leur longueur selon l'ouverture des tamis installés

(14 mailles par pouce, 28 mailles par pouce, 48 mailles par pouce, 100 mailles par pouce et 200 mailles par pouce). Ainsi, une fibre qui est retenue sur le tamis 14 mailles par pouce sera classifiée R14 tandis qu'une fibre qui passe au travers d'un tamis 200 mailles par pouce sera classifiée P200.

#### **6.10.5 Détermination des matières extractibles**

Le contenu en matières extractibles a été déterminé sur des échantillons lyophilisés ou séchés à froid selon la méthode Soxtec avec le dichlorométhane (DCM) comme solvant suivant une seule étape d'extraction [181]. L'efficacité d'enlèvement massique des matières extractibles par la flottation sur colonne a été calculée selon l'équation 6.2 :

$$\% \text{ Enlèvement des matières extractibles} = ((\text{Extractibles}_{\text{alim}} - \text{Extractibles}_{\text{accepté}})/\text{Extractibles}_{\text{alim}}) * 100 \quad \text{Équation 6.2}$$

#### **6.10.6 Coefficients de friction statique et dynamique**

Une propriété négligée dans l'évaluation de la qualité du papier est son coefficient de friction (statique et dynamique). Souvent, l'usine n'a que peu de moyen pour augmenter ces coefficients sans ajouter des agents de charges comme une glaise calcinée.

Le coefficient de friction statique correspond à la force qu'il faut exercer pour initialiser le déplacement d'une feuille de papier posée sur une autre feuille de même nature munie d'un petit chariot sur le dessus. Le coefficient de friction dynamique, quant à lui, correspond à la force qu'il faut appliquer pour entretenir ce déplacement, la feuille étudiée étant toujours en contact avec l'autre feuille.

Les coefficients de friction ont été mesurés sur un instrument TMI « Monitor Slip and Friction Tester » Modèle 32-06. Le petit chariot, Type C, mesure 6,35 cm par 6,35 cm et pèse 1 375 grammes. Les échantillons de papier sont placés selon une configuration « feutre contre toile » sur un chariot doté d'un dessous caoutchouté et les extrémités sont

maintenues sur un bloc métallique par des bandes adhésives afin de prévenir un glissement de la feuille avec le bloc métallique pendant le test. La vitesse utilisée de tirage du charriot est de 400 mm/min. Trois passes ont été effectuées avec le charriot sur le même papier et les coefficients de friction statique et dynamique ont été mesurés à chaque passe [182].

Les papiers ayant de faibles coefficients de friction statique et dynamique sont responsables de problèmes générés sur la machine à papier, entre autres les plis crêpés sur les bobines mères [183].

## Chapitre 7 - Résultats et Discussion

L'ensemble de nos résultats est présenté dans ce chapitre sous forme de tableaux et de figures. Des commentaires succincts viennent aider à la compréhension et à l'interprétation de nos résultats. Comme ces expériences sont reliées entre elles et qu'il ne sera possible de faire les corrélations et les discussions qu'après avoir présenté tous les résultats, cette étape de synthèse et d'analyse sera présentée au chapitre 7.6.

### 7.1 Essais exploratoires de flottation dans une cellule (faisabilité)

Afin de vérifier notre hypothèse de travail, nous avons effectué des essais de flottation conventionnelle à l'usine d'Abitibi Bowater de Gatineau dans une cellule de flottation FRED [184] de conception maison (figure 7.1). L'ensemble de ces essais a été effectué en collaboration avec la compagnie Akzo Nobel, division EKA Chimie.

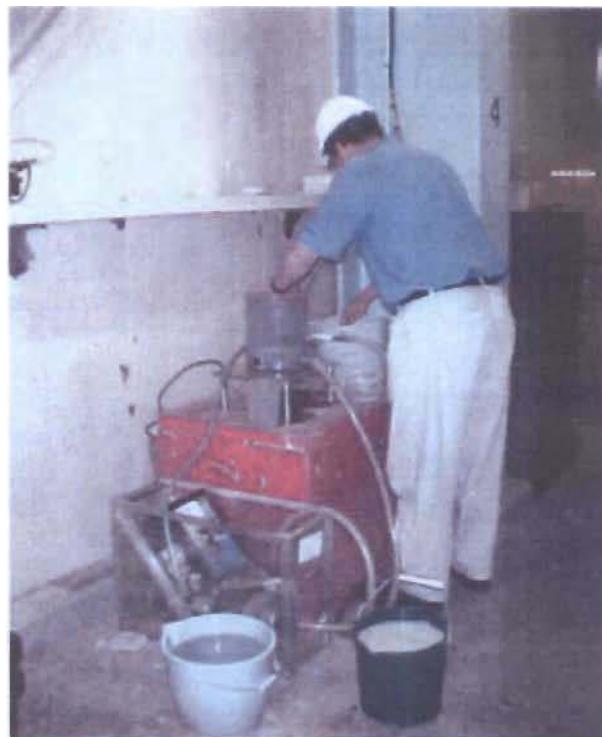


Figure 7.1 Cellule de flottation FRED

Les essais ont été effectués sur 3 échantillons d'eau blanche prélevés aux silos de la machine à papier no. 4 (MP 4) et de la machine à papier no. 6 (MP 6) ainsi qu'au réservoir d'eau blanche centrale (EBC). Le temps de flottation a été fixé à 10 minutes.

Le tableau 7.1 montre que la proportion des éléments fins est plus élevée dans l'eau blanche que dans la pâte initiale à la machine à papier no. 4 de l'usine Abitibi Bowater de Gatineau (Qc). Ainsi, la proportion de fines (fraction P200) atteint 94,1 % et le pourcentage de cendres, 9,06 %.

Au niveau blancheur, nous observons une perte majeure du niveau de blancheur entre la blancheur à la caisse d'arrivée et celle de l'eau blanche (- 5,2 points) ainsi qu'une légère baisse de blancheur sur le papier fini (- 1,2 point).

**Tableau 7.1 Classification des eaux blanches – Machine à papier no. 4**

	Caisse d'arrivée MP 4	Silo d'eau blanche MP 4	Papier fini MP 4
Constance (%/p.s.)	0,940	0,400	91,8
Blancheur (ISO)	59,5	54,3	58,3
ERIC (ppm)	87,9	127,2	105,2
Fraction R14 (%)	1,0	0,2	4,0
Fraction R48 (%)	8,5	0,3	20,4
Fraction R100 (%)	29,9	1,9	41,5
Fraction R200 (%)	5,5	3,5	7,8
Fraction P200 (%)	55,1	94,1	26,3
Cendres (%)	5,61	9,06	2,53

Le tableau 7.2 présente les résultats obtenus lors de la flottation conventionnelle sur l'eau blanche en provenance du silo MP 4 avec et sans ajout de produits chimiques (0,05 % surfactant commercial EKA RF 4283/ pâte sèche).

**Tableau 7.2 Flottation conventionnelle - Silo MP 4**

<b>MP 4</b>	<b>Alimentation</b>	<b>Accepté sans surfactant</b>	<b>Rejets sans surfactant</b>	<b>Accepté avec 0,05% surfactant</b>	<b>Rejets avec 0,05% surfactant</b>
<b>Consistance, (%)</b>	0,424	N.D.	N. D.	N. D.	N. D.
<b>Blancheur, (% ISO)</b>	57,7	57,9	46,2	62,8	39,0
<b>L (%)</b>	81,55	81,86	73,90	85,05	69,20
<b>a*</b>	1,57	1,40	2,84	0,66	3,72
<b>b*</b>	2,41	2,77	0,88	3,69	1,33
<b>ERIC, (ppm)</b>	111,9	96,3	382,5	45,0	533,5
<b>Cendres, (%)</b>	13,0	N. D.	N. D.	N. D.	25,1

N.D. - Non déterminé

Pour l'échantillon d'eau blanche du silo MP 4, nous remarquons des gains de blancheur variant entre 0,2 (sans surfactant) et 5,1 points (avec surfactant) accompagnés d'une réduction du contenu en encres résiduelles de 14 % à 60 %. L'addition de surfactant entraîne aussi un meilleur enlèvement des encres. Nous observons une valeur ERIC plus faible dans les acceptés avec surfactant (45,0 ppm vs 96,3 ppm) et une blancheur plus élevée (62,8 % ISO vs 57,9 % ISO). Nous pouvons également remarquer une concentration plus élevée en charges (% cendres) dans les rejets (25,1 %) versus à l'alimentation (13,0 %). Ces résultats nous signifient que la flottation est sélective.

Le tableau 7.3 présente les résultats obtenus lors de la flottation conventionnelle sur l'eau blanche en provenance du silo MP 6.

Les résultats sont impressionnantes. Pour l'eau blanche du silo MP 6, nous avons obtenu un gain de blancheur de 3,3 à 4,5 points avec une réduction de 35 % à 56 % du contenu en encres résiduelles (ERIC) selon l'ajout de surfactant. Les rejets ont une blancheur très faible (40,9 % ISO) avec une concentration en encres résiduelles très élevée (930 ppm). Il y a concentration des éléments hydrophobiques dans les rejets (fines, encres et

charges). Notons qu'une concentration plus élevée en charges (% cendres) dans les rejets (35,2 %) versus à l'alimentation (17,6 %) est obtenue. Ce qui nous confirme qu'une flottation sélective a donc vraiment eu lieu.

**Tableau 7.3 Flottation conventionnelle - Silo MP 6**

	Alimentation	Accepté sans surfactant	Rejets sans surfactant	Accepté avec 0,05% surfactant	Rejets avec 0,05% surfactant
<b>Consistance, (%)</b>	0,381	N.D.	N. D.	N. D.	N. D.
<b>Blancheur, (% ISO)</b>	53,8	57,1	41,4	58,3	40,9
<b>L (%)</b>	79,26	81,38	70,47	82,37	69,00
<b>a*</b>	1,26	1,12	1,95	0,69	1,97
<b>b*</b>	2,07	2,58	0,40	3,28	0,22
<b>ERIC, (ppm)</b>	264,8	172,6	904,5	117,4	930,0
<b>Cendres, (%)</b>	17,6	N. D.	N. D.	N. D.	35,2

N.D. Non déterminé

Nous pouvons également remarquer que les rejets sont violacés ce qui est confirmé par un a\* plus élevé (+ : rouge ; - : vert) et un b\* plus faible (+ : jaune ; - : bleu). Ces fines rejetées, ayant une surface spécifique élevée, ont une plus grande affinité avec le colorant (méthyle violet) ajouté à la pâte mélangée afin de rencontrer les critères de couleur exigés par les clients.

Le tableau 7.4 présente les résultats obtenus lors de la flottation conventionnelle sur l'eau blanche en provenance du réservoir d'eau blanche central. Les résultats nous montrent que pour l'échantillon d'eau blanche centrale (EBC) des gains de blancheur de 1,9 à 6,0 points de blancheur ISO selon l'ajout de surfactant. La réduction du contenu en encres résiduelles passe de 22 % à 69 % avec l'ajout de surfactant. Le surfactant agit ainsi comme un excellent collecteur des petites particules hydrophobes (fines, encres et charges) présentes dans notre échantillon d'eau blanche.

**Tableau 7.4 Flottation conventionnelle – Eau Blanche Centrale**

Eau blanche centrale (EBC)	Alimentation	Accepté sans surfactant	Rejets sans surfactant	Accepté avec 0,05% surfactant	Rejets avec 0,05% surfactant
<b>Consistance, (%)</b>	0,148	N.D.	N. D.	N. D.	N. D.
<b>Blancheur, (% ISO)</b>	56,6	58,5	44,7	62,6	42,5
<b>L</b>	81,35	82,90	72,81	85,56	71,56
<b>a*</b>	1,58	0,92	2,77	-0,03	2,77
<b>b*</b>	3,02	3,97	0,65	5,27	0,76
<b>ERIC, (ppm)</b>	151,4	118,1	572,7	47,7	666,2
<b>Cendres, (%)</b>	11,7	N. D.	N. D.	N. D.	29,1

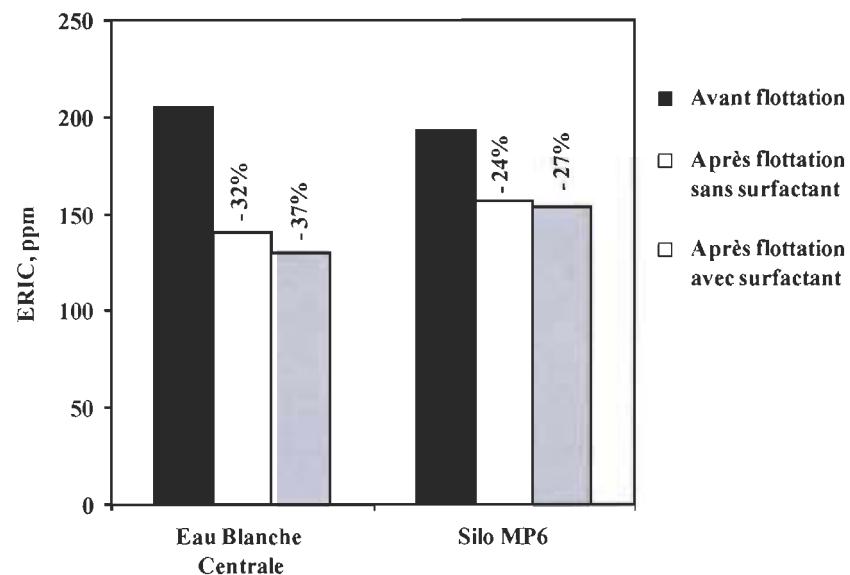
N.D. Non déterminé

Comme l'objectif premier de ces essais exploratoires est d'évaluer les performances d'une flottation conventionnelle sur des échantillons d'eau blanche, aucun calcul de rendement n'a été effectué.

## 7.2 Essais préliminaires chez FPInnovations

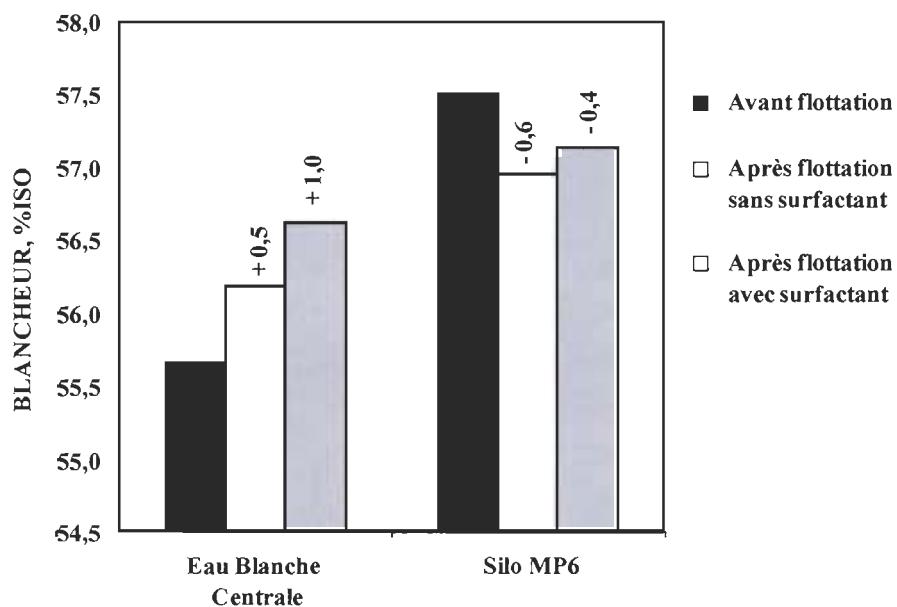
Compte tenu des excellents résultats obtenus lors des essais exploratoires, nous avons effectué des essais de flottation conventionnel de très courtes durées (2 minutes) chez FPInnovations sur des échantillons d'eau blanche prélevés au silo de la MP 6 (consistance : 0,53 % de pâte sèche) et au réservoir d'eau blanche centrale (EBC – consistance : 0,15 % de pâte sèche).

Ces essais, effectués dans une cellule de flottation Leeds, nous ont permis d'obtenir une réduction de 24 % à 37 % de la concentration en contenu d'encre résiduelle pour les 2 échantillons d'eau blanche selon l'ajout du surfactant commercial EKA RF 4283 (0,06 % / pâte sèche) (figure 7.2). Nous obtenons une plus grande réduction dans l'eau blanche centrale (EBC) car sa consistance est plus faible.

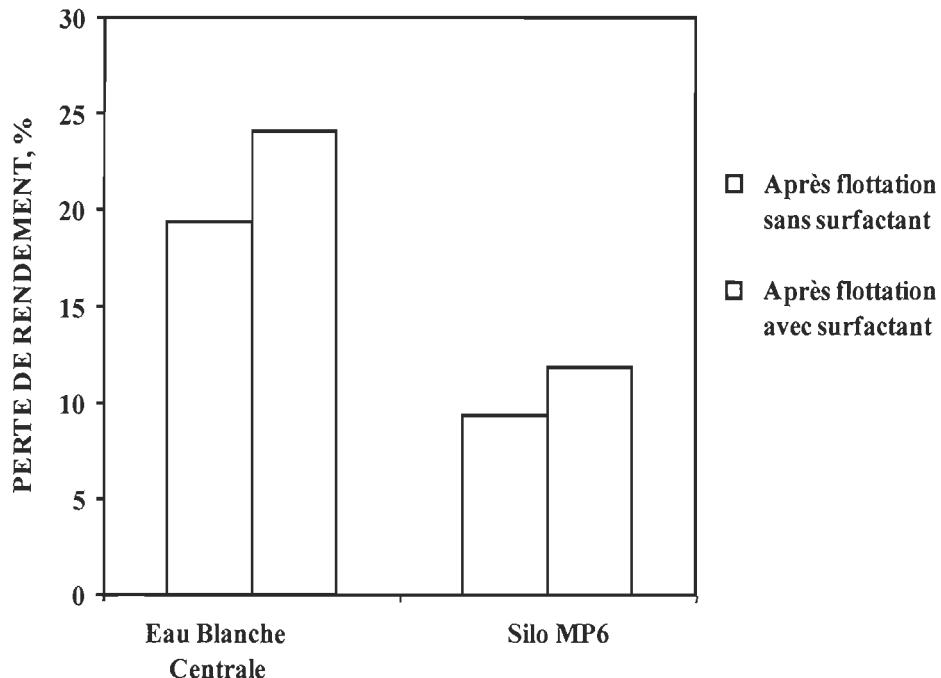


**Figure 7.2 Réduction des encres résiduelles**

Cette réduction entraîne une hausse du niveau de blancheur de 0,5 à 1 point pour l'échantillon EBC (figure 7.3) malgré une perte de rendement de 19 à 24 % selon l'ajout de surfactant (figure 7.4).



**Figure 7.3 Hausse de la blancheur**



**Figure 7.4 Perte de rendement**

Pour l'échantillon du silo MP 6, nous obtenons des résultats mitigés : une faible perte de rendement de 8 % à 12 % (figure 7.4) s'est traduit par une baisse de 0,4 à 0,6 point de blancheur selon l'ajout du surfactant commercial (figure 7.3). Cette baisse de blancheur est difficile à expliquer compte tenu de la réduction des encres résiduelles mesurée. Nous supposons que cet échantillon (Silo MP 6) contient des charges de blancheur plus élevée.

Nos résultats démontrent qu'il est possible de flotter pendant de très courtes durées des échantillons d'eau blanche. Ricard et ses collaborateurs [185] ont aussi démontré, lors d'essais similaires sur une grande variété d'eau blanche provenant de 6 usines différentes, que la nature hydrophobique des fines et des charges présentes dans les différentes eaux blanches est suffisante pour permettre un enlèvement sélectif des contami-

nants par une flottation conventionnelle. Cette sélectivité du procédé de flottation dépend de l'attraction du matériel hydrophobique pour les bulles d'air. Sans cette propension, la cellule de flottation rejetterait les matières particulières (fines et charges) de façon non-sélective ce qui résulterait en des pertes de rendement inacceptables par entraînement au lieu d'une « vraie » flottation.

Ainsi, nos résultats nous ont permis d'établir un plan expérimental de recherche qui nous permettra d'évaluer à l'échelle de pilote la flottation sur colonne sur des échantillons d'eau blanche prélevés à l'usine Abitibi Bowater de Gatineau (Qc). Nous espérons qu'en effectuant une flottation sélective sur colonne des échantillons d'eau blanche, nous améliorerons le gain de blancheur tout en réduisant le contenu en encres résiduelles et surtout en réduisant la perte de rendement par entraînement de fibres/solides dans les rejets.

### **7.3 Essais de flottation sur colonne à l'unité pilote chez FPInnovations**

À l'aide de la colonne de flottation de laboratoire de FPInnovations (section 6.5), des essais-pilote de flottation ont été effectués sur deux échantillons d'eau blanche provenant de l'usine Abitibi Bowater de Gatineau au Centre de recherche FPInnovations.

#### **7.3.1 Échantillons d'eau blanche**

Nous avons étudié les performances de la colonne de flottation sur deux échantillons d'eau blanche provenant de l'usine Abitibi Bowater de Gatineau. Le premier échantillon provenait du silo de la machine à papier no. 6 (Silo MP 6) et le second, appelé eau blanche centrale (EBC), provenait de la combinaison des excès d'eau blanche des 3 différentes machines à papier qui, lors de l'échantillonnage, produisaient du papier journal avec un ratio de 50 % pâte désencrée et 50 % pâte PTM. Les échantillons d'eau blanche ont été expédiés au laboratoire de FPInnovations par camion dans des semi-vrac d'une capacité de 1 m<sup>3</sup>. Les essais ont été effectués le lendemain de l'arrivée des semi-vrac et se sont échelonnés sur une période de 3 jours. Pendant les essais, l'eau blanche de

chaque semi-vrac a été réchauffée dans un réservoir thermostatique à une température contrôlée de 50 °C. Le tableau 7.5 montre les principales caractéristiques des deux échantillons d'eau blanche. La principale différence entre ces deux eaux blanches réside dans leur consistance. L'eau blanche centrale (EBC) est beaucoup plus diluée que l'eau blanche provenant du Silo MP 6.

**Tableau 7.5 Principales caractéristiques des eaux blanches**

Caractéristiques	EBC	Silo MP 6
<b>Consistance, %</b>	0,15	0,53
<b>Cendres, %</b>	15,0	15,2
<b>Blancheur, % ISO</b>	55,1	56,1
<b>ERIC, ppm</b>	203	195
<b>Extractibles DCM, %</b>	2,9	2,1

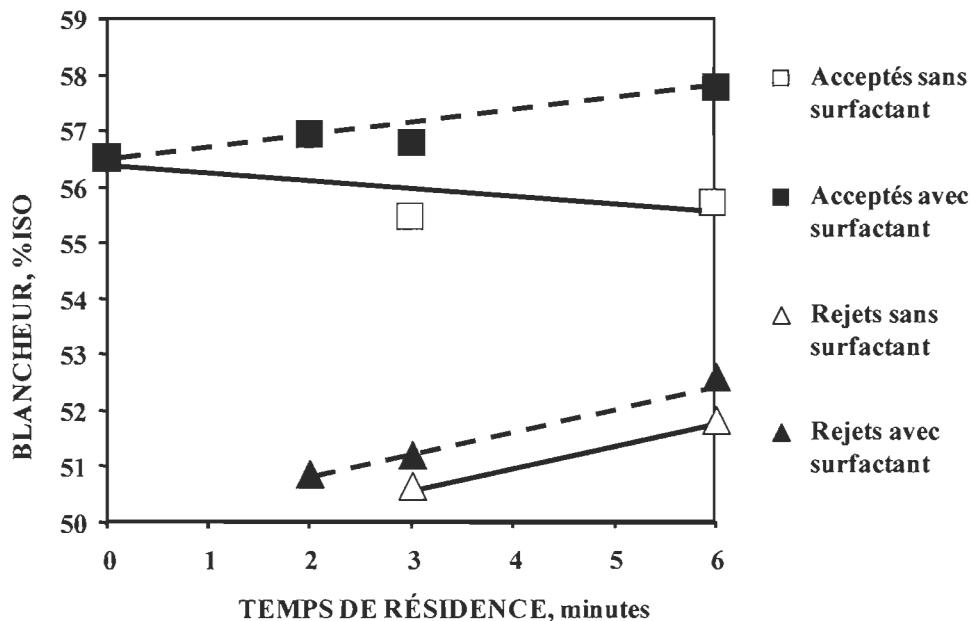
### 7.3.2 Analyse des résultats chez FPInnovations

Pendant cette étude, nous avons examiné les effets du temps de résidence (ou de flottation), l'addition d'un surfactant commercial EKA RF 4283 comme agent collecteur (section 6.9) ainsi que l'utilisation de la douche de lavage. Les performances de flottation ont été évaluées en déterminant le gain de blancheur, le pourcentage d'enlèvement des encres résiduelles et le pourcentage d'enlèvement des matières extractibles pour chaque échantillon d'eau blanche.

#### 7.3.2.1 Amélioration de niveau de blancheur

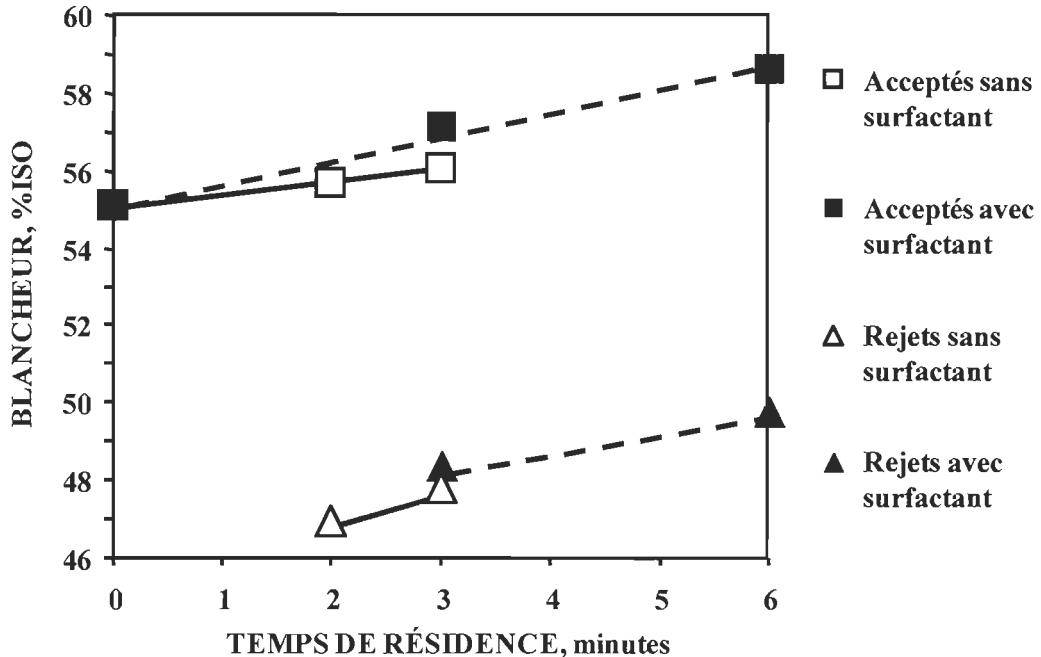
Les figures 7.5 et 7.6 montrent l'effet du temps de résidence sur le gain de blancheur mesurée sur des formettes fabriquées avec des fines provenant de chaque échantillon d'eau blanche. Après un temps de flottation de 6 minutes, nous obtenons un gain de

blancheur de 1,3 point pour l'eau blanche provenant du Silo MP 6 et de 3,5 points pour l'eau blanche centrale (EBC). La blancheur augmente sensiblement avec l'addition du surfactant commercial (0,06 % / pâte sèche) pour chaque échantillon d'eau blanche. Il est intéressant de constater que nous obtenons une faible amélioration de la blancheur sans l'utilisation de surfactant.



**Figure 7.5 Impact de la flottation sur la blancheur – Silo MP 6**

Nous observons aussi la faible blancheur des rejets après un temps de résidence de deux minutes où se concentrent les matières hydrophobiques soit les encres résiduelles, les fines noirâtres et collantes et autres matériaux extractibles. Avec une augmentation du temps de flottation, la blancheur des rejets augmentent, signifiant que les matières rejetées sont de plus en plus « blanches » ou propres. Ces résultats nous confirment que la colonne de flottation rejette sélectivement les fines les plus noires (sales) et les plus contaminées en premier lieu. Suite à ces résultats, nous pouvons aussi émettre l'hypothèse qu'un temps de flottation plus long augmente la perte de fibre ce qui entraînera une perte de rendement. Cette hypothèse sera validée lors des essais-pilote à l'usine Abitibi Bowater de Gatineau.

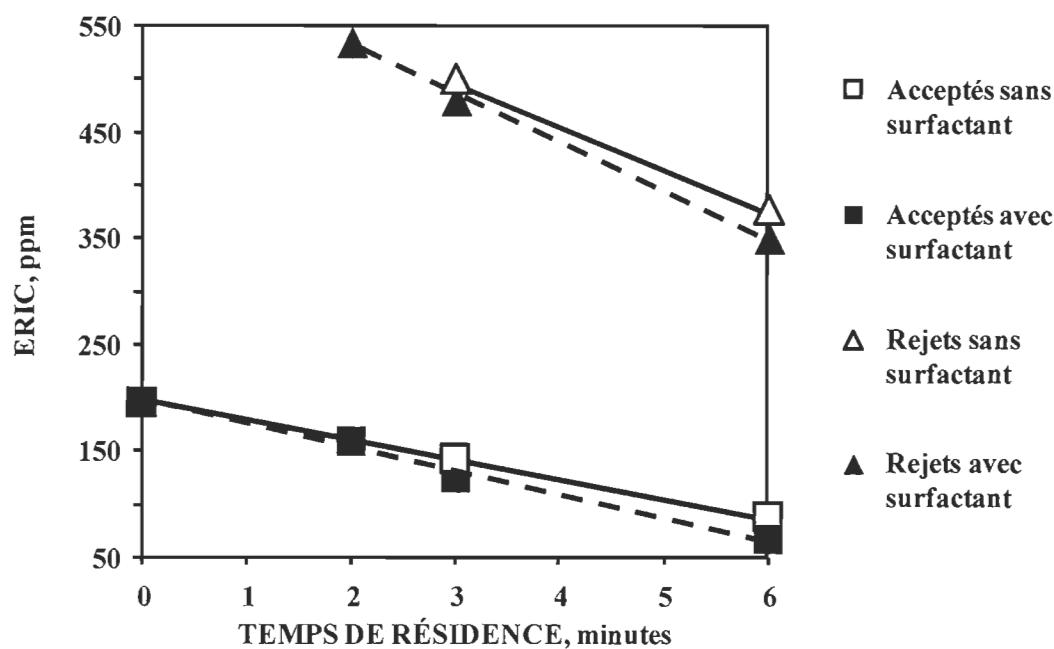


**Figure 7.6 Impact de la flottation sur la blancheur – EBC**

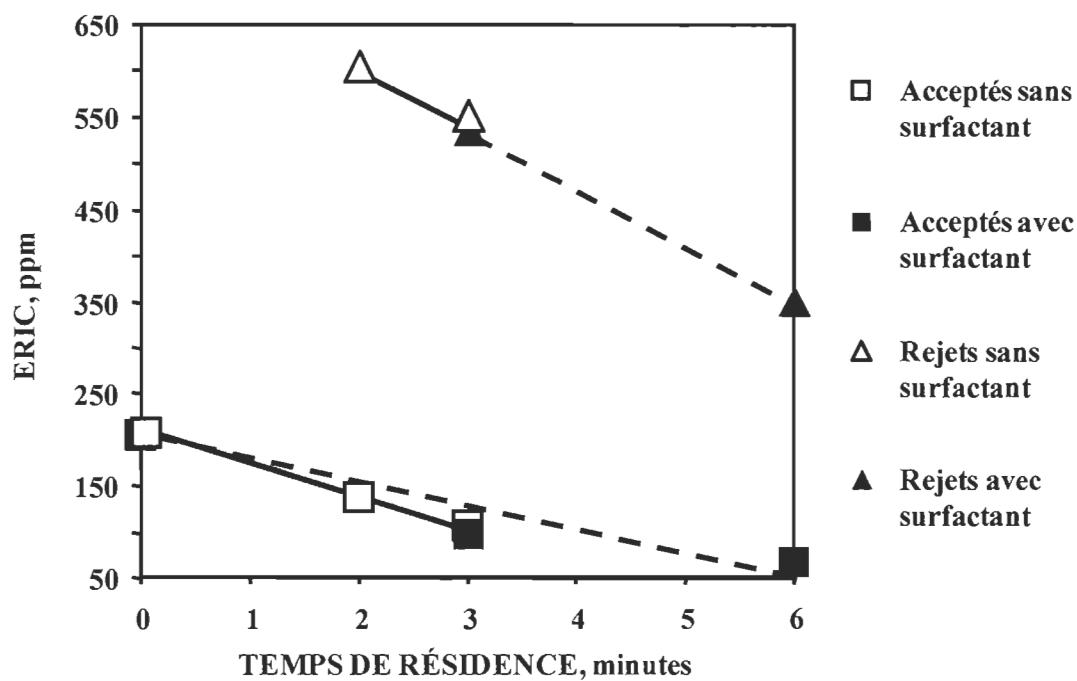
### 7.3.2.2 Élimination de l'encre résiduelle

Tel que nous le prévoyions, la principale raison de l'amélioration de la blancheur des échantillons d'eau blanche réside dans l'enlèvement des particules d'encre liées et non-liées aux fines et aux charges.

Les figures 7.7 et 7.8 démontrent que plus le temps de flottation dans la colonne est prolongé, plus l'enlèvement des encres résiduelles est élevé. Après un temps de flottation de 6 minutes, nous avons éliminé 60 % de l'encre résiduelle dans l'échantillon provenant du Silo MP 6 et jusqu'à 73 % dans celui de l'eau blanche centrale (EBC). Contrairement à l'amélioration de la blancheur, l'addition du surfactant commercial (0,06 % / pâte sèche) n'apporte pas de réduction supplémentaire des encres résiduelles. De plus, une plus faible consistance dans la colonne de flottation (échantillon EBC) apporte de meilleures performances d'enlèvement d'encre résiduelle par rapport à l'échantillon provenant du Silo MP 6, qui a une consistance plus élevée.



**Figure 7.7 Impact de la flottation sur l'encre résiduelle – Silo MP 6**



**Figure 7.8 Impact de la flottation sur l'encre résiduelle – EBC**

### 7.3.2.3 Élimination des matières extractibles

La colonne de flottation s'est avérée très efficace dans l'enlèvement des matières extractibles par DCM. Les figures 7.9 et 7.10 montrent très clairement qu'un temps de flottation prolongé améliore considérablement la propreté des échantillons d'eau blanche flottés (traités). Ainsi, pour un temps de flottation de 6 minutes, il a été possible de réduire les matières extractibles de 85 % pour l'échantillon provenant du Silo MP 6 et de 88% pour celui de l'eau blanche centrale (EBC). Ces résultats nous confirment que la colonne de flottation est une excellente opération unitaire pour effectuer la dérésination des circuits d'eau blanche autour d'une machine à papier en enlevant sélectivement les matières hydrophobiques telles les vieilles fines noirâtres et collantes, les charges contaminées de poix, qui ont un impact négatif sur les propriétés optiques, physiques et mécaniques du papier.

L'addition de surfactant possède peu ou pas d'impact sur l'enlèvement des matières extractibles. Ces résultats nous laisse supposer qu'il y a suffisamment d'agents tensio-actifs provenant de l'usine de pâte désencrée dans les échantillons d'eau blanche pour collecter efficacement les petites particules hydrophobiques et stabiliser la mousse [162].

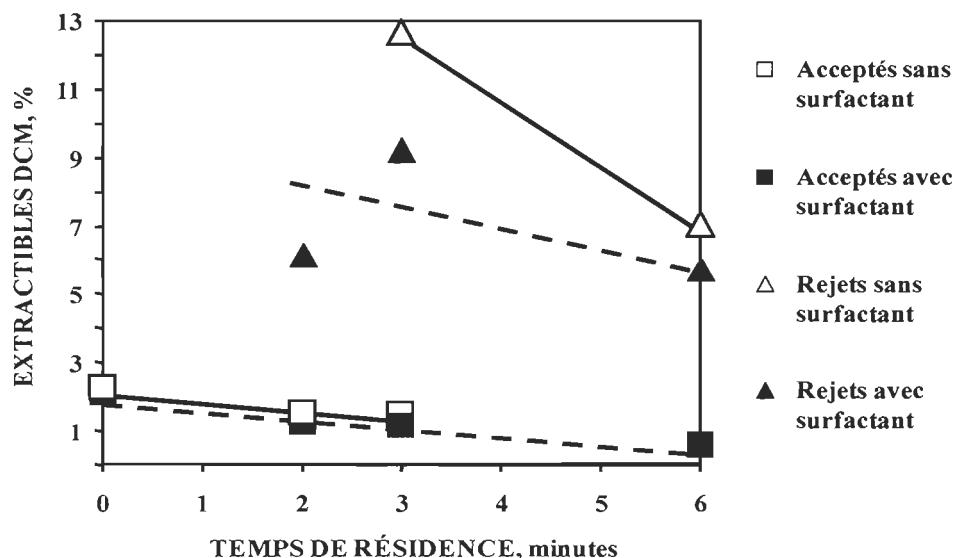


Figure 7.9 Impact de la flottation sur les matières extractibles – Silo MP 6

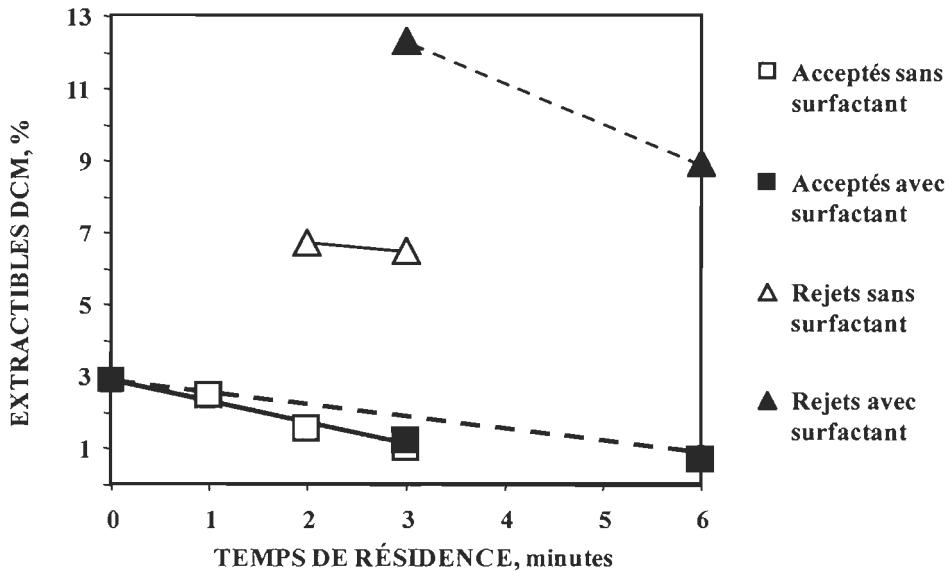
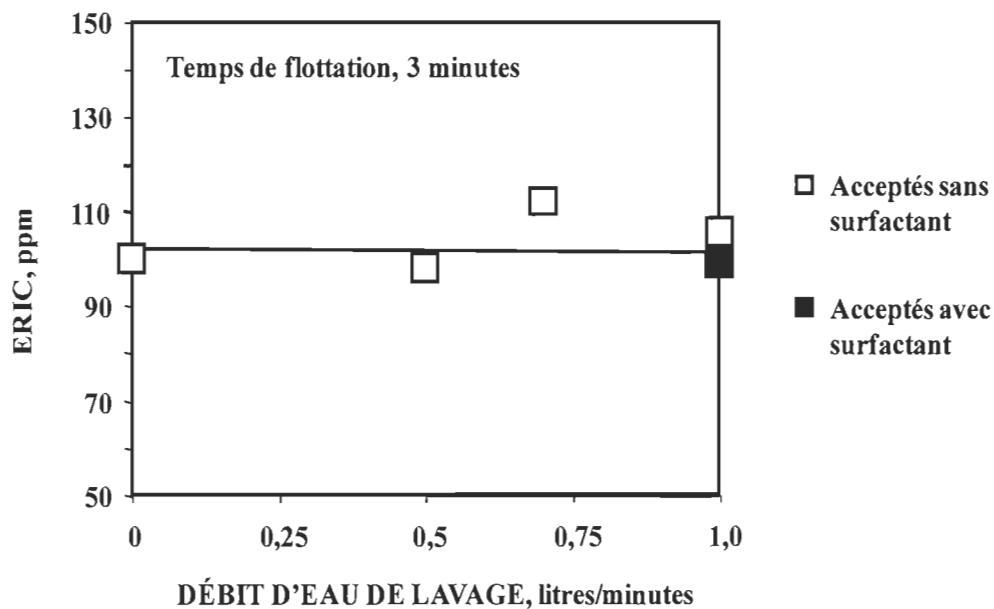


Figure 7.10 Impact de la flottation sur les matières extractibles – EBC

#### 7.3.2.4 Eau de lavage

Un avantage de la colonne de flottation est la possibilité d'appliquer de l'eau de lavage sur la mousse collectée au haut de la colonne avant qu'elle soit rejetée, afin d'améliorer l'efficacité de la flottation en prévenant l'entraînement d'éléments hydrophiliques tels les fibres dans les rejets. Cependant, même si l'eau blanche n'est constituée que de fines et de charges sans la présence de fibres longues (fibres retenues sur la toile de la machine à papier), l'utilisation d'une douche de lavage peut nous permettre de stabiliser la mousse en « lubrifiant » l'interface entre chaque bulle et de flotter plus sélectivement les encres résiduelles tel que démontré par Ricard et al. [185]. Malgré de nombreux changements du débit d'eau de lavage, aucune amélioration de l'enlèvement des encres résiduelles n'a été mesurée pour les deux échantillons d'eau blanche (figure 7.11). Cela peut être dû à la faible proportion de fibre contenue dans l'eau blanche ainsi que d'une mousse stabilisée déjà bien humide (lubrifiée) progressant (montant) dans la zone de moussage par la poussée d'Archimède.



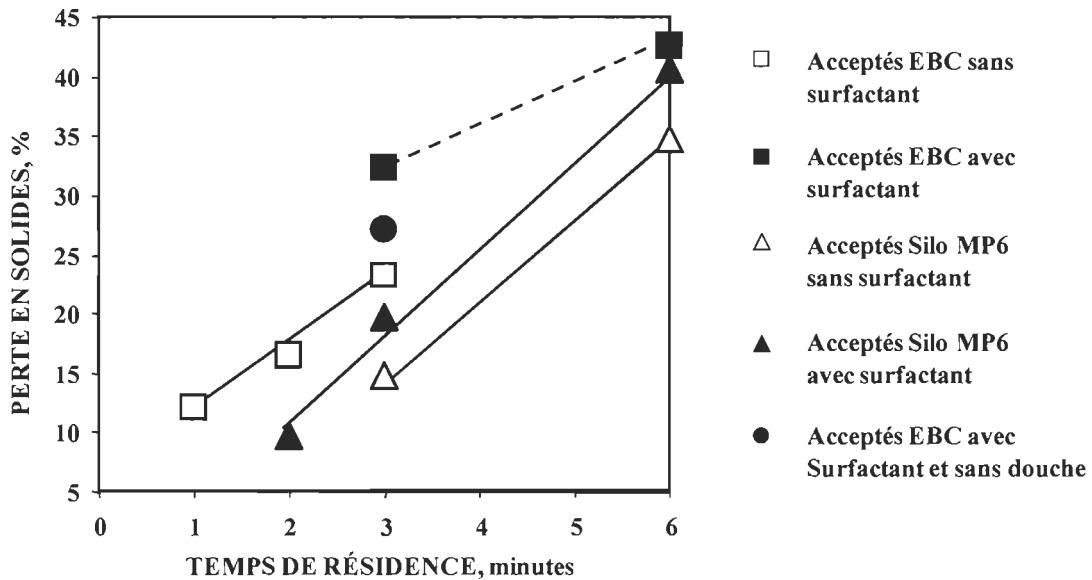
**Figure 7.11 Impact du débit de l'eau de lavage – EBC**

De plus, aucune amélioration du niveau de blancheur ou de réduction additionnelle des matières extractibles n'a été détectée. L'utilisation d'une douche de lavage lors de la flottation sur colonne des eaux blanches sera à revalider lors des essais-pilotes qui auront lieu à l'usine Abitibi Bowater de Gatineau.

### 7.3.2.5 Perte de rendement et distribution de la dimension des particules

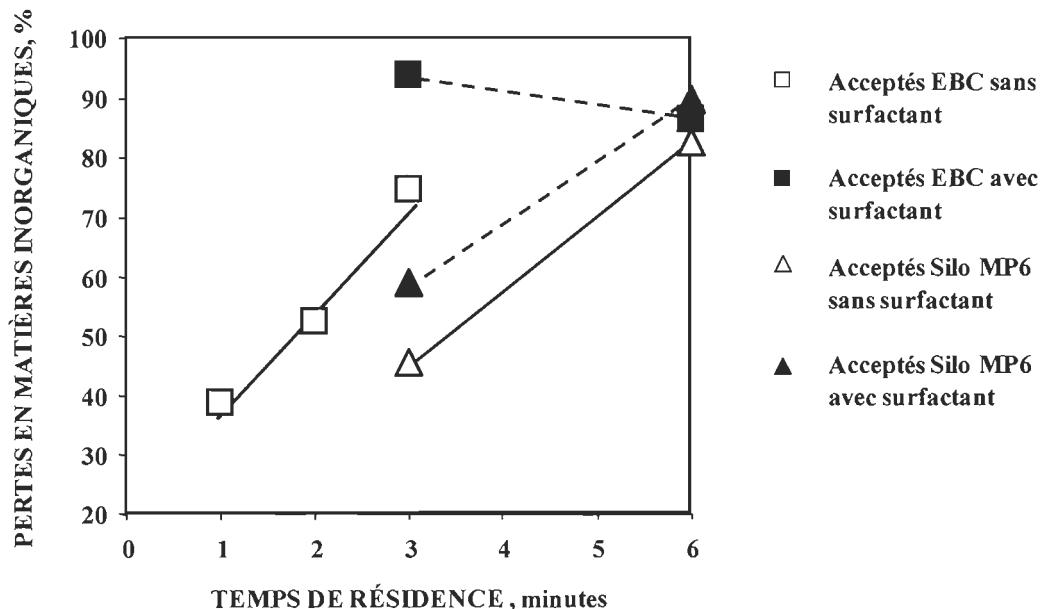
Lors des essais-pilote de flottation sur colonne, nous avons abordé la détermination de la perte de rendement encourue, sachant qu'aucune optimisation de ce procédé n'a été faite compte tenu de la quantité limitée d'échantillons d'eau blanche expédiée au laboratoire de FPInnovations.

La figure 7.12 montre qu'un temps de flottation plus long entraîne des pertes de solides plus élevées pour chaque échantillon d'eau blanche. Après un temps de flottation de 6 minutes, la perte en matières solides atteint près de 40%. Encore une fois, l'utilisation d'eau de lavage ne semble pas réduire les pertes de rendement.



**Figure 7.12 Impact sur les pertes en rendement**

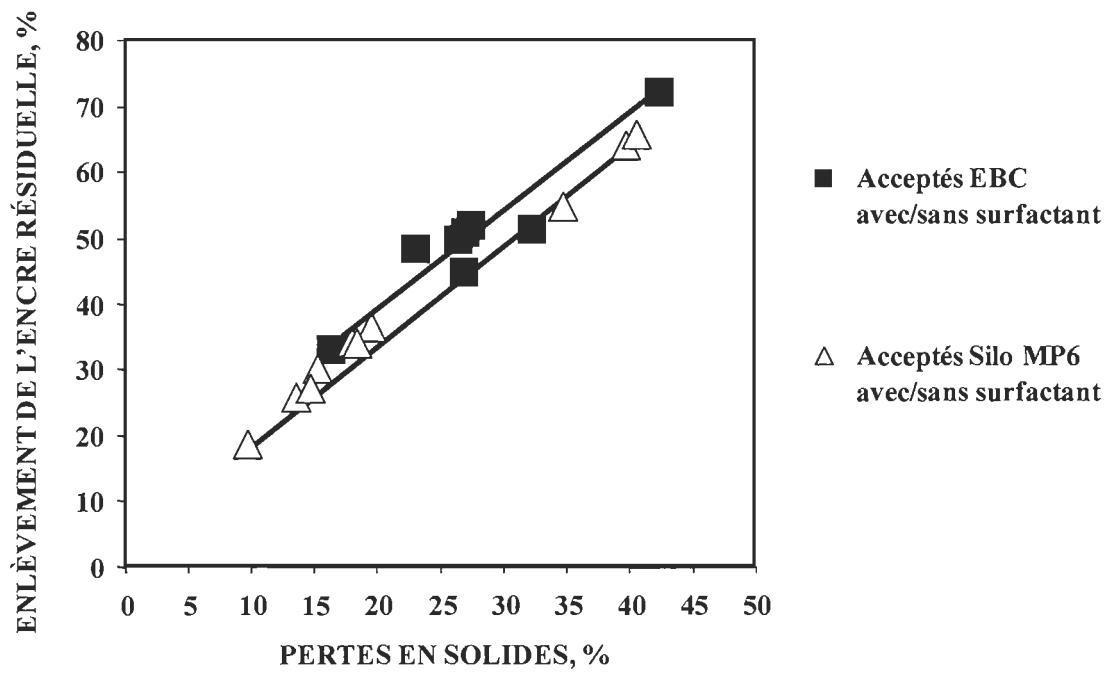
Ces pertes sont surtout constituées à 75 % de matières inorganiques (cendres) (figure 7.13). Les charges, étant des particules très fines, se retrouvent rejetées sélectivement par la colonne de flottation.



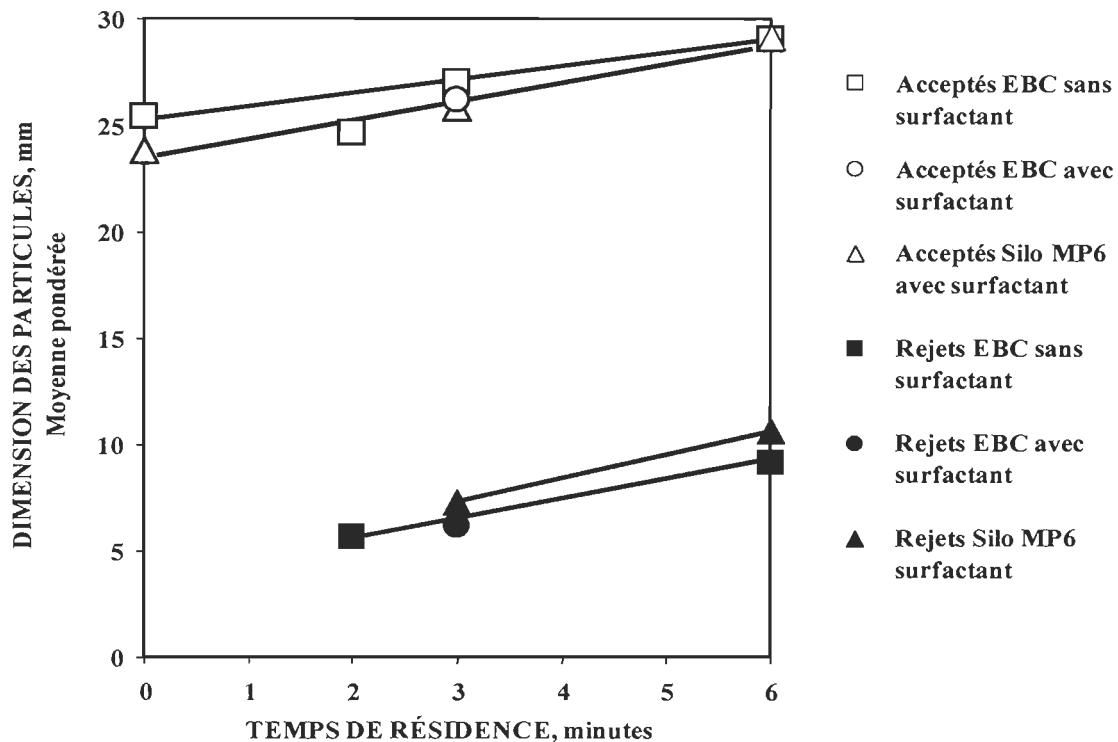
**Figure 7.13 Composantes des pertes en rendement**

Lors de nos essais pilotes en usine, nous porterons une attention particulière à la détermination du rendement. L'installation d'une nouvelle technologie entraînant une perte de rendement de 40 % n'est jamais considérée comme une technologie prometteuse. Malgré tout, tel que le montre la figure 7.14, nous avons déterminé une corrélation entre l'efficacité de flottation, exprimée par le pourcentage d'enlèvement des encres résiduelles, et les pertes en matériels qui sont mesurées dans les rejets. Une augmentation du pourcentage d'enlèvement des encres résiduelles dans les échantillons d'eau blanche entraîne une augmentation des pertes en solides (pertes de rendement).

L'analyse de la distribution de la dimension des particules montre que les plus petites particules (fines et charges) flottent les premières (temps de flottation court). La dimension moyenne des particules retrouvées dans les rejets augmentent avec des temps de flottation plus long (figure 7.15).



**Figure 7.14 Impact de l'efficacité de flottation sur le rendement**



**Figure 7.15 Distribution des particules selon le temps de flottation**

Comme les résultats précédents, l'addition de surfactant ne semble avoir peu ou pas d'impact sur la distribution de la dimension des particules.

#### 7.4 Essais de flottation sur l'unité pilote à l'usine

Compte tenu des résultats encourageants obtenus lors des essais-pilote chez FPIInnovations, la colonne a été démontée, transportée et remontée à l'usine, au bout humide de la machine à papier no. 6 (figure 7.16). Cette série d'essais en usine s'est échelonnée sur une période de deux mois.

Les principaux objectifs des essais-pilote sont de :

- 1) valider en usine les résultats déjà obtenus au laboratoire;
- 2) déterminer l'impact de la flottation sur colonne sur le rendement.



**Figure 7.16 Installation de la colonne de flottation à l'usine**

Disposant d'une quantité d'eau blanche illimitée, nous avons pu effectuer sans limite de temps des essais de flottation sur colonne afin de bien définir les différents paramètres d'opération dont les rendements auxquels nous devrions obtenir lors d'une implantation industrielle. Ce dernier point est très critique car il détermine la viabilité économique de notre technologie : un rendement faible résulte en des pertes de fibres (matériels) inacceptables.

Ces essais-pilote de flottation sur colonne ont été de nouveau effectués sur deux (2) échantillons d'eau blanche soit l'eau blanche du silo de la machine à papier no. 6 (Silo MP 6) (environ 50 flottations) et l'eau blanche du réservoir d'eau blanche central (EBC) (environ 30 flottations). Les essais ont été effectués sur un échantillon d'eau blanche à la fois. L'échantillon d'eau blanche alimente en continu le réservoir d'alimentation (1 000 litres) de la colonne de flottation. Pour tous les essais, nous maintenons le contenu en air

dans la zone de collection stable à 20 % v/v et la hauteur de la mousse dans la zone de moussage à 50 cm.

#### 7.4.1 Préparation des formettes et des pâtons

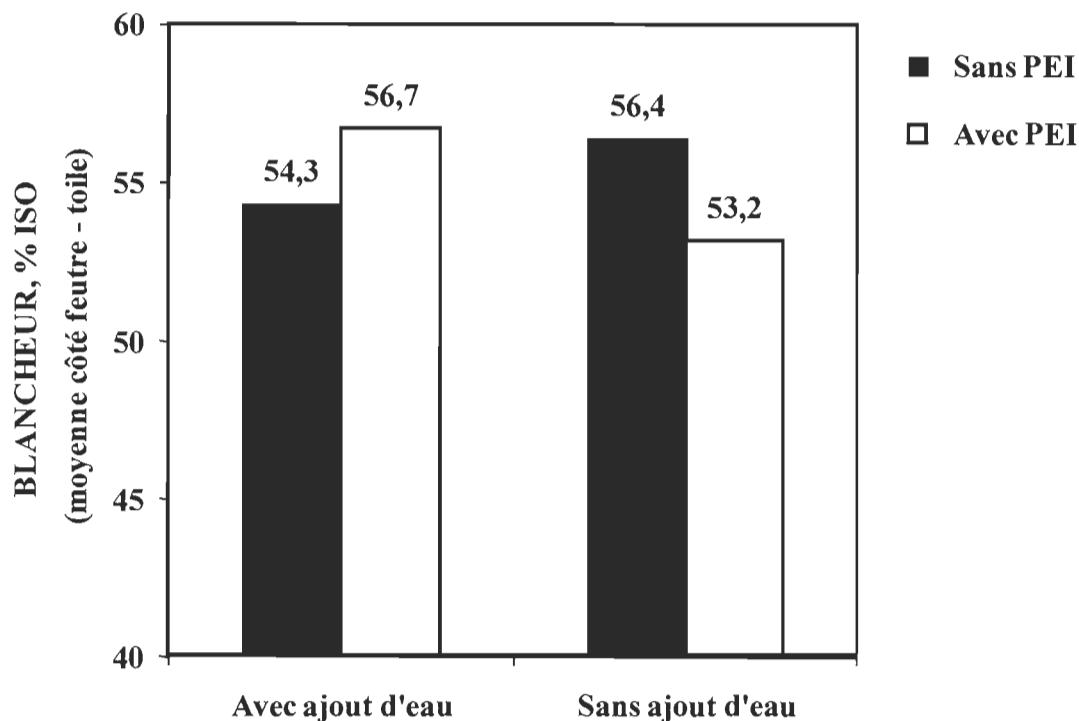
La préparation des formettes est une étape cruciale dans la mesure des résultats de blancheur et d'encre résiduelles (ERIC). Il faut minimiser les écarts de lecture entre le côté toile et le côté feutre d'une même formette ou d'un même pâton. Ainsi, nous avons évalué l'ajout d'eau fraîche ainsi que l'ajout de floculant polyéthylèneimine (PEI) afin d'obtenir des formettes les plus adéquates pour effectuer les mesures [182].

Les résultats présentés dans le tableau 7.6 nous montrent que les écarts des 2 côtés de la formette sont les plus faibles lorsque les formettes sont fabriquées sans ajout d'eau fraîche.

**Tableau 7.6 Préparation des formettes de fines**

	ERIC, ppm			Blancheur, % ISO		
	Toile	Feutre	Différence	Toile	Feutre	Différence
<b>Avec l'ajout d'eau fraîche</b>						
<b>Sans PEI</b>	251,8	210,5	41,3	53,4	55,2	-1,8
<b>Avec PEI</b>	224,9	198,7	26,2	56,5	56,9	-0,4
<b>Sans ajout d'eau fraîche</b>						
<b>Sans PEI</b>	196,3	195,0	1,4	56,2	56,6	-0,4
<b>Avec PEI</b>	185,9	178,9	6,9	53,4	53,0	0,4

De plus, l'addition de 5 % PEI entraîne une baisse de blancheur de 3,2 % ISO dans la préparation sans ajout d'eau fraîche (figure 7.17).

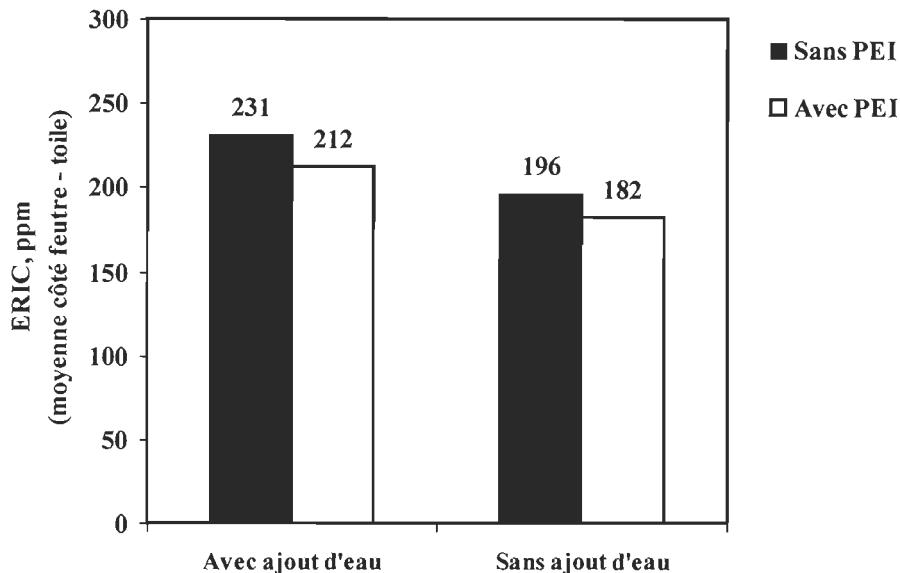


**Figure 7.17 Formettes de fines – Impact sur la blancheur**

Pour l'encre résiduelle (ERIC), l'addition de polyéthylèneimine (PEI) entraîne une mauvaise formation de la formette avec des endroits où les encres se sont agglomérées (figure 7.18).

En conclusion, les différents résultats obtenus pour les échantillons d'eau blanche venant de l'alimentation et des acceptés de la colonne de flottation proviennent de formettes de fines préparées sans ajout de floculant PEI et sans appont d'eau fraîche. Ainsi, environ 250 mL d'échantillon en suspension (soit l'équivalent d'une feuille d'environ 1,2 g sèche) ont été préparés à l'aide d'un papier filtre Whatman no. 1 par drainage dans une machine à formette sans recyclage des eaux afin de ne pas perturber la formation de la feuille.

Pour les échantillons provenant des rejets de la colonne de flottation, les résultats proviennent de pâtons filtrés (équivalent de 3,2 g sec) sur un papier no. 42 dans un entonnoir noir Buchner.

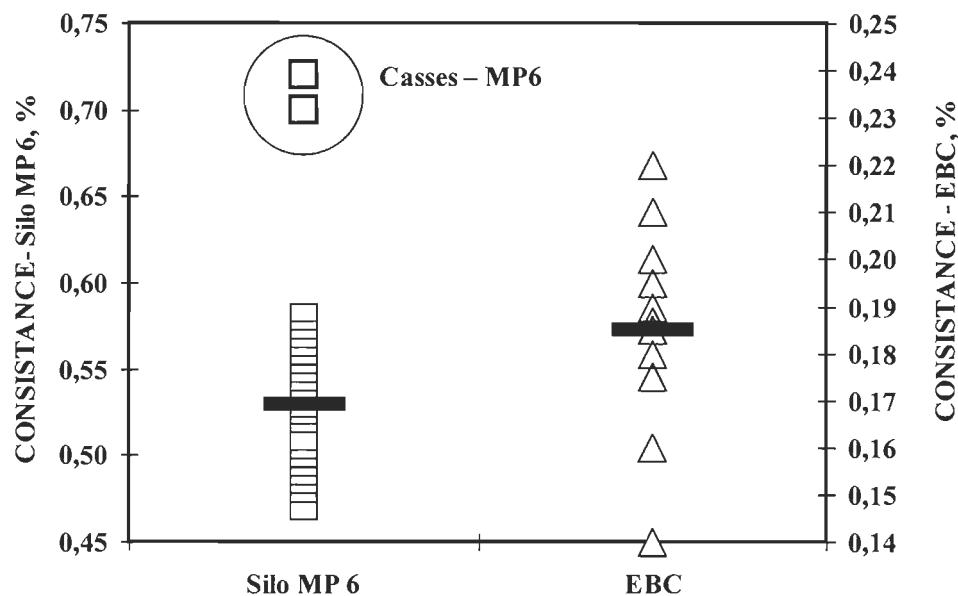


**Figure 7.18 Préparation des formettes de fines – Impact sur la valeur ERIC**

#### 7.4.2 Variabilité de l'eau blanche

Qui dit « échantillon frais prélevé en continu » dans une usine doit s'attendre à de la variabilité dans la nature de l'eau blanche prélevée car une machine à papier industrielle génère une quantité impressionnante d'eau blanche avec une fourniture de pâtes qui fluctue en fonction des exigences (critères d'achat) des clients-acheteur de papier journal et aussi l'inventaire des pâtes disponibles. De plus, lorsqu'une casse survient au bout humide de la machine, de fortes perturbations sont induites dans le circuit d'eau blanche primaire. Ainsi, les essais-pilote à l'usine ont eu lieu avec plusieurs ratio de pâtes PTM/DES, avec des dosages variables d'agents de rétention à la machine à papier no. 6, afin de conserver la consistance d'eau blanche du silo « stable » à 0,53 % de pâte sèche (figure 7.19, tableau 7.7).

Les résultats présentés dans le tableau 7.7 montrent que le % pâte désencrée (DES) a varié de 10 à 65 % et la fourniture de pâte cassée de 0 à 40 %. Les principales caractéristiques des échantillons d'eau blanche (moyenne) avec leur plage de variation pendant les périodes des essais sont également présentés.



**Figure 7.19 Variabilité de la consistance des eaux blanches**

**Tableau 7.7 Principales caractéristiques des eaux blanches**

<b>35 à 90 %PTM, 10 à 65 %DES, 0 à 40 %Pâte Cassée</b>				
	<b>Silo MP 6</b>		<b>Eau blanche centrale</b>	
	<b>Moyenne</b>	<b>Domaine</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Domaine</b>
<b>pH</b>	5,4	5,2 – 5,8	4,7	4,3 – 5,0
<b>Température, °C</b>	47	43,9 – 49,1	47	44,3 – 49,6
<b>Consistance, %</b>	0,53	0,48 – 0,58	0,18	0,14 – 0,21
<b>Charge, %</b>	9,9	5,1 – 12,6	10,1	9,2 – 11,0
<b>Formette de fines</b>				
<b>ERIC, ppm</b>	151	102 - 207	152	131 - 171
<b>ERIC liée, ppm</b>	33		31	
<b>Blancheur, % ISO</b>	57,7	55,6 – 59,8	57,3	56,0 – 58,7
<b>Extractibles DCM, %</b>	2,0	1,4 – 2,9	2,2	1,9 – 2,6

### 7.4.3 Corrections apportées aux débits

Dans le cadre de ces essais « pré-industriels », la colonne de flottation était équipée de nombreux équipements électroniques, tels que transmetteurs de pression, transmetteurs de température et débitmètres magnétiques. Pendant les essais, ces transmetteurs ont été validés par des mesures manuelles ( $\text{pH}$ ,  $T \ ^\circ\text{C}$ ) et des mesures physiques (débitmètre). À cause du contenu en air maintenu dans la zone de collection de la colonne de flottation (20 % v/v), une quantité d'air se trouve entraînée dans les acceptés faussant ainsi les valeurs transmises par le débitmètre magnétique.

Comme nous pouvons le constater à la figure 7.20, nous avons dû procéder à une correction des débits mesurés à l'accepté (plus faible) ce qui a modifié les temps de résidence dans la colonne (plus long) et les rendements du procédé (plus faible).

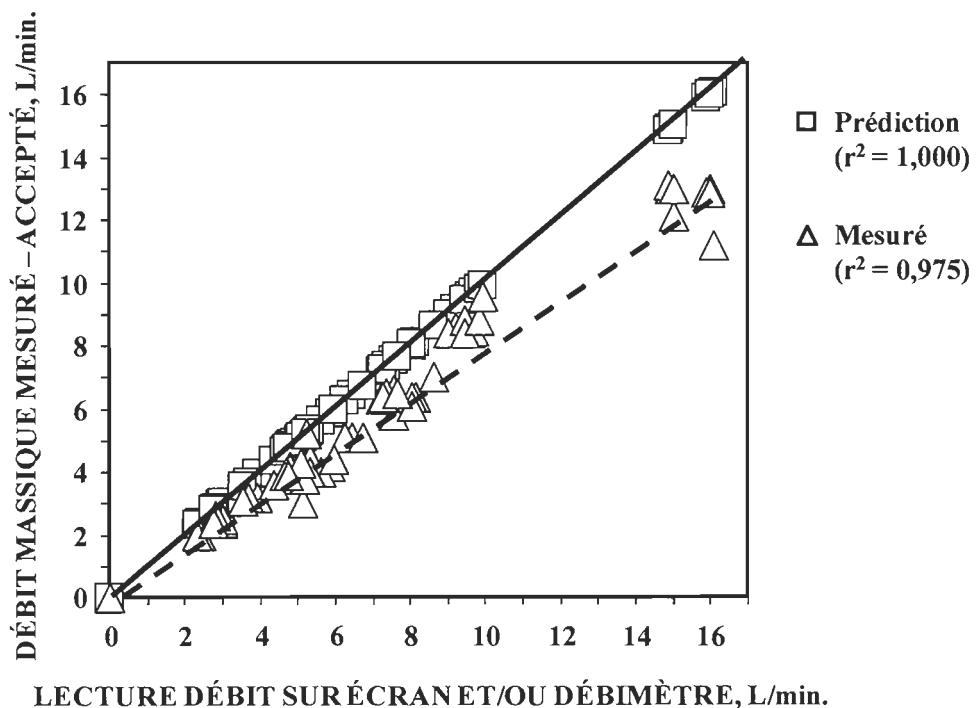


Figure 7.20 Correction apportée aux débits des eaux blanches acceptés

#### 7.4.4 Conditions d'hyper-flottation sur colonne

Disposant d'une grande quantité d'eau blanche, nous avons concentré nos essais sur des temps de flottation (résidence) inférieurs ou égaux à 10 minutes. Nous avons également évalué un temps de flottation extrême tel 45 minutes, afin de simuler une condition d'hyper-flottation sur colonne. Cette condition d'opération est très riche en information car elle identifie les limites maximales d'enlèvement d'encres résiduelles, de gain de blancheur ainsi que d'enlèvement des matières extractibles. Les pertes de rendement n'ont pas été calculées; nous avons considéré que ce qui reste dans l'eau blanche acceptée est solidement fixé sur la fibre ou est hydrophile.

Tel que résumé dans le tableau 7.8, l'hyper-flottation permet d'éliminer 78-79 % des encres résiduelles, d'éliminer 87 - 88 % des matières extractibles et d'obtenir un gain de 6,5 points de blancheur pour les 2 échantillons d'eau blanche. Cependant, tous ces résultats devraient normalement s'accompagner d'une perte de rendement très élevée car plus le temps de flottation est long dans la colonne, plus élevées seront les pertes de rendement de ce procédé.

**Tableau 7.8 Impact de l'hyper-flottation**

Caractéristiques	EBC	Silo MP 6
<b>Gain de blancheur, % ISO</b>	6,45	6,49
<b>Réduction Valeur ERIC, %</b>	79,3	78,4
<b>Réduction des Extractibles DCM, %</b>	86,6	87,8

#### 7.4.5 L'enlèvement des encres résiduelles

Tel que nous l'avions supposé, les échantillons frais d'eau blanche Silo MP 6 et d'eau blanche EBC prélevés et flottés en continu flottent facilement sans l'ajout de produits chimiques moussants (surfactant). Comme l'indiquent les figure 7.21 et figure 7.22, les meilleurs résultats sont obtenus pour des temps de résidence longs. Après 10 minutes de

flottation sur colonne, nous obtenons un enlèvement des encres résiduelles de 46 % pour l'échantillon provenant du Silo MP 6 et 58 % pour l'échantillon d'eau blanche centrale (EBC). Après ce temps de flottation, les gains d'enlèvement des encres résiduelles deviennent marginaux et ne font qu'augmenter les pertes en fibres.

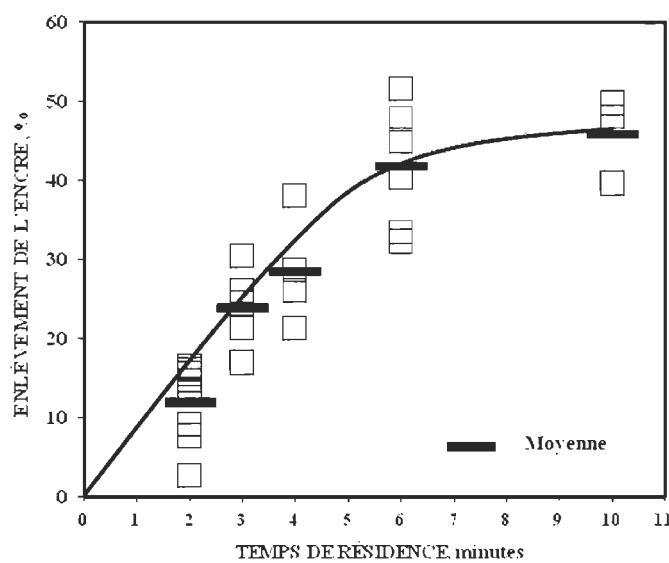


Figure 7.21 Enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6

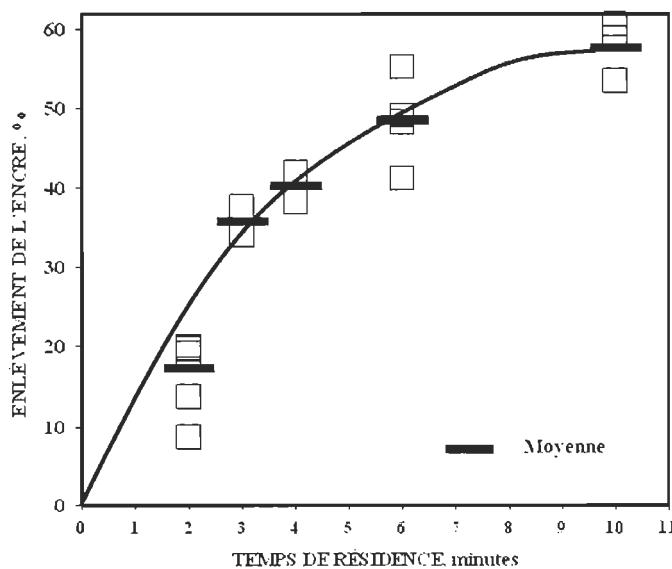
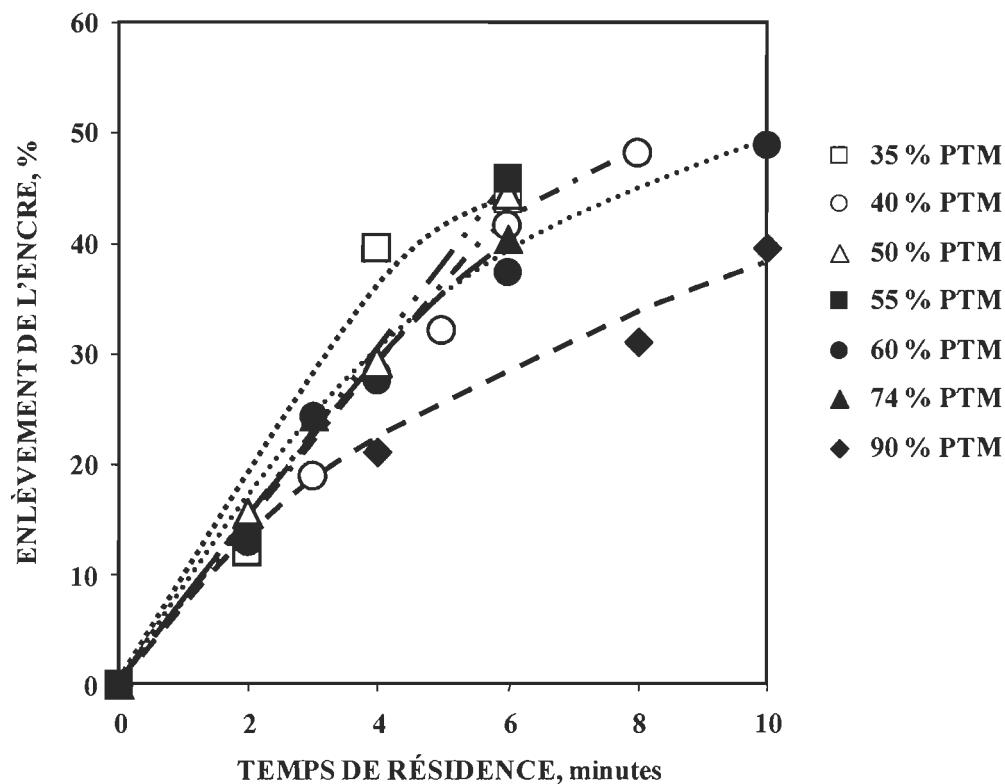


Figure 7.22 Enlèvement des encres pour l'échantillon EBC

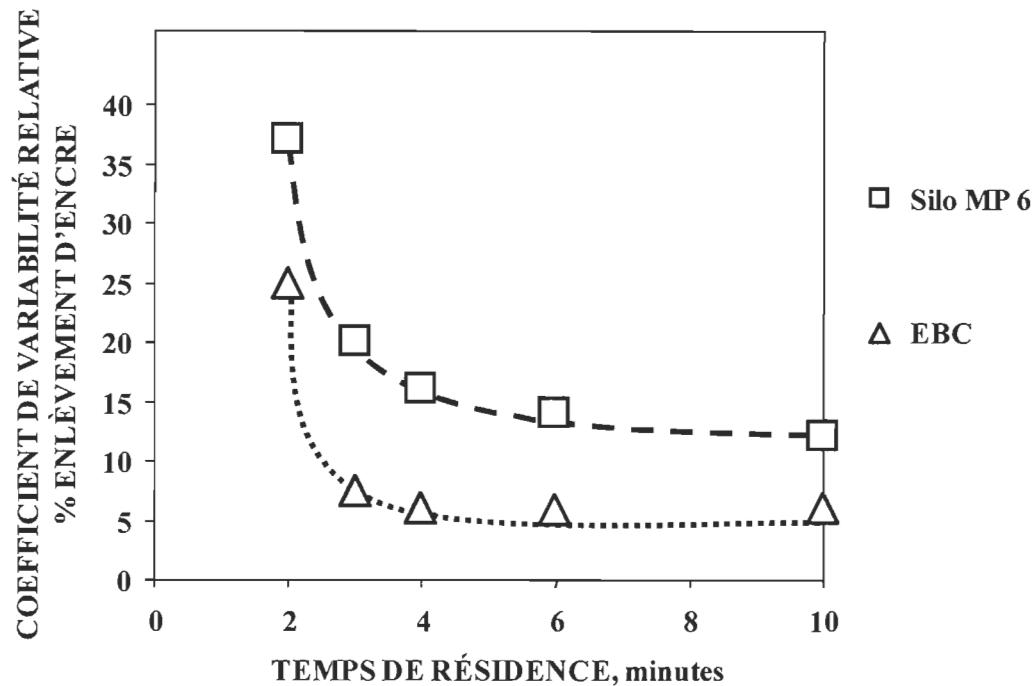
La figure 7.23 nous indique qu'à un très haut pourcentage de pâte PTM (90 %), l'enlèvement des encres résiduelles est légèrement moins efficace pour des temps de flottation élevés ( $> 6$  minutes) pour l'échantillon provenant du Silo MP 6.



**Figure 7.23 Impact du % de pâte PTM sur l'enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6**

L'analyse de la variabilité des résultats (figure 7.24) montre que la variabilité est plus faible pour l'échantillon d'eau blanche centrale (EBC) versus l'échantillon provenant du Silo MP 6.

De plus, pour les deux échantillons, cette variabilité est maximale pour des temps de flottation très court soit 2 minutes et moins. Au-delà de trois minutes de temps de flottation, cette variabilité diminue et se stabilise.



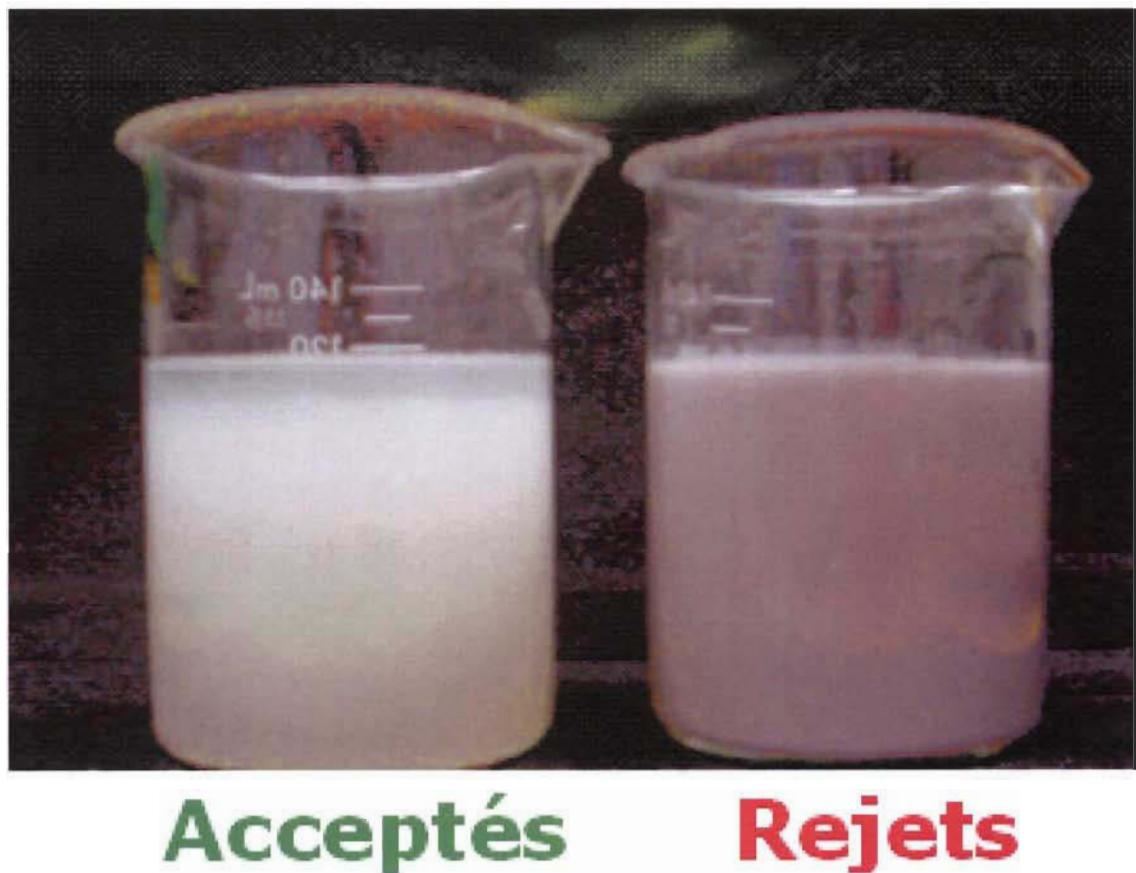
**Figure 7.24 Variabilité relative du % d'enlèvement des encres pour les échantillons Silo MP 6 et EBC**

Nous attribuons ce phénomène à la conception même de la colonne de flottation. À faible temps de flottation (donc débit d'alimentation élevé), une zone de hautes turbulences se crée à l'entrée de la colonne et vient grandement perturber la zone de mousage, ce qui déstabilise le processus d'élévation de la mousse vers les rejets. Nous supposons qu'à un débit élevé, un seul point d'alimentation génère un jet d'alimentation qui vient heurter à haute vitesse la paroi opposée au point d'alimentation, créant de ce fait, une zone de haute turbulence.

Lors de la conception d'une future colonne de flottation industrielle, une attention particulière devra être apportée au dispositif d'alimentation de la colonne de flottation. Des points d'entrées multiples permettraient de diminuer la vitesse de l'alimentation dans la colonne et permettrait d'obtenir de meilleurs résultats avec des temps de flottation inférieurs à 2 minutes.

#### 7.4.6 Gain du niveau de blancheur

La colonne de flottation permet d'obtenir une nette amélioration de la blancheur des échantillons d'eau blanche (Silo MP 6 et EBC) comme le démontre l'impact visuel des acceptés versus les rejets à la figure 7.25.



**Figure 7.25 Impact visuel des acceptés versus les rejets pour l'échantillon - Silo MP 6**

Les meilleurs résultats sont obtenus avec des temps de résidence élevés (10 minutes). Comme l'indiquent les figures 7.26 et 7.27, les gains de blancheur obtenus sont de 1,6 point (Silo MP 6) et de 3,3 points ISO (EBC).

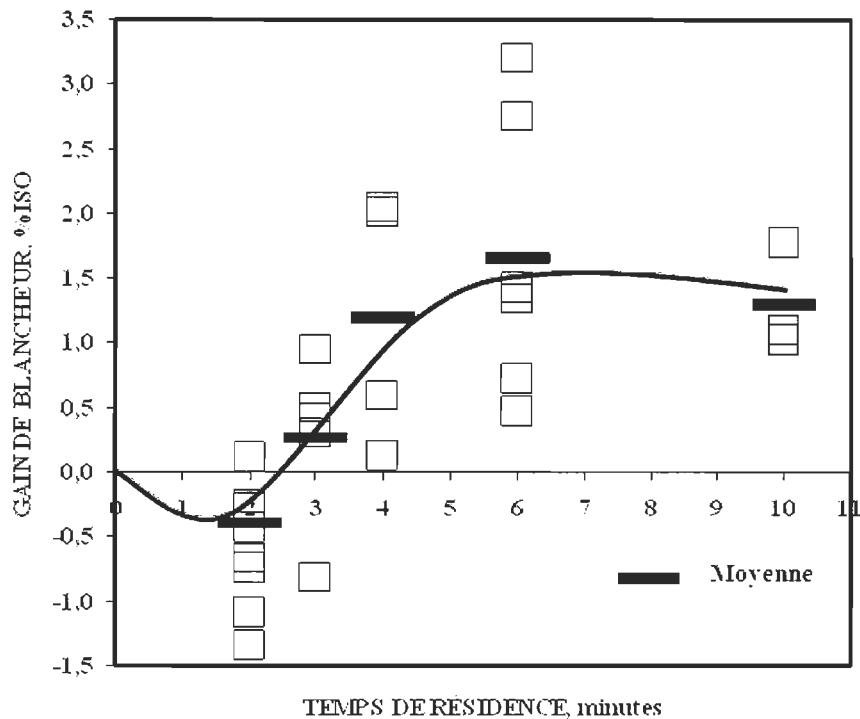


Figure 7.26 Gain de blancheur pour l'échantillon Silo MP 6

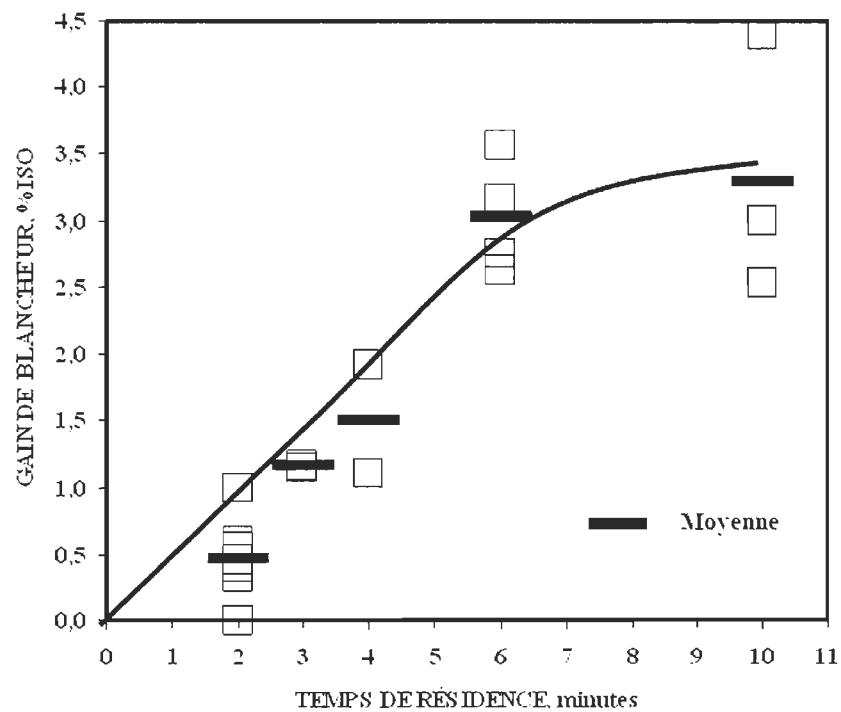
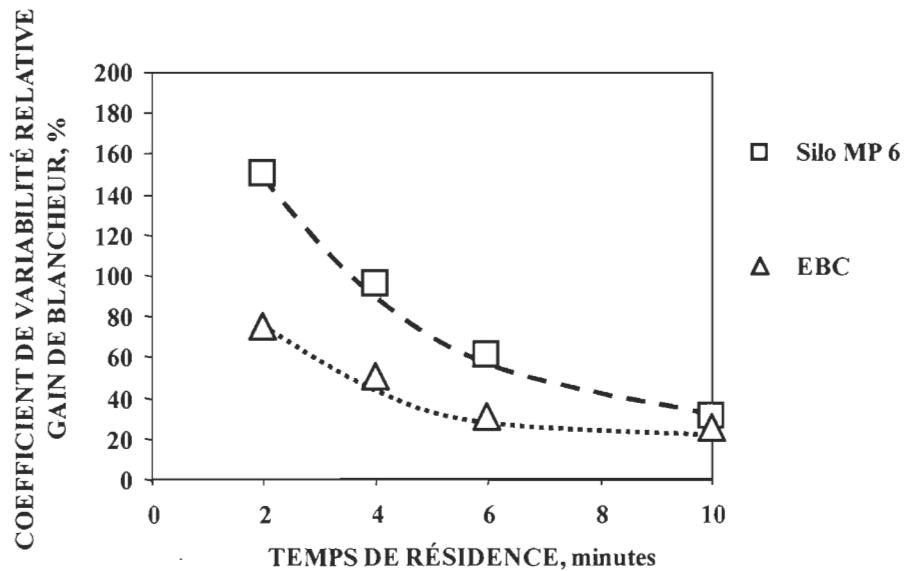


Figure 7.27 Gain de blancheur pour l'échantillon EBC

Nous avons remarqué que la variabilité des résultats est encore plus élevée pour l'échantillon Silo MP 6 que pour l'échantillon EBC. Cette variabilité atteint des maximums pour des temps de flottation courts (< 3 minutes) et tend à se stabiliser avec des temps de flottation longs (figure 7.28).



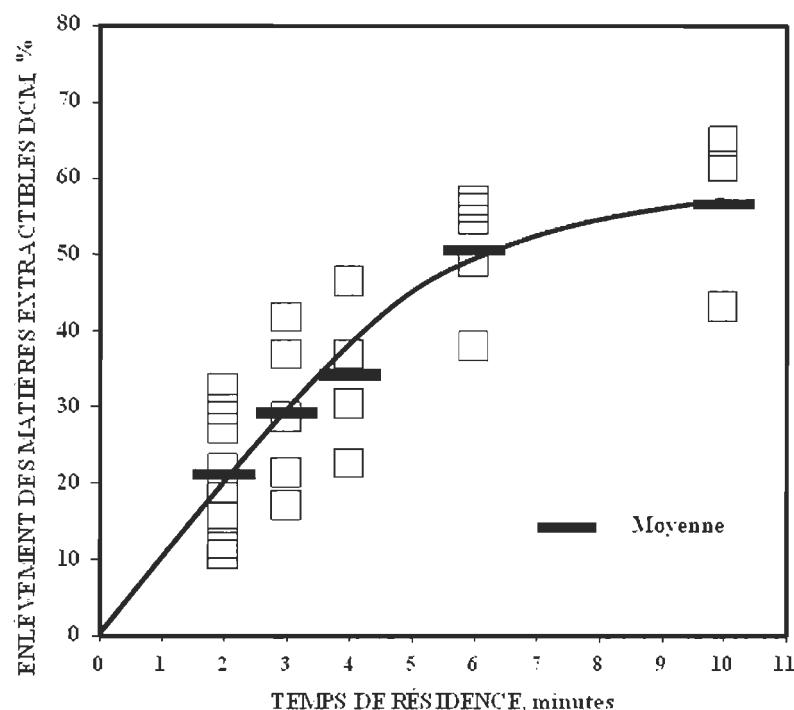
**Figure 7.28 Variabilité relative des gains de blancheur pour les échantillons- Silo MP 6 et EBC**

Cette variabilité est causée par la conception même de la colonne de flottation car de fortes turbulences sont générées à l'interface de la zone de moussage et la zone de mélange pour des temps de flottation courts, entraînant des matières hydrophobes dans les acceptés (section 7.4.5).

#### 7.4.7 Élimination des matières extractibles (DCM)

Nos résultats nous montrent que la performance d'enlèvement des matières extractibles avec la flottation sur colonne est excellente. Ces matières hydrophobes se retrouvent rapidement entraînées par les bulles d'air (poussée d'Archimède) vers les rejets. Ainsi, après un temps de flottation de 10 minutes, nous atteignons un taux d'enlèvement des

matières extractibles jusqu'à 65 % pour l'échantillon provenant du Silo MP 6 (figure 7.29) et jusqu'à 72 % pour l'échantillon d'eau blanche centrale (EBC) (figure 7.30).



**Figure 7.29 Impact de la flottation sur colonne sur l'enlèvement des matières extractibles de l'échantillon - Silo MP 6**

Nous pouvons remarquer à nouveau que le niveau de variabilité de la teneur en matières extractibles (DCM) est très élevé pour des temps de flottation courts (figure 7.31). Cette variabilité diminue avec un temps de flottation supérieur à 10 minutes.

Cette variabilité est toujours due à la conception même de la colonne de flottation car de fortes turbulences sont générées à l'interface de la zone de moussage et de la zone de mélange (section 7.4.5).

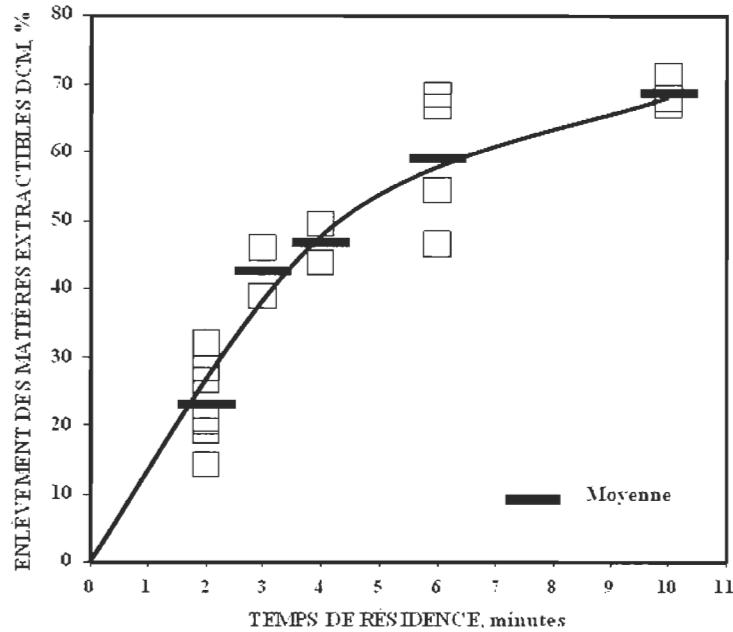


Figure 7.30 Impact de la flottation sur colonne sur l'enlèvement des matières extractibles de l'échantillon - EBC

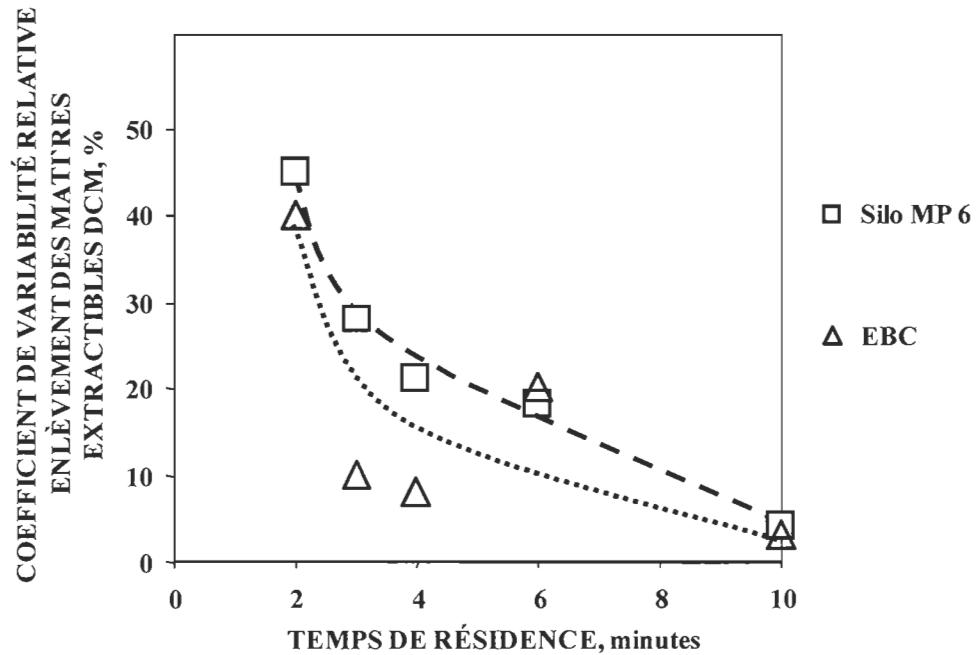
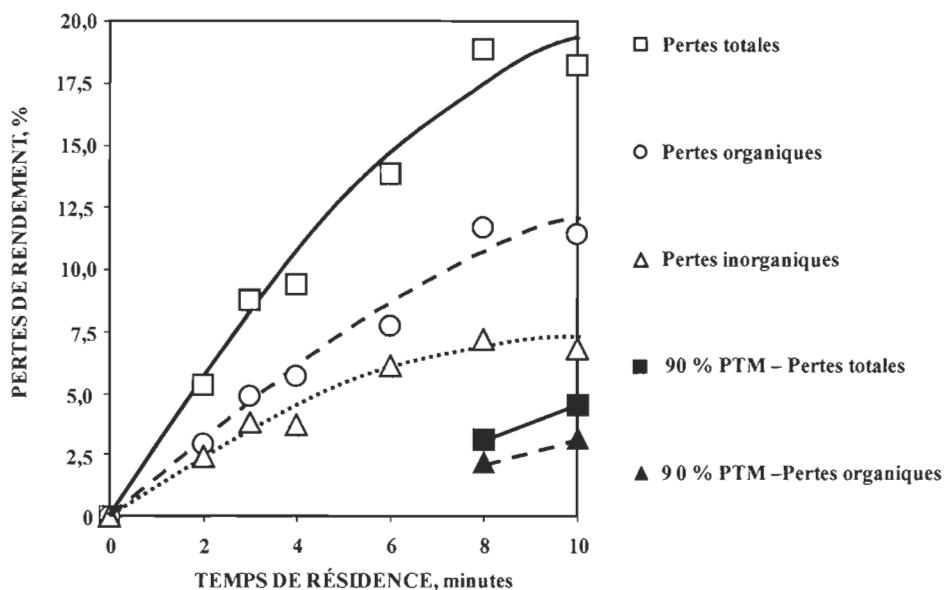


Figure 7.31 Variabilité relative du % d'enlèvement des matières extractibles de l'échantillon - Silo MP 6

#### 7.4.8 Impact sur le rendement

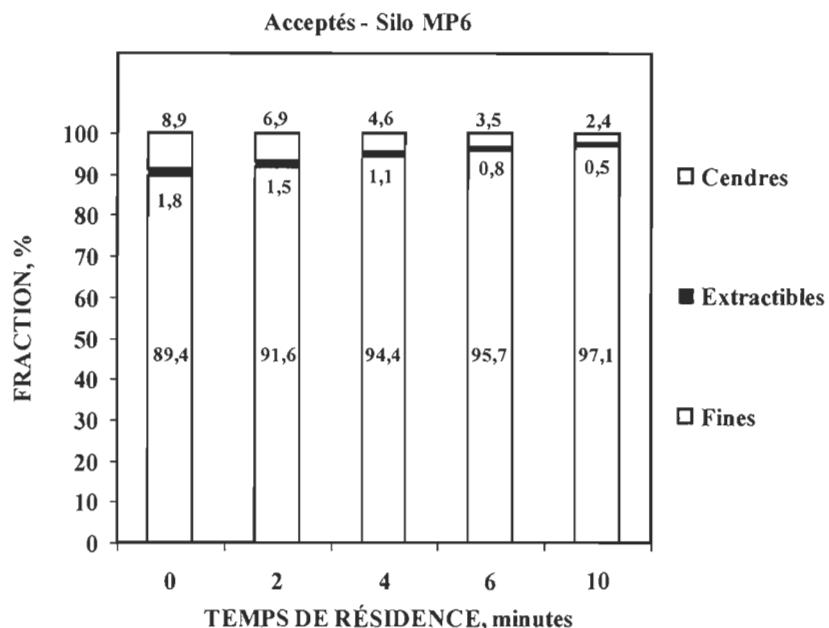
L'impact de la flottation sur colonne est élevé sur le rendement du procédé. Les résultats présentés dans la figure 7.32 nous indiquent qu'après un temps de flottation de 10 minutes, nous pouvons anticiper obtenir une perte de rendement totale pouvant atteindre près de 20 %. Cependant, avec une fourniture de pâte à 90 % PTM, la perte de rendement est réduite à moins de 5 %. Cela explique en partie la faible réduction des encres résiduelles lors de nos essais comparativement à d'autres ratios de pâte PTM (figure 7.23).



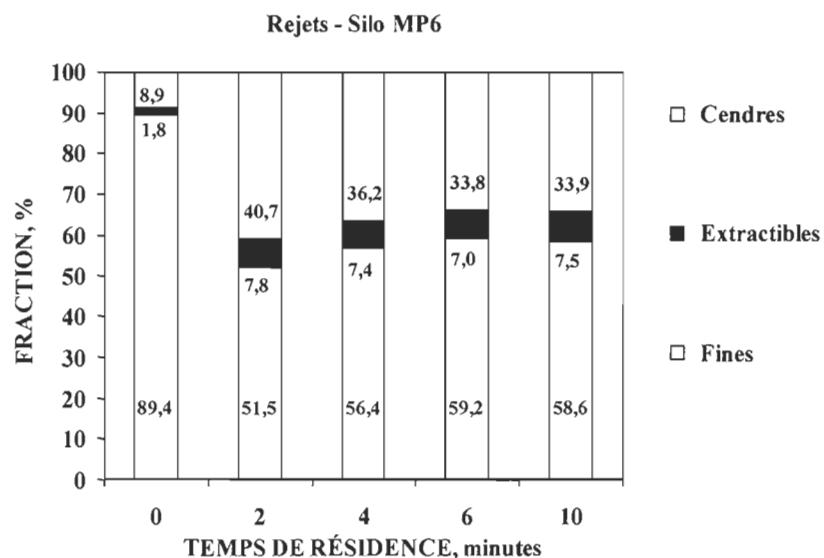
**Figure 7.32 Pertes de rendement - Silo MP 6**

En analysant nos résultats sur la composition des différentes fractions formant l'échantillon des acceptés (figure 7.33) et l'échantillon des rejets (figure 7.34), nous pouvons constater qu'une augmentation des fines et une réduction substantielle des cendres et des matières extractibles pour l'échantillon des acceptés provenant du Silo MP 6 se produisent avec un temps de flottation élevé. Ces résultats concordent avec une augmentation marquée des cendres et des matières extractibles dans l'échantillon des

rejets provenant du Silo MP 6. Plus le temps de flottation est long, plus les pertes de rendement augmentent, ce qui explique l'augmentation de la proportion de fines dans l'échantillon des rejets provenant du Silo MP 6.

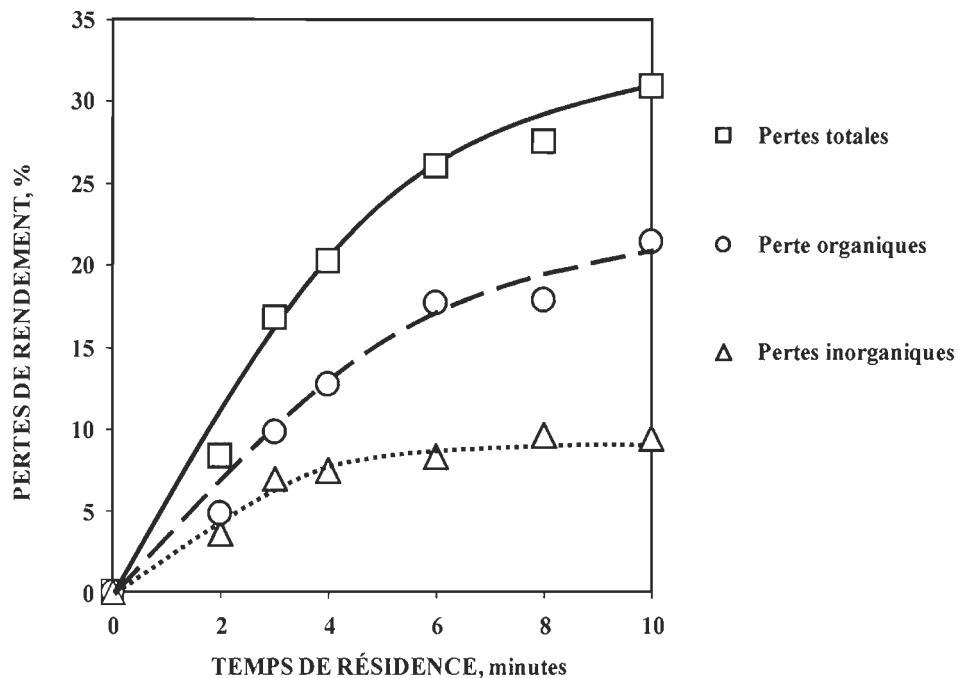


**Figure 7.33 Composition des acceptés provenant de la flottation du Silo MP 6**



**Figure 7.34 Composition de rejets provenant de la flottation du Silo MP 6**

La figure 7.35 montre que les pertes de rendement sont plus élevées pour l'échantillon d'eau blanche centrale (EBC) par rapport à l'échantillon provenant du Silo MP 6. Ces pertes atteignent 30 % après un temps de flottation de 10 minutes.



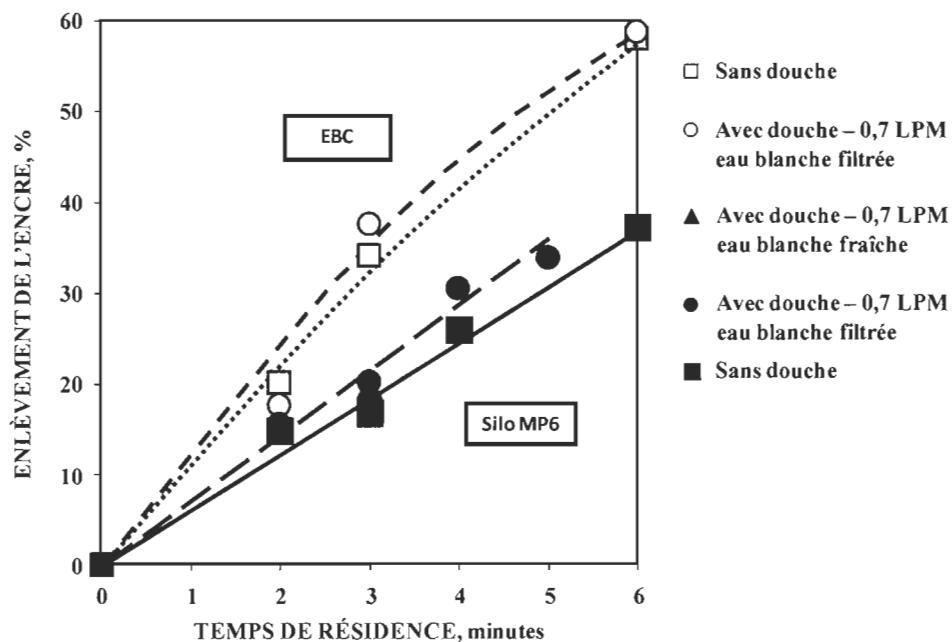
**Figure 7.35 Pertes de rendement pour l'échantillon EBC**

Comme nos résultats l'indiquent, les deux échantillons d'eau blanche flottent aisément sur colonne. Pour une implantation industrielle, nous suggérons de minimiser le temps de flottation afin de réduire les pertes de rendement. En limitant le temps de flottation à 2 minutes, cela permet de maintenir les pertes de rendement inférieures à 10 % pour les deux types d'eau blanche.

#### 7.4.9 Impact de la douche de lavage

L'impact de la douche de lavage est difficile à évaluer. Son utilisation ne nuit en rien aux performances de la colonne de flottation. Il ne faut cependant pas oublier qu'elle introduit une quantité d'eau de procédé (préférablement à de l'eau fraîche, qui surchargerait

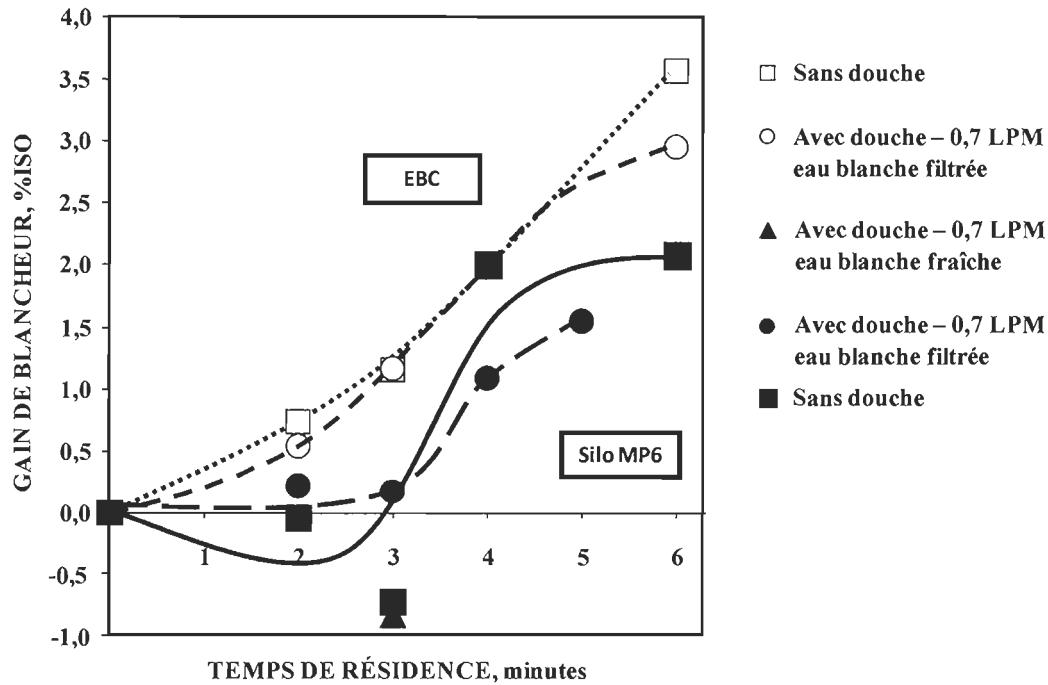
les circuits d'eau blanche et entraînerait des débordements d'eau blanche à l'égout) qui réduit le temps de séjour des eaux blanches dans la colonne de flottation. Pour l'enlèvement des encres résiduelles, nous observons une très légère amélioration de performance pour les échantillons d'eau blanche (Silo MP 6 et EBC) (figure 7.36).



**Figure 7.36 Impact de la douche de lavage sur l'enlèvement des encres**

L'eau de lavage n'apporte aucune amélioration dans le gain de blancheur (figure 7.37). Cette absence de gain est due à la faible proportion de fibre contenue dans l'eau blanche ainsi que d'une mousse stabilisée déjà bien humide (lubrifiée) montant dans la zone de moussage par la poussée d'Archimète.

Lors de la conception d'une colonne de flottation industrielle, l'installation d'une douche de lavage peut devenir un atout dans l'optimisation du procédé. L'addition d'eau de lavage doit se faire à faible débit et ne doit pas venir perturber la zone de moussage en coalesçant les bulles qui montent vers les rejets. Nos résultats semblent indiquer que cette douche de lavage n'est cependant pas essentielle aux excellentes performances de la colonne de flottation.

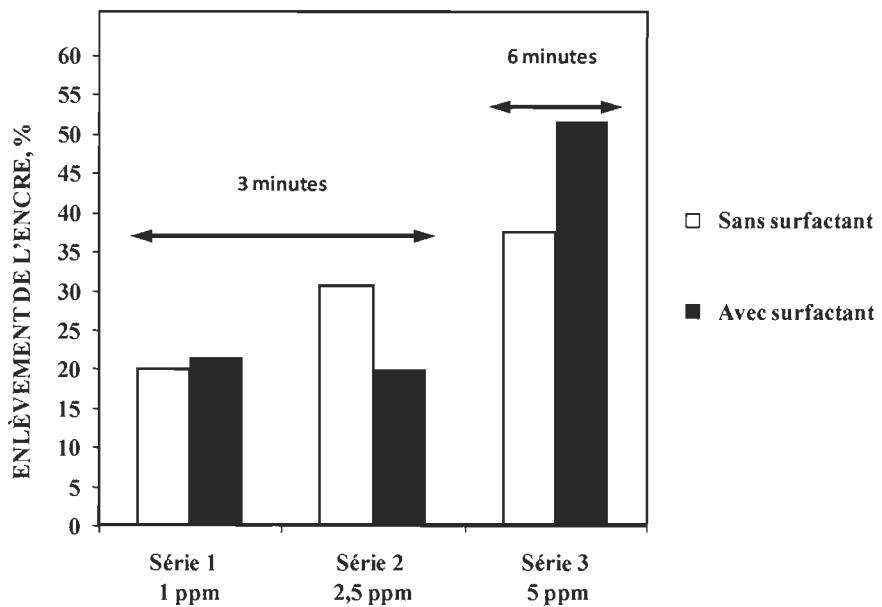


**Figure 7.37 Impact de la douche de lavage sur le gain de blancheur**

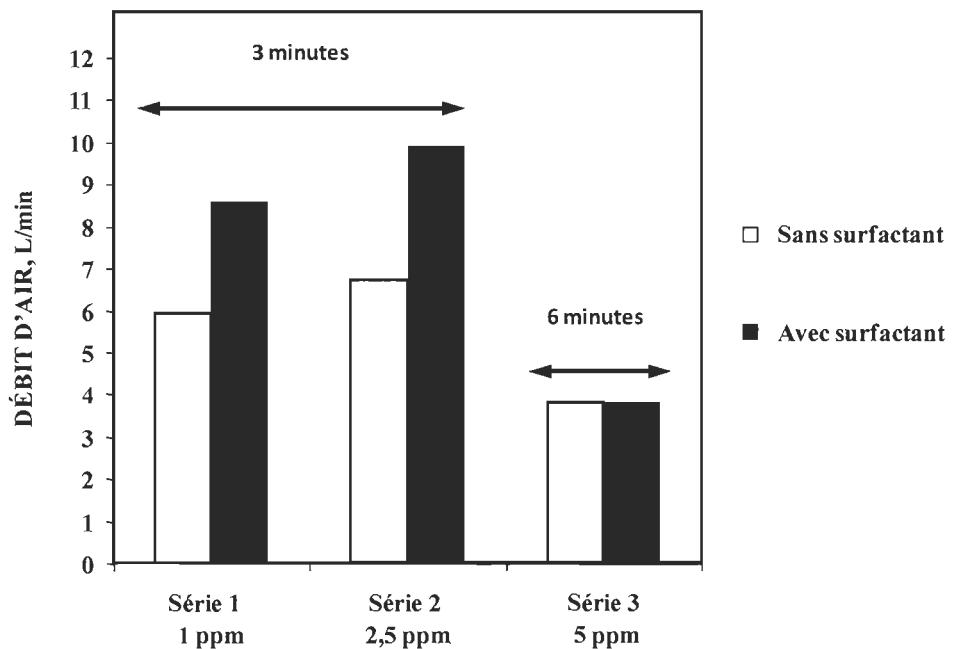
#### 7.4.10 Impact de l'ajout de surfactant

L'impact de l'ajout d'un surfactant commercial (section 6.9) à l'alimentation de la colonne de flottation est aussi difficile à trancher. L'ajout du surfactant à l'échantillon Silo MP 6 améliore l'enlèvement des encres résiduelles pour des temps de flottation longs ( $> 6$  minutes) et avec un dosage très élevé (5 ppm) (figure 7.38).

Pour des temps de flottation courts (3 minutes), l'addition de surfactant à faibles dosages (1 à 2,5 ppm correspondant à 0,02 %/ pâte sèche à 0,05 % / pâte sèche respectivement) affecte négativement le contenu en air, ce qui nécessite une augmentation jusqu'à 50 % du débit d'air pour compenser cette baisse et maintenir le contenu en air à 20 % v/v (figure 7.39).

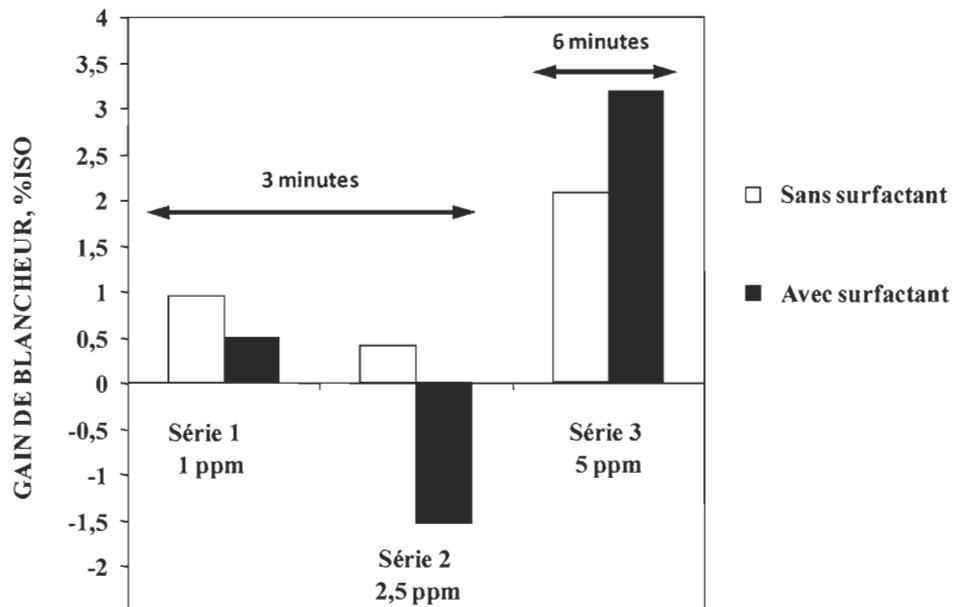


**Figure 7.38 Impact de l'ajout de surfactant sur l'enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6**



**Figure 7.39 Impact de l'ajout de surfactant sur le débit d'air pour l'échantillon Silo MP 6**

L'ajout de surfactant n'améliore le gain de blancheur qu'à haut dosage (5 ppm = 0,10 % / pâte sèche) et ce, pour des temps de flottation longs (figure 7.40). Cependant, un tel dosage en continu de surfactant entraînerait une hausse des coûts de façon prohibitive sans oublier les risques de moussage excessif dans le circuit d'eau blanche primaire suivant une accumulation d'agents tensio-actifs avec le temps.



**Figure 7.40 Impact de l'ajout de surfactant sur le gain de blancheur pour l'échantillon Silo MP 6**

Il est possible d'améliorer les performances de la colonne de flottation à moindre coût en modifier les conditions d'opération de la colonne :

1. Réduire la taille des bulles en augmentant la recirculation;
2. Augmenter le temps de résidence;
3. Augmenter le taux de rejets.

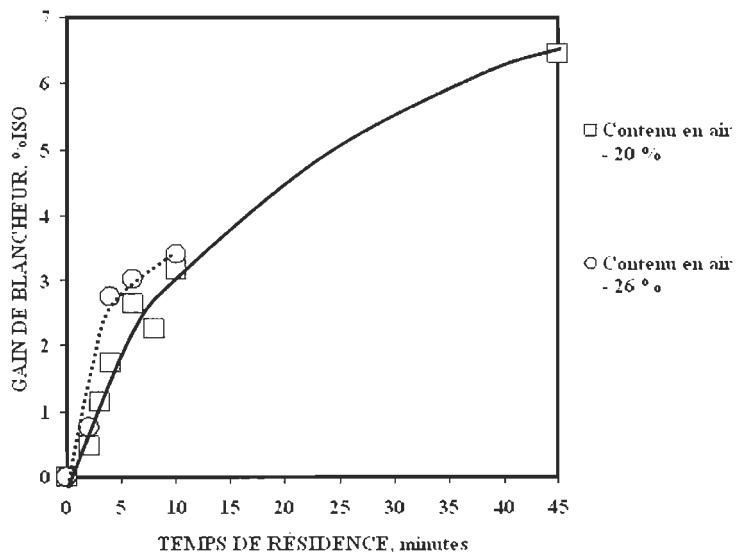
Autrement, nous notons une légère baisse pour des temps de flottation courts (3 minutes versus 6 minutes) et à de faibles dosages.

Les deux échantillons flottent facilement sans l'ajout de surfactant. Il faut se rappeler que la pâte désencrée entrant dans la fabrication du papier journal contient déjà en elle-même (par entraînement) une quantité (non évaluée pendant les essais) de savon provenant de son procédé de mise-en-pâte.

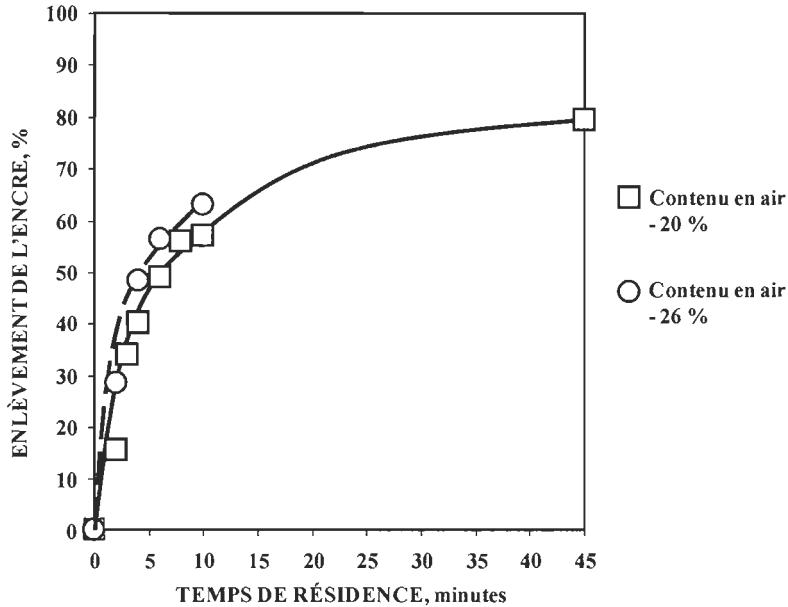
#### 7.4.11 Impact du contenu en air dans la zone de mélange

Dans la dernière partie du projet, nous avons fait quelques essais de flottation avec des contenus en air inférieurs et supérieurs à 20 % v/v sur l'échantillon d'eau blanche provenant du Silo MP 6 ainsi que sur l'échantillon d'eau blanche centrale (EBC) pour différents temps de flottation.

Les résultats présentés dans les figures 7.41 et 7.42 montrent que les meilleurs gains de blancheur et d'enlèvement des encres résiduelles ont été obtenus avec un contenu en air de 26 % v/v.

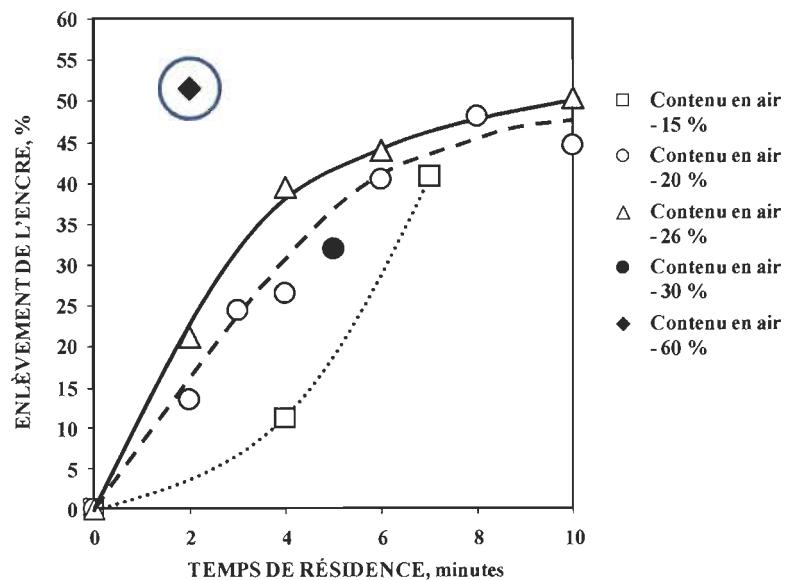


**Figure 7.41 Impact du contenu en air (%) sur le gain de blancheur pour l'échantillon EBC**



**Figure 7.42 Impact du contenu en air (%) sur le % d'enlèvement des encres pour l'échantillon EBC**

Malgré la forte instabilité du système, un contenu en air de 60 % et un temps de flottaison de 2 minutes a donné des résultats très surprenants que nous n'avons malheureusement pas pu reproduire (figure 7.43).



**Figure 7.43 Impact du contenu en air (%) sur le % d'enlèvement des encres pour l'échantillon Silo MP 6**

Lors de l'implantation industrielle de la colonne de flottation, il sera intéressant de prévoir un contenu en air pouvant aller jusqu'à 26 % v/v afin d'optimiser adéquatement les différents paramètres d'opération. Il faut cependant se rappeler qu'un contenu en air plus élevé dans la colonne réduit le volume liquide disponible pour effectuer la flottation, d'où un temps de flottation plus court pour un même débit d'alimentation.

## 7.5 Essais de recombinaison

Comme les fines jouent un rôle majeur dans le développement des propriétés du papier, toutes modifications de leur nature entraînent des changements importants des propriétés des pâtes et du papier tel que démontré par Rundolf lors de ses études sur l'interaction des substances colloïdales sur les fines [68, 69]. Kokko et ses collaborateurs ont également montré l'effet de l'eau blanche sur les propriétés papetières [186]. Cette section vise à identifier les effets de la flottation sur colonne sur les propriétés optiques, physiques et mécaniques du papier.

### 7.5.1 Méthodologie utilisée

Pour effectuer ces essais de recombinaison, nous avons prélevé une grande quantité d'eau blanche Silo MP 6 avant flottation (temps = 0 minute) et après un temps de flottation de 2, 4, 6 et finalement 10 minutes, temps correspondant aux meilleures performances de la flottation sur colonne présentées dans la section 7.4. De plus, nous avons prélevé de la pâte PTM et de la pâte désencrée (DES) fraîches sur leur filtre à disque respectif afin d'obtenir une pâte à consistance moyenne (~ 10 % de pâte sèche). Cela permet aussi de réduire l'apport d'eau blanche des machines vers les usines de pâte.

Dans les laboratoires de FPInnovations, en recombinant des proportions variables d'eau blanche flottée entre 0 et 10 minutes avec un mélange 50 % PTM / 50 % DES, nous

avons préparé des formettes de 1,2 g avec recirculation et calandré ces feuilles à une rugosité PPS de 4,0 µm [182]. Les propriétés optiques, mécaniques et physiques ainsi que les coefficients de friction de ces feuilles ont été mesurés. Le tableau 7.9 résume le contenu en fines de nos formettes calandrées versus une feuille de papier journal industriellement produite sur la machine à papier no. 6.

**Tableau 7.9 Contenu en fines des formettes calandrées**

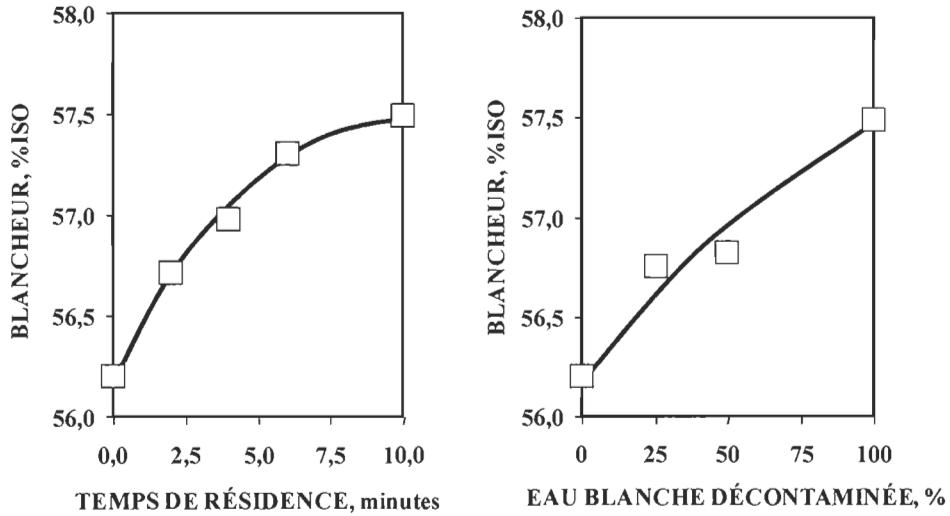
<b>Contenu en fines</b>		<b>Contenu de chaque pâte en fines</b>	
<b>Pâte</b>		<b>Quantité (g) - Mélange 50 / 50</b>	
<b>Désencrée</b>	30,00 %	5,22	12,03 %
<b>PTM</b>	27,00 %	4,70	10,83 %
<b>Eau blanche</b>	95,00 %	33,45	77,14 %
<b>Total fines :</b>		<b>43,37</b>	100,00 %
<b>Total fines + fibres :</b>		70,00	
<b>% fines :</b>		61,95 %	
<b>Bowater – Caisse d'arrivée MP 6 :</b>		59,2 %	Conforme
<b>Bauer McNett (FPIInnovations) :</b>		42,8 %	Formette versus
<b>Bauer McNett (Abitibi Bowater) :</b>		29,8 %	Papier – Conforme

Il est important de conserver un contenu similaire en fines dans les formettes afin de pouvoir comparer les résultats obtenus entre eux ainsi que par rapport au papier produit. Nous voulons anticiper et transposer ces changements de propriétés mécaniques, physiques et optiques sur la production du papier produit sur la machine à papier.

### 7.5.2 Propriétés optiques

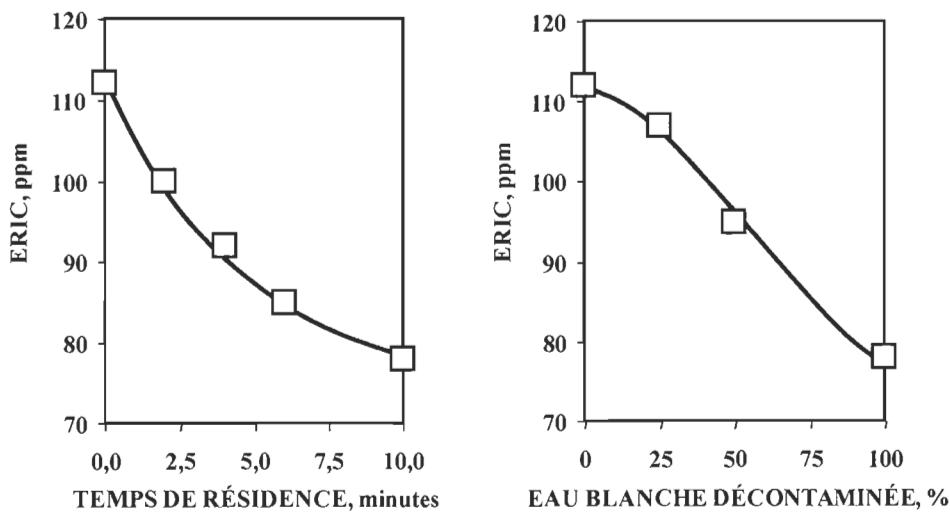
La figure 7.44 nous montre que le niveau de blancheur des formettes calandrées augmente avec l'augmentation du temps de flottation de l'eau blanche provenant du Silo MP 6. Le meilleur gain de blancheur (+ 1,3 point) est obtenu avec une eau blanche flottée sur colonne pendant 10 minutes. En variant le pourcentage d'eau blanche provenant du Silo

MP 6 décontaminée (10 minutes de flottation), nous observons la même augmentation de la blancheur des formlettes.

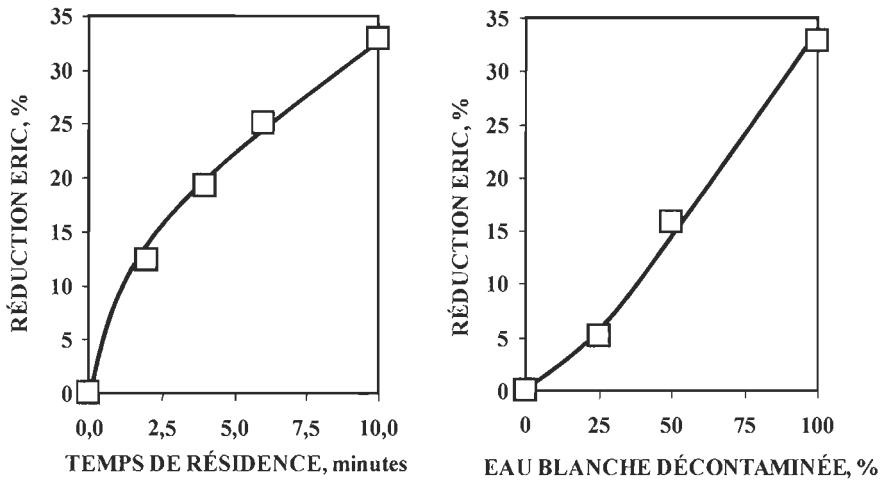


**Figure 7.44 Variation de la blancheur des formlettes calandréées**

Les figures 7.45 et 7.46 montrent l'impact sur les encres résiduelles (ERIC) et le pourcentage d'enlèvement.

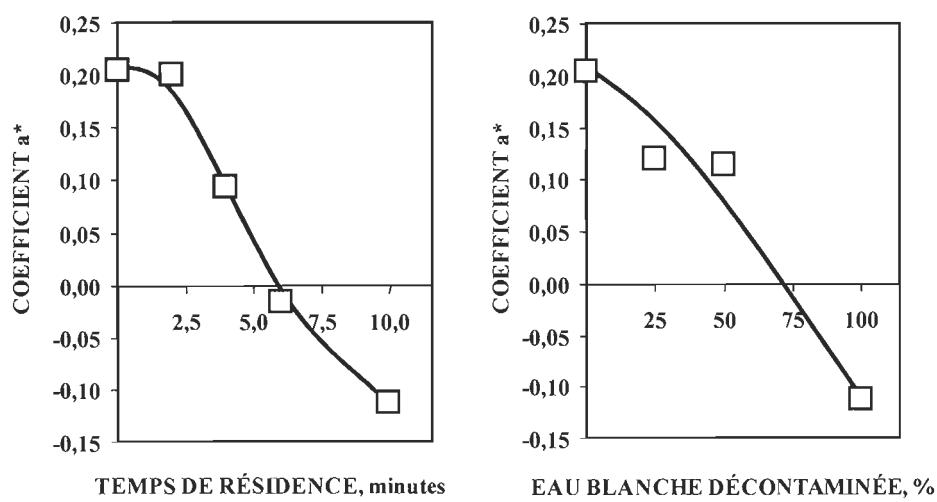


**Figure 7.45 Variation de la valeur ERIC des formlettes calandréées**

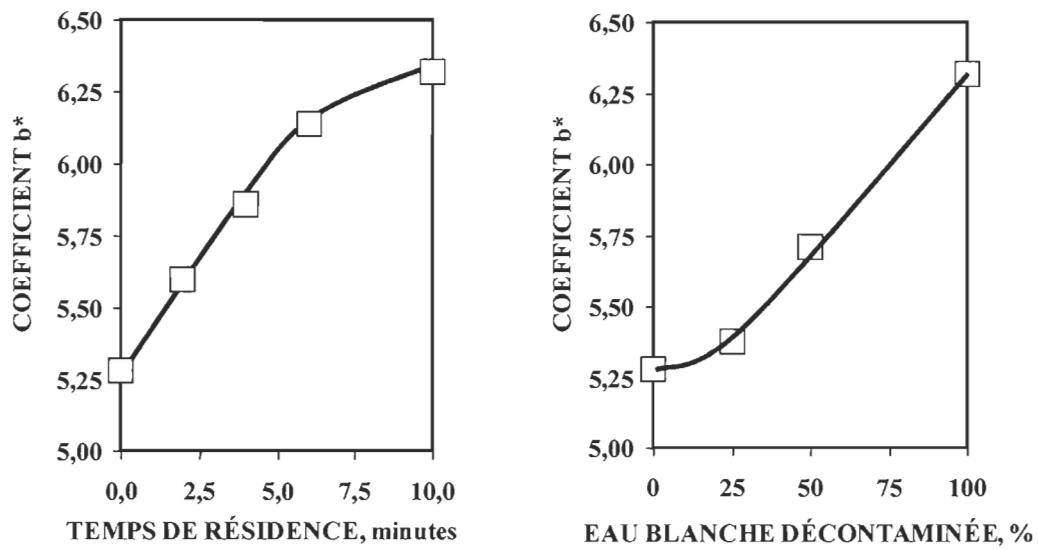


**Figure 7.46 Variation de la réduction de la valeur ERIC des formlettes calandrées**

Comme dans les résultats précédents, après 10 minutes de flottation sur colonne de l'eau blanche provenant du Silo MP 6, les formlettes calandrées obtiennent la valeur ERIC la plus faible (80 ppm), ce qui correspond au pourcentage d'enlèvement des encres résiduelles le plus élevé, soit 33 %. Nous pouvons constater que, dans les figures 7.47 et 7.48, nous obtenons une réduction du  $a^*$  (plus vert) et une augmentation du  $b^*$  (plus jaune) avec l'incorporation d'eau blanche provenant du Silo MP 6 décontaminée (10 minutes).

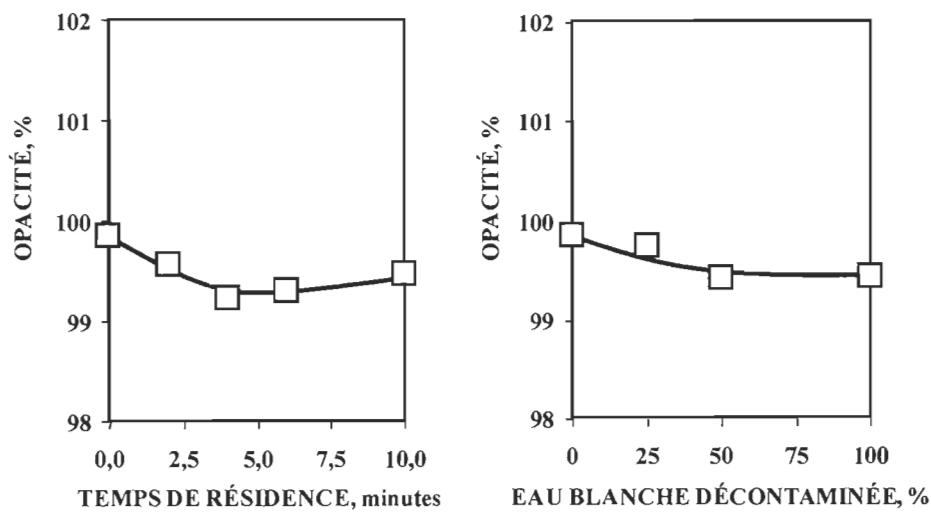


**Figure 7.47 Variation de la coloration (coefficients  $a^*$  et  $b^*$ ) des formlettes calandrées**



**Figure 7.48 Variation de la coloration (coefficient  $b^*$ ) des formettes calandrées**

Cela s'explique par l'affinité des fines (plus grande surface spécifique) pour le colorant (méthyle violet) ajouté aux machines à papier afin de répondre à la couleur de papier requise par les clients. Pour compléter l'analyse des propriétés optiques, la figure 7.49 montre que les formettes calandrées ont toutes une opacité similaire (99,3 à 99,9 % ISO).

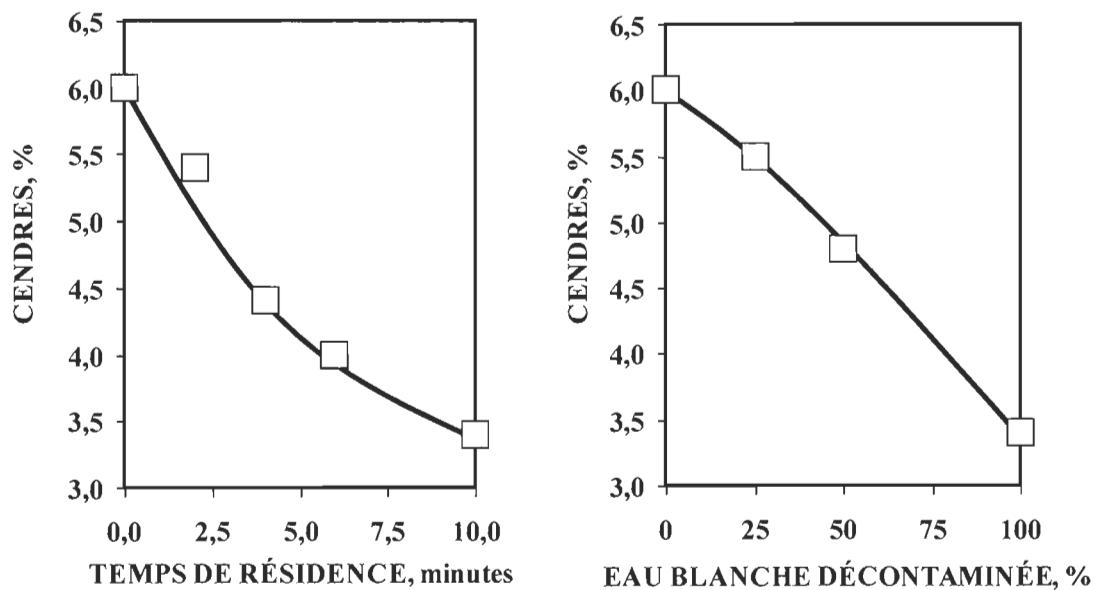


**Figure 7.49 Variation de l'opacité des formettes calandrées**

Cela signifie que leur préparation a été faite avec rigueur et uniformité et que les contaminants enlevés par la flottation sur colonne de l'eau blanche provenant du Silo MP 6 n'ont pas eu d'impact sur l'opacité.

### 7.5.3 Propriétés physiques et mécaniques

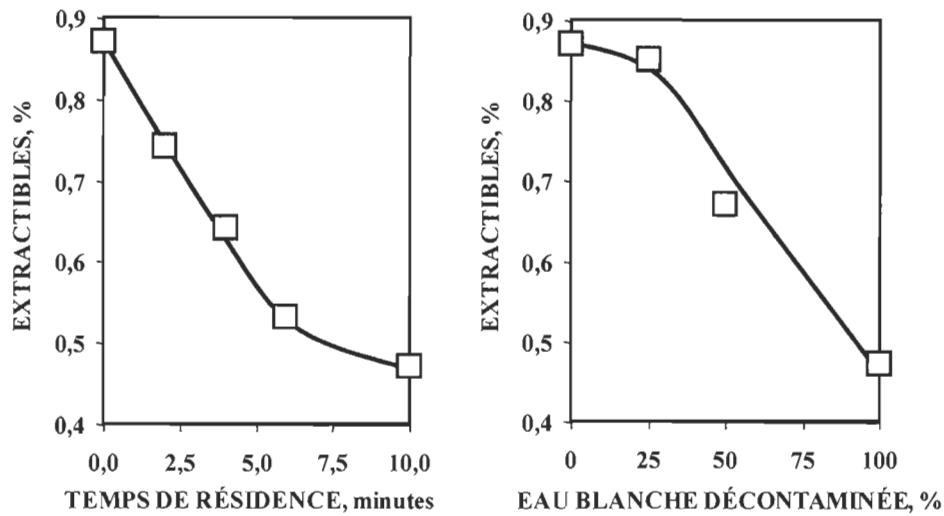
La figure 7.50 nous montre que le contenu en cendres (%) dans les formlettes calandréées diminue avec l'augmentation du temps de flottation de l'eau blanche provenant du Silo MP 6 ainsi qu'avec l'augmentation du pourcentage d'eau blanche provenant du Silo MP 6 décontaminée (10 minutes) dans le mélange de pâte PTM/DES (50/50).



**Figure 7.50 Variation du contenu en cendres des formlettes calandréées**

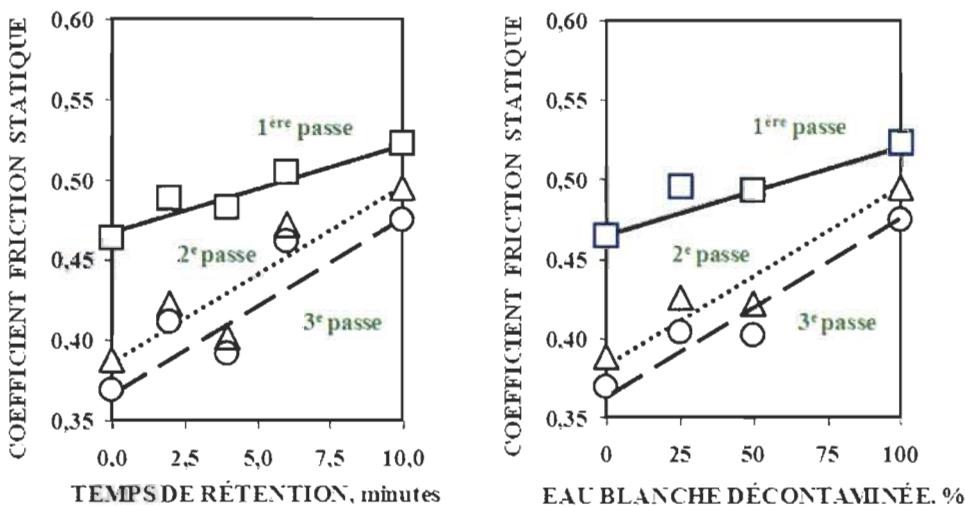
La figure 7.51 démontre que la flottation sur colonne a réellement un impact sur l'enlèvement des matières extractibles contenues dans les formlettes calandréées. Une réduction de 45 % a été mesurée sur les formlettes avec l'incorporation à 100 % d'une eau blanche provenant du Silo MP 6 décontaminée (10 minutes). Cette réduction majeure des matières extractibles entraîne une augmentation des coefficients de friction statique

et dynamique, paramètres très importants entrant dans le bobinage des rouleaux de papier (section 6.10.6).



**Figure 7.51 Variation des matières extractibles DCM des formettes calandrées**

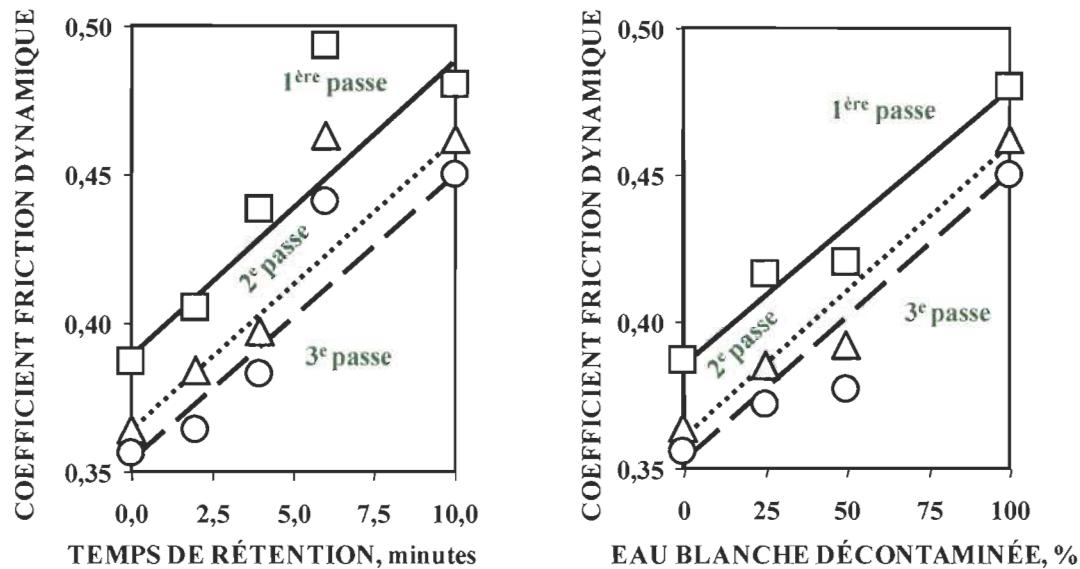
Tel que l'indiquent les figures 7.52 et 7.53, une augmentation maximale de 27 % du coefficient de friction a été mesurée pour les formettes constituées à 100 % d'eau blanche provenant du Silo MP 6 décontaminée (10 minutes).



**Figure 7.52 Variation du coefficient de friction statique après chaque passe de calandrage des formettes calandrées**

Une hausse de la friction statique et dynamique (1<sup>ère</sup> passe, 2<sup>e</sup> passe et/ou 3<sup>e</sup> passe) signifie qu'il y aura moins de glissement du papier lors du bobinage car la friction entre chaque feuille de papier est plus élevée.

Ce glissement se mesure par des tests de « ligne J » effectués en usine (section 6.10.6). De plus, cette réduction majeure des matières extractibles contribue à une amélioration des propriétés mécaniques des formettes car il y aura une meilleure cohésion fibre-fibre.



**Figure 7.53 Variation du coefficient de friction dynamique après chaque passe de calandrage des formettes calandrées**

Les figures 7.54, 7.55, 7.56, 7.57 et 7.58 confirment des augmentations maximales de propriétés physiques et mécaniques (indice d'éirement, indice de déchirure, longueur de rupture, % d'elongation et perméabilité à l'air PPS) de 8 % à 32 % pour les formettes constituées à 100 % d'eau blanche provenant du Silo MP 6 décontaminée (10 minutes).

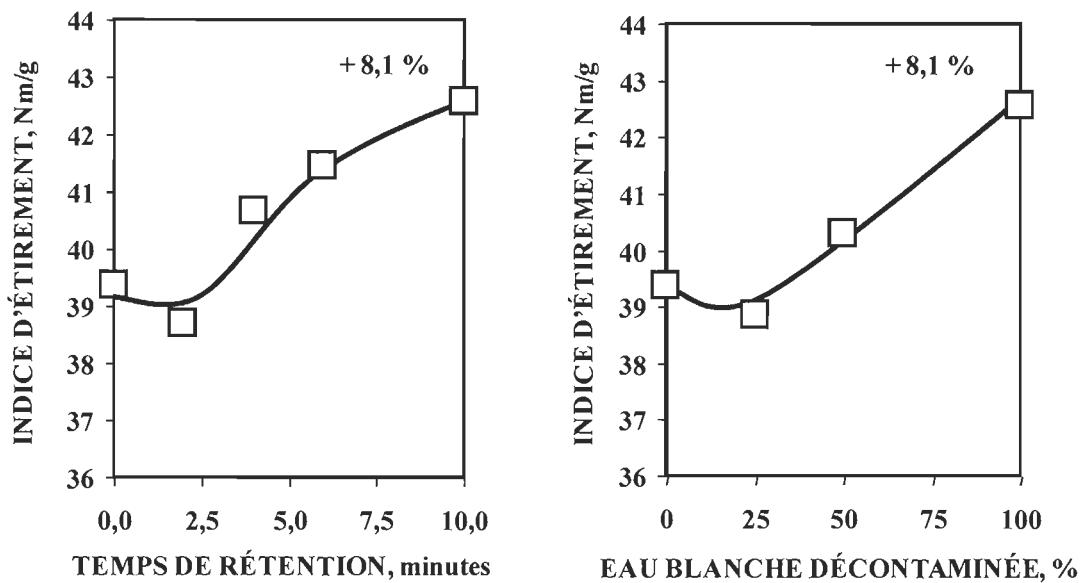


Figure 7.54 Variation de l'indice d'étirement des formettes calandrées

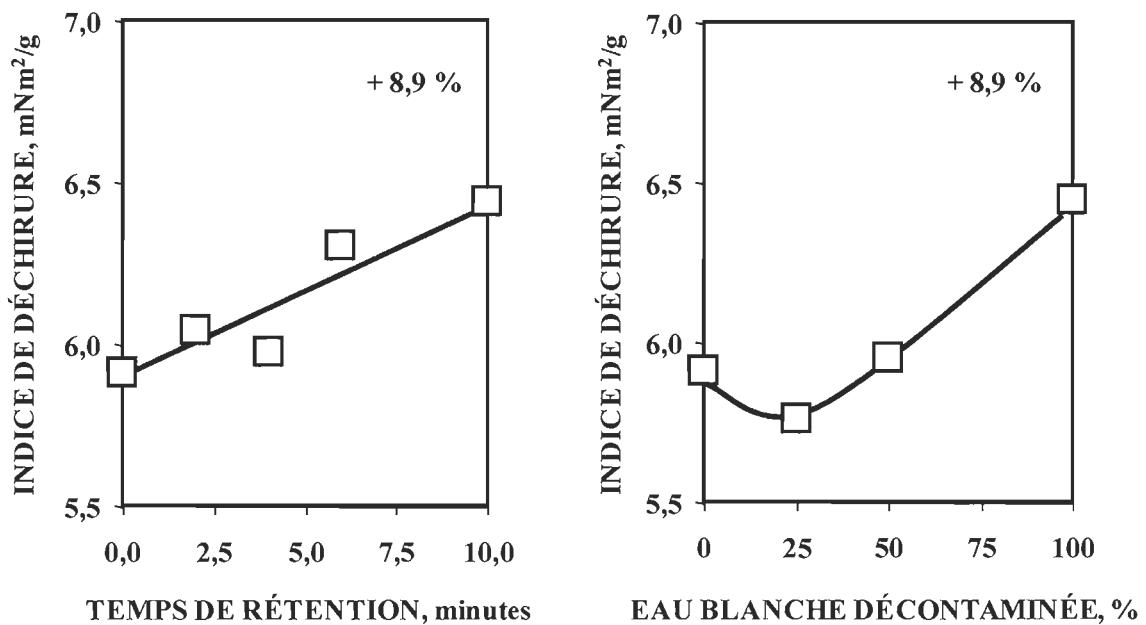


Figure 7.55 Variation de l'indice de déchirure des formettes calandrées

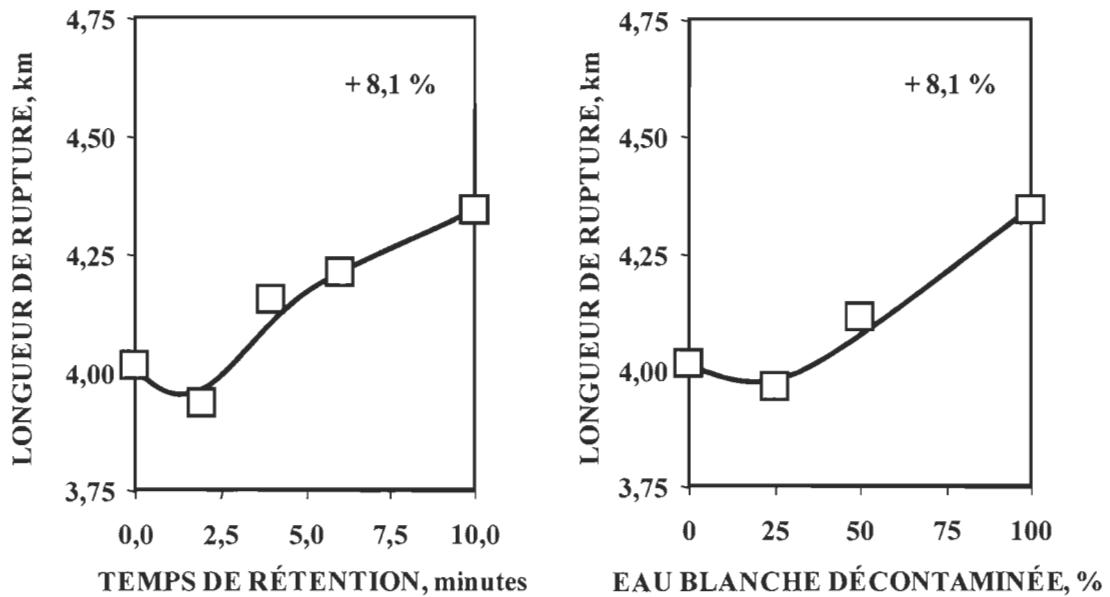


Figure 7.56 Variation de la longueur de rupture des formettes calandrées

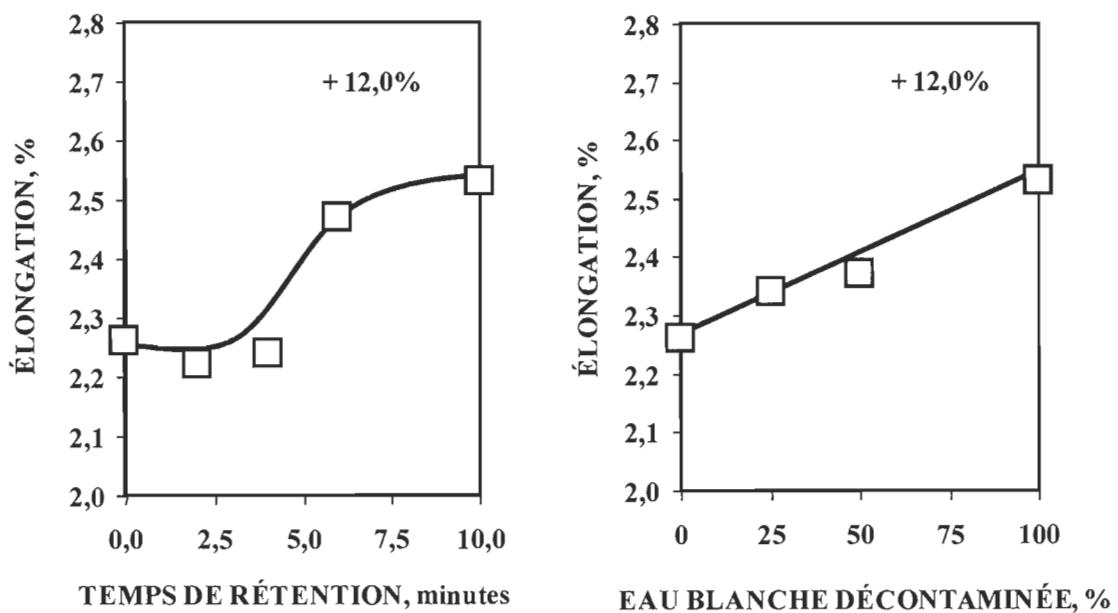
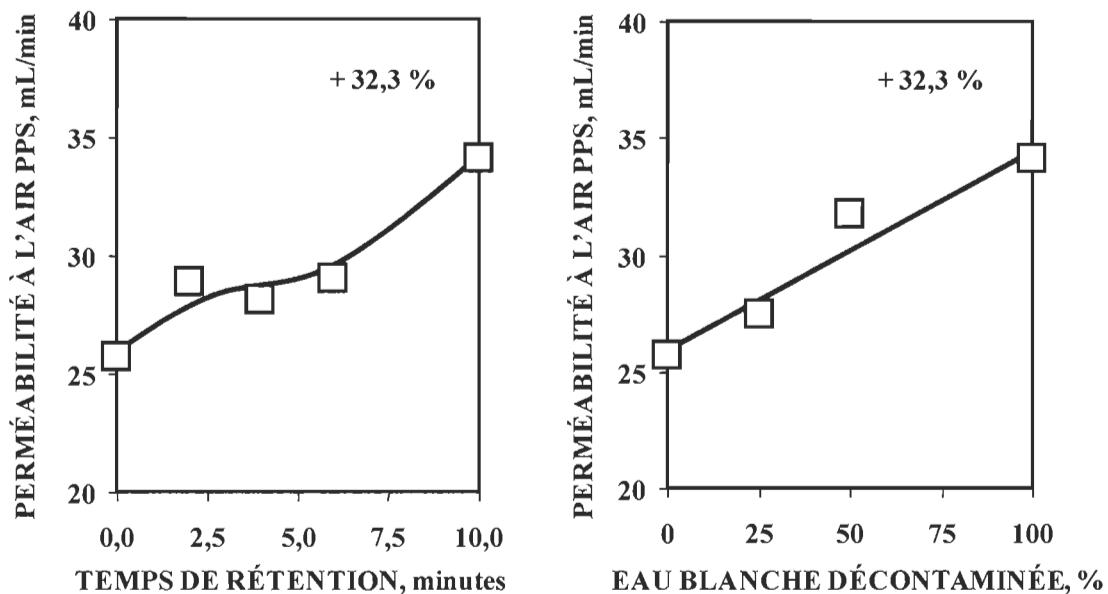


Figure 7.57 Variation du % d'elongation des formettes calandrées



**Figure 7.58 Variation de la perméabilité à l'air des formettes calandrées**

La flottation sur colonne améliore de façon majeure les propriétés optiques, physiques et mécaniques des formettes préparées en recombinant un mélange de pâtes PTM/DES avec de l'eau blanche provenant du Silo MP 6 décontaminée à diverses proportions en flottant sélectivement les matières lipophiles et les fines/particules les plus noirâtres et hydrophobiques.

Ces matières lipophiles et ces fines noirâtres hydrophobes réduisent la formation des liaisons entre les fibres dans le papier (les ponts hydrogène) et provoquent une diminution des propriétés physiques et mécaniques du papier.

Cette technologie est une voie incontournable dans les usines de pâtes et papiers en quête de fermeture de leurs circuits d'eau blanche et de réduction de leur consommation d'eau fraîche.

## 7.6 Synthèse et analyses des essais

Les différents essais de flottation sur colonne de l'eau blanche a démontré qu'un enlèvement sélectif des matières hydrophobes présentes se produit. La colonne de flottation a contribué à l'enlèvement des matières extractibles, à l'enlèvement des encres résiduelles ainsi qu'à l'augmentation de la brillance de l'eau blanche traitée. Cependant, son opération s'accompagne d'une perte de rendement en fines et charges directement reliée au temps de rétention dans la colonne de flottation. Tel que Ricard et ses collaborateurs [185] l'ont exposée, la nature hydrophobe des fines et des charges présentes dans les différentes eaux blanches est suffisante pour permettre un enlèvement sélectif des contaminants par une flottation conventionnelle. Cette sélectivité du procédé de flottation dépend de l'attraction du matériel hydrophobe pour les bulles d'air. Sans cette propension, la cellule de flottation rejetterait les matières particulières (fines et charges) de façon non-sélective ce qui résulterait en des pertes de rendement inacceptables par entraînement au lieu d'une « vraie » flottation.

Des études récemment publiées traitant de la flottation des eaux blanches [187, 188, 189] ont contribué à identifier plus spécifiquement les contaminants retrouvés dans les rejets d'une colonne de flottation et à développer un index de sélectivité ( $Q$ ) pour ces contaminants [187]. Ainsi, les matières collantes (« stickies »), les triglycérides et les acides gras et les stérols ont tous un index de sélectivité très élevé à 0,87. L'ensemble des matières extractibles a un index de sélectivité élevé à 0,79. L'index de sélectivité des encres résiduelles est légèrement plus faible à 0,74. Tous ces essais ont été réalisés sans l'apport d'agents tensio-actifs additionnel.

La cinétique des réactions suit une équation du premier ordre et l'enlèvement des contaminants est directement dépendant du temps de flottation et de la concentration des contaminants. Après un temps de flottation de seulement une minute, une réduction de 27 % de l'encre résiduelle, 45% des matières collantes et 26 % des extractibles du bois a été observé en laboratoire pour une perte raisonnable de rendement de 10 %.

## 7.7 Essais industriels pour traiter l'eau blanche sur le silo MP 6

Cette étape constitue le but ultime de tout projet de R&D : se rendre au stade de l'implantation industrielle. Toute nouvelle technologie comporte des risques lors de son implantation.

L'implantation de cette technologie dans l'usine n'a pas été possible puisque la situation financière de la compagnie ne le permettait pas. Précédant la fermeture temporaire de l'usine, j'ai quitté le domaine des pâtes et papiers en décembre 2007 pour œuvrer comme chargé de projets à la Division - Eaux et Matières résiduelles du Service des Infrastructures à la Ville de Gatineau.

Malgré tout, ce projet d'étude a fait l'objet de plusieurs présentations tant au Québec, au Canada ainsi qu'en Europe [182, 190, 191] afin de présenter les avantages de cette technologie innovatrice.

Les travaux de développement de la flottation sur colonne se sont poursuivis grâce à l'implication toujours soutenue et engagée du personnel de FPInnovations [185, 192]. Ces travaux ont porté fruit puisqu'en avril 2011, une première installation industrielle de flottation sur colonne pour nettoyer le circuit d'eau blanche d'une usine de pâte et papier a été érigée, puis démarrée à l'usine d'Alberta Newsprint de Whitecourt (AB). Cette « première » mondiale a fait récemment l'objet d'une publication [193].

## 7.8 Évaluation sommaire des bénéfices de la colonne sur la MP 6

Une évaluation sommaire des bénéfices qu'apporterait l'implantation d'une colonne de flottation sur la machine à papier no. 6 a été faite à l'usine d'Abitibi Bowater de Gatineau. Ces bénéfices sont d'ordre général (réduction des agents de rétention, réduction des agents de blanchiment, réduction des agents de lavage des toiles) et d'ordre spécifique à la machine à papier no. 6 (efficacité, plis crêpés, casses, défauts du papier).

En 2004, lorsque les trois machines à papier étaient en opération à l'usine de Gatineau, nous avions évalué sommairement les bénéfices d'implanter cette technologie sur l'eau blanche du silo de la MP 6 à \$1,2 millions de dollars. Ces bénéfices, provenant de réduction ciblée en produits chimiques et en gain d'efficacité de production, sont répartis comme suit :

- \$100 000 en réduction des agents de rétention (-10 %);
- \$100 000 en réduction des agents de blanchiment (-10 %);
- \$500 000 en efficacité opérationnelle (+ 5 %);
- \$500 000 en réduction des rejets de papier pour plis crêpés (« slab-off »).

Ces estimations de bénéfices sont établies en fonction des gains de blancheur mesurés, des réductions en matières extractibles et des encres résiduelles obtenus ainsi que des gains de friction et des forces physiques du papier reconstitué mesurés. Elles ne donnent qu'une évaluation grossière du potentiel d'économies envisageables avec cette technologie innovatrice pour l'industrie des pâtes et papiers. Elles ne tiennent pas compte des économies possibles en énergie suivant une réduction de la consommation d'eau fraîche, ni de la réduction des pertes aux égouts suivant une fermeture accrue des circuits d'eau blanche.

De son côté, l'implantation de la colonne de flottation par FPInnovations à l'usine d'Alberta Newsprint de Whitecourt, Alberta a nécessité un financement de \$3 millions [194].

## Chapitre 8 - Conclusions et Recommandations

### 8.1 Conclusions

L'objectif technologique de ce projet, soit de développer une opération unitaire capable de nettoyer le circuit d'eau blanche d'une machine à papier, a été atteint. La flottation sur colonne agit comme un rein dans le circuit d'eau blanche en traitant l'eau blanche de la machine à papier afin d'en éliminer les contaminants hydrophobes indésirables.

Le développement et l'application de la flottation sur colonne pour traiter l'eau blanche a permis de réduire substantiellement la perte de blancheur affectant les machines à papier. Cette perte de blancheur est associée à la recirculation de vieilles fines noirâtres et collantes contenues dans l'eau blanche du circuit primaire. De plus, elle entraîne des pertes de temps de production aux machines à papier, entraîne des changements fréquents de commandes, augmente les rejets de papier, tout en réduisant la qualité du papier fini et en augmentant les délais de livraison auprès des clients. Ce phénomène de perte de blancheur est spécialement amplifié lors de la période estivale, résultant en une perte de 3 à 4 points de blancheur comparativement à la pâte fraîchement produite.

À l'aide de la colonne de flottation du laboratoire de FPInnovations, nous avons procédé à de nombreux essais de flottation sur deux (2) types d'eau blanche industrielle, soit l'eau blanche du silo de la machine à papier no. 6 ainsi que l'eau blanche centrale de l'usine d'Abitibi Bowater à Gatineau au Québec. Les performances de la colonne de flottation ont été excellentes. Elle nous a permis d'éliminer jusqu'à 73 % de l'encre résiduelle et 88 % des matières totales extractibles. La blancheur des solides de l'eau blanche traitée s'est aussi accrue jusqu'à 3,5 points ISO.

Des formettes, fabriquées en recombinant des acceptés de la flottation sur colonne de l'eau blanche avec un mélange de pâte désencrée et PTM fraîches, ont démontré une amélioration considérable des propriétés optiques et de résistance, ainsi qu'un coefficient

de friction plus élevé et une teneur plus faible en matières extractibles et en cendres par rapport aux formettes fabriquées avec de l'eau blanche non-flottée. Ainsi, la blancheur des formettes s'est accrue jusqu'à 1,3 points ISO et l'encre résiduelle a été réduite jusqu'à 33 % alors que les extractibles ont diminué jusqu'à 47 %. Des améliorations du coefficient de friction cinétique jusqu'à 24 % et de l'indice d'étiement jusqu'à 8 % ont été aussi mesurées. Ces améliorations majeures à la qualité de l'eau blanche recirculée lors de la fabrication du papier permettront certainement d'obtenir une meilleure stabilité de fonctionnement de la machine à papier ainsi qu'une réduction des coûts d'opération (produits chimiques) et de production (augmentation de l'efficacité machine).

Ce projet de recherche innovateur démontre que la flottation sur colonne élimine très efficacement les encres résiduelles et les fines noirâtres contaminées ainsi que les matières extractibles nuisibles aux propriétés physiques, mécaniques et optiques du papier tout en réduisant considérablement les pertes de fibres grâce à son excellente sélectivité. La colonne de flottation s'avère ainsi très efficace pour nettoyer les circuits d'eau blanche circulant autour de la machine à papier. Comme l'industrie des pâtes et papier cherchera toujours à réduire sa consommation d'eau fraîche, cette technologie sera appelée à jouer un rôle important pour l'industrie des pâtes et papiers en raison de sa grande sélectivité, du faible encombrement de ses équipements, de son adaptabilité au contrôle automatisé, et de son faible coût d'investissement, d'exploitation et d'entretien.

## 8.2 Recommandations

Comme l'installation de toute nouvelle technologie autour d'une machine à papier entraîne son lot d'imprévus et d'inquiétudes, il serait bon de procéder à l'installation d'une colonne de flottation industrielle de forte capacité (4 000 à 5 000 LPM) avec un gros diamètre (2 à 3 m) afin de vérifier les performances d'opération à plus grande échelle dans le cadre d'un programme de recherche national pour des temps de flottations inférieurs à 10 minutes.

Entre-temps, plusieurs questions demeurent toutefois encore sans réponse et pourraient faire l'objet de projets de recherche individuels:

- Flottation sur colonne en 1 ou 2 stages où un taux de rejets plus élevé permettrait de traiter plus d'eau au premier stage (temps de rétention court) puis de concentrer ces rejets dans le second stage (temps de rétention long);
- Flottation sur colonne de l'eau blanche riche du ramasse-pâte versus l'eau blanche de la fosse sous toile (silo) – moins d'eau blanche à traiter;
- Gestion de l'eau blanche acceptée de la colonne de flottation riche en air versus l'entraînement d'air dissous à la machine à papier.

Il serait fortement encouragé que l'industrie des pâtes et papiers développe des liens très étroits avec l'industrie minière. Cette industrie maîtrise admirablement bien la technologie de la flottation sur colonne et ne cesse d'en améliorer les performances et les équipements. Il n'est pas rare d'y rencontrer sur un site de traitement du minerai plusieurs colonnes de flottation de 12 à 17 mètres de hauteur avec un diamètre de 3 à 5 mètres! Une forme de partenariat actif avec l'industrie minière serait très bénéfique pour l'industrie des pâtes et papiers et accélérerait l'implantation de cette technologie prometteuse dans le circuit d'eau blanche primaire des usines de pâtes et papiers au Canada.

## Bibliographie

- 1 Valette, P., De Choudens, C., (1987). «Le bois, la pâte, le papier». Chapitre 3 : La fabrication du papier, éditeur : Centre technique du papier, Grenoble, p. 77.
- 2 Smook, G. A. (1999). 2<sup>nd</sup> éd., «Handbook For Pulp and Paper Technologist», Angus Wilde Publications, Vancouver, Canada, pp. 45-53, 74-82, 264-294.
- 3 Loranger, E., (2009). Thèse de doctorat en sciences de l'environnement à l'Université du Québec à Montréal sur les traitements des eaux de procédés par des techniques de séparation physico-chimique, p. 15-17.
- 4 Bonin, J. (2000). «Les machines à papier». 2<sup>e</sup> édition, chap. 5 : «L'eau à la toile de la machine», pp. 107-123.
- 5 Turner, P. (éditeur technique) (1994). «Water use reduction in the pulp and paper industry 1994». Association canadienne des pâtes et papiers, Montréal (Qc), 152 p.
- 6 PAPRICAN (2001). «Réduction de la consommation d'eau dans l'industrie des pâtes et papiers». 2<sup>e</sup> édition, chap. 7, pp. 129-146.
- 7 Giguère, D. (2007). «Bilan annuel de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers 2006», Gouvernement du Québec, Ministère du développement durable, de l'Environnement et des parcs, Direction des politiques de l'eau, Services des eaux industrielles, Québec, 213 pages.
- 8 Hubbe, M. A. (2007). «Water and papermaking 2. White water components». Paper Technology 48 (2): 31–40.
- 9 Seth, R.S. (2003). «The measurement and significance of fines». Pulp and Paper Canada 104 (2); 41-44.

- 
- 10 Gess, J. M. (1998). «Retention of fines and fillers during papermaking», Chap. 2: The chemistry and mechanics of fine particle retention, Tappi Press, Atlanta, pp. 13-14.
  - 11 Lehmonen, J., Houni, J., Raiskinmäki, P., Vähäsalo, L., Grönroos, A. (2009). «The effects of pH on the accumulation of fines, dissolved and colloidal substances in the short circulation of papermaking». *J. Pulp Pap. Sci.*, 35 (2): 46-52.
  - 12 Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). (2010). «Évaluation des rejets d'eaux usées des usines de pâtes et papiers au Québec en fonction du milieu récepteur», Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés, Québec, Octobre 2010, 58 p. [En ligne]. [<http://www.mddep.gouv.qc.ca/programmes/prri/eval-rejet-eauxusees-usinepp.pdf>].
  - 13 Lindholm, G. (1998). «Reduction of fresh water consumption in pulp and paper production» *Paperi Ja Puu*, 80 (4); 261.
  - 14 Gess, J. M. (1998). «Retention of fines and fillers during papermaking», Chap. 6: White water system engineering», Tappi Press, Atlanta, pp. 109-126.
  - 15 Irvine, G. M. (1985). «The significance of the glass transition of lignin in thermo-mechanical pulping». *Wood Sci. Technol.* 19 (2): 139-149.
  - 16 Donat, V., Van de Ven, T.G.M, Paris, J. (2003). «Distribution of Dissolved and Colloidal Substances in the Forming and Press Sections of a Paper Machine», *J. Pulp Paper Sci.*, 29 (9): 292-296.
  - 17 Smook, G. A. (1998). «Manuel du technicien et de la technicienne en pâtes et papiers». 2<sup>e</sup> édition, 456 p.

- 
- 18 Geller, A., Gottsching, L. (1982). «Closing Water Systems Completely in the Federal Republic of Germany», *Tappi J.*, 65 (9): 97-101.
  - 19 EPA. (1995). EPA office of compliance sector notebook project. «Profile of pulp and paper industry». 310-R-95-015. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
  - 20 Garceau, J. J. (éditeur) (1989). «Pâtes mécaniques et chimico-mécaniques». Association technique des pâtes et papiers du Canada, 299 p.
  - 21 Allen, L. H., (1975). «Pitch in woods pulps», *Pulp Paper Can.* 76 (5) T139-146.
  - 22 Jarvinen, R., Vahtila, M., Mann-Ström, B., Sundholm, J. S. (1980). «Reduce environmental load in TMP», *Pulp Paper Can.* 81 (3): 39-43.
  - 23 Sjöström, J. (1990). «Fractionation and characterization of organic substances dissolved in water during groundwood pulping of spruce», *Nordic pulp Paper Res. J.* 5 (1): 9-15.
  - 24 Ekman, R., Eckermann, C., Holmbom, B. (1990). «Studies on the behaviour of extractives in mechanical pulp suspensions». *Nordic Pulp Paper Res. J.* 5 (2): 96-102.
  - 25 Thornton, J. (1993). «Dissolved and colloidal substances in the production of wood-containing paper», Dep. of Forest Products Chem., Fac. of Chem. Eng., Abo Akademi University.
  - 26 Örså, F., Holmbom, B., Thornton, J. (1997). «Dissolution and dispersion of spruce wood components in hot water». *Wood Sci. Technol.* 31, pp. 279-290.

- 
- 27 Ohtani, Y., Shigemoto, T. (1991). «Chemical aspects of pitch from Japanese pulp and paper mills». Appita Journal 44 (1); 29–32.
- 28 Lindström, T., Soremark, C., Weatman, L. (1977). «The influence on paper strength of dissolved and colloidal substances in the white water». Svensk Papperstidning, 80 (11): 341-345.
- 29 Brandal, J., Lindheim, A. (1966). «The influence of extractives in groudwood pulp on fibre bonding», Pulp Paer Mag. Can. 67 (10): T431-435.
- 30 Wearing, J. T., Barbe, M. C., Ouchi, M. D. (1985). «The effect of white water contamination on newsprint properties», J. Pulp Paper Sci. 11 (4) J113-121.
- 31 Back. E. L. (2000). «Pitch Control, Wood Resin and Deresination». Chapter 6: Resin in suspensions and mechanisms of its deposition. Ed: Back. E.L. and L.H. Allen, Atlanta: Tappi Press. pp. 151-183.
- 32 Hassler, T. (1988). «Pitch deposition in papermaking and the function of pitch control agents». Tappi J., 71 (6): 195-201.
- 33 McLean, D., Stack, K., Richardson, D. (2003). «Wood pitch deposition versus composition», 57<sup>th</sup> Appita Annual Conf. and Exhibition Proceedings, pp. 115-120.
- 34 Richardson, D. E., Mosby, J. E., Grubb, M. (2005). «Wood extractives: Is colloidal thermal stability a suitable measure of pitch deposition potential?». 59<sup>th</sup> Appita Annual Conf. Proceedings, pp. 131-135.
- 35 Farlow, M. (1996). «Water management critical for mills making effort at white water closure», Pulp Paper 70 (5): 93-97.

- 
- 36 Cronin, W. R., (1996). «Effluent closure forces close look at liquid/solid separation issues», Pulp Paper 70 (6): 59-60, 60-64.
- 37 Allen, L. H. (1980). «Mechanisms and control of pitch deposition in newsprint mills». Tappi 63 (2); 81–87.
- 38 Allen, L., Polverari, M., Levesque, B., Francis, W. (1999). «Effects of system closure on retention and drainage-aid performance in TMP newsprint manufacture». Tappi Journal 82 (4); 188-195.
- 39 Järvinen, R., Vahtila, M., Miettola, E., (1985). «Closing of white water system in a mill producing wood containing paper», Proc. Intl. Mech. Pulp. Conf., Stockholm, Sweeden, 274-280.
- 40 Zhang, X., Beatson, R. P., Cai, Y. J., Saddler, J. N. (1999). «Accumulation of specific dissolved and colloidal substances during white water recycling affects paper properties», J. Pulp Paper Science 25 (6); 206-210.
- 41 Lévesque, M. (1999). «Le recyclage et le désencrage des papiers et cartons». Chapitre 5 : Contaminants usuels des vieux papiers et cartons, éditeur Cégep de Trois-Rivières, pp. 27-34.
- 42 Infoburomag. (2011). «Colles et adhesives : toujours présents». InfoBuroMag, janvier /février 2011, pp. 40-45.
- 43 MacNeil, D., Sarja, T., Reunanen, M., Xu, C.-L., Holmbom, B. (2006). «Distribution of stickies in deinked pulp, Part I: Methods for extraction and analysis of stickies». Professional Papermaking 1: pp. 10–14.

- 
- 44 Doshi, M. R. (1991). «Properties and control of stickies». *Progress in Paper Recycling* 1 (1); 54-63.
- 45 Johansson, H., Wikman, B., Lindström, E., Österberg, F. (2003). «Detection and evaluation of micro-stickies». *Progress in Paper Recycling* 12 (2); 4-12.
- 46 Haynes, R. D. (2000). «Measuring Ink Content: From Pulper to Deinked Pulp», TAPPI Recycling Symposium, March 2000, Washington D.C., USA. 15 p.
- 47 Kocurek, M. J. (1991). «La fabrication des pâtes et papiers : Les fibres secondaires». Editeur C.C.D.M.D. 163 p.
- 48 Sacia, W.K., Simmons, J. (2006). «The effects of changing ONP quality on a newsprint mill». *Tappi Journal*, 5 (1); 13-17.
- 49 Iosip, A., Nicu, R., Ciocalu, F., Bobu, E. (2010). «Influence of recovered paper quality on recycled pulp properties». *Cellulose Chemistry and Technology*, 44 (10); 513–519.
- 50 D'Sousa, V. A., Hand, V. C., Schaefer, R. L. (1998). «Concentration of metals entering and leaving a recycled paper deinking mill». *Progess in Paper Recycling* 7 (3); 22-32.
- 51 Rangamannar, G., Bellemare, R., Dionne, Y. (2004). «Effect of white water consistencies on hydrosulfitebleaching of DIP and TMP pulps at Bowater Gatineau». 7th Research Forum on Recycling, Québec (Qc), Septembre 2004. Pp. 57-62.
- 52 Ricard, M., Dorris, G. (2006). «Recirculation contaminates whitewater solids: Part I. Supernatant and fines isolation and characterization». 93<sup>e</sup> PAPTAC Annual Meeting, Montréal (Qc), Book B, pp. B251-B262.

- 
- 53 Ricard, M., Dorris, G. (2006). «Recirculation contaminates whitewater solids: Part II. Contamination of fines and fillers with extractives and metals». 93<sup>e</sup> PAPTAC Annual Meeting, Montréal (Qc), Book B, pp. B263-B270.
- 54 Ricard, M., Dorris, G., Lapointe, C., Pagé, N., Ben, Y. (2007). «Decontamination of whitewater fines by laboratory-scale flotation». Papricon, PRR 1834.
- 55 Rundlöf, M., Htun, M., Höglund, H., Wagberg, L. (2000). «Mechanical pulp fines of poor quality – Characteristics and influence of white water», *J. Pulp Paper Sci.* 26 (9); 308-316.
- 56 Woodward, T. (1996). «Mill closure: the critical issues». *PIMA* 78(6): pp. 44–45.
- 57 Xu, Y., Deng, Y. (2004). «The buildup of dissolved solids in closed white water systems». *Tappi Journal* 3 (8); 17–21.
- 58 Allen, L. H. (1980). «Mechanisms and control of pitch deposition in newsprint mills». *Tappi* 63 (2); 81–87.
- 59 Allen, L. H. (2000). «Pitch Control in Paper Mills». Chapter 13: Pitch Control in Paper Mills, editor Back, EL. & Allen, LH. (eds) «Pitch Control, Wood Resin and Deresination». Atlanta GA USA, Tappi Press. pp. 307–328.
- 60 Blanco, M. A., Negro, C., Gaspar, I., Tijero, J. (1996). «Slime problems in the paper and board industry». *Applied Microbiology and Biotechnology* 46 (3); 203–208.
- 61 Sundberg, A., Holmbom, B., Willför, S., Pranovich, A. (2000). «Weakening of paper strength by wood resin». *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 15 (1); 46–53.

- 
- 62 Kokkonen, P., Korpela, A., Sundberg, A., Holmbom, B. (2002). «Effects of different types of lipophilic extractives on paper properties». *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 17 (4); 382-386.
- 63 Douek, M., Sithole, B., Banerjee, S. (2003). «Survey of deposits and contaminants in mills using recycled fiber». *Progress in Paper Recycling* 13 (1); 12-22.
- 64 Tay, S. (2001). «Effects of dissolved and colloidal contaminants in newsprint machine white water on water surface tension and paper physical properties». *Tappi J.*, 84 (8); 1-16.
- 65 Springer, A. M., Dullforce, J. P., Wegner, T. H. (1985). «Effects of closed white water system contaminants on strength properties of paper produced from secondary fibers». *Tappi Journal* 68 (4); 78–82.
- 66 Sitholé, B. B., Allen, L. (2002). «The effects of wood extractives on system closure». *Tappa Journal* 105 (7); 22–30.
- 67 Francis, D. W., Ouchi, M. D. (2001). «Effect of dissolved and colloidal solids on newsprint properties», *J. Pulp Paper Science*, 27 (9); 289-295.
- 68 Rundlöf, M., Sjölund, A.-K., Ström, H., Åsell, I., Wågberg, L. (2000). «The effect of dissolved and colloidal substances released from TMP on the properties of TMP fines», *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 15 (4); 256-265.
- 69 Rundlöf, M., (2002). «Interaction of dissolved and colloidal substances with fines of mechanical pulp – Influence on sheet properties and basic aspects of adhesion», Doctoral Dissertation. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 78 p.

- 
- 70 Heum, J. R., Gregersen, O. W., Johansson, L. (2005). «Effects of extractives on TMP refining and pulp properties». Proceedings of the Int. Mech. Pulp. Conf. 2005, Oslo, Norway, June 7-9, pp.137-142.
- 71 Webb, L. (1997). «Papermaking's problem substances interfere with machine runnability», Pulp and Paper, 71 (11); 69-74.
- 72 Gurnagul, N., Ouchi, M. D., Dunlop-Jones, N., Sparkes, D. G., Wearing, J. T. (2003). «Factors affecting the coefficient of friction of paper». J. Appl. Polym. Sci. 46 (5); 805-814.
- 73 Hubbe, M. A. (2007). «Water and papermaking 3. Measures to clean up process water». Paper Technology 48 (3); 23–30.
- 74 Hubbe, M. A., Rojas, O. J., Venditti, R. A. (2006). «Control of tacky deposits on paper machines - A review». Nordic Pulp and Paper Research Journal 21 (2); 154-171.
- 75 Raymond, L., Gagne, A., Talbot, J., Gratton, R. (1998). «Pitch deposition in a fine paper mill». Pulp Pap. Can., 99 (2); 56-59.
- 76 Wearing, J.T., Huang, S., Piggott, A., Ouchi, M.D., Wong, A. (1985). «New white-water management strategies for integrated newsprint mills». Pulp Pap. Can., 86 (5); T139-T145.
- 77 Paris, J., Leroy, C. (1998). «System closure in pulp and paper mills». Monographie PAPTAC, Montréal (Qc), 116 p.

- 
- 78 Lacorte, S., Latorre, A., Barceló, D., Rigol, A., Malmqvist, A., Welander, T. (2003). «Organic compounds in paper-mill process waters and effluents». *Trends Anal. Chem.* 22 (10); 725-737.
- 79 Bulow, C., Pingen, G. Hamm, U. (2003). «Water system closure in a recovered paper processing paper mill with special regard to the calcium carbonate problem». *Proc. 28th EUCEPA: Sustainable Development for the Pulp and Paper Industry*, Lisbon, Portugal, Vol. 2-4, p. 30.
- 80 Hamm, U., Götsching, L. (2002). «Wastewater-free papermaking - What consequences to expect?». *Wochenblatt für Papierfabrikation* 130 (4); 229–235.
- 81 Lee, H. L., Ham, C. H., Lee, S.G. (2006). «Influence of papermaking system closure on paper properties» *Tappi Journal* 5 (5); 27–31.
- 82 Haapala, A., Liimatainen, H., Körkkö, M., Ekman, J., Salkinoja-Salonen, M. Niinimäki, J. (2010). «Web defects in newsprint production – a mill case study». *Appita Journal* 63 (5); 358–363, 398.
- 83 Barnett, J., Grier, L. (1996). «Mill closure forces focus on fines retention, foam control». *Pulp and Paper*, 70 (4); 89-95.
- 84 Sihvonen, A.-L., Sundberg, K., Sundberg, A., Holmbom, B. (1998). «Stability and deposition tendency of colloidal wood resin». *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 13 (1); 64–67.
- 85 Hua, X., Laleg, M. (2009). «Impact of machine whitewater on brightness of mechanical grades». *Pulp and Paper Canada* 110 (3); 24-28.

- 
- 86 Moss, C. S. (1997). «The Contaminant Removal Curve-Theory VS Reality» TAPPI Recycling Symposium 1997, TAPPI Press, pp. 1-6, 1997.
- 87 McCool, M. A., Silveri, L. (1987). «Removal of Specks and Nondispersed Ink from a Deinking Furnish» TAPPI J., 70 (11); 75-79.
- 88 Young, D. L. (1983). «Pressure screening – principles and practise». Appita Journal 36 (4); 311–313.
- 89 Jokinen, H. (2007). «Screening and cleaning of pulp - a study to the parameters affecting separation». Acta Univ Oul C 274.
- 90 Bliss, T. (1994). «Centrifugal cleaning in the stock preparation system». Stock Preparation Short Course, San Francisco, USA: pp. 161–175.
- 91 Goumeniouk, G. I. (1954). «The effect of air on drainage and sheet formation on a Fourdrinier paper machine». Pulp and Paper Mag. Canada 55 (1); 99–101.
- 92 Stoor, T., Virkkala, R., Dahl, O., Niinimäki, J. (2000). «Effect of air on the performance of certain unit processes in stock preparation and means for reducing disadvantages». Appita Journal 53 (5); 350–357.
- 93 Helle, T.-M. (2000). «Qualitative and quantitative effects of entrained gas on papermaking». Paperi ja Puu 82 (7); 457-463.
- 94 Matula, J., Kukkamäki, E. (1998). «New findings of entrained air and dissolved gases in PM wet end - mill case study». Wochenblatt für Papierfabrikation 126 (17); 814–820.

- 
- 95 Gabl, H., Hamm, U., Bobek, B., Putz, H.-J., Schabel, S., Hamann, L., Cordier, O., Kappen, J., Pauly, D. (2006). «Sticky and trash removal techniques for water loops in paper mills». *Paper Technology* 47 (6); 31–34.
- 96 Pauly, D. (2001). «Kidney technology for white water treatment». *Paper Technology* 42 (8); 29–36.
- 97 Hardman, D., Manolescu, D. R. (1998). «Mill closure, the continuing challenge, system closure in pulp and paper mills». A Monograph based on the Symposium on System Closure, PAPTAC 84th Annual Meeting, Montréal, QC, 45 p.
- 98 Pekkarinen, T., Kaunonen, A., Paavola, J. (1999). «New approach to wet end management». *Paperi ja Puu* 81 (1); 40–44.
- 99 Dechandt, A., Watkins, T., Pruszynski, P. (2003). «Total approach to deposit control on newsprint machine using TMP and DIP pulp mix – from specialized fixation of individual pulps to retention». Proceedings of 57<sup>th</sup> Appita conference, Melbourne, Australie.
- 100 De Grado, A. F., Lascar, A., Pottier, S., Carré, B., Zeno, E. (2010). «How to improve paper mill efficiency by a global control of surface active substances». S.A.S. Conference Proceedings of PTS-CTP Deinking Symposium, Paper 20, Munich, Germany.
- 101 Lapierre, L., Pitre, D., Bouchard, J. (2001), «Fines from deinked pulp : effect of contaminants on their bleachability and on the pulp final brightness», 6<sup>th</sup> Research Forum on Recycling, Magog, Québec, Canada, October, pp. 173-178.

- 
- 102 Lapierre, L., Pitre et D., Bouchard, J. (1999), «Bleaching of deinked recycled pulp: benefits of fibre fractionation», 5<sup>th</sup> Research Forum on Recycling, Ottawa, Ontario, Canada, September, pp. 57-63.
- 103 Dionne, P. Y. (1994), «In mill optimisation of deinking chemicals by laboratory experiment», Paper Technology, 35 (1); 37-42.
- 104 Dixon, M. et Webb, E. (1979). «Enzymes». New York : Academic Press. 950 p.
- 105 Bailey, J. (1998). «Biotechnology supports the industry's effort for better processes». Pulp and Paper Canada 99 (10); 9-10, 12, 14.
- 106 Bourbonnais, R. P., Paice, M. G. (1996). «Enzymatic delignification of kraft pulp using laccase and a mediator». Tappi Journal 79 (6); 199-204.
- 107 Blanco, A., Negro, C., Borch, K., Mining, S., Hannuksela, T., Holmbom, B. (2005). «Pitch control in thermomechanical pulping and papermaking by enzymatic treatments», Appita Journal 58 (5); 358-361.
- 108 Dorado, J., van Beek, T.A., Claassen, F.W., Sierra-Alvarez, R. (2001). «Degradation of lipophilic wood extractive constituents in *Pinus sylvestris* by the white-rot fungi *Bjerkandera* sp. and *Trametes versicolor*». Wood Science and Technology 2001; 35, pp. 117-125.
- 109 Fischer, K., Messner, K. (1992). «Reducing troublesome pitch in pulp mills by lipolytic enzymes». Tappi Journal 75 (2); 130-134.
- 110 Zhang, X., Renaud, S., Paice, M. (2005). «The potential of laccase to remove extractives present in pulp and white water from TMP newsprint mills». Journal of Pulp and Paper Science 31 (4); 175-180.

- 
- 111 Gutiérrez, A., del Río, J. C., Martínez, M. J. et Martínez, A. T. (2001). «The biotechnological control of pitch in paper pulp manufacturing». *Trends Biotechnol.*, 19 (9); 340-348.
- 112 Gutiérrez, A., del Río, J.C., Rencoret, J., Ibarra, D., Martínez, A.T. (2006). «Main lipophilic extractives in different paper pulp types can be removed using laccase-mediator system». *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 72 (4); 845-851.
- 113 Gutiérrez, A., del Río, J. C., Martínez, A. T. (2009). «Microbial and enzymatic control of pitch in the pulp and paper industry». *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 82 (6); 1005-1018.
- 114 Dubé, É., Shareck, F., Hurtubise, Y., Beauregard, Daneault, C. (2008). «Enzyme-based approaches for pitch control in thermomechanical pulping of softwood and pitch removal in process water». *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 83, 1261-1266
- 115 Zhang, X. (2000). «The effects of white-water dissolved and colloidal fractions on paper properties and effects of various enzyme treatments on the removal of organic components». *Pulp and Paper Canada* 101 (3); 59-62.
- 116 Widsten, P., Kandelbauer, A. (2008). «Laccase applications in the forest products industry: A review». *Enzyme and Microbial Technology* 42 (4); 293-307.
- 117 Stebbing, D.W., Zhang, X., Soong, G., Mansfield, S.D. et Saddler, J.N. (2004). «Fungal enzyme treatment of newsprint mill whitewater: impact on whitewater and paper properties». *Journal of Pulp and Paper Sciences* 30 (1); 3-8.
- 118 Crow, D. R., Secor, R. F., (1987). «The ten steps to deinking», *Tappi J.*, 70 (7); 101-106.

- 
- 119 Ajersch, M., Pelton, R. (1996). «Mechanisms of pulp loss in flotation deinking». *Journal of Pulp and Paper Science* 22 (9); 338–345.
- 120 Dorris, G. M., Pagé, N. (1997). «Deinking of Toner-Printed Papers. Part I. Flotation Kinetics, Froth Stability and Fibre Entrainment», *J. Pulp Paper Sci.* 23 (5); J206-J215.
- 121 Richardson, D., Grubb, M. (2004). «Extractives removal from newsprint mill process waters by dissolved air flotation». Proceeding of 58<sup>th</sup> Appita Annual Conference, Canberra, Australie. pp. 79–84.
- 122 Lévesque, M. (1999). «Le Recyclage et le Désencrage des Papiers et des cartons». Chapitre 10 – Désencrage par flottation, ed. Centre collégial de développement de matériel didactique, pp. 165-202.
- 123 Huang, Z. (2009). «Efficacité de capture dans les procédés de flottation». Ph.D. Thesis, Institut national des sciences appliquées de Toulouse, France. 251 pages.
- 124 Degrémont. (2005). «Memento technique de l'eau». 10<sup>ième</sup> Edition, Vol. 1, Degrémont SA.
- 125 Verret, F.O. (2006). «Développement d'un capteur de taux de rétention de l'air pour une colonne de flottation». Mémoire, Université Laval [En ligne]. [<http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/23478/23478.html>].
- 126 Harrison, A. (1989). «Flotation deinking is critical in unit process method of deinking». *Pulp and Paper* (Mars 1989), pp. 60-65.
- 127 Ferguson, L. D. (1992). «Deinking chemistry: Part 2». *Tappi Journal*, 75 (8) : J49-58.

- 
- 128 Saint Amand, F. J., Perrin, B. (1993). «The effect of particle size on ink and spec removal efficiency of the de-inking steps. Part 1: flotation». *Pulp and Paper Canada* 94 (10); 25–28.
- 129 McCool, M. A. (1993). «Flotation Deinking». *Secondary Fiber Recycling*, Ed. R.J. Spangenberg, Tappi Press, 1993, pp. 141-162.
- 130 Shrinath, A., Szewczak, J. T., Bowen, I. J. (1990). «A review of ink removal techniques in current deinking technology». *1990 TAPPI Engineering Conference*, pp. 803–818.
- 131 Somasundaran, P., Zhang, L., Krishnakumar, S., Slepets, R. (1999). «Flotation deinking – a review of the principles and techniques». *Progress in Paper Recycling*, 8 (3); 22-36.
- 132 Beneventi, D., Carré, B. (2000). «The mechanisms of flotation deinking and the role of fillers». *Progress in Paper Recycling*, 9 (2); 77-85.
- 133 Carré, B., Fabry, B., Beneventi, D. (2002). «Interfacial mechanisms in deinking processes». *Progress in Paper Recycling*, 11 (3); 6-16.
- 134 Dorris, G., Ben, Y., Ricard, M. (2011). «Overview of flotation deinking». *Progress in Paper Recycling*, 20 (1), 3-44.
- 135 Johansson, B., Wickman, M., Ström, G. (1996). «The mechanism of offset ink particles agglomeration in a calcium-fatty acid collector system». *Journal of Pulp and Paper Science* 22 (10); J381–J385.
- 136 Costa, C. A., Rubio, J. (2005). «Deinking flotation: influence of calcium soap and surface active substances». *Minerals Engineering* 18: pp. 59–64.

- 
- 137 Lévesque, M. (1999). «Le Recyclage et le Désencrage des Papiers et des cartons». Chapitre 9- Notions physico-chimiques et additifs chimiques, ed. Centre collégial de développement de matériel didactique, pp. 123-164.
- 138 MacNeil, D., Holmbäck, Å., Lassus, A., Hoel, H., Røring, A., Holmbom, B. (2004). «Removal of fatty and resin acids in European deinking processes». Progress in Paper Recycling 14 (1); 6–13.
- 139 Ben, Y., Dorris, G. M., Pagé, N. (2004). «Characterization of dissolved air flotation rejects». Pulp and Paper Canada 105 (1); T246 - T251.
- 140 Körkkö, M., Laitinen, O., Vahlroos, S., Ämmälä, A., Niinimäki, J. (2008). «Components removal in flotation deinking». Progress in Paper Recycling 17 (4); 15-22.
- 141 Boutin, P. (1964). «Extraction of Bitumen and Oil from Athabaska Tar», Brevets canadiens # 680576, 16 Feb (1964).
- 142 Tremblay, R., Boutin, P. (1964). «Method and Apparatus for the Separation and Recovery of Ores», Brevets canadiens # 694547, Sept. 15 (1964).
- 143 Coffin, V. L., Miszczak, J. (1982). «Column flotation at Mines Gaspé», 14<sup>th</sup> IMPC, Toronto, Ontario, Canada. Paper IV.21, pp. 1-19.
- 144 Dessureault, S., Barbe, M.C., Lévesque, M. (1995). «Column flotation: a new technology for deinking recycled pulp», 1995 TAPPI Recycling Symposium, New Orleans, pp. 251-255.
- 145 Kenny, J. (1997). «Greenfield gears up for go», Pulp Paper International 39 (6); 25-27, 31.

- 
- 146 Kleuser, J. (1998). «Greenfield – Concepts and results». PTS-CTP deinking symposium 1998, Munich, Germany. May 1998. 9 pp.
- 147 Vashisth, S., Bennington, C. P. J., Grace, J. R. et Kerekes, R. J. (2011). «Column flotation deinking: state-of-the-art and opportunities». Resources, Conservation and Recycling 55 (12); 1154-1177.
- 148 Gomez, C. O., Watson, J. A., Finch, J. A. (1995). «Recycled-paper deinking using column flotation». 3<sup>rd</sup> Research forum on recycling, Vancouver, B.C. Canada. November 1995. pp. 41-44.
- 149 Gendron, S., Pigeon, B., Dorris, G., Pagé, N., Ben,Y. (2008). «Modelling and control of a pulp flotation column». Control Systems Pan-Pacific Conference, Vancouver (BC), Canada.
- 150 Ben, Y., Dorris, G., Pagé, N., Gendron, S., Gurnagul, N., Desrosiers, C., Maltais, P. (2009). «First industrial flotation column in a paperboard recycling plant». Progress in Paper Recycling, 18 (2); 11-17.
- 151 Hardie, C. A., Gomez, C. O., Finch, J. A. (1999). «A venturi aerated column cell for deinking : effect of design and operating parameters.» Progress in Paper Recycling, August 1999, pp. 33-41.
- 152 Hernández-Alvarez, H. A., (2001). «Column flotation scaling up procedure in paper de-inking», McGill University Doctoral Dissertation, Montréal, Québec, 209 pages.
- 153 Finch, J. A. et Dobby, G. S. (1990). «Column flotation». Pergamon Press, New York, USA.

- 
- 154 Dessureault, S., Carabin, P., Thom, A., Kleuser, J., Gitzen, P. (1998). «Column flotation : a significant simplification of the flotation deinking process». *Progress in Paper Recycling*, 8(1): pp. 23-33.
- 155 Chaiarrekij, S., Gupta, H., Amato, W. S., Ramarao, B. V. (2000). «Experimental results on deinking of recycled fibers by column flotation». *Wood & Cellulose*, April 2000. 4 pages.
- 156 Janse, P., Gomez, C. O., Finch, J. A. (1999). «Effect of pulp fibres on gas holdup in a flotation column». *Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 77, February, pp. 22-25.
- 157 Ben, Y., Dorris, G., Pagé, N. (2006). «Application of column flotation in waste paper recycling», *Progress in paper recycling* 15 (2); 25-35.
- 158 Zhao, Y., Deng, Y., Zhu, J. Y., (2004). «Roles of surfactants in flotation deinking». *Progress in Paper Recycling*, 14 (1); 41-45.
- 159 Delozier, G., Zhao, Y., Deng, Y., Alli, Y., (2005). «Laboratory- and mill-scale study of surfactant spray flotation deinking». *Tappi Journal*, 4 (10); 25-29.
- 160 Vergès, M. (2005). «Les secrets des mousses». *Découverte* no. 332, novembre 2005, pp. 24-31.
- 161 Besson, S. (2007). «Propriétés adhésives entre deux bulles de savon». Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie, Paris (France), Septembre 2007. 144 p.
- 162 Haynes, R. D., Marcoux, H. (1997). «Evaluation of fatty acid carryover in North American newsprint deinking mills». 4<sup>th</sup> Research forum on recycling, Québec, QC, Canada : pp. 163-175.

- 
- 163 Panek, J., Pfromm, P. (1996). «Interfacial properties of toner in flotation deinking». *Progress in Paper Recycling*, 5 (2); 49-57.
- 164 Ricard, M., Dorris, G., Lapointe, C. (2009). «Protocol for evaluating flotation aids with a laboratory-scale flotation column». *Pulp and Paper Canada*, 111 (11); 11 p.
- 165 Gess, J. M., (1998). «Retention of Fines and Fillers during Papermaking», Chapitre 3: Introduction to the electrokinetics of papermaking, Tappi Press., p. 29-48.
- 166 Luukko, K., Laine, J., Pere, J. (1999). «Chemical characterization of different mechanical pulp fines», *Appita J.* 52(3), pp. 126-131.
- 167 Babineau, K. (1998). «Removal and characterisation of anionic trash in mechanical pulp», Master degree, University of New Brunswick, 87 p.
- 168 Waller, M. (2002). «Charge measurement sensors offer new opportunities for better wet-end control», *Pulp and paper* 76(3); pp. 54-58.
- 169 Lowell, S., Shields, L., Thomas, M., Thommes, M. (2006). «Characterisation of porous solids and powders: surface area, pore size and density», Pays-bas: Les éditions Springer, Article Technology Series, pp.6, 11-12, 15.
- 170 Luukko, K (1998). «On the characterization of mechanical pulp fines», *Paperi ja Puu*, 80(6), pp. 441-448.
- 171 Marton, J. (1980). «The role of surface chemistry in fines - cationic starch interactions». *Tappi Journal* 63(4): pp. 87-91.
- 172 Olander, K., Gren, U., Htun, M. (1991). «Specific surface area – An important property of mechanical pulps». International Mechanical Pulping Conference, USA. TAPPI Proceedings, pp.81-86.

- 
- 173 Rivard, G. (2011). «Cinétique d'adsorption des contaminants de l'eau blanche sur les fines». Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières (Qc), p. 175.
- 174 Ralston, J., Fornaseiro, D., Hayes, R. (1999). «Bubble-particle attachment and detachment in flotation». International Journal of Mineral Processing, 56, pp. 133 - 164.
- 175 Milanova, E., Dorris, G. M. (1993). «Flotation of model inks. Part I : Experimental methods». Journal of Pulp and Paper Science, 19 (5); J194-J202.
- 176 Pagé, N. (2004). «Manuel – Colonne de flottation mobile», Paprican, documentation interne, version 2.0, septembre 2004, 16 p.
- 177 Communication interne EKA Chimie – Bowater Gatineau (juin 2002).
- 178 Ben, Y., Dorris, G., (1999). «Handsheet and pulp pad preparation procedures for measurements of total and bound ink in ONP/OMG furnishes», Progress in Paper Recycling, 8 (2); 34-41.
- 179 Jordan, B. D., Popson, S. J. (1994). «Measuring the concentration of residual ink in recycled newsprint», J. Pulp Pap. Sci. 20 (6); J161-J167.
- 180 Gooding, R. W., Olson, J. A. (2001). «Fractionation in a Bauer-McNett classifier», J. Pulp Pap. Science, 27 (12); 423-428.
- 181 Sitholé, B. B., Vollstaedt, P., Allen, L. H. (1991). «Comparison of Soxtec versus Soxhlet for the determination of extractives», Tappi J. 74 (11); 187-191.

- 
- 182 Ricard, M., Dorris, G., Lapointe, C., Dionne, Y., Daneault, C. (2008). «Prospects of using column flotation to decontaminate paper machine whitewater». 13<sup>th</sup> PTS/CTP Deinking Symposium, Liepzig, Germany, April 15-17. Paper 34, 15 p.
- 183 McDonald, J. D., Ménard, A. (1999). «Layer-to-layer slippage within paper rolls during winding». *J. Pulp Pap. Science*, 25 (4); 148-153.
- 184 Nicodimos, E. et Haynes, R. D. (2011). «Introduction of sodium sulfite neutral deinking». TAPPI 2011 PEERS Conference, Portland (OR), 25-28 septembre 2011, pp. 575-588.
- 185 Ricard, M., Dorris, G., Lapointe, C., Pagé, N. et Ben, Y. (2008). «Decontamination of whitewater fines by laboratory-scale flotation». 94<sup>th</sup> Annual PAPTAC meeting, Technical program preprints, février 2008. 10 p.
- 186 Kokko, S., Niinimäki, J., Zabihian, M. et Sundberg, A. (2004). «Effects of white water treatment on the paper properties of mechanical pulp – A laboratory study». *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, 19(3): pp. 386-391.
- 187 Haapala, A. (2010) «Paper machine white water treatment in channel flow – Integration of passive deaeration and selective flotation». Université de Oulu, Oulu (Finlande), C Technica 371, 96 p.
- 188 Haapala, A., Körkkö, M., Kemppainen, K., McNeil, D. et Niinimäki, J. (2010). «Purification of white waters by selective flotation». *BioResources* 5(4): pp. 2153–2172.
- 189 Haapala, A., Körkkö, M., Kemppainen, K., Stoor, T. et Niinimäki, J. (2010). «Paper machine white water deaeration and purification in a selective two-phase flota-

- 
- tion arrangement». Proceedings of 9th Research Forum on Recycling, Norfolk, USA.
- 190 Dionne, Y., Ricard, M., Dorris, G. et Daneault, C. (2006). «Revisiting column flotation». 12<sup>th</sup> PTS/CTP Deinking Symposium, Liepzig, Allemagne. 25-27 avril 2006, Paper 21. 9 p.
- 191 Dionne, Y., Ricard, M., Dorris, G. et Daneault, C. (2007). «Flotation column : a process unit for cleaning up paper machine whitewaters». 8<sup>th</sup> Research Forum on recycling, Niagara Falls, ON, Canada, 23-26 septembre 2007, pp. 321–328.
- 192 Ricard, M., Dorris, G., Ben, Y., Smith, G. et Garver, T. (2011). «Cleaning TMP white waters by column flotation». 97<sup>th</sup> Annual PAPTAC meeting, Technical program preprints, février 2011. Pp. 203-210.
- 193 Ben, Y., Ricard, M., Gendron, S., Dorris, G. et alli (2012). «Startup of a large industrial flotation column for cleaning TMP whitewater». 98<sup>th</sup> Annual PAPTAC meeting, Technical program preprints, février 2012. 12 p.
- 194 FPIInnovations. (2012). «Mise en marche d'une colonne de flottation de qualité industrielle». Communiqué de presse, février 2012, 1 p.

## Annexe

**Annexe 1 – Données expérimentales des essais réalisés à l'usine Abitibi Bowater**

Column Flotations of Whitewaters from Bowater, Gatineau														Ash Method																		
Flotation	Brewster Osmometer Sample #	Batch Date & Time	Batch #	Temp °C	Dph	Batch No.	Residence Time	Mean Air Flow Rate L/min	Shower Rate	Mean Flow Rate L/min	Measured Accept Flow Rate L/min	Recorded Accept Flow Rate L/min	Interpolated Accept Flow Rate L/min	Gash Rate	Air Velocity cm/s	Liquid Velocity cm/s	Mean Flow Rate L/min	Mean Flow Rate L/min	Projected Floor Rate	Floor Com., %	Ash Com., %	Ref. Ash Com., %	Pond Ash Com., %	Ash Ash Com., %	Ref. Ash Com., %	Pond Ash Com., %	Ash Ash Com., %	Total Loss %	Ash Loss %	Organic Loss %		
1	1-2a	27-00-01	10-00	10-00	60	15	4.0	0.0	4.4	4.0	5.2	4.4	4.4	24	16	0.5	0.5	0.5	0.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	12.55	1.10	7.25		
2	1-2c	27-00-01	11-12	10-00	45	8	7.2	3.0	0.0	4.4	4.8	4.5	16	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	10.0	10.0	10.0		
3	1-2d	27-00-01	12-12	10-00	45	8	7.2	3.0	0.0	4.4	5.0	4.5	16	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
4	1-2e	27-00-01	13-12	10-00	45	8	7.2	3.0	0.0	4.4	5.0	4.5	16	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
5	1-2f	27-00-01	14-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6	1-2g	27-00-01	15-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	1-2h	27-00-01	16-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8	1-2i	27-00-01	17-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
9	1-2j	27-00-01	18-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1-2k	27-00-01	19-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11	1-2l	27-00-01	20-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
12	1-2m	27-00-01	21-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
13	1-2n	27-00-01	22-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
14	1-2o	27-00-01	23-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1-2p	27-00-01	24-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
16	1-2q	27-00-01	25-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
17	1-2r	27-00-01	26-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
18	1-2s	27-00-01	27-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
19	1-2t	27-00-01	28-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1-2u	27-00-01	29-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
21	1-2v	27-00-01	30-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
22	1-2w	27-00-01	31-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
23	1-2x	27-00-01	32-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
24	1-2y	27-00-01	33-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	1-2z	27-00-01	34-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
26	1-2aa	27-00-01	35-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
27	1-2ab	27-00-01	36-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
28	1-2ac	27-00-01	37-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
29	1-2ad	27-00-01	38-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
30	1-2ae	27-00-01	39-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
31	1-2af	27-00-01	40-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
32	1-2ag	27-00-01	41-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
33	1-2ah	27-00-01	42-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
34	1-2ai	27-00-01	43-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
35	1-2aj	27-00-01	44-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
36	1-2ak	27-00-01	45-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
37	1-2al	27-00-01	46-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
38	1-2am	27-00-01	47-00	10-00	50	8	8.0	9.0	0.0	4.4	5.5	5.0	24	21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
39	1-2an	27-00-01	48-00	10-00																												

Bowater Gatineau ERIC and Brightness measurements						
Column rotation						
Date: Sept-Oct 2004						
Summary						
Sample	Sample Type	Mean Brightness PM # 6 sicc whitewater	Mean ERIC	Change in Brightness units	Change in ERIC units	ERIC Removal %
BG 1-2a	feed	56.44	195.05			
BG 1-1	feed	57.77	169.40			
	accept	59.81	101.40	2.14	68.00	40.1%
BG 1-2b	feed	58.47	195.80			
	accept	60.62	101.20	2.19	69.20	35.4%
BG 1-3	feed	60.51	64.00	4.04	100.70	51.5%
	accept	59.22	103.00	2.75	93.60	47.9%
BG 2-1	feed	55.52	208.90			
	accept	57.65	130.00	2.08	70.90	37.2%
BG 4-1	accept	62.06	44.70	6.49	102.20	78.4%
BG 2-2	accept	58.77	100.20	3.20	106.70	61.6%
BG 3-1	feed	56.55	121.00	2.04	74.50	38.7%
BG 3-1a	feed	57.99	121.10	2.04	74.50	38.7%
BG 3-2	accept	66.99	136.60	1.04	59.00	30.0%
BG 3-3	accept	67.50	129.30	1.65	66.30	18.0%
BG 6-1	feed	67.62	148.20			
	accept	57.73	126.80	0.11	19.40	55.9%
	reject	44.95	564.20	-12.67	-118.00	-285.8%
BG 6-2	accept	58.01	71.00	0.97	25.70	71.7%
	reject	45.50	571.00	-12.12	-564.30	-1088.0%
BG 6-4a	feed	58.09	170.50			
	accept	58.96	137.00	0.17	33.90	70.0%
BG 6-4b	accept	57.35	136.40	-0.73	34.60	70.2%
	reject	43.27	720.90	-14.82	-550.00	-321.8%
BG 6-3	accept	57.35	142.10	-0.83	28.80	68.9%
	reject	42.05	719.10	-15.54	-548.20	-320.0%
BG 6-6	feed	52.13	113.00	1.34	77.00	45.7%
	reject	42.27	712.80	-18.52	-541.70	-317.6%
BG 6-4	feed	57.59	153.50			
	accept	60.60	113.70	2.01	39.86	26.0%
	reject	43.10	624.10	-14.48	-470.54	-3.06%
BG 6-12	accept	68.67	106.70	1.08	48.86	30.9%
BG 6-7	feed	56.06	175.20			
	accept	59.44	44.10	3.88	84.50	46.2%
	reject	42.27	680.40	-13.79	-515.66	-23.5%
BG 6-8	feed	56.55	133.00			
	accept	60.33	69.50	1.78	84.10	18.0%
	reject	40.60	651.00	-17.95	-517.40	-387.5%
BG 6-9	accept	58.26	111.93	-0.29	22.00	16.5%
	reject	40.64	711.00	-18.11	-575.00	-431.1%
BG 6-10	feed	50.70	115.50	0.58	18.18	13.5%
	reject	40.06	752.10	-17.93	-616.30	-460.2%
BG 6-11	feed	58.16	132.70			
	accept	58.74	94.60	0.58	30.10	26.7%
	reject	40.34	690.20	-17.82	-587.50	-420.1%
BG 6-13	accept	58.46	100.30	0.30	32.40	24.4%
	reject	40.23	681.20	-17.84	-584.58	-429.4%
BG 6-14	feed	50.56	115.00	0.70	93.70	40.5%
	reject	40.92	654.00	-17.24	-621.30	-392.5%
BG 9-1	feed	57.38	157.00			

	reject	36,80	639,10		
Central Whitewater					
BG 1-5	feed	58,73	160,10		
	accept	58,49	94,10	2,78	66,00
BG 1-8	accept	60,30	69,70	3,67	90,40
BG 1-7	accept	60,29	71,70	3,58	88,40
BG 4-2	accept	63,18	33,10	6,45	127,00
BG 3-4	feed	56,80	162,40		
BG 3-4	accept	58,90	80,75	2,96	114,90
BG 8-1	feed	57,20	132,70		
	reject	57,86	108,10	0,46	28,80
	reject	44,01	598,30	-13,19	-463,60
BG 8-3	accept	58,31	82,00	1,11	50,70
	reject	44,18	558,80	-13,04	-423,90
BG 8-7	accept	57,19	109,30	-0,01	23,40
	reject	44,58	577,80	-12,62	-445,10
BG 8-2	feed	56,39	161,30		
	accept	57,54	106,50	1,15	54,80
	reject	43,98	620,00	-12,43	-459,00
BG 8-4	accept	58,24	83,60	1,85	77,70
	reject	44,74	538,10	-1,85	-372,50
BG 8-5	accept	58,05	71,30	2,65	80,00
	reject	43,07	694,80	-13,32	-433,60
BG 8-6	accept	58,81	75,00	2,52	86,30
	reject	44,30	549,80	-12,09	-368,30
BG 8-8	accept	57,55	100,60	1,18	60,70
	reject	42,99	648,50	-13,40	-487,20
BG 8-9	feed	55,95	167,90		
	accept	56,27	134,90	0,32	33,00
	reject	41,30	728,90	-14,56	-581,00
BG 8-16	accept	56,71	119,70	0,76	48,20
	reject	42,81	654,40	-13,34	-486,50
BG 8-15	feed	66,55	167,10		
	accept	57,54	123,80	0,99	33,98
	reject	42,53	666,80	-14,02	-469,60
BG 8-20	accept	57,63	127,10	1,08	40,00
	reject	42,83	696,30	-13,92	-528,20
BG 8-12	accept	60,94	65,80	4,39	101,30
	reject	45,90	447,30	-10,85	-280,20
BG 8-10	accept	59,72	86,60	3,17	80,50
	reject	44,28	538,40	-12,27	-371,30
BG 8-13	feed	57,15	165,40		
	accept	59,06	96,10	1,91	69,30
	reject	43,89	568,60	-13,16	-401,10
BG 8-17	accept	59,50	85,40	2,35	80,00
	reject	44,83	561,10	-12,52	-362,70
BG 8-11	feed	57,43	170,90		
	accept	58,93	87,10	2,63	83,80
	reject	43,82	585,80	-13,86	-414,80
BG 8-18	accept	59,77	77,70	2,47	93,20
	reject	44,04	591,90	-13,26	-421,00
BG 8-19	accept	60,71	63,20	3,41	107,70
	reject	45,88	482,50	-11,42	-291,80
BG 8-14	accept	60,30	70,30	3,00	100,60
	reject	44,67	514,30	-12,63	-343,40
BG 8-21	accept	57,91	110,30	0,61	60,60
	reject			-5,30	170,90
BG 22A	feed	58,70	138,00		
	accept	59,10	120,00	0,40	19,00
	reject	44,30	577,80	-14,40	-438,80
BG 22 B	feed	58,50	136,00		

	reject	36,80	639,10		
Central Whitewater					
BG 1-5	feed	58,73	160,10		
	accept	58,49	94,10	2,78	66,00
BG 1-8	accept	60,30	69,70	3,67	90,40
BG 1-7	accept	60,29	71,70	3,58	88,40
BG 4-2	accept	63,18	33,10	6,45	127,00
BG 3-4	feed	56,80	162,40		
BG 3-4	accept	58,90	80,75	2,96	114,90
BG 8-1	feed	57,20	132,70		
	reject	57,86	108,10	0,46	28,80
	reject	44,01	598,30	-13,19	-463,60
BG 8-3	accept	58,31	82,00	1,11	50,70
	reject	44,18	558,80	-13,04	-423,90
BG 8-7	accept	57,19	109,30	-0,01	23,40
	reject	44,58	577,80	-12,62	-445,10
BG 8-2	feed	56,39	161,30		
	accept	57,54	106,50	1,15	54,80
	reject	43,98	620,00	-12,43	-459,00
BG 8-4	accept	58,24	83,60	1,85	77,70
	reject	44,74	538,10	-1,85	-372,50
BG 8-5	accept	58,05	71,30	2,65	80,00
	reject	43,07	694,80	-13,32	-433,60
BG 8-6	accept	58,81	75,00	2,52	86,30
	reject	44,30	549,80	-12,09	-368,30
BG 8-8	accept	57,55	100,60	1,18	60,70
	reject	42,99	648,50	-13,40	-487,20
BG 8-9	feed	55,95	167,90		
	accept	56,27	134,90	0,32	33,00
	reject	41,30	728,90	-14,56	-581,00
BG 8-16	accept	56,71	119,70	0,76	48,20
	reject	42,81	654,40	-13,34	-486,50
BG 8-15	feed	66,55	167,10		
	accept	57,54	123,80	0,99	33,98
	reject	42,53	666,80	-14,02	-469,60
BG 8-20	accept	57,63	127,10	1,08	40,00
	reject	42,83	696,30	-13,92	-528,20
BG 8-12	accept	60,94	65,80	4,39	101,30
	reject	45,90	447,30	-10,85	-280,20
BG 8-10	accept	59,72	86,60	3,17	80,50
	reject	44,28	538,40	-12,27	-371,30
BG 8-13	feed	57,15	165,40		
	accept	59,06	96,10	1,91	69,30
	reject	43,89	568,60	-13,16	-401,10
BG 8-17	accept	59,50	85,40	2,35	80,00
	reject	44,83	561,10	-12,52	-362,70
BG 8-11	feed	57,43	170,90		
	accept	58,93	87,10	2,63	83,80
	reject	43,82	585,80	-13,86	-414,80
BG 8-18	accept	59,77	77,70	2,47	93,20
	reject	44,04	591,90	-13,26	-421,00
BG 8-19	accept	60,71	63,20	3,41	107,70
	reject	45,88	482,50	-11,42	-291,80
BG 8-14	accept	60,30	70,30	3,00	100,60
	reject	44,67	514,30	-12,63	-343,40
BG 8-21	accept	57,91	110,30	0,61	60,60
	reject			-5,30	170,90
BG 22A	feed	58,70	138,00		
	accept	59,10	120,00	0,40	19,00
	reject	44,30	577,80	-14,40	-438,80
BG 22 B	feed	58,50	136,00		

accept	58,50	124,50	0,00	11,50	8,5%
reject	44,19	574,20	-14,31	438,20	-322,2%
BG 22 C	feed	68,35	132,50		
	accept	58,95	106,00	0,60	28,50 20,0%
	reject	44,82	550,60	-13,53	-418,10 -315,5%
BG 22 D	feed	58,40	131,00		
	accept	58,95	106,00	0,55	25,00 19,1%
	reject	45,74	485,80	-12,66	-354,80 -270,8%

<b>Bowater Gatineau</b>					
<b>DCM Extractives</b>					
<b>Column flotation</b>					
Date: Sept-Oct. 2004					
<b>Summary</b>					
Sample	Sample Type	DCM Extracts, %	Change in DCM extracts	Densification Efficiency %	
PM # 8 sift whitewater	feed	No sample			
BG 1-2a	feed	2,27			
BG 1-1	feed	2,44	0,83	38,6%	
BG 1-2b	feed	2,28			
	accept	1,31	1,57	54,8%	
BG 1-3	accept	1,25	1,53	50,6%	
BG 1-4	accept	1,24	1,54	57,0%	
BG 2-1	feed	1,78			
	accept	1,10	0,69	38,4%	
BG 4-1	accept	0,22	1,57	37,8%	
BG 2-2	accept	0,81	0,97	64,3%	
BG 3-1a	feed	1,62			
	accept	0,97	0,85	46,5%	
BG 3-1b	accept	1,03	0,76	41,0%	
BG 3-3	accept	1,01	0,81	34,7%	
BG 8-1	feed	1,90			
	accept	1,66	0,30	15,2%	
	reject	9,04	-0,08	-30,0%	
BG 6-2	accept	0,71	0,53	21,6%	
	reject	8,58	-7,02	-386,3%	
BG 8-4a	feed	2,12			
	accept	1,50	0,62	29,0%	
	reject	2,45	-0,55	-31,6%	
BG 8-4b	accept	1,45	0,67	31,6%	
	reject	6,92	-4,80	-226,6%	
BG 6-3	accept	1,34	0,78	36,6%	
	reject	6,36	-4,24	-200,1%	
BG 6-5	accept	1,05	0,54	34,4%	
	reject	6,86	-4,74	-223,6%	
BG 6-7	accept	0,97	1,15	54,2%	
	reject	6,94	-4,82	-227,5%	
BG 6-5	feed	2,39			
	accept	1,10	0,68	35,8%	
	reject	9,50	-2,20	-30,5%	
BG 6-12	accept	1,29	1,10	46,0%	
	reject	No sample	#VALEUR!	#VALEUR!	
BG 8-8	feed	2,21			
	accept	0,65	1,38	61,6%	
	reject	7,34	-5,13	-231,8%	
BG 8-9	accept	1,50	0,65	26,6%	
	reject	8,66	-6,34	-265,9%	
BG 8-10	accept	1,57	0,64	20,0%	
	reject	8,76	-6,55	-248,1%	
BG 6-11	accept	No sample	#VALEUR!	#VALEUR!	

D:\Documents and Settings\domkey\cocar\Settings\Temporary Internet Files\OLK2\Column Rotations\mar 22 2007.xls

accept	1,43	0,62	30,3%	
reject	9,00	-6,05	-336,1%	
BG 6-13	accept	1,62	0,43	27,0%
	reject	9,51	-7,46	-364,1%
BG 6-14	accept	0,91	1,14	55,8%
	reject	0,20	-7,16	-348,8%
BG 9-1	feed	1,75		
	accept	1,42	0,33	18,9%
BG 6-15	feed	2,41		
	accept	1,71	0,50	22,6%
	reject	11,88	-9,47	-429,5%
BG 6-16	accept	1,25	0,95	43,2%
	reject	3,64	-1,44	-35,0%
BG 6-25	accept	1,13	0,51	20,6%
	reject	11,33	-9,12	-413,4%
BG 6-17	feed	1,44		
	accept	1,29	0,15	10,6%
	reject	No sample	#VALEUR!	#VALEUR!
BG 6-18	feed	1,40		
	accept	0,47	0,63	37,9%
	reject	5,81	-4,21	-301,0%
BG 6-21	accept	1,02	0,38	27,4%
	reject	5,26	-3,88	-275,6%
BG 6-22	accept	0,75	0,61	21,3%
	reject	5,65	-3,46	-271,6%
BG 6-23	accept	0,65	0,75	53,6%
	reject	5,09	-3,69	-263,7%
BG 6-19	feed	No sample	#VALEUR!	#VALEUR!
	accept	1,58	#VALEUR!	#VALEUR!
	reject	2,41	#VALEUR!	#VALEUR!
BG 6-20	accept	1,29	#VALEUR!	#VALEUR!
	reject	6,92	#VALEUR!	#VALEUR!
BG 6-24, 7-6	feed	1,75		
	accept	0,68	1,07	61,3%
	reject	7,72	-5,67	-351,1%
BG 7-1	accept	1,45	0,21	12,0%
	reject	8,20	-6,48	-369,6%
BG 7-2	accept	1,21	0,64	30,8%
	reject	8,22	-6,47	-370,6%
BG 7-3	accept	0,89	0,85	48,9%
	reject	8,15	-6,41	-329,6%
BG 7-4	accept	0,61	1,13	54,6%
	reject	8,92	-7,17	-411,1%
BG 6-26	feed	2,28		
	accept	1,33	0,85	41,7%
	reject	9,00	-7,00	-311,6%
BG 6-27	accept	1,22	1,06	40,6%
	reject	8,66	-8,38	-279,3%
BG 6-28	feed	1,83		
	accept	1,52	0,11	1%
	reject	9,13	-7,40	-369,6%
BG 6-29	accept	1,11	0,52	20,5%
	reject	8,90	-7,07	-368,7%
BG 23 a	feed	2,16		

D:\Documents and Settings\domkey\cocar\Settings\Temporary Internet Files\OLK2\Column Rotations\mar 22 2007.xls

	accept	1,80	0,59	27,1%
BG 23 b	reject	7,85	-5,47	-260,0%
	feed	1,95		
	accept	1,57	0,37	19,2%
	reject	8,00	-6,06	-311,1%
BG 23 c	feed	2,08		
	accept	1,41	0,67	32,3%
	reject	8,08	-5,99	-287,5%
BG 23 d	feed	1,98		
	accept	1,55	0,43	21,7%
	reject	8,02	-6,04	-305,0%
<b>Central Whitewater</b>				
BG 1-5	feed	2,15		
	accept	0,72	1,43	66,7%
BG 1-6	accept	0,81	1,54	71,5%
BG 1-7	accept	0,68	1,47	68,5%
BG 4-2	accept	0,29	1,86	86,6%
BG 3-4	feed	2,15		
	accept	0,69	1,46	67,8%
BG 8-1	feed	1,88		
	accept	1,35	0,53	28,1%
	reject	8,26	-6,38	-338,8%
BG 8-3	accept	1,06	0,83	43,8%
	reject	8,00	-6,11	-324,6%
BG 8-7	accept	1,08	0,80	42,5%
	reject	7,25	-5,37	-285,0%
BG 8-2	feed	1,87		
	accept	1,15	0,73	38,8%
	reject	7,60	-5,73	-306,2%
BG 8-4	accept	0,80	1,07	57,1%
	reject	6,70	-4,83	-257,7%
BG 8-5	accept	0,89	1,19	63,3%
	reject	6,29	-4,42	-235,8%
BG 8-6	accept	0,54	1,33	71,0%
	reject	6,64	-4,77	-254,6%
BG 8-8	accept	1,01	0,86	45,9%
	reject	6,83	-4,96	-264,9%
BG 8-9	feed	2,09		
	accept	1,54	0,55	26,4%
	reject	8,38	-6,29	-300,1%
BG 8-16	accept	1,14	0,96	45,8%
	reject	7,45	-5,35	-255,5%
BG 8-15	feed	2,42		
	accept	1,96	0,46	18,9%
	reject	8,26	-5,84	-241,1%
BG 8-20	accept	1,63	0,80	32,9%
	reject	7,15	-4,72	-193,0%
BG 8-12	accept	0,78	1,05	67,9%
	reject	6,74	-4,32	-178,3%
BG 8-10	accept	1,30	1,13	48,5%
	reject	7,50	-5,17	-213,5%
BG 8-13	feed	2,38		
	accept	1,21	1,17	49,3%
	reject	7,69	-5,31	-223,0%
D:\Documents and Settings\dionney\Local Settings\Temporary Internet Files\OLK2\Column flotation.xls mar 22 2007.xls				

BG 8-17	accept	1,05	1,34	56,1%
	reject	7,82	-5,24	-219,8%
BG 8-11	feed	2,28		
	accept	1,04	1,24	54,3%
	reject	7,25	-4,97	-218,4%
BG 8-18	accept	0,78	1,50	65,7%
	reject	7,37	-5,09	-223,6%
BG 8-19	accept	0,64	1,64	72,1%
	reject	6,10	-3,83	-168,0%
BG 8-14	accept	0,76	1,52	66,8%
	reject	6,16	-3,88	-170,6%
BG 8-21	accept	1,20	1,08	47,5%
	reject			
BG 22A	feed	2,62		
	accept	2,08	0,54	20,6%
	reject	7,58	-4,95	-189,7%
BG 22 B	feed	2,54		
	accept	2,18	0,36	14,0%
	reject	7,66	-5,12	-201,5%
BG 22 C	feed	2,13		
	accept	1,69	0,44	20,7%
	reject	8,64	-6,51	-306,5%
BG 22 D	feed	2,29		
	accept	1,56	0,73	31,8%
	reject	7,51	-5,22	-228,1%