

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

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

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

PAR  
CHRISTINE ANTOINE

OPTIMISATION DE L'ÉTAT DE SURFACE DES PAPIERS SUPERCALANDRÉS  
(GRADE SCA) POUR L'IMPRESSION HÉLIOGRAVURE

MARS 1996

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

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

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

## REMERCIEMENTS

Je remercie mes deux directeurs de recherche Patrice Mangin (Paprican/UQTR) et Jacques Valade (UQTR) sans qui je n'aurais pas eu l'opportunité de venir au Québec effectuer cette maîtrise et qui ont toujours été disponibles quand il le fallait.

Je remercie également Lake Superior Paper Industry pour le financement de ce projet conjoint LSPI/Paprican/UQTR. De plus, les ingénieurs de LSPI et plus spécifiquement Kenneth Chartier ont fait preuve d'un esprit d'équipe peu commun en facilitant la mise en route des essais demandés et en répondant sans retenue aux questions de tout ordre.

Merci à Marie-Claude Béland (Paprican) et Michael MacGregor (Voith Sulzer Paper Technology), directement impliqués dans le projet et qui avec Patrice Mangin et Julie Dalphond (Paprican) ont été de très bon conseil tout au long de ce projet.

Je remercie Josiane Chasle (Paprican) pour son aide technique au microscope confocal et sa grande disponibilité de façon générale, ainsi que Christine Barratte pour son aide en analyse d'images et son soutien.

Plus généralement, je remercie tout le personnel de Paprican, chercheurs et techniciens pour leurs gentillesse et disponibilité, leurs aide et conseils que se soit d'un point de vue scientifique ou technique lors de la réalisation des nombreux essais physiques que j'ai effectués.

## RÉSUMÉ

Les papiers supercalandrés sont souvent utilisés pour l'impression héliogravure. Le moyen le plus employé pour quantifier la qualité d'impression en héliogravure est le comptage des points de trame qui n'ont pas été imprimés. L'utilisation de la microscopie confocale a permis de visualiser l'origine de ces points manquants. 115 structures sous-jacentes de points manquants ont en effet été observées et classifiées. Des pores de surface sont généralement présents (98 % des cas) où les points ne sont pas imprimés. Leur diamètre est situé entre 30 et 50 µm de large, leur profondeur entre 2 et 12 µm. Ils sont dans 78 % des cas entourés de fibres larges légèrement proéminentes à la surface du papier. Ces fibres peuvent être croisées ou non. Des amas de charges minérales peuvent également former de petites bosses à proximité de ces pores et, ainsi, entraver le contact encre-papier lors de l'impression. La présence de fibres larges, peu fibrillées et la mauvaise répartition des charges sont donc les principales causes de points manquants. La mauvaise répartition des charges se caractérise par deux phénomènes : la formation d'amas à la surface du papier et le non colmatage des pores le long des fibres. Un moyen de réduire le nombre de points manquants est donc de diminuer la quantité de fibres larges, peu fibrillées à la surface du papier. Après comparaison de deux essences de bois utilisées dans la pâte mécanique de meule sous pression, principale composante des papiers supercalandrés fabriqués à LSPI, il est apparu que le sapin baumier (*Abies Balsamea*) qui contient moins de longues fibres

que l'épinette noire (*Picea Mariana*) est une essence plus appropriée pour obtenir une bonne qualité d'impression en héliogravure. L'utilisation de sapin permet en effet d'obtenir un papier de formation plus uniforme et à lissé plus élevé. Lors de l'impression, il est de plus recommandé d'utiliser l'assistance électrostatique qui permet à l'encre d'atteindre des pores plus profonds et donc de réduire le nombre de points manquants. Dans l'intention de faire une étude plus théorique, de la pâte mécanique de meule a été fractionnée à l'aide d'un Bauer-McNett. Masse linéique et longueur de fibres moyennes des différentes fractions obtenues ont été quantifiées. Rugosité et compressibilité de formettes anglaises fabriquées avec chacune des fractions ont été mesurées. Différentes relations ont alors été mises en évidence. Masse linéique et carré de la longueur des fibres sont reliés par une relation linéaire tout comme la rugosité et la compressibilité des formettes. Une relation en racine énième relie également rugosité et longueur des fibres.

MOTS-CLÉS : Rugosité - Compressibilité - Qualité d'impression - Héliogravure - Pâte de meule sous pression - Sapin baumier - Épinette noire - Microscopie confocale - Papiers supercalandrés.

**TABLE DES MATIÈRES**

REMERCIEMENTS .....	i
RÉSUMÉ .....	ii
TABLE DES MATIÈRES .....	iv
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES FIGURES .....	x
LISTE DES SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS .....	xiii
CHAPITRE I            INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE II            LA MICROSCOPIE CONFOCALE .....	11
2.1.     Principe .....	11
2.2.     Caractéristiques du microscope confocal LEICA utilisé .....	12
2.2.1.   La source lumineuse .....	12
2.2.2.   Le second trou de diffraction .....	12
2.2.3.   La formation de l'image en XY .....	12
2.2.4.   Le balayage dans la direction Z .....	13
2.2.5.   La résolution .....	14
2.2.6.   La répétabilité .....	14
2.3.     Mesures de rugosité .....	14
2.4.     La compressibilité .....	16

2.4.1.	Appareillage . . . . .	16
2.4.2.	Évaluation de la compressibilité de surface . . . . .	18
 CHAPITRE III            STRUCTURES SOUS-JACENTES DES POINTS MANQUANTS . . . . .		19
3.1.	But de l'étude . . . . .	19
3.2.	Échantillonnage . . . . .	20
3.2.1.	Première étude . . . . .	20
3.2.2.	Seconde étude . . . . .	21
3.3.	Mesures effectuées . . . . .	21
3.3.1.	Première étude . . . . .	21
3.3.2.	Seconde étude . . . . .	22
3.3.3.	Remarque . . . . .	23
3.4.	Résultats et discussion . . . . .	23
3.4.1.	Classification qualitative . . . . .	23
3.4.2.	La topographie des pores . . . . .	30
3.5.	Conclusion . . . . .	37
 CHAPITRE IV            ÉTUDE DE LA PÂTE DE MEULE SOUS PRESSION . . .		40
4.1.	But de l'étude . . . . .	40
4.2.	Procédé de fabrication de la pâte PGW . . . . .	41
4.3.	Prélèvements et mesures effectués . . . . .	43
4.3.1.	Prélèvements . . . . .	43
4.3.2.	Mesures . . . . .	43

4.4.	Résultats et discussion . . . . .	46
4.4.1.	Évolution de la pâte au cours du procédé de fabrication . . . . .	46
4.4.2.	Étude de la pâte fractionnée au BMN . . . . .	48
4.4.3.	Évolution de la compressibilité et de la rugosité CLSM des différentes classes de fibres . . . . .	57
4.5.	Conclusion . . . . .	59
 <b>CHAPITRE V</b>	 <b>COMPARAISON DE DEUX ESSENCES :</b> <b>SAPIN BAUMIER, ÉPINETTE NOIRE . . . . .</b>	 <b>61</b>
5.1.	But de l'étude . . . . .	61
5.2.	Échantillonnage disponible et mesures effectuées . . . . .	62
5.2.1.	Essais en usine . . . . .	62
5.2.2.	Prélèvements . . . . .	63
5.2.3.	Mesures effectuées . . . . .	63
5.3.	Résultats et discussion . . . . .	64
5.3.1.	Étude de la pâte . . . . .	64
5.3.2.	Étude sur les formettes anglaises . . . . .	66
5.3.3.	Les papiers industriels . . . . .	66
5.3.4.	Imprimés commerciaux . . . . .	72
5.4.	Conclusion . . . . .	72
 <b>CONCLUSION GÉNÉRALE . . . . .</b>	 <b>78</b>	
 <b>BIBLIOGRAPHIE . . . . .</b>	 <b>82</b>	
 <b>ANNEXES</b>		
A-	Tests pratiqués sur les pâtes et les papiers utilisés	

- B- Programme Turbo-Pascal pour le calcul de la rugosité  $G_3$
- C- Compressibilité CLSM : préparation des échantillons et mesures
- D- Analyse de la qualité d'impression des 15 imprimés héliogravure de la première étude, chapitre 3
- E- Rapports, séminaires reliés au projet

## LISTE DES TABLEAUX

3.1	Caractéristiques des imprimés, première étude . . . . .	20
3.2	Caractéristiques des imprimés, deuxième étude . . . . .	21
3.3	Caractéristiques des séries de mesures, première étude. . . . .	22
3.4.	Structures sous-jacentes des points manquants; présence de fibres et charges en fonction de la papeterie d'origine (étude 1) . . . . .	29
3.5	Structures sous-jacentes des points manquants; présence de fibres et charges en fonction de la salle d'impression (étude 1). . . . .	29
3.6	Structures sous-jacentes des points manquants; présence de fibres et charges en fonction du papier et de la face considérés (étude 2). . . . .	29
3.7	Rugosité $G_3$ moyenne sur cinq mesures, première étude. . . . .	31
3.8	Rugosité moyennes $G_3$ et écart-types, deuxième étude . . . . .	33
3.9	Dénivellations moyennes $P_{max}$ et écart-types, deuxième étude . . . . .	33
3.10	Facteurs significatifs sur la rugosité $G_3$ , deuxième étude. . . . .	34
3.11	Facteurs significatifs sur la hauteur $P_{max}$ , deuxième étude . . . . .	35
3.12	Pourcentage de points manquants pour les imprimés 5, 6 et 8 (étude 1) . . .	37
4.1	Mesures effectuées pour l'étude de la pâte PGW. . . . .	45
4.2	Classage des fibres des prélèvements A1 à G au Bauer-McNett. . . . .	47
4.3	Régression linéaire entre $\lambda$ et $L_f^2$ . . . . .	50
4.4	Rugosités PPS des fractions BMN, pâte A1 . . . . .	52
4.5	Rugosités PPS des fractions BMN, pâte E . . . . .	53

4.6	Rugosités PPS des fractions BMN, pâte F.....	53
4.7	Coefficient de corrélation R <sup>2</sup> des régressions entre rugosité et L <sub>f</sub> .....	55
4.8	Rugosité PPS de la fraction P200 extrapolée (équation 4.7).....	56
4.9	Compressibilité statique K <sub>s</sub> et rugosité G <sub>3</sub> de la pâte F.....	57
5.1	Mesures effectuées pour l'étude des pâtes pures .....	64
5.2	Classage au Bauer-McNett des pâtes de sapin b. et épinette n. ....	65
5.3	Rugosité PPS des formettes de pâte de sapin b. et épinette n. ....	66
5.4	Rugosité PPS des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n. ....	68
5.5	Rugosité G <sub>3</sub> des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n. ....	70
5.6	Héliotest des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n. ....	71
5.7	Quantité relative de charges sur les surfaces des papiers à base de sapin b. et épinette n. ....	72

## LISTE DES FIGURES

1.1	Principe de l'héliogravure . . . . .	2
1.2	Mesure de Ra . . . . .	5
1.3	Mesure de Rz . . . . .	5
1.4	Mesure de rugosité $G_n$ . . . . .	6
2.1	Principe du microscope confocal . . . . .	11
2.2	Image topographique d'un papier supercalandré acquise avec le CLSM . . . . .	13
2.3	Pore Équivalent de Surface (ESP) . . . . .	16
2.4	Appareil de compressibilité . . . . .	17
3.1	Structures sous-jacentes des points manquants . . . . .	24
3.2	Croisement de fibres . . . . .	24
3.3	Croisement de fibres et amas de charges . . . . .	24
3.4	Fibre(s) large(s) . . . . .	25
3.5	Fibre(s) large(s) et amas de charges . . . . .	25
3.6	Pore large . . . . .	25
3.7	Amas de charges . . . . .	25
3.8	Surface plane . . . . .	26
3.9	Bonne impression . . . . .	26
3.10	Répartition des largeurs des fibres bordant les pores de surface à l'origine des points manquants . . . . .	27

3.11	Schéma de croisement de fibres (poutres) . . . . .	28
3.12	Schéma de dépressions causées par le présence d'amas de charges. . . . .	28
3.13	Dénivellation Pmax . . . . .	32
3.14	Influence des principaux effets sur la rugosité $G_3$ , deuxième étude . . . . .	36
3.15	Influence des principaux effets sur la hauteur Pmax, deuxième étude . . . . .	36
3.16	Pore équivalent de surface pour trois différents papiers supercalandrés . . . . .	38
4.1	Étapes de fabrication de la pâte de meule sous pression . . . . .	42
4.2	Prélèvements effectués lors de la fabrication de la pâte mécanique . . . . .	44
4.3	Classage des fibres des prélèvements A1 à G au Bauer-McNett. . . . .	48
4.4	Caractéristiques des fractions BMN des pâtes A1, E, F . . . . .	49
4.5	Relation entre masse linéique et longueur des fibres. . . . .	50
4.6	Fibre dont le lumen est écrasé . . . . .	51
4.7	Rugosité PPS en fonction de la longueur des fibres, pâte F. . . . .	54
4.8	Rugosité CLSM en fonction de la longueur des fibres, pâte F . . . . .	55
4.9	Compressibilité statique $K_s$ en fonction de la rugosité $G_3$ . . . . .	58
5.1	Classage au Bauer-McNett des pâtes de sapin b. et épinette n. . . . .	65
5.2	Rugosité PPS des formettes de pâte de sapin b. et épinette n. . . . .	67
5.3	Rugosité PPS des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n. . . . .	68
5.4	Images topographiques (CLSM) représentatives des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n. . . . .	69
5.5	Micrographies prises au MEB du papier à base de sapin baumier, côté feutre. . . . .	73
5.6	Micrographies prises au MEB du papier à base de sapin baumier, côté toile. . . . .	74

5.7	Micrographies prises au MEB du papier à base d'épinette noire, côté feutre. . . . .	75
5.8	Micrographies prises au MEB du papier à base d'épinette noire, côté toile. . . . .	76

## LISTE DES SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

BMN	Bauer-McNett; appareil servant à fractionner les pâtes.
cf.	Confère.
CLSM	"Confocal Laser Scanning Microscope"; microscope confocal.
CSF	"Canadian Standard Freeness"; mesure caractérisant le degré de raffinage de la pâte.
CTP	Centre Technique du Papier ; Grenoble, France.
éd.	édition.
EFPIG	École Française de Papeterie et des Industries Graphiques; Grenoble, France.
ESA	"Electrostatic Assist"; assistance électrostatique utilisée en héliogravure.
ESP	"Equivalent Surface Pore"; le pore équivalent de surface est une modélisation de la surface du papier (P.J. Mangin).
i.e.	id est; c'est-à-dire.
IGT	Instituut von Graphische Tecknologie; Hollande.
KAM	Kontakt-Anteil-Messgerät; appareil de mesure de rugosité.
KL	Kunz & Lippke; appareil de mesure de rugosité.
LSPI	Lake Superior Paper Industry; papeterie basée à Duluth, Minnesota, USA.
MEB	Microscope électronique à balayage.
N°	Numéro.

PGW	"Pressurized Groundwood"; pâte de meule sous pression.
pp.	De la page ... à la page ...
PPS	Parker Print-Surf; appareil de mesure de rugosité.
RMP	"Refiner Mechanical Pulp"; pâte mécanique de raffineur.
SCA	Papiers supercalandrés, grade A.
SGW	"Stone Groundwood Pulp"; pâte de meule.
TMP	"Thermo Mechanical Pulp"; pâte thermomécanique.
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières.
vol.	Volume.

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

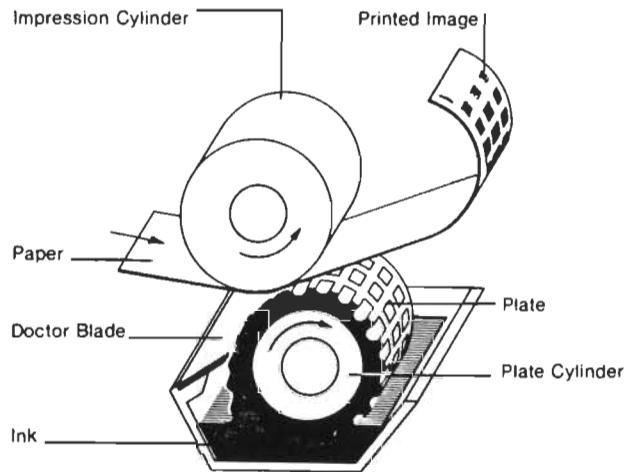
L'étude de l'état de surface des papiers supercalandrés de grade A (papiers SCA) en vue de leur impression en héliogravure est le sujet que nous allons aborder tout au long de notre étude. Le but étant de déterminer les liens éventuels existant entre la composition du papier, l'état de surface de celui-ci après sa fabrication et enfin, la qualité d'impression en héliogravure. Ceci est un projet commun LSPI - Paprican - UQTR.

Tout d'abord, voyons ce qu'est l'impression héliogravure et quel type de papiers il est conseillé d'utiliser pour ce genre d'impression. Ce procédé d'impression est utilisé principalement pour des gros tirages ( $> 750\,000$  exemplaires) ou l'impression d'art. C'est en effet un procédé coûteux mais qui permet d'obtenir une impression de qualité. Les catalogues de vente par correspondance, le papier peint et les timbres postes sont des exemples de produits ainsi imprimés. La quasi-totalité des presses sont des rotatives, il existe cependant des presses à feuilles.

L'héliogravure est un procédé d'impression en creux (1). Un cylindre de cuivre est gravé, généralement par un procédé électromécanique (hélioklichographe). À cette fin, un stylet de diamant est utilisé. La plupart du temps, les alvéoles gravées sont de surface et de profondeur variables. Plus le ton à reproduire est clair et plus les cellules seront de surface et profondeur réduites. Ainsi, le fait de pouvoir changer l'épaisseur du film d'encre (par la profondeur de la cellule) permet d'obtenir une plus grande palette de tons en comparaison des autres procédés d'impression. Dans de plus rares cas, les cellules sont uniquement de surface variable (héliogravure conventionnelle) ou uniquement de profondeur variable (héliogravure à transfert direct), (1). Par la suite, le cylindre est recouvert d'une couche de chrome protectrice.

Pour chaque couleur primaire, un cylindre est ainsi préparé. Lors de l'impression, celui-ci

est en partie immergé dans un bain d'encre (figure 1.1). Les cellules sont, par rotation du cylindre, emplies d'encre. Un racle permet d'en enlever l'excès déposé sur le rouleau. Cette encre est directement reportée sur le papier lorsque celui-ci passe dans la pince ("nip") qui est la ligne de contact entre le rouleau gravé, le papier et le rouleau de contre-pressure. Dans cette pince, la pression appliquée sur le papier est de l'ordre de 15 à 30 kgf/cm (2). Cette pression est plus faible que celles rencontrées dans les procédés offset et typographie.



**FIGURE 1.1 : Principe de l'héliogravure (1)**

Dans le but d'améliorer le report de l'encre sur le papier, on peut utiliser l'assistance électrostatique (ESA) au niveau de la pince. L'ESA consiste en l'application d'une différence de potentiel entre le rouleau de contre-pressure que l'on charge positivement et le rouleau encreur qui est relié à la terre. Une polarisation se forme alors à la surface du papier et de l'encre. Cette dernière qui, sans ESA tend à rester dans la cellule du fait des tensions de surface (ménisque concave), voit sa surface se déformer (ménisque convexe). Son contact avec le papier est alors amélioré, la qualité d'impression est accrue (3).

Un des meilleurs moyens d'obtenir un bonne qualité d'impression en héliogravure est avant tout d'utiliser un papier à lissé élevé afin que l'encre ait toutes les chances d'entrer en contact avec le papier. C'est pourquoi, les papiers supercalandrés sont parmi les papiers utilisés. Ces papiers sont généralement composés de pâte mécanique, de pâte kraft et de charges minérales. Les papiers supercalandrés contenant un taux de charges élevé (au moins 20 %) ont un lissé meilleur que les autres. On les dit de grade A (papiers SCA). Lors de leur fabrication ces papiers sont passés dans une supercalandre, à savoir une calandre hors machine constituée d'une série de rouleaux rigides alternés à des rouleaux élastiques. Ce sont les rouleaux rigides qui donnent le fini au papier. Après son passage dans une supercalandre, la feuille de papier obtenue a un lissé et un brillant élevés mais un bouffant (compressibilité) très réduit (4).

Comme nous l'avons mentionné auparavant, un bon lissé est la qualité essentielle que doit avoir un papier destiné à l'impression héliogravure. Il est donc tout aussi essentiel de pouvoir quantifier le lissé d'un papier au mieux et si possible de manière à ce que la valeur donnée soit en corrélation avec la qualité d'impression du papier. En fait, il est plus répandu de parler de mesures de rugosité du papier. Celle-ci est souvent donnée comme étant la distance moyenne entre la surface du papier et un plan de référence à définir. Les mesures et indices de rugosité augmentent avec la rugosité du papier contrairement aux mesures et indices de lissé qui diminuent lorsque la rugosité du papier augmente (5). Afin que les conditions de mesures de la rugosité soient représentatives de la qualité d'impression, un certain nombre d'appareils ont été conçus de telle façon que les conditions de mesures de la rugosité se rapprochent de celles de l'impression au niveau de la pince. Notamment, la vitesse de défilement du papier sous la pince et la pression à laquelle il est soumis sont des facteurs qui ont une grande influence sur l'état de surface du papier. Ceci est dû aux propriétés viscoélastiques du papier. Lorsque la mesure de rugosité est ponctuelle et coïncide avec l'application d'une pression instantanée sur le papier, la méthode de mesures sera alors dite dynamique. Les propriétés viscoélastiques du papier interviennent alors dans la mesure. Dans les autres cas, elle sera dite statique. Pour certaines méthodes de mesures statiques, le papier est tout de même soumis à une pression (ex :

certains appareils à écoulement d'air, appareils optiques à prisme), pour d'autres, aucune pression n'est appliquée (ex : interféromètres, microscope confocal).

De nombreux modèles ont été proposés pour représenter la rugosité du papier, mais les mesures les plus employées sont avant tout les normes ISO (6). Trois paramètres Ra, Rq et Rz sont définis dans la norme ISO 4287/1 - 1984 pour quantifier la rugosité d'une surface.

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad [1.1]$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L Y^2(x) dx} \quad [1.2]$$

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 Y_{p_i} - \sum_{i=1}^5 Y_{v_i} \right) \quad [1.3]$$

Ra est la moyenne arithmétique des écarts y du profil de surface par rapport à la ligne médiane dans les limites de la longueur de base L (figure 1.2).

Rq est la valeur moyenne quadratique des écarts du profil dans les limites de la longueur de base L.

Rz est la différence de hauteur moyenne entre les 5 pics les plus hauts et les 5 vallées les plus basses, dans les limites de la longueur de base L (figure 1.3)

D'autres fonctions statistiques peuvent être employées tels le coefficient d'asymétrie Sk et l'aplatissement Ek (7).

Il existe de plus l'équation fondamentale de la topographie (8) définie par :

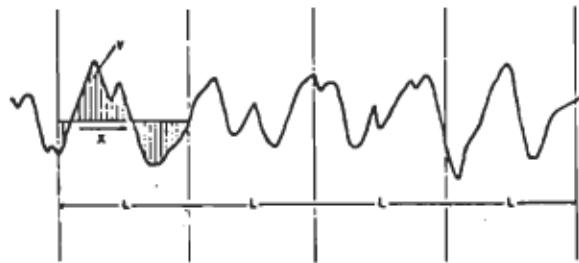


FIGURE 1.2 : Mesure de Ra

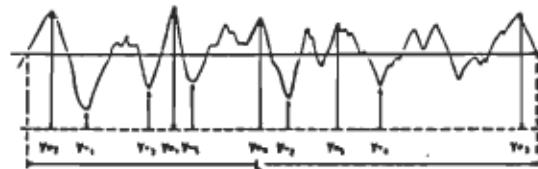


FIGURE 1.3 : Mesure de Rz

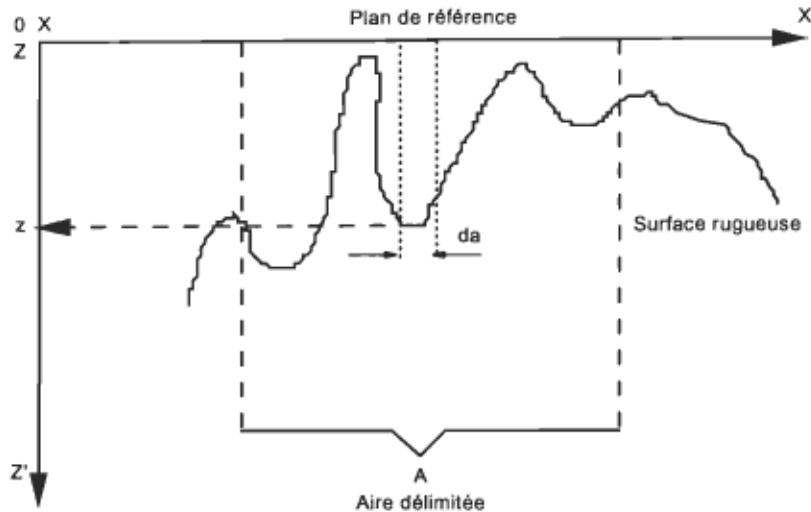
$$G_n = \left[ \frac{1}{A_0} \int z^n da \right]^{1/n} \quad [1.4]$$

avec :

- $G_n$  : rugosité d'ordre  $n$ , en micromètres dans le cas des papiers;
- $A$  : surface;
- $z$  : dépression de l'élément de surface  $da$  par rapport à une surface de référence cotée 0;
- $da$  : élément de surface;
- $n$  : exposant,  $n > 1$  (figure 1.4).

Plus la valeur de l'exposant  $n$  est élevée, plus la mesure de la rugosité de surface ainsi définie est biaisée par les pores à surface et/ou profondeur importantes. À la limite, lorsque  $n$  tend vers l'infini, la rugosité de la surface est égale à la taille du plus gros pore. La valeur de  $n$  dépend de la méthode de mesures. J. Parker estime à partir de la relation de Lamb-Shaw que la rugosité mesurée par écoulement d'air et plus précisément avec son

Parker Print-Surf (PPS), peut être modélisée par  $G_3$  (i.e.  $n=3$ ), (9). P.J. Mangin reprend cet ordre de  $G_n$  pour estimer la rugosité moyenne du papier à l'aide de différents profilomètres (tactile et CLSM), (8; 10).



**FIGURE 1.4 : Mesure de rugosité  $G_n$**

D'autres mesures existant dans la littérature tel le coefficient de Wenzel (7; 11), les transformées de Fourier et Walsh (12) et la dimension fractale (13; 14) sont peu employées. Nous ne les développerons pas ici. Comme nous allons l'expliquer plus loin, le PPS et le CLSM ayant été deux des appareils choisis pour effectuer nos mesures lors de ce projet, c'est la rugosité  $G_3$  que nous utiliserons pour caractériser la surface du papier.

Rechercher d'éventuels liens entre les caractéristiques de la pâte et l'état de surface du papier, but de cette étude, nécessite des moyens de mesures fiables pour caractériser pâtes et papiers. C'est pourquoi, afin de caractériser correctement la rugosité des papiers SCA, il nous est apparu nécessaire de faire un bilan des différents types d'appareils existant actuellement<sup>1</sup>.

Les appareils à écoulement d'air qui forment la première génération d'appareils de

---

<sup>1</sup> Une version plus complète de cette étude bibliographique a été présentée dans un rapport intitulé "Rugosité du papier : Théories et mesures". De plus amples détails sur ce rapport sont inclus en annexe E.

mesures de rugosité sont les plus employés en entreprise. Ils ont en effet pour atout majeur d'être simples d'utilisation. Vers 1930, les appareils Gurley (15) et Bekk (15; 16) étaient employés pour mesurer le lissé du papier. Par la suite et afin d'améliorer la technique, trois autres appareils ont été conçus : les appareils Bendsten (17), Sheffield et PPS (18). Avec ces appareils, la mesure de rugosité (lissé) est basée sur l'écoulement d'un flux d'air entre la surface du papier et une surface de métal poli (tête de mesure). La rugosité (lissé) du papier est caractérisée par le temps nécessaire à l'écoulement d'un débit d'air donné (cf. Gurley et Bekk) ou par le débit d'air passant entre la tête et le papier. Une pression instantanée peut être appliquée sur la tête de mesure. La pression de l'air varie également d'un appareil à l'autre, ainsi que la conception de la tête (19) et la nature du support sur lequel est posé le papier.

Un des principaux désavantages de ces appareils est que les valeurs de rugosité (lissé) qu'ils donnent sont peu ou mal corrélées avec la qualité d'impression des papiers (2; 20; 21). En effet, avec ces appareils, un papier avec de nombreux pores mais peu profonds peut avoir la même rugosité qu'un papier avec des pores rares mais très profonds, alors que les pores peu profonds ont peu d'influence sur la qualité d'impression, au contraire des pores très profonds. C'est le PPS qui semble cependant donner la meilleure corrélation avec la qualité d'impression (2). De plus, cet appareil est conçu pour mesurer la rugosité de tous les papiers (attention tout de même à la fiabilité des rugosités des papiers très lisses,  $G_3 < 1 \mu\text{m}$  ou très rugueux,  $G_3 > 8 \mu\text{m}$ ) au contraire du Gurley et du Bekk dont le temps de mesure est très long pour les papiers lisses (15) et le Bendsten plutôt conçu pour mesurer la rugosité des papiers journaux. La perméabilité à l'air a peu d'influence sur la mesure de PPS au contraire des quatre autres appareils. Enfin, deux supports de dureté différentes ainsi que trois pressions de plaquage du papier sont proposés avec l'appareil PPS. Ces options permettent de reproduire les conditions - dureté du rouleau de contre-pression, pression au niveau de la pince - pour différents procédés d'impression. Il est conseillé d'utiliser les pressions 5 ou 10 kgf/cm<sup>2</sup> (i.e. 0,5 MPa ou 1 MPa) et le support dur pour reproduire les conditions d'impression héliogravure. Cependant, c'est le support mou et la pression 1 MPa (PPS-S10) qui sont en pratique utilisés. C'est cet appareil PPS qui a donc été choisi comme moyen de mesures rapide lors de notre projet pour caractériser l'état de

surface des papiers SCA ainsi que des formettes fabriquées. De plus amples informations sur cet appareil sont données en annexe A.

Une autre classe d'appareils de mesures de rugosité est représentée par les appareils optiques. Un des plus connu et le plus ancien est le Chapman (22). Ces appareils sont avec prisme (Chapman; Bliesner; KAM) ou sans prisme (KL; appareil de Warren; de Hansuebsai et Morantz; IGT Dynamic Smoothness Tester). Les premiers appareils optiques ont été conçus afin de pallier aux désavantages des appareils à écoulement d'air alors existant (porosité du papier intervenant dans la mesure, temps de mesure longs (22)). Le PPS étant exempt de ces défauts, ce que nous recherchions surtout dans les méthodes optiques est plutôt la possibilité d'obtenir des photographies de la surface du papier. C'est pourquoi nous avons utilisé un microscope électronique à balayage (MEB) qui ne permet pas d'obtenir de valeur de rugosité mais en revanche, permet d'obtenir des agrandissements de la surface observée (ex : x 50, x 500). Il permet également de différencier les éléments composant le papier en fonction de leur nature minérale ou non (23 - 24).

Comme nous l'avons déjà mentionné auparavant, les mesures de rugosité faites à l'aide des appareils à écoulement d'air, en particulier avec le PPS, sont corrélées avec la qualité d'impression. Cependant, ces corrélations sont loin d'être excellentes. Pour obtenir une mesure qui soit bien corrélée avec la qualité d'impression, il est préférable de choisir un test d'imprimabilité. Ces mesures font intervenir la notion de transfert d'encre ou d'absorption de liquide. Citons :

(a), le Micro Contour Test - une encre bleue est déposée sur l'échantillon puis essuyée après une minute. Plus la coloration du papier est de densité élevée, plus le papier est rugueux (25);

(b), le lissé d'impression - défini comme étant l'épaisseur minimale du film d'encre nécessaire à l'obtention d'un pourcentage de couverture de 100% (26).

(c), l'essai d'absorption Bristow - la rugosité mesurée est ici fonction de la largeur de la trace laissée par une goutte d'eau colorée déposée sur l'échantillon de papier fixé sur une roue en rotation (27).

(d), l'Héliotest - mesure utilisant une presse de laboratoire IGT et qui comme son nom l'indique a été spécialement conçu pour caractériser la qualité d'impression en

héliogravure. Une molette gravée permet d'imprimer un tramé sur l'échantillon de papier. La mesure de lissé est donnée par le nombre de points manquants comptés (26; 27). Le type d'impression auquel nous nous intéressons étant l'héliogravure, nous avons donc évidemment utilisé l'Héliotest lorsque nous voulions quantifier la qualité d'impression. Une étude dirigée par le CTP a montré une bonne corrélation ( $R^2 = 98\%$ ) avec la qualité d'impression de différents papiers imprimés en héliogravure estimée de façon subjective (28).

Le dernier type de mesures permettant de caractériser la surface du papier sont les appareils profilométriques. Ce sont des appareils permettant la construction d'images topographiques. Elles sont obtenues par balayage de la surface du papier à l'aide d'un stylet ou d'un faisceau laser. La première génération est représentée par les profilomètres à stylet tels le Talysurf, le Talystep, le Paperscape (12; 29; 30). Par la suite sont apparus les profilomètres optiques et le microscope confocal (CLSM). Parmi ces appareils, le CLSM est à notre disposition à Paprican. Il a pour avantage sur les profilomètres à stylet d'être non destructeur (l'échantillon de papier peut être réutilisé pour de nouvelles mesures). Quant aux profilomètres optiques, ils sont d'un usage très réduit en papeterie car sont limités à l'évaluation de la rugosité de matériaux très lisses et homogènes (31).

Afin de caractériser au mieux l'état de surface des papiers étudiés dans ce projet, nous avons utilisé les quatre approches différentes mais complémentaires de mesures de rugosité précédemment énoncées. Rappelons les quatre appareils de mesures utilisés et représentatifs de chacune de ces approches.

- (a) le PPS qui permet d'obtenir rapidement une valeur de rugosité et qui est le plus récent des appareils à écoulement d'air;
- (b) le microscope électronique à balayage pour obtenir des photographies à divers grossissements de la surface des papiers et estimer la répartition des composants minéraux dans le papier;
- (c) l'Héliotest qui donne une bonne appréciation de la qualité d'impression des papiers destinés à l'impression héliogravure;
- (d) le microscope confocal, appareil de mesure non destructeur qui nous a permis d'obtenir des images topographiques de la surface du papier et comme le PPS de quantifier

sa rugosité. L'approche confocale étant une approche nouvelle en profilométrie, surtout dans le domaine des pâtes et papiers, nous avons jugé bon de lui consacrer un chapitre afin d'en expliquer précisément les principes (chapitre 2). Tous les autres appareils de mesures ayant été utilisés lors de ce projet sont présentés en annexe A.

Impression héliogravure, papiers supercalandrés et état de surface du papier qui sont les clés du projet viennent d'être présentés. Voyons maintenant le cheminement suivi tout au long de celui-ci.

La qualité d'impression en héliogravure est surtout caractérisée par la fréquence des points non imprimés. Pour améliorer la qualité d'impression d'un papier, il est donc utile de connaître la cause de ces points manquants. Comme nous le verrons au chapitre III, l'avancement de la recherche sur ce point avait auparavant été limitée surtout par des manques de moyens techniques. Le CLSM nous a permis de chercher la cause des points manquants en observant leur structure sous-jacente. Cette étude préliminaire nous a amené à conclure que la présence de fibres longues et larges à la surface du papier, fibres provenant a priori de la pâte mécanique, ainsi que la mauvaise distribution des charges étaient les causes principales de l'existence des points manquants. Nous avons donc choisi par la suite de concentrer notre recherche sur la pâte mécanique de meule sous pression utilisée par LSPI pour la fabrication de ses papiers SCA. Le développement de la pâte au cours de sa fabrication fait donc l'objet du chapitre IV. L'étude de la pâte fractionnée à l'aide d'un classeur Bauer-McNett (voir annexe A) nous a de plus permis dans ce chapitre d'apporter de nouveaux éléments de connaissance quant aux relations reliant les caractéristiques d'une pâte aux propriétés physiques du papier. La pâte de meule fabriquée à LSPI est composée de deux essences de bois, à savoir le sapin baumier (*Abies Balsamea*) et l'épinette noire (*Picea Mariana*). Ces deux essences de bois qui sont botaniquement très proches l'une de l'autre et qui sont souvent employées en mélange n'amènent cependant pas toujours des résultats identiques pour une propriété du papier donnée. Une étude menée à Paprican a par exemple montré que l'épinette noire augmentait la tendance au peluchage par rapport au sapin (32). C'est pourquoi dans le dernier chapitre nous comparons ces deux essences et leur impact sur la qualité d'impression.

## CHAPITRE II

### LA MICROSCOPIE CONFOCALE

#### 2.1. Principe (10)

La discrimination suivant la direction Z est le principal avantage de la microscopie confocale par rapport à la microscopie conventionnelle. La figure 2.1 en montre le principe. La source de lumière est un faisceau laser. Un premier trou en tête d'épingle positionné juste après la source lumineuse permet d'obtenir un point source. Une série de miroirs placés sur le parcours de la lumière focalise celle-ci vers le plan focal de l'objectif du microscope. La lumière reflétée par l'objet est dirigée vers un capteur photo-électrique à l'aide d'un miroir oscillant. Grâce à un deuxième trou en tête d'épingle situé avant le capteur photo-électrique, ce dernier ne capte que la lumière reflétée par la partie de l'objet se trouvant précisément dans le plan focal.

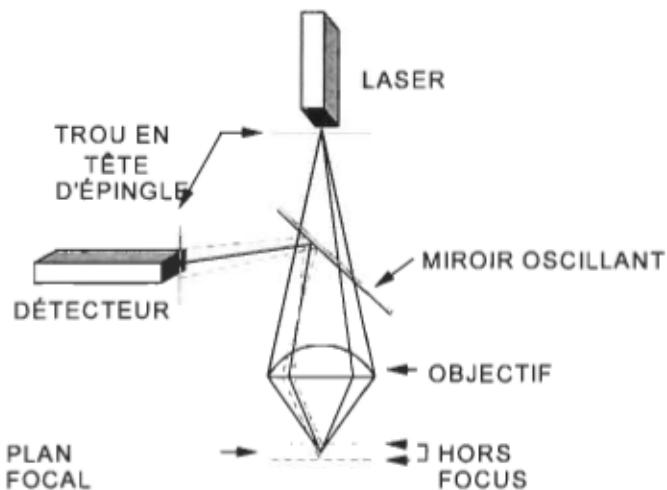


FIGURE 2.1 : Principe du microscope confocal

## 2.2. Caractéristiques du microscope confocal LEICA utilisé

Le modèle de CLSM utilisé à Paprican (Pointe-Claire) est un CLSM Diaplan (1990).

### 2.2.1. La source lumineuse

La source de lumière utilisée est un laser à l'argon. Les longueurs d'onde disponibles sont de 488 nm et 514 nm. La lumière laser est ici employée non pas pour ses propriétés monochromatique et cohérente mais pour son intensité et sa stabilité.

### 2.2.2. Le second trou de diffraction

Il est de taille variable et contrôlé par ordinateur. Lorsqu'il est totalement fermé, le plan focal à une épaisseur nulle. En contrepartie, lorsqu'il est à son ouverture maximale, toute la lumière reflétée par l'objet est captée par la cellule photo-électrique, l'image alors obtenue est la même que celle formée à l'aide d'un microscope conventionnel. Une ouverture intermédiaire est généralement employée (40 µm) de telle sorte qu'un bon compromis soit fait entre le rapport signal sur bruit et la "confocalité"<sup>1</sup>. Le signal et le bruit diminuent avec le diamètre du trou alors que la "confocalité" augmente lorsque le diamètre du trou diminue.

### 2.2.3. La formation de l'image en XY

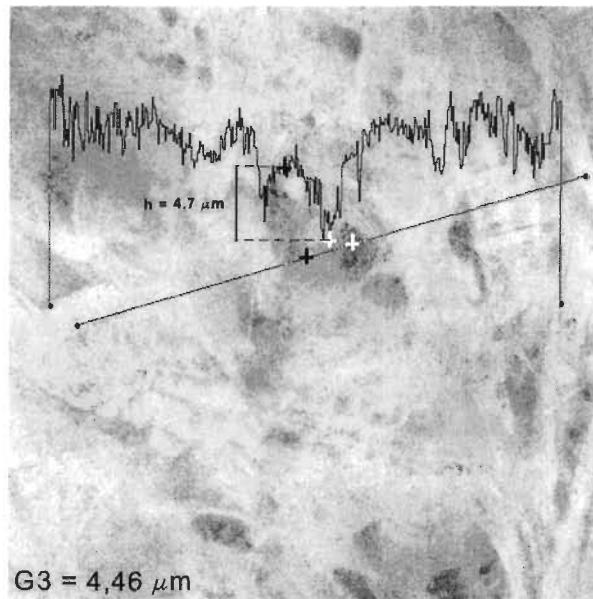
L'échantillon est illuminé en un point seulement. Un balayage dans le plan (X, Y) est donc nécessaire pour obtenir l'information sur toute une surface. Ce balayage de la surface de l'échantillon par le laser est produit par la mise en mouvement d'un miroir positionné sur le parcours du faisceau avant l'objectif. Par la suite, le capteur photo-électrique capte la lumière passant par le trou en tête d'épingle et la convertit en signal électrique. Ce dernier est par la suite, digitalisé et mis en mémoire. Une image peut alors être visualisée sur un écran. L'aire balayée dépend notamment de l'objectif utilisé, quant au nombre de pixels utilisé pour construire l'image, il peut être choisi entre 128 x 128 pixels et 1024 x 1024 pixels.

---

<sup>1</sup> "Confocalité" est un néologisme.

#### 2.2.4. Le balayage dans la direction Z

Un objet peut être scanné avec le CLSM Diaplan de LEICA sur une profondeur de 170 µm maximum . En déplaçant suivant la direction Z le plan focal par rapport à l'objet, il est possible d'acquérir l'information venant d'une série de plans parallèles et régulièrement espacés. L'épaisseur de ces plans est fonction de l'ouverture du trou de diffraction, de l'objectif utilisé, du nombre de plans choisis (de 16 à 128) ainsi que de l'épaisseur totale de la section de l'objet scannée (entre 0 et 170 µm). Des cartes topographiques de la surface en 256 niveaux de gris peuvent ainsi être construites. La figure 2.2 en est un exemple.



**FIGURE 2.2 : Image topographique d'un papier supercalandré acquise avec le CLSM**

La surface représentée est de  $313 \times 313 \mu\text{m}^2$ . Les parties sombres sont les parties en profondeur, les parties claires sont les parties en surface du papier. Le profil des hauteurs sur le parcours de la droite tracée est représenté. La hauteur entre les deux repères (croix) est de 4,7 µm. La rugosité  $G_3$  (voir plus loin) de cette surface est de 4,46 µm.

### 2.2.5. La résolution

#### 2.2.5.1. *Latérale*

La résolution en XY dépend de la longueur d'onde utilisée ainsi que de l'objectif. Par exemple, à une longueur d'onde de 488 nm et avec un objectif 16X (air), la résolution latérale est  $r_l = 0,44 \mu\text{m}$ . Avec cet objectif et une image de 512 x 512 pixels, la taille des pixels est  $0,6 \mu\text{m} \times 0,6 \mu\text{m}$ . Le côté des pixels est donc plus grand que la résolution latérale. Celle-ci n'est donc pas un facteur limitant.

#### 2.2.5.2. *Axiale*

La résolution en Z est également fonction de la longueur d'onde employée et de l'objectif. Pour la même longueur d'onde et le même objectif que précédemment, la résolution axiale est  $r_a = 3,46 \mu\text{m}$ . En théorie, le nombre de plans devrait donc être choisi de façon à ce que la distance entre deux plans focaux ne soit pas plus petite que la résolution axiale. Cependant, en pratique, il est possible d'opérer une convolution mathématique sur les courbes de densité qui donne une nouvelle résolution axiale pour une image topographique construite à partir de plusieurs plans focaux de valeur inférieure à  $3,46 \mu\text{m}$ . Dans la littérature, des valeurs de  $r_a$  situées entre  $0,19 \mu\text{m}$  et  $1,5 \mu\text{m}$  sont proposées pour le cas d'une épaisseur de section scannée de  $48 \mu\text{m}$  (33).

### 2.2.6. La répétabilité

Des échantillons de papiers ont été scannés dix fois au même endroit (10). Après chaque mesure, un dérèglement volontaire de l'appareil a été effectué avant de repositionner les divers paramètres de l'appareillage (intensité du laser, ouverture du trou de diffraction, etc.) à leur valeur de consigne. L'intensité moyenne des cartes topographiques construites s'est alors répétée avec un coefficient de variation de 2,8 %.

## 2.3. Mesures de rugosité

À partir des cartes topographiques construites, il est possible de calculer les rugosités ISO ( $R_a$ ,  $R_q$ ,  $S_k$ ) définies au chapitre précédent. Ces valeurs sont directement accessibles à l'aide du logiciel accompagnant le microscope. De plus, il est possible de

calculer la rugosité du pore équivalent de surface (34) définie également dans la partie précédente par

$$G_3 = \left[ \frac{1}{A} \int_0^A z^3 da \right]^{\frac{1}{3}} \quad [2.1]$$

avec

- (a),  $G_3$  : rugosité du pore équivalent de surface;
- (b),  $A$  : surface mesurée;
- (c),  $da$  : élément de surface correspondant à la profondeur  $z$  (ici un pixel).

Pour chaque carte topographique, la rugosité  $G_3$  peut être calculée à partir de l'équation 2.2, (33) :

$$G_3 = \left[ \sum_0^{255} D_i^3 (Ac_{i+1} - Ac_i) \right]^{\frac{1}{3}} \quad [2.2]$$

avec

- (a),  $D_i$  : profondeur correspondant à l'intensité  $i$ ;
- (b),  $Ac_i$  : aire cumulative normalisée correspondant à l'intensité  $i$  et calculée suivant l'équation 2.3.

$$Ac_i = \sum_0^{255} A_i = \frac{S}{f} \sum_0^{255} F_i \quad [2.3]$$

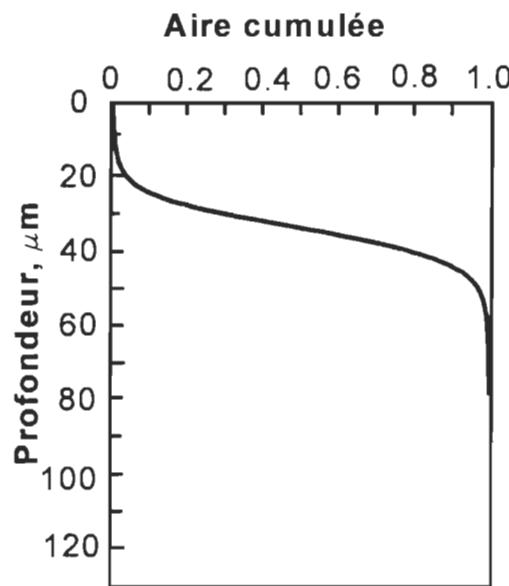
avec

- (a),  $A_i$  : aire normalisée correspondant à l'intensité  $i$ ;
- (b),  $S$  : surface mesurée;
- (c),  $f$  : nombre total de pixels de l'image.
- (d),  $F_i$  : nombre de pixels d'intensité  $i$ .

Cette rugosité  $G_3$  sera préférentiellement utilisée dans cette étude pour caractériser la surface. Elle est calculée à partir de l'histogramme des intensités. Pour cela, un tableur

tel Lotus peut être utilisé ou bien un programme comme celui que nous avons développé en langage Turbo Pascal et qui est présenté en annexe B.

Le pore équivalent de surface (ESP) associé à cette rugosité peut également être représenté à l'aide de l'histogramme des intensités (i.e. profondeur). Sa forme est en effet représentée par le graphe  $A_{ci} = f(i)$ , (10; 34), (figure 2.3).



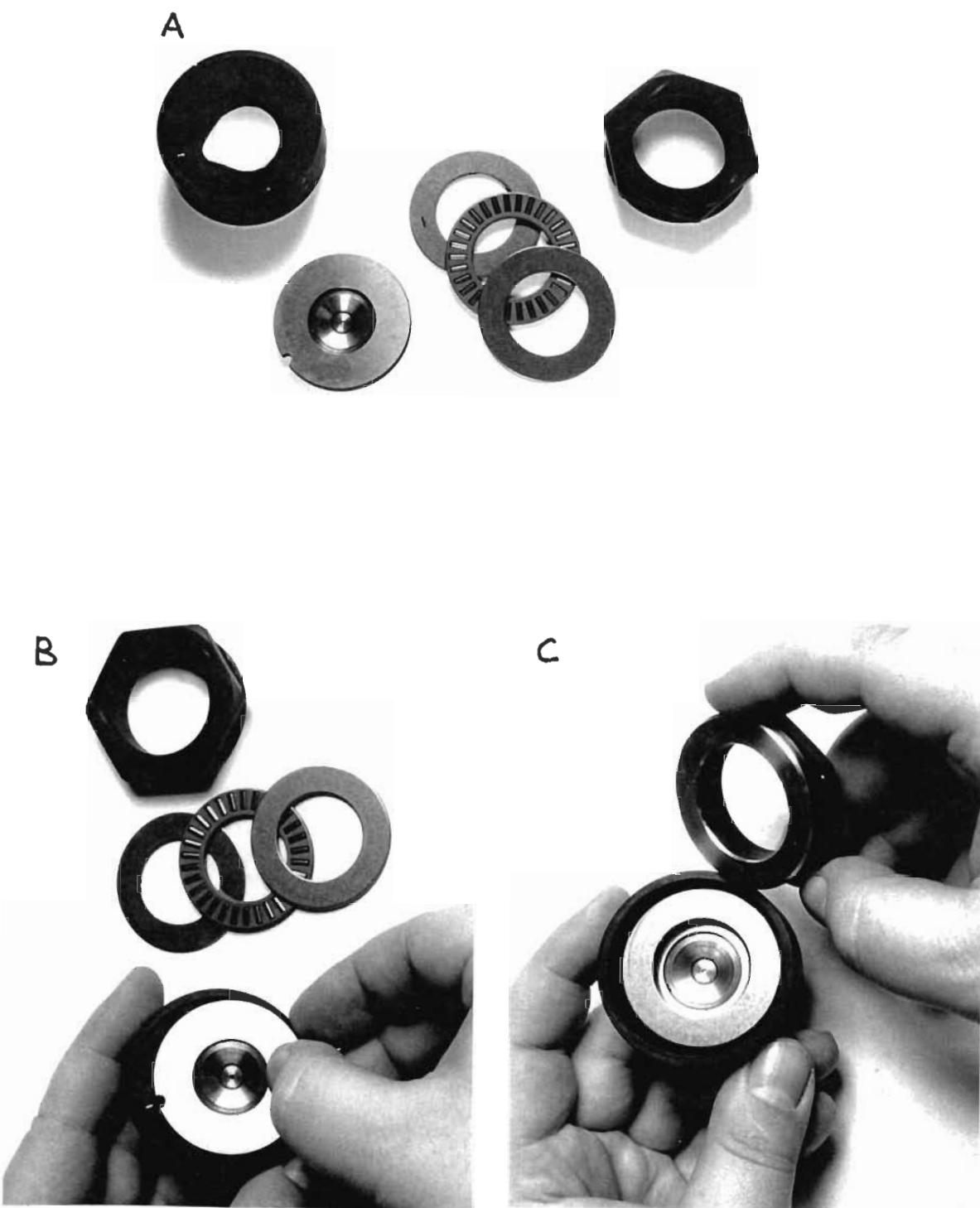
**FIGURE 2.3 : Pore Équivalent de Surface (ESP)**

#### 2.4. La compressibilité

Tout comme la rugosité, la compressibilité de surface du papier est une propriété importante dont il faut tenir compte lorsqu'il s'agit de caractériser l'état de surface du papier. C'est pourquoi un appareil de compressibilité adapté au microscope confocal a été mis au point à Paprican (35).

##### 2.4.1. Appareillage

Les composants de cet appareil sont présentés à la figure 2.4. Le mode opératoire



**FIGURE 2.4 : Appareil de compressibilité**

A : Principaux composants, l'échantillon est monté dans l'appareil

B : Montage de l'appareil

C : Appareil préparé pour l'application de la pression

pour la préparation des échantillons et pour effectuer les mesures est présenté en annexe C. Afin de pouvoir supporter des pressions de 0 à 5 MPa sans déformation et tout en respectant les contraintes de poids du microscope confocal, un aluminium spécial a été utilisé pour la conception de l'appareil de compressibilité. L'intervalle de pressions inclut les pressions rencontrées lors de l'impression du papier pour les principaux procédés d'impression (offset, héliogravure).

#### 2.4.2. Évaluation de la compressibilité de surface

Pour chaque pression sous laquelle le papier a été scanné, la rugosité  $G_3$  est calculée comme indiqué au chapitre 2.3. Il s'avère que pour les papiers considérés, la rugosité décroît suivant le logarithme de la pression appliquée (équation 2.4), (34; 36).

$$G_3(P) = G_3(1) + Ks \cdot \log(P) \quad [2.4]$$

avec

- (a),  $G_3(P)$  : rugosité ESP à la pression  $P$  (MPa);
- (b),  $G_3(1)$  : rugosité ESP à 1 MPa;
- (c),  $Ks$  : constante.

$Ks$  représente la compressibilité lorsque  $P$  est en MPa. Elle est appelée compressibilité statique. Elle représente la compressibilité de surface du papier.

## CHAPITRE III

### STRUCTURES SOUS-JACENTES DES POINTS MANQUANTS

#### **3.1. But de l'étude**

Pour obtenir une bonne qualité d'impression en héliogravure, il est nécessaire d'avoir un papier à lissé élevé. En effet, imprimer sur un papier rugueux produit de nombreux points manquants et donc une qualité d'impression médiocre. L'utilisation des papiers supercalandrés à lissé élevé lors de ce type d'impression permet alors d'avoir un nombre de points manquants réduits (inférieur à 10 %). Toutefois, afin de pouvoir réduire au maximum ce nombre de points manquants (le but étant < 0,2 % pour une très bonne qualité d'impression), il est important de connaître leurs causes. L'hypothèse habituellement avancée à ce propos est que la structure sous-jacente d'un point manquant est un pore (37; 38; 39; 40). Une étude récente a d'ailleurs montré que les points manquants se retrouvent principalement à des endroits où le grammage du papier est faible (41). Cependant, entre autres raisons, c'est un manque de moyens techniques qui n'a pas permis d'approfondir davantage le sujet jusqu'à maintenant. Le microscope confocal est un nouveau moyen technique disponible dans le monde de la recherche papetière, notamment à Paprican. Il a permis lors de cette étude de quantifier la structure sous-jacente des points manquants lors de l'impression en héliogravure de papiers supercalandrés.

Pour cela, des imprimés commerciaux ont été observés à l'aide du microscope confocal. Cette étude a été réalisée en deux étapes. Tout d'abord, 15 imprimés de tirages commerciaux ont été sélectionnés dans le but d'être observés avec le CLSM pour étudier la structure sous-jacente des points manquants. Par la suite, un autre tirage commercial a été effectué à notre demande sur deux papiers de composition différente, ceci afin d'étudier l'influence de certains paramètres liés au papier ou à l'impression sur la distribution de ces structures sous-jacentes. Ces facteurs sont les composants de la pâte de meule, la face du

papier et l'utilisation de l'assistance électrostatique (ESA) lors de l'impression.

### 3.2. Échantillonnage

#### 3.2.1. Première étude

Quinze imprimés commerciaux de supports différents mais tous supercalandrés de grade A (papiers SCA) ont été mis à notre disposition pour cette étude. Ils peuvent être groupés en six séries différentes. Pour tous les échantillons d'une même série, le grammage, la salle d'impression, ainsi que le motif imprimé sont des constantes. Le tableau 3.1 récapitule les différentes caractéristiques de ces imprimés qui viennent de six papeteries différentes.

**TABLEAU 3.1 : Caractéristiques des imprimés, première étude.**

#	Papeterie	Salle d'impression	Date	Grammage g/m <sup>2</sup>
1	A	Brown Printing	3 Mars 94	49
2	B	"	"	"
3	A	England, non précisé	28 Nov. 93	56
4	C	"	"	"
5	A	R.R. Donnelley, Mattoon	10 Oct. 93	49
6	D	"	"	"
7	B	"	"	"
8	E	"	"	"
9	A	R.R. Donnelley, Mattoon	25 Sept. 93	53
10	F	"	"	56
11	A	X, non précisé	7 Juillet 93	52
12	F	"	"	"
13	A	Ringier	30 Avril 93	49
14	D	"	"	"
15	E	"	"	"

### 3.2.2. Seconde étude

Cette fois, les deux papiers analysés ont été fabriqués sur la même machine à papier, le même jour. Ces papiers sont composés de pâte de meule sous pression (PGW), de pâte kraft et de charges minérales. Seule la pâte PGW diffère d'un papier à l'autre. L'un est à base de sapin baumier (*Abies Balsamea*) et l'autre à base d'épinette noire (*Picea Mariana*)<sup>1</sup>. Ils ont été imprimés commercialement sur une presse héliogravure lors d'un même tirage, ceci avec et sans assistance électrostatique (ESA). Les deux faces de chaque papier ont été analysées (tableau 3.2).

**TABLEAU 3.2 : Caractéristiques des imprimés, deuxième étude.**

#	Essence PGW	ESA	Côté
ÉEt	Épinette n.	oui	toile
SEt	Sapin b.	oui	"
Ét	Épinette n.	non	"
St	Sapin b.	non	"
ÉEf	Épinette n.	oui	feutre
SEf	Sapin b.	oui	"
Éf	Épinette n.	non	"
Sf	Sapin b.	non	"

### 3.3. Mesures effectuées

#### 3.3.1. Première étude

Pour chacun des 15 échantillons, quatre séries de cinq images ont été acquises à l'aide du CLSM, si possible où un tramé d'une seule couleur était imprimé. Ces quatre séries se définissent comme expliqué dans le tableau 3.3.

Par "surface bien imprimée", on désignera une surface où l'encre présente dans

---

<sup>1</sup> Si l'influence de l'essence de bois a été étudiée, c'est afin de compléter l'étude qui sera présentée ultérieurement dans la partie 5 de ce mémoire. Il a semblé cependant opportun de reporter ces résultats dans cette partie.

chaque alvéole du cylindre gravure a été transférée au papier et par "surface avec point(s) manquant(s)", on désignera une surface où l'encre d'au moins une alvéole du cylindre gravure n'a pas été transférée.

**TABLEAU 3.3 : Caractéristiques des séries de mesures, première étude.**

Série	I	II	III	IV
Aire ( $\mu\text{m}^2$ ) (*)	313 x 313	125 x 125	313 x 313	125 x 125
Impression	bonne	bonne	avec point manquant	avec point manquant

(\*) : objectif (16 X, air) utilisé pour les surfaces de 313 x 313  $\mu\text{m}^2$  et objectif (40 X, air) utilisé pour les surfaces de 125 x 125  $\mu\text{m}^2$ .

Au plus faible grossissement, la surface globale observée est de 313 x 313  $\mu\text{m}^2$ . La rugosité  $G_3$  associée sera appelée "macro-rugosité". Sur chacune de ces surfaces, cinq à dix points de trame peuvent être observés. L'observation à cet agrandissement permet d'avoir une vue globale de la structure sous-jacente du point imprimé ou manquant sur laquelle la surface est centrée.

Au plus fort grossissement, la surface scannée est de 125 x 125  $\mu\text{m}^2$ . Ces surfaces sont centrées sur un point imprimé ou non imprimé. Le diamètre des points de trame observés étant de 60 à 100  $\mu\text{m}$ , la rugosité  $G_3$  associée, appelée "micro-rugosité" est représentative du point de trame considéré, plus que ne l'est la macro-rugosité.

Pour chaque groupe de cinq rugosités calculées, un pore équivalent moyen a été dessiné en faisant la moyenne sur les cinq aires cumulatives normées  $Ac$  associées (voir définitions au chapitre 2.3.). De plus une analyse visuelle succincte a été effectuée afin d'observer les principaux défauts des imprimés et d'effectuer un premier classement. Par la suite, une étude plus complète par analyse d'images a été effectuée sur ces imprimés. L'expérimentation et les résultats sont reportés en annexe D.

### 3.3.2. Seconde étude

Comme précédemment, cinq surfaces bien imprimées et cinq surfaces avec au moins un point manquant ont été observées pour chacun des huit échantillons. Cette fois,

l'analyse s'est faite à un seul agrandissement. Les surfaces scannées sont de  $313 \times 313 \mu\text{m}^2$ . Cependant, pour obtenir une rugosité  $G_3$  représentative du point (manquant) observé, la rugosité a été calculée sur une fenêtre de travail réduite à  $157 \times 157 \mu\text{m}^2$ . De plus, la hauteur  $P_{\max}$  entre le point le plus élevé et le point le plus en profondeur a été mesurée dans cette fenêtre de travail réduite.

Une vue globale de la région où se trouve le point (manquant) observé ainsi qu'une rugosité  $G_3$  représentative de ce point (manquant) ont ainsi pu être obtenus simultanément avec une seule acquisition d'images, d'où un gain de temps par rapport à la première étude (une acquisition et la construction d'une image topographique prennent de 10 à 15 minutes).

### **3.3.3. Remarque**

Il est important de garder à l'esprit que cette étude porte avant tout sur la structure sous-jacente des points manquants et non sur la répartition et le nombre des points manquants. C'est pourquoi les surfaces observées n'ont pas été sélectionnées de façon aléatoire mais ont été choisies comme ayant au moins un point manquant ou comme ayant tous les points de bien imprimés. Par exemple, pour un imprimé gravure jugé bon, il faut observer une grande plage comprenant des centaines de points pour localiser un ou deux points manquants.

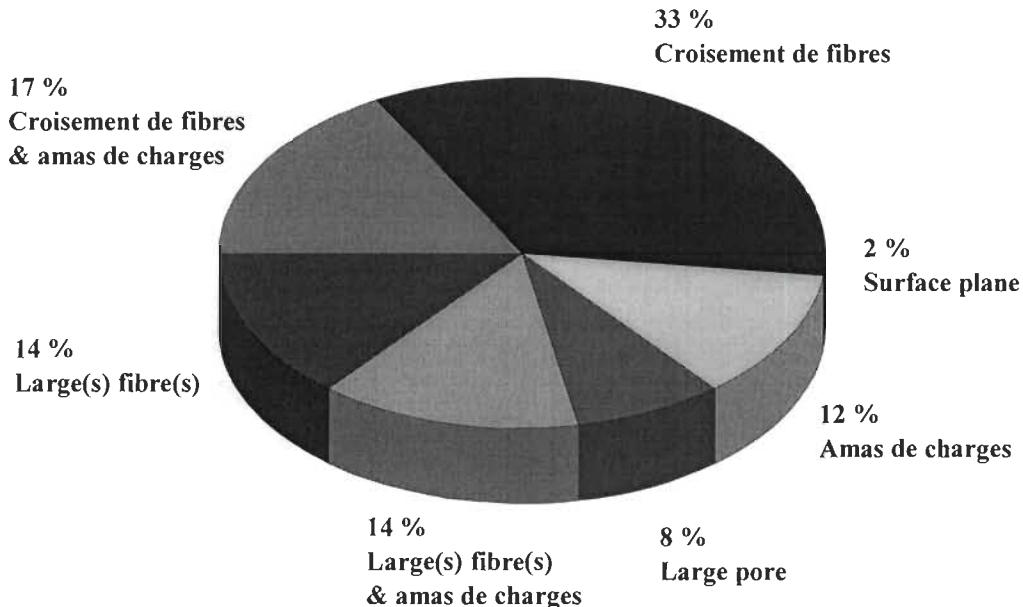
## **3.4. Résultats et discussion**

### **3.4.1. Classification qualitative**

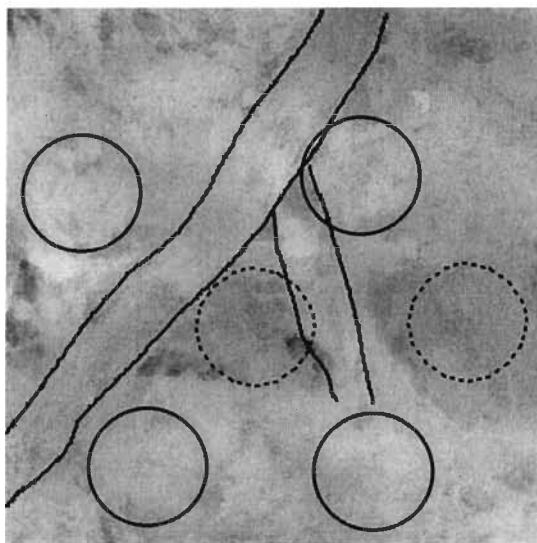
Lors de la première étude, après l'observation de 75 structures sous-jacentes de points manquants nous avons été amenés à répartir celles-ci en sept classes distinctes. Les 40 structures sous-jacentes de la seconde série de mesures ont pu être classifiées de façon identique. La figure 3.1 indique les résultats globaux. Les figures 3.2 à 3.8 sont des images topographiques de  $313 \times 313 \mu\text{m}^2$  représentatives de chacune des classes proposées. La figure 3.9 représente quant à elle, une surface bien imprimée.

Il est apparu que des dépressions sont pratiquement toujours présentes sous les points manquants (dans 98 % des cas). Ces dépressions que nous appelons ici pores de surface ont des diamètres avoisinant ceux des points de trame en héliogravure, à savoir de

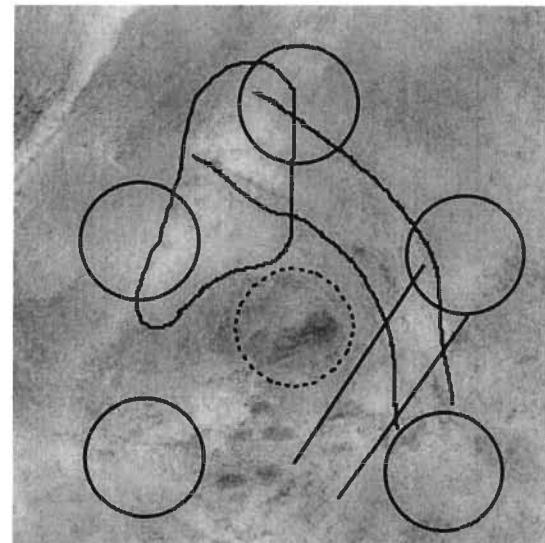
30 à 150 µm. Leur profondeur par rapport à leurs alentours proches est située, dans la majorité des cas, entre 3 et 5 µm. Cette profondeur peut toutefois atteindre 12 µm.



**FIGURE 3.1 : Structures sous-jacentes des points manquants**



**FIGURE 3.2 : Croisement de fibres**



**FIGURE 3.3 : Croisement de fibres et amas de charges**

Les cercles en trait plein représentent les points imprimés, les cercles en pointillés représentent les points manquants.

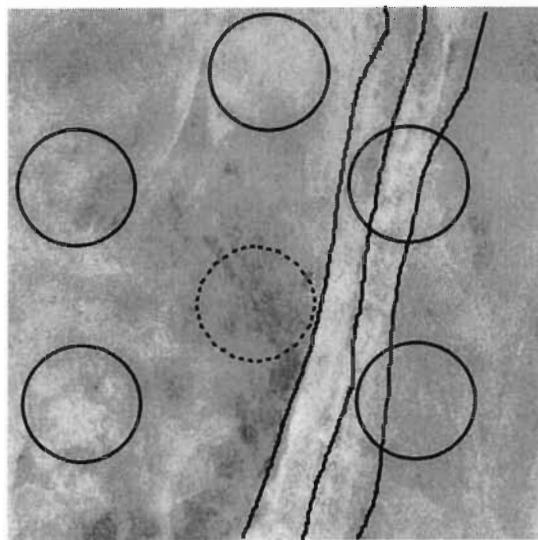


FIGURE 3.4 : Fibre(s) large(s)

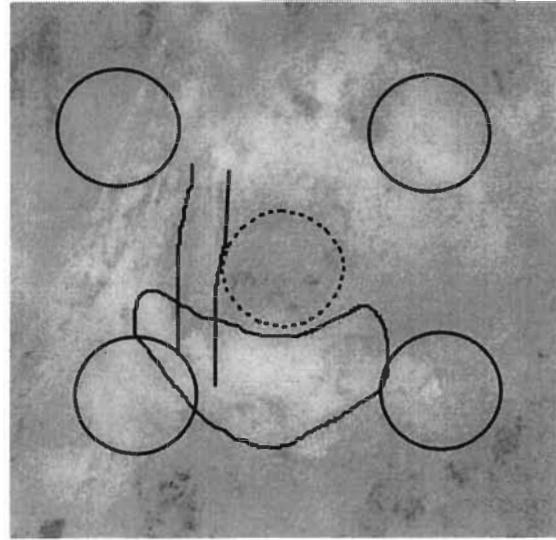


FIGURE 3.5 : Fibre(s) large(s) et amas de charges

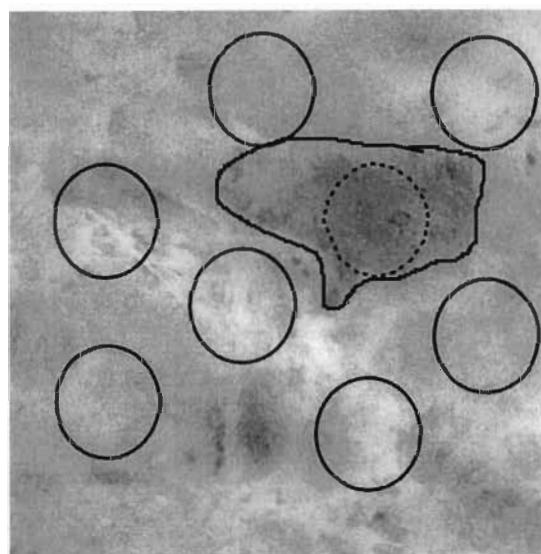


FIGURE 3.6 : Pore large

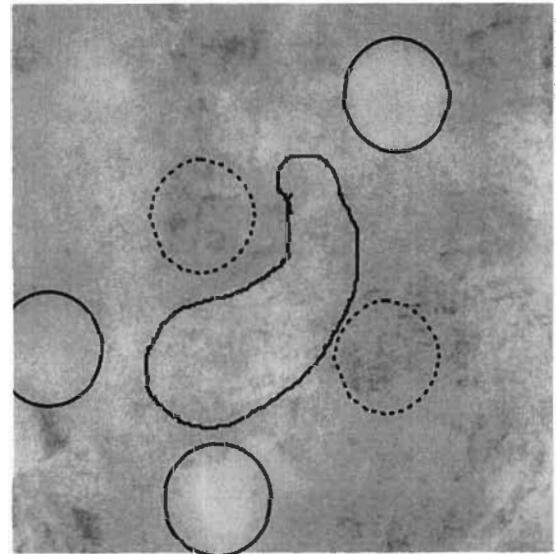
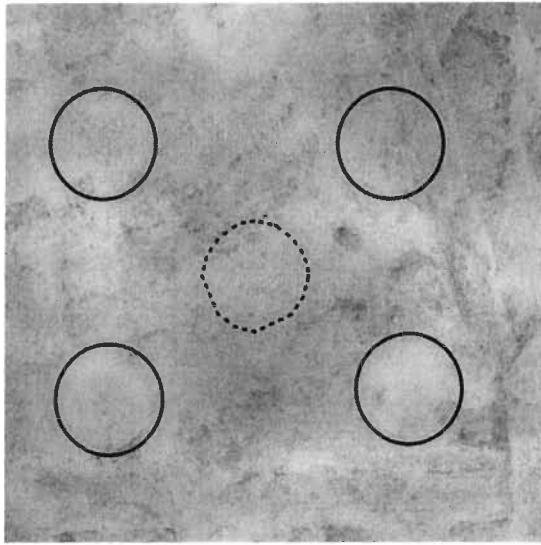
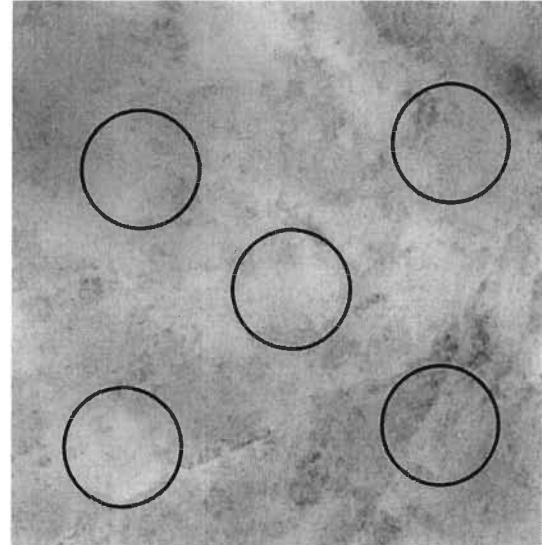


FIGURE 3.7 : Amas de charges

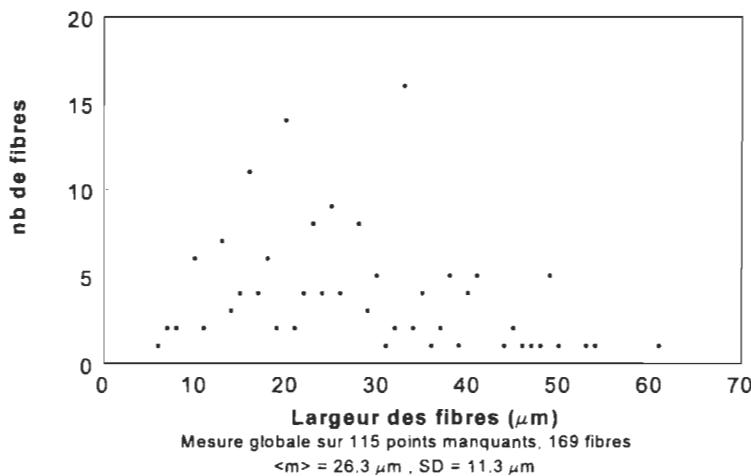


**FIGURE 3.8 : Surface plane**



**FIGURE 3.5 : Bonne impression**

Néanmoins, l'origine de ces pores diffère. Dans 78 % des cas, au moins une fibre plus ou moins proéminente à la surface du papier borde le pore. Dans la plupart des cas (50 %), il s'agit en fait d'un croisement de fibres qui encadre ce pore de surface. Deux fibres (ou plus), généralement assez larges (26 µm en moyenne - voir figure 3.10), raides et plus ou moins proéminentes à la surface du papier se croisent telles des poutres. Une dépression qui n'a pas été comblée ni par des éléments fins cellulaires ni par des charges minérales est alors visible dans l'angle de cette intersection (figures 3.2 et 3.11). Peut-être est-ce l'absence de fines et fibrillées à ces endroits qui n'a pas permis aux charges minérales d'être retenues et donc de combler ces pores. Une étude antérieure a montré que ces pores ne se retrouvent pas dans des échantillons de papier 100% à base de kraft où les pores de surface sont tous très petits (35). De telles structures avaient en revanche été observées à la surface de papier 100 % à base de pâte TMP (35). Ceci nous amène à penser que dans l'étude présentement traitée, ces fibres larges et proéminentes sont des fibres mal raffinées apportées par la pâte mécanique (essentiellement pâte PGW).

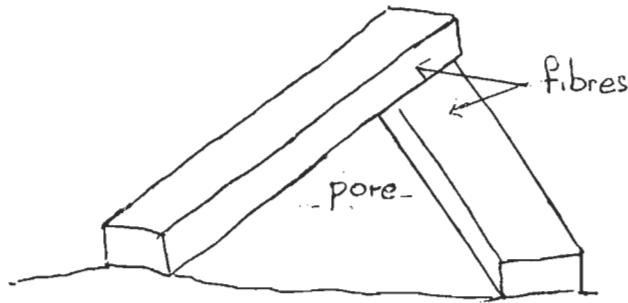


**FIGURE 3.10 : Répartition des largeurs des fibres bordant les pores de surface à l'origine des points manquants**

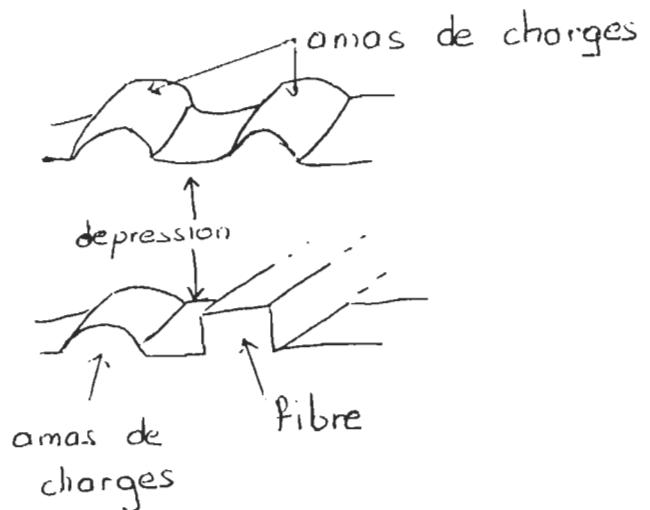
La présence d'agglomérats de charges, seuls ou bien en sus des fibres apparaît comme étant la deuxième cause de points manquants (43 %). Cet amas de charges forment en effet à la surface du papier de petites collines. Entre deux collines ou entre une colline et une poutre (fibre) apparaît alors une dépression que l'encre n'atteint pas lors de l'impression héliogravure (figures 3.3; 3.5; 3.7 et 3.12).

Dans 8 % des cas, un pore large et généralement profond ( $> 5 \mu\text{m}$ ) forme la structure sous-jacente du point manquant. Différentes hypothèses peuvent être avancées quant à la cause de ces pores. L'une serait la présence d'une zone à faible grammage à cet endroit (40; 41) ou autres problèmes de non uniformité de l'épaisseur du papier (42). Enfin, dans 2 % des cas, aucun pore n'est visible où le point n'a pas été imprimé. L'absence d'encre dans la cellule du rouleau imprimeur peut être la cause de ces points manquants.

Quant aux surfaces où les points ont été bien imprimés, elles sont lisses (figure 3.9). Des fibres et croisements de fibres peuvent être visibles sous les points bien imprimés mais



**FIGURE 3.11.: Schéma de croisement de fibres (poutres)**



**FIGURE 3.12 : Schéma de dépressions causées par la présence d'amas de charges**

sans pore adjacent. En effet, ceux-ci ont été comblés par des charges. Les papiers de la deuxième étude ont été observés au microscope électronique à balayage (MEB). Les photos des surfaces des papiers montrent qu'en surface, les charges sont essentiellement réparties le long des fibres et aux croisements de fibres (§ 5, figures 5.5 à 5.8). Lorsque ceci n'est pas le cas (pores non bouchés et/ou agglomérats de charges créant un bosse en surface), un point manquant est alors susceptible d'être créé.

Les quatre classes d'origine des points manquants les plus représentées (figure 3.1), i.e. celles où les fibres sont présentes, se retrouvent quelque soit la papeterie d'origine et la salle d'impression (cf. première étude, tableaux 3.4 et 3.5). Toutefois, si l'origine de ces points manquants est la même pour ces différents imprimés, en revanche leur nombre peut varier de l'un à l'autre. Et donc, la qualité d'impression peut différer d'un papier à l'autre (voir annexe D).

En revanche, lorsqu'on observe la répartition des causes de point manquants pour la deuxième étude, ceci en fonction des faces des papiers (tableau 3.6), on remarque que le papier à base d'épinette, du côté feutre se démarque des autres par une grande influence de la présence de charges. Or, le tableau 5.7 qui rapporte les quantités de charges minérales

réparties sur les faces des deux papiers (étude au MEB) indique que cette face a retenue plus de charges que les trois autres. Un excès de charges minérales en surface semble donc ici à l'origine d'un certain nombre de points manquants. De plus, le côté toile de ce même papier à base d'épinette contient un plus grand nombre de fibres larges en surface (figure 5.8) et ce sont les classes "fibre" et "croisement de fibres" qui deviennent les plus représentées pour cette face quant à l'origine des points manquants.

**TABLEAU 3.4 : Structures sous-jacentes des points manquants; présence de fibres et charges en fonction de la papeterie d'origine (étude 1).**

Papeterie	A 30 points <sup>1</sup>	B 10 points	C 5 points	D 10 points	E 10 points	F 10 points
Fibres <sup>2</sup>	70 %	60 %	100 %	60 %	70 %	100 %
Charges <sup>3</sup>	33 %	30 %	60 %	40 %	40 %	20 %

1 : nombre total de points manquants observés pour cette papeterie.

2 : les 4 classes suivantes sont regroupées : "croisement de fibres", "croisement de fibres et amas de charges", "fibres", "fibres et amas de charges".

3 : les 3 classes suivantes sont regroupées : "croisement de fibres et amas de charges", "fibres et amas de charges", "amas de charges".

**TABLEAU 3.5 : Structures sous-jacentes des points manquants; présence de fibres et charges en fonction de la salle d'impression (étude 1).**

Salle d'impression	Brown P. 10 points <sup>4</sup>	England 10 points	R.R.D. 30 points	X 10 points	Ringier 15 points
Fibres <sup>2</sup>	70 %	90 %	70 %	100 %	73 %
Charges <sup>3</sup>	30 %	80 %	41 %	20 %	27 %

4 : nombre total de points manquants observés pour cette salle d'impression.

**TABLEAU 3.6 : Structures sous-jacentes des points manquants; présence de fibres et charges en fonction du papier et de la face considérés (étude 2).**

Essence	Sapin		Épinette	
	Feutre	Toile	Feutre	Toile
Fibres <sup>2</sup>	80 %	90 %	80 %	80 %
Charges <sup>3</sup>	90 %	30 %	60 %	40 %

5 : 10 points manquants ont été observés par face.

Pour les papiers 3 et 4, nous avons délibérément choisi pour l'observation au CLSM des zones où les lignes de points manquants étaient présentes. On soupçonne dans ce cas un problème d'impression. Malgré cela, les structures sous-jacentes aux points manquants sont les mêmes que pour les autres papiers. La rugosité  $G_3$  moyenne de ces surfaces est cependant moins élevée que celles des surfaces des papiers comparables (i.e. venant de la même papeterie : papiers 1; 3; 5; 9; 11; 13). Donc, même si un défaut d'impression explique le grand nombre de points manquants, les fibres de surface seules ou croisées interviennent en partie comme cause de ces points manquants. La constatation étant que même des pores peu profonds ont été ici à l'origine de points non imprimés.

### 3.4.2. La topographie des pores

#### *3.4.2.1. Première étude*

Le tableau 3.7 regroupe pour les 15 échantillons les rugosités  $G_3$  moyennes sur cinq mesures des deux types de surfaces observées aux deux différents grossissements.

Généralement, micro et macro-rugosités des surfaces bien imprimées sont moins élevées que les rugosités des surfaces avec points manquants. La différenciation d'un papier à l'autre, pour une salle d'impression donnée, est souvent impossible en raison notamment d'écart-types élevés.

Les papiers 5 et 6 imprimés chez Donnelley viennent respectivement des mêmes machines à papier que les papiers 13 et 14 imprimés chez Ringier. Cependant, quelque soit la papeterie d'origine, les structures sous-jacentes des points manquants sont plus rugueuses pour l'imprimerie Donnelley que pour l'imprimerie Ringier. Les conditions d'impression n'étant pas connues, il est difficile de donner une explication. L'hypothèse de l'utilisation d'une assistance électrostatique plus élevée chez Donnelley est cependant proposée. Seuls les pores profonds ne seraient ainsi pas imprimés. C'est donc afin de vérifier l'éventuelle influence de l'assistance électrostatique que la deuxième étude a été mise en place. Comme nous allons le voir, l'hypothèse ci-dessus énoncée a été effectivement confirmée.

#### *3.4.2.2. Deuxième étude*

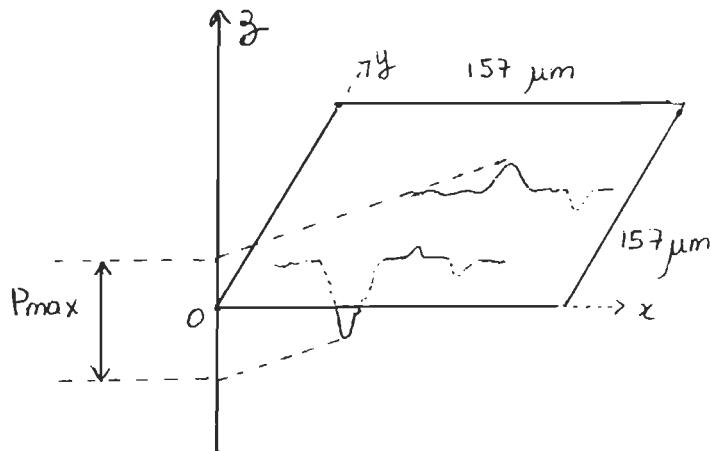
TABLEAU 3.7 : Rugosité  $G_3$  moyenne sur cinq mesures, première étude.

Échantillon	Point imprimé		Point manquant	
	$G_3$ ( $\mu\text{m}$ )		$G_3$ ( $\mu\text{m}$ )	
	Objectif 16 x	Objectif 40 x	Objectif 16 x	Objectif 40 x
1	4,15 (0,41) <sup>1</sup>	2,12 (0,21)	5,04 (0,62)	3,63 (0,79)
2	4,88 (0,65)	3,22 (0,44)	6,02 (0,85)	4,39 (0,85)
3	4,00 (0,22)	2,12 (0,21)	4,45 (0,52)	2,87 (0,46)
4	4,42 (0,69)	1,96 (0,40)	4,12 (0,47)	3,09 (0,43)
5	3,26 (0,39)	1,93 (0,22)	5,60 (1,31)	3,82 (1,84)
6	4,41 (0,74)	2,96 (0,53)	5,39 (0,81)	3,88 (0,84)
7	3,44 (0,33)	2,07 (0,31)	3,83 (0,93)	3,12 (1,28)
8	3,37 (0,51)	1,79 (0,17)	3,66 (0,30)	2,32 (0,21)
9	4,67 (0,42)	2,23 (0,35)	5,83 (0,92)	3,92 (0,92)
10	4,36 (0,26)	2,17 (0,30)	5,59 (1,39)	3,86 (1,35)
11	4,54 (0,55)	2,28 (0,66)	5,20 (0,49)	4,00 (0,45)
12	4,10 (0,54)	2,26 (0,49)	6,16 (1,70)	4,88 (1,51)
13	3,53 (0,34)	2,05 (0,32)	4,01 (0,67)	3,14 (0,51)
14	3,56 (0,04)	1,72 (0,38)	3,92 (3,92)	3,02 (0,51)
15	3,87 (0,91)	1,99 (0,71)	4,10 (0,52)	2,74 (0,40)

1 : l'écart-type pour 5 mesures est donné entre parenthèses. Ceci est une indication de la variation de la rugosité pour un imprimé donné.

Quarante structures sous-jacentes de points manquants et quarante structures sous-jacentes de points imprimés ont été observées. L'influence de quatre facteurs sur la rugosité locale  $G_3$  et sur la dénivellation maximale Pmax du papier sur des surfaces de 157 x 157  $\mu\text{m}^2$  a été étudiée. La dénivellation Pmax est la distance suivant l'axe Oz séparant le point (pixel) le plus élevé à la surface du papier observée du point le plus en profondeur (figure 3.13). Les moyennes sur cinq mesures des rugosités  $G_3$  et dénivellation Pmax sont regroupées dans les tableaux 3.8 et 3.9 et les résultats de l'analyse statistique effectuée avec Excel, DO Expert sur les valeurs de  $G_3$  et Pmax sont présentés dans les tableaux 3.10 et

3.11 ainsi que par les figures 3.14 et 3.15. Rappelons que les facteurs étudiés sont : (a) le report ou non du point (i.e. la qualité d'impression); (b) l'utilisation de l'assistance électrostatique; (c) l'essence de bois composant la pâte mécanique; (d) le côté du papier.



**FIGURE 3.13 : Dénivellation  $P_{max}$**

Le facteur le plus significatif est la qualité d'impression, ceci autant sur  $G_3$  que sur  $P_{max}$ . Les pores profonds sont la cause de points manquants.

Le second facteur d'influence est l'utilisation de l'assistance électrostatique (ESA). Lorsque l'ESA est utilisée sur une presse héliogravure, l'encre peut être transférée jusqu'à 1,5  $\mu\text{m}$  plus profondément que lorsqu'elle n'est pas utilisée (figure 3.15). Comparée à la différence de profondeur moyenne  $P_{max}$  de 2  $\mu\text{m}$  entre les points imprimés et les points manquants, cette valeur de 1,5  $\mu\text{m}$  représente alors un gain très important. Le nombre de points manquants devient faible. En effet, la mise en place d'une différence de potentiel entre le rouleau encreur et le rouleau de support permet à l'encre d'être attirée vers le papier. C'est pourquoi, lorsque l'ESA est en place, les surfaces observées avec points manquants d'une part et bien imprimés d'autre part, sont en moyenne plus rugueuses que lorsqu'elle n'est pas utilisée.

Le papier est également en moyenne plus rugueux localement lorsque la pâte

TABLEAU 3.8 : Rugosités moyennes  $G_3$  et écarts-types, deuxième étude

Qualité d'im.		Point transféré				Point manquant			
Essence		Sapin		Épinette		Sapin		Épinette	
ESA	Face	moy. <sup>1</sup>	éc.-t.	moy.	éc.-t.	moy.	éc.-t.	moy.	éc.-t.
<b>oui</b>	<b>feutre</b>	4,21	0,32	4,30	0,45	4,94	0,80	5,13	0,54
	<b>toile</b>	4,32	0,52	4,02	0,39	5,12	1,46	5,71	1,01
<b>non</b>	<b>feutre</b>	3,79	0,37	4,12	0,35	4,24	0,52	4,69	0,64
	<b>toile</b>	4,10	0,33	3,68	0,50	3,70	0,72	5,00	1,37

1 : moyenne sur cinq mesures.

TABLEAU 3.9 : Dénivellations moyennes Pmax et écarts-types, deuxième étude

Qualité d'im.		Point transféré				Point manquant			
Essence		Sapin		Épinette		Sapin		Épinette	
ESA	Face	moy. <sup>1</sup>	éc.-t.	moy.	éc.-t.	moy.	éc.-t.	moy.	éc.-t.
<b>oui</b>	<b>feutre</b>	12,3	0,6	11,7	0,8	14,7	3,5	14,6	1,9
	<b>toile</b>	11,9	0,6	11,6	1,0	13,7	2,6	15,0	3,4
<b>non</b>	<b>feutre</b>	11,0	1,0	12,0	1,1	11,8	1,1	13,6	1,4
	<b>toile</b>	11,9	0,8	11,2	0,7	10,5	2,2	13,2	3,4

1 : moyenne sur cinq mesures.

mécanique est à base d'épinette noire que lorsque le sapin baumier est employé. La présence de fibres plus longues et à diamètre supérieur dans l'épinette noire explique cette rugosité plus importante ainsi que la qualité d'impression plus médiocre qui en découle (voir chapitre 5).

Le quatrième facteur principal étudié, la face du papier, n'est pas ressorti comme étant un facteur significatif (remarque : ces papiers ont été fabriqués sur la même machine à zone de formation hybride). Localement, la face du papier n'a donc pas d'influence. Cependant, nous verrons plus loin que globalement le côté toile est plus rugueux et donne

un plus grand nombre de points manquants (chapitre 5). Le côté toile comporte plus de pores que le côté feutre mais considérés individuellement, ces pores ont la même topographie sur les deux faces.

**TABLEAU 3.10 : Facteurs significatifs sur la rugosité G<sub>3</sub>, deuxième étude**  
(Analyse statistique effectuée avec Excel, DO Expert).

Facteur	Coefficient <sup>1</sup>	P(2 Tail) <sup>2</sup>
<b>Intercept</b>	4,442	0,0000
<b>A- Qualité d'impression</b>	-0,375	0,0000
<b>B- Essence</b>	-0,139	0,0915
<b>C- ESA</b>	0,278	0,0010
<b>D- Face</b>	-0,015	0,8582
<b>AB</b>	0,175	0,0349
<b>AC</b>	-0,132	0,1100
<b>AD</b>	0,053	0,5188
<b>BC</b>	0,067	0,41114
<b>BD</b>	0,008	0,9258
<b>CD</b>	-0,060	0,4652

1 : coefficients de la régression multiple (RM).

2 : probabilité d'avoir un terme non significatif dans le modèle de RM; les facteurs significatifs sont en gras.

**TABLEAU 3.11 : Facteurs significatifs sur la hauteur Pmax, deuxième étude**  
 (Analyse statistique effectuée avec Excel, DO Expert)

Facteur	Coefficient <sup>1</sup>	P(2 Tail) <sup>2</sup>
<b>Intercept</b>	8,356	0,0000
<b>A- Qualité d'impression</b>	-0,846	0,0002
<b>B- Essence</b>	-0,318	0,1470
<b>C- ESA</b>	0,661	0,0031
<b>D- Face</b>	0,171	0,4328
<b>AB</b>	0,397	0,0711
<b>AC</b>	-0,461	0,0366
<b>AD</b>	-0,124	0,5676
<b>BC</b>	0,272	0,2127
<b>BD</b>	0,049	0,8221
<b>CD</b>	-0,036	0,8679

1 : coefficients de la régression multiple (RM).

2 : probabilité d'avoir un terme non significatif dans le modèle de RM; les facteurs significatifs sont en gras.

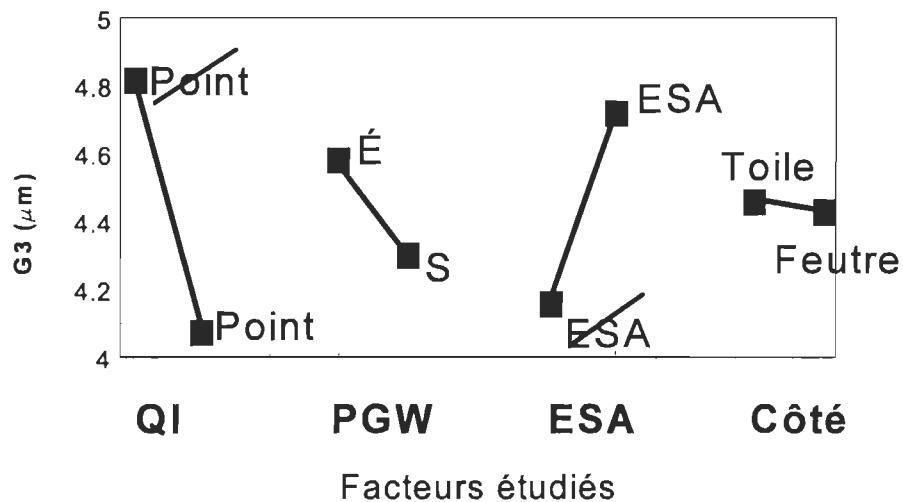


FIGURE 3.14 : Influence des principaux effets sur la rugosité  $G_3$ , deuxième étude.

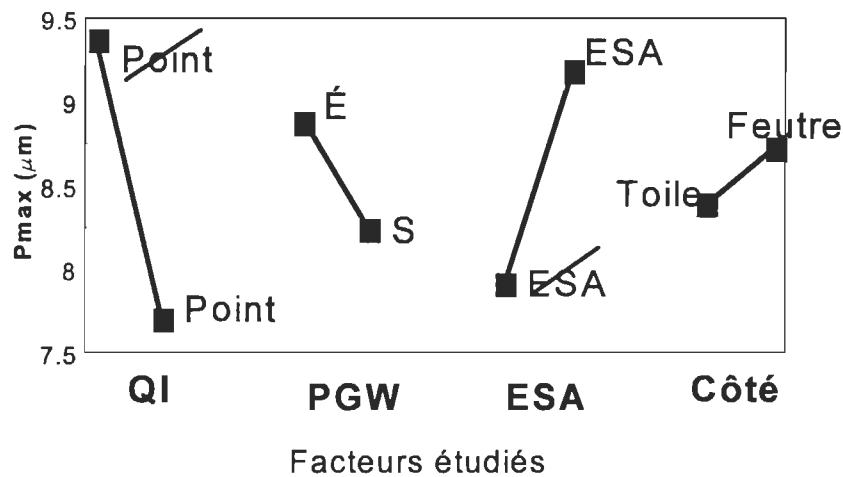


FIGURE 3.15 : Influence des principaux effets sur la hauteur  $P_{\max}$ , deuxième étude.

### 3.4.2.3. Pore Équivalent de Surface (ESP)

La qualité d'impression et la topographie de surface de trois papiers supercalandrés sont ici reliées. Les pores équivalents de surface de ces trois papiers sont représentés en figure 3.16. Ce sont les ESP moyens correspondant aux macro-rugosités  $G_3$  des papiers 5, 6, et 8. Le grammage ainsi que la salle d'impression sont identiques pour ces trois imprimés. Le pourcentage de points manquants est reporté dans le tableau 3.12 (extrait de l'annexe D). Les rugosités  $G_3$  sont répertoriées dans le tableau 3.7.

**TABLEAU 3.12 : % de points manquants pour les imprimés 5, 6 et 8 (étude 1).**

Échantillon	5	6	8
Points manquants <sup>1</sup>	5,2 %	9,5 %	2,9 %

1 : mesuré sur un tramé noir de 15,36 mm<sup>2</sup>.

La différence entre les surfaces bien imprimées et avec points manquants est importante pour le papier 5. Les surfaces bien imprimées sont très lisses et les surfaces avec points manquants ont des pores très profonds. Ce papier est caractérisé par une surface lisse entrecoupée de surfaces très accidentées à l'origine de points manquants. La qualité d'impression qui en résulte est moyenne (5,2 % de points manquants).

Le papier 6 a une rugosité locale importante autant pour les endroits bien imprimés que pour les endroits avec points manquants. Le pourcentage de points manquants (9,5 %) est élevé pour ce papier qui est uniformément rugueux.

Les surfaces bien et mal imprimées du papier 8 sont lisses ( $G_3$  faible). De plus, le nombre de points manquants (2,9 %) est faible pour ce papier. La surface lisse et uniforme de ce papier entraîne une qualité d'impression élevée.

## 3.5. Conclusion

La microscopie confocale a permis d'analyser les structures sous-jacentes des points manquants de différents imprimés héliogravure. Sept classes distinctes de structures sous-jacentes ont été identifiées. Pour six de ces classes (= 98 % des cas), des pores de surface sont présents. Ces pores sont des dépressions de 30 µm à 150 µm de côté et de 3 µm à 12 µm de profondeur. Il est apparu que les points manquants sont la plupart du temps dus à

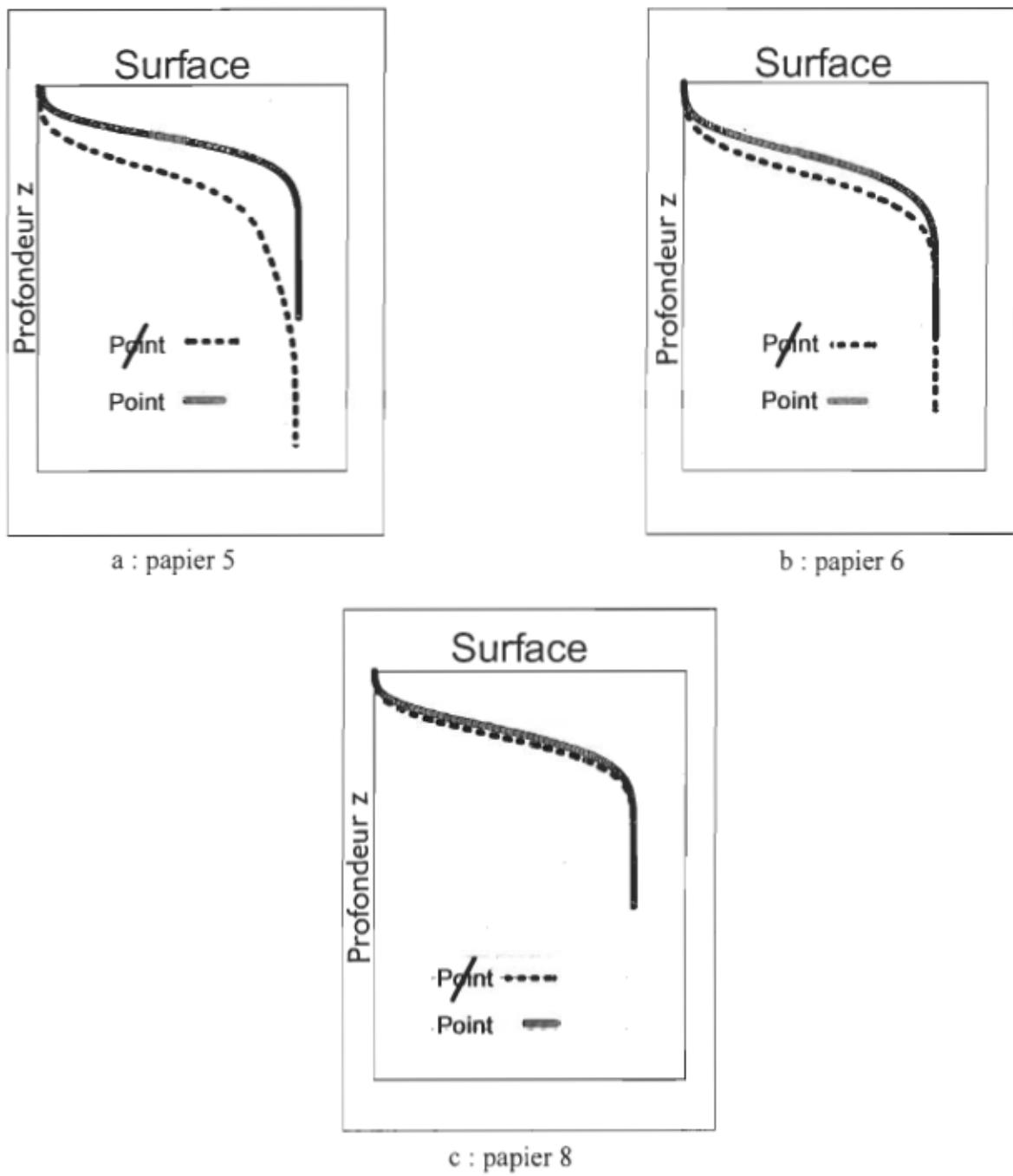


FIGURE 3.16 : Pore équivalent de surface pour trois différents papiers supercalandrés.

des (croisements de) fibres et/ou à une mauvaise répartition des charges (agglomérats et/ou manque de charges).

La mesure de la rugosité locale  $G_3$  des papiers non comprimés montre que les structures sous-jacentes des points manquants sont plus rugueuses que les structures sous-jacentes des points imprimés.

Deux papiers SCA fabriqués sur la même machine mais dont le composant de la pâte de meule pressurisée diffère, ont été imprimés commercialement avec et sans assistance électrostatique (ESA). L'utilisation de l'ESA, c'est à dire la création d'une différence de potentiel entre le rouleau encreur et le rouleau de support produit une meilleure qualité d'impression en permettant que l'encre soit attirée vers le papier. Ce travail a confirmé qu'en utilisant l'ESA, l'encre peut être transférée même où il y a des pores profonds et ceci jusqu'à  $1,5 \mu\text{m}$  plus profondément que sans ESA. Sachant qu'en moyenne la profondeur des pores diffère de  $2 \mu\text{m}$  entre un endroit imprimé et un endroit avec point manquant, cette valeur de  $1,5 \mu\text{m}$  représente un gain énorme. Il y a ainsi moins de points manquants.

L'utilisation de sapin baumier plutôt que d'épinette noire dans la pâte mécanique de meule pressurisée permet d'obtenir une meilleure qualité d'impression. Comme nous le verrons dans la partie 5, une plus grande quantité de longues et larges fibres d'une part (côté toile) et une plus grande quantité de charges minérales d'autre part (côté feutre) dans le papier à base d'épinette est à l'origine d'un plus grand nombre de pores profonds. L'utilisation de sapin baumier plutôt que d'épinette noire permet l'obtention d'un papier à meilleure qualité d'impression ceci sans avoir engendré plus de casses sur machine (résistance mécanique toujours satisfaisante).

Pour ces papiers, même si le côté toile est globalement plus rugueux que le côté feutre, localement, à la dimension des points de trame, la rugosité locale est la même pour les deux faces. Il y a plus de pores du côté toile mais ceux-ci ont la même topographie sur les deux faces.

## CHAPITRE IV

### ÉTUDE DE LA PÂTE DE MEULE SOUS PRESSION

#### 4.1. But de l'étude

Les papiers supercalandrés qui sont l'objet de cette étude sont principalement composés de pâte mécanique. Plus spécifiquement, les papiers fabriqués à Lake Superior Paper Industry (Duluth, MN, USA) contiennent environ 50 % de pâte mécanique de meule sous pression (PGW), la pâte kraft et les charges minérales représentant les 50 % restant. Cette pâte PGW riche en fines celluloses permet effectivement d'obtenir une bonne qualité d'impression (43). La quantité d'énergie (1100 kWh/t) nécessaire à sa fabrication ainsi que ses propriétés optiques sont d'autres points forts de cette pâte à haut rendement comparée aux pâtes de raffineur (44).

Cette pâte est de plus fabriquée sur place à Duluth au contraire des autres constituants de la suspension fibreuse utilisés lors de la fabrication du papier. LSPI peut donc exercer un impact direct sur les propriétés de cette pâte en modifiant les consignes de fabrication au sein de l'usine. En tenant compte de ces deux facteurs (lieu de fabrication, quantité), il a donc été jugé intéressant de prendre connaissance en détails de l'évolution des caractéristiques de cette pâte au cours de sa fabrication; notamment la classification des fibres suivant leur longueur. Une telle étude peut effectivement permettre de détecter un trop grand nombre de bûchettes dans la pâte. Celles-ci pouvant être la cause d'une rugosité de surface du papier élevée et d'une mauvaise qualité d'impression (45).

Des échantillons de pâte ont donc été prélevés à différentes étapes de la fabrication de la pâte de meule sous pression à Duluth<sup>1</sup>. Des classifications au Bauer-McNett et au

---

<sup>1</sup>La pâte PGW est constituée de deux essences de bois. Le premier désir était d'obtenir des échantillons de pâte pure de ces essences séparées afin de comparer leur comportement individuel. Cependant la séparation des essences n'a pu être programmée à ce moment-là à l'usine. L'étude ci-après porte donc sur un mélange. Par la suite, la séparation a pu être effectuée. L'étude qui en découle constitue la partie V de ce mémoire.

Kajaani Fiber Length Analyser FS-200 ont été effectuées ainsi qu'une mesure de rugosité Parker Print-Surf sur formettes anglaises. Pour chaque classe de fibres récoltée au BMN, des compressibilités sur formettes anglaises ont également été effectuées à l'aide du microscope confocal.

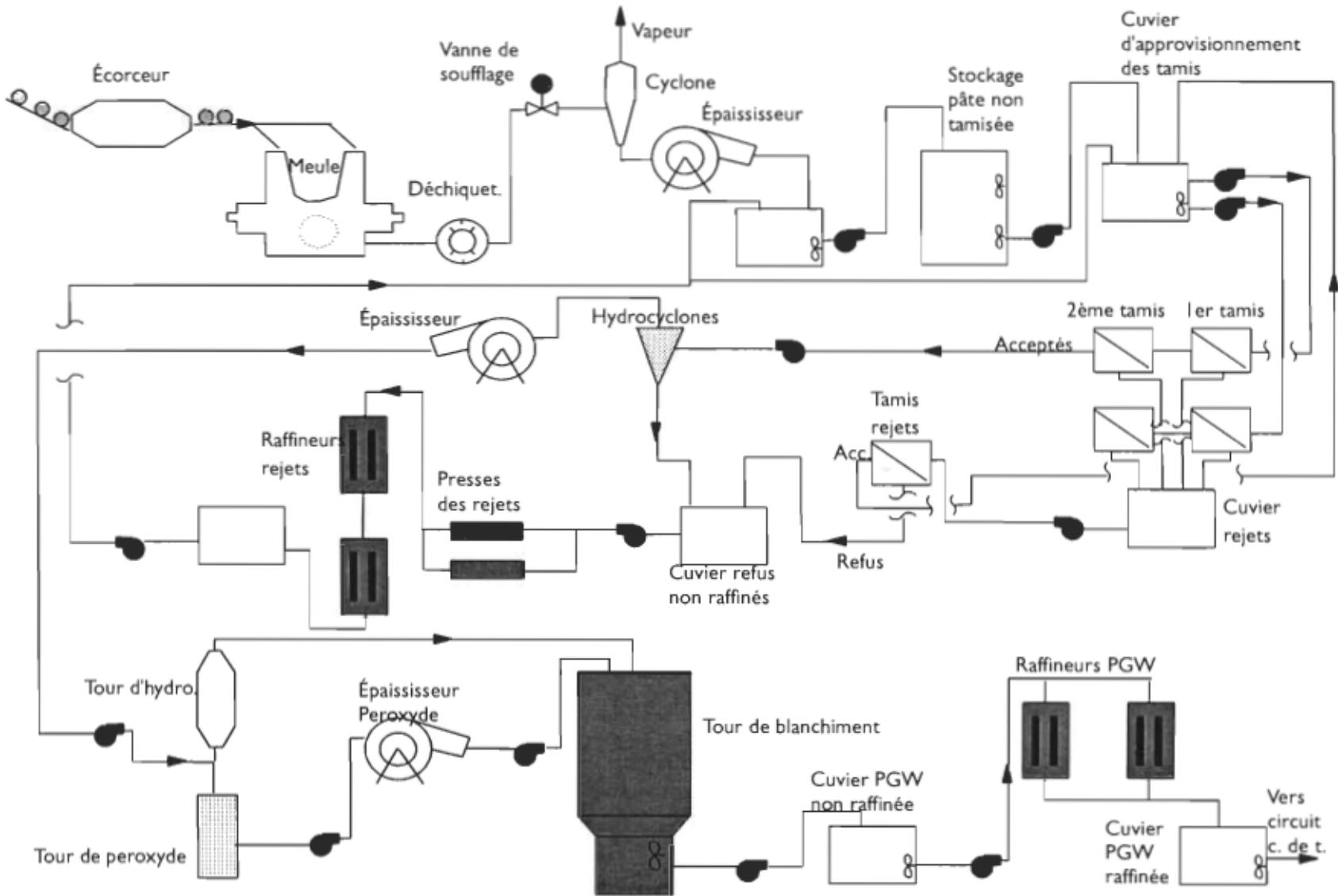
Cette étude des différentes classes de fibres a été menée dans l'espérance de mettre en évidence des propriétés fondamentales reliant caractéristiques des fibres et état de surface du papier. La possibilité de pouvoir calculer et prévoir les propriétés physiques des pâtes utilisées ou fractions fibreuses constituerait en effet le meilleur outil pour choisir un mélange de pâtes requis pour obtenir un certain produit final (46).

Les différentes études qui ont été menées jusqu'à maintenant pour trouver des relations entre propriétés des constituants d'une pâte (fractions fibreuses) ou d'un mélange de pâtes ont montré que les propriétés mécaniques du mélange ne variaient pas de façon linéaire avec les propriétés mécaniques de ses composants (46; 47-48). Lindholm attribue ce phénomène aux propriétés synergiques existant entre les fractions de fibres lorsque celles-ci sont mélangées (47). Il a été montré que le pourcentage de fibres longues et de fines ainsi que la capacité des fibres longues à créer des liaisons sont les facteurs prépondérants influençant les propriétés mécaniques des pâtes entières (47-48; 49-50; 51; 52). Quant à l'état de surface des papiers, Mohlin montre que ce sont surtout les proportions de fibres longues et moyennes ainsi que la conformabilité des fibres longues qui ont une influence sur la rugosité (PPS) des papiers (49-50). Bristow montre pour sa part que la rugosité (PPS) d'un mélange composé moitié de pâte kraft et moitié de pâte mécanique est la moyenne de la rugosité obtenue avec chacune de ces deux pâtes séparées. Parmi les différentes propriétés physiques étudiées par Bristow, la rugosité est la seule à avoir cette relation d'additivité (53). Pour notre part, l'étude effectuée ne confirme cette relation d'additivité simple pour la rugosité. En revanche, il est ressorti de cette étude des relations de proportionnalité reliant entre elles la longueur des fibres et leur section, la rugosité du papier et sa compressibilité de surface.

#### **4.2. Procédé de fabrication de la pâte PGW (43; 44; 54)**

Le schéma 4.1 décrit les différentes étapes de la fabrication de cette pâte de meule

**FIGURE 4.1 : Étapes de fabrication de la pâte de meule sous pression**



sous pression. Un mélange de rondins (2,50 mètres) de sapin baumier (*Abies Balsamea*) et d'épinette noire (*Picea Mariana*) est livré à l'usine. Ces rondins sont coupés en deux puis écorcés avant d'être envoyés vers la meule sous pression Tampella. La pâte ainsi obtenue (100 CSF) est tamisée. Les rejets sont raffinés avant d'être réintégrés au circuit principal en amont du tamisage alors que les acceptés sont encore épurés à l'aide d'hydrocyclones. Les rejets sont raffinés, les acceptés sont épaissis avant d'être blanchis au peroxyde d'hydrogène. Enfin, cette pâte blanchie (69 points de brillant TAPPI, 50 CSF) est raffinée avant d'être mélangée à la pâte kraft et aux charges minérales (argile).

#### **4.3. Prélèvements et mesures effectués**

##### **4.3.1. Prélèvements**

Neuf points de prélèvements de pâte ont été choisis, répartis sur le circuit principal de fabrication de la pâte ainsi que sur le traitement des rejets des tamis. Ces différents prélèvements sont indiqués par les lettres A à G sur la figure 4.2. Les six prélèvements (A1, A2, B, D, E, F) du circuit principal sont placés après chaque nouveau traitement que subit la pâte (épuration, blanchiment, etc). Ont également été prélevés les rejets des tamis avant et après leur raffinage (C1, C2, G).

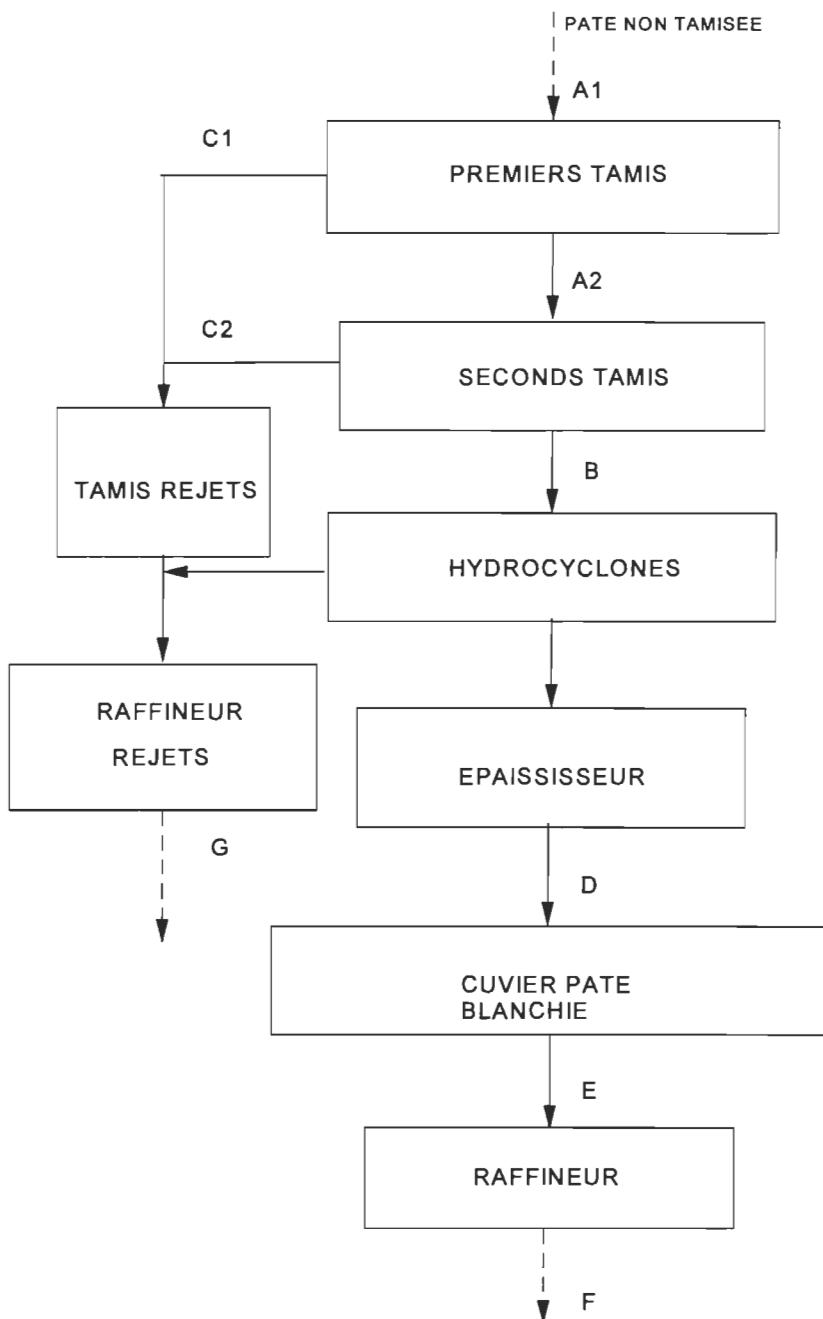
##### **4.3.2. Mesures**

Afin d'observer l'évolution de la pâte au cours de sa fabrication, des mesures de classage de fibres au Bauer-McNett ont été effectuées sur tous les prélèvements.

Trois points de prélèvements ont été choisis pour effectuer une étude plus poussée de l'évolution de la pâte au cours de sa fabrication. Ces trois points sont :

- (a) pâte non tamisée (A1);
- (b) pâte blanchie (E);
- (c) pâte raffinée (F);

Ils ont été choisis de telle sorte que la pâte soit bien différentiable entre chacun d'eux du point de vue longueur de fibres. La pâte E correspond à la pâte A1 libérée de ces



**FIGURE 4.2 : Prélèvements effectués lors de la fabrication de pâte mécanique**

éléments grossiers, la pâte F a subi un raffinage qui a entraîné une coupe des fibres et la création de fibrilles et fines, lambeaux de parois arrachés aux fibres. Notons que l'accroissement de la conformabilité des fibres et la création de fines sont bénéfiques au lissé du papier (49-50).

De nombreux BMN ont été effectués sur ces pâtes afin de récolter pour chaque classe de fibres assez de matière pour fabriquer une à six formettes anglaises et faire une mesure de longueur de fibres,  $L_f$  et masse linéique,  $\lambda$  au Kajaani Fiber Length Analyser. Ainsi, 3 mesures ont été effectuées pour connaître la répartition des fibres au BMN, 5 à 15 mesures supplémentaires suivant la pâte ont été nécessaires pour récolter assez de pâtes pour faire 1 formette (fraction R14) à 6 formettes (autres fractions). L'évolution de la masse linéique, des rugosités PPS et CLSM ainsi que de la compressibilité CLSM en fonction de la longueur des fibres à différentes étapes du procédé a ainsi pu être étudiée. Cette dernière mesure (compressibilité) n'a été effectuée que sur la pâte finale F, ce travail étant très long et fastidieux. Le tableau 4.1 récapitule pour chaque échantillon les différentes mesures effectuées.

**TABLEAU 4.1 : Mesures effectuées pour l'étude de la pâte PGW**

Prélèvement	Pâte entière				Fractions BMN			
	BMN PPS	rugos. CLSM	rugos. CLSM	comp. Ks	Kajaani $L_f, \lambda$	rugos. PPS	rugos. CLSM	comp. Ks
A1	XXX	XXX			XXX	XXX	XXX	
A2	XXX							
B	XXX							
C1	XXX							
C2	XXX							
D	XXX							
E	XXX	XXX			XXX	XXX	XXX	
F	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
G	XXX							

XXX : mesure effectuée

## 4.4. Résultats et discussion

### 4.4.1. Évolution de la pâte au cours du procédé de fabrication

Nous allons discuter ici des résultats de classage des fibres (BMN) exécutés sur la totalité des neuf échantillons de pâte prélevés. Le tableau 4.2 et la figure 4.3 rapportent les valeurs de Bauer-McNett. Ces valeurs sont la moyenne de trois mesures<sup>2</sup>.

#### 4.4.1.1. Circuit principal (A1, A2, B, D, E, F)

On observe une diminution progressive du nombre d'éléments grossiers (tamis R14) au cours du procédé. Cette baisse est surtout élevée lors du tamisage sous pression (40 % de baisse au premier tamis, 20 % de baisse au deuxième tamis). On remarque également que le raffinage a un léger effet de coupe puisqu'il y a une baisse de 30 % du pourcentage de longues fibres entre les étapes E et F.

Simultanément, le pourcentage de fines (P200) augmente au cours du procédé, notamment lors du raffinage. La présence de ces fines cellulosiques, lambeaux de fibres est bénéfique à la création de liaisons hydrogène entre les fibres lors de la fabrication du papier (43) et au colmatage des interstices entre les plus longues fibres (55). Les pourcentages massiques des classes de fibres intermédiaires restent sensiblement constants (R48, R100, R200) .

#### 4.4.1.2. Circuit des rejets (C1, C2, G)

Le raffinage (G) permet de réduire considérablement le pourcentage d'éléments grossiers présents dans ces rejets (de 19 % et 8 % à 5,8 %), ceci jusqu'à un niveau identique à celui trouvé dans le circuit principal après le premier tamisage. Ces éléments grossiers sont essentiellement transformés en fibres encore assez longues retenues sur les tamis R48 et R28.

#### 4.4.1.3. Comparaison à d'autres pâtes PGW

<sup>2</sup> Des mesures de longueur de fibres et de masse linéique ont été effectuées au Kajaani Fiber Length Analyser simultanément aux mesures de Bauer-McNett. Cependant, des bûchettes obstruant le capillaire du Kajaani, il a fallu enlever prélimièrement ces bûchettes sur un tamis Sommerville. Ces résultats ont alors été jugés non représentatifs et inexploitables. Ils ne sont donc pas reportés ici.

**TABLEAU 4.2 : Classage des fibres des prélèvements A1 à G au Bauer-McNett**

Prélèvem.	R14	R28	R48	R100	R200	P200
<b>A1</b>	7,55	16,98	11,62	14,91	13,08	35,85
<b>A2</b>	4,78	16,87	12,36	15,80	13,70	36,49
<b>B</b>	3,69	16,01	12,96	15,69	14,51	37,14
<b>D</b>	2,50	16,09	12,95	15,80	14,46	38,50
<b>E</b>	2,34	14,16	12,67	16,79	15,13	38,91
<b>F</b>	1,66	13,81	12,65	16,53	15,21	40,14
<b>C1</b>	19,16	18,44	12,11	13,66	11,30	25,33
<b>C2</b>	8,43	24,21	14,25	15,53	12,63	24,95
<b>G</b>	5,85	24,40	14,89	15,24	12,77	26,85

Considérons la pâte PGW de LSPI en fin de fabrication (pâte F). La quantité totale de fibres retenues par les tamis R14 et R28 est de 15,47 %. Cette valeur, pour de la pâte PGW à base de pin à l'encens (*pinus taeda*) fabriquée à Anjala Paper Mill (Finlande, fabrication de LWC) est de 26,2 % (56) et est de 32,6 % pour de la pâte à base d'épicéa de Norvège (*Picea Abies*) provenant de la même usine (57). Le taux de bûchettes et fibres longues présentes dans la pâte est donc plus faible à LSPI par rapport à la papeterie Anjala.

Il y a encore malgré tout 1,6 % d'éléments très grossiers (fraction R14) dans la pâte de LSPI. La papeterie de Norske Skog à Holden (Norvège) a considérablement amélioré ces 15 dernières années le lissé de ces papiers SC en réduisant le taux de bûchettes contenu dans ses pâtes TMP et SGW. Ils ont maintenant des papiers SCA de qualité semblable aux papiers de LSPI (PPS : environ 1 µm). L'amélioration de la technologie du tamisage sous pression va encore leur permettre de réduire le pourcentage de bûchettes retenu sur un Sommerville de moitié (0,04 %). Leur but futur étant d'atteindre 0 % de bûchettes dans leur pâtes mécaniques (45). Pour améliorer l'état de surface de leurs papiers, LSPI doit suivre leur exemple.

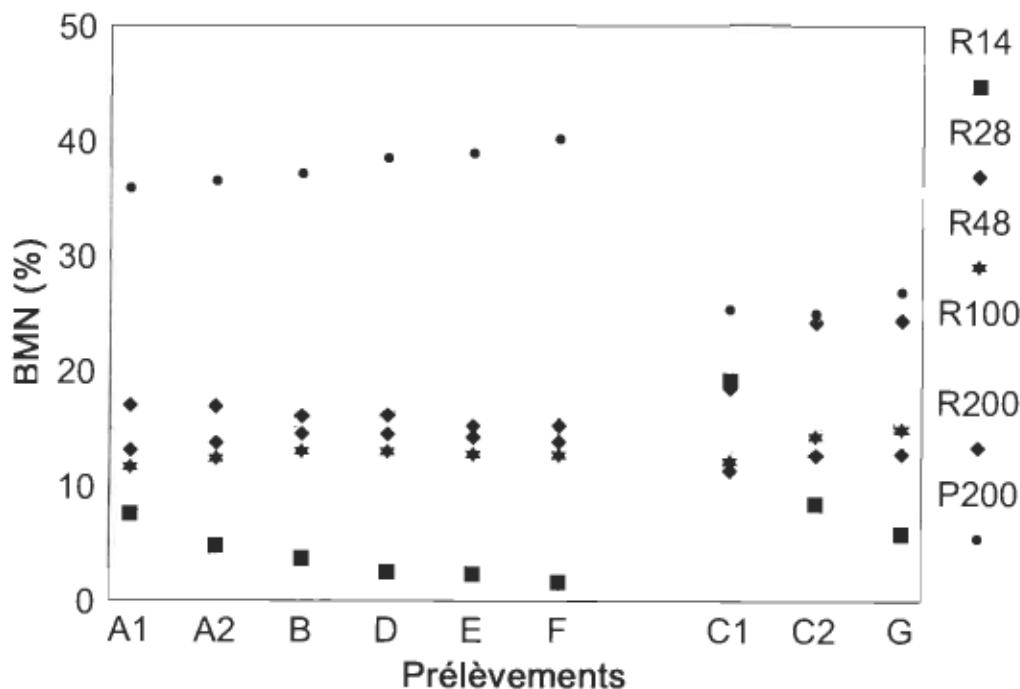


FIGURE 4.3 : Classage des fibres des prélèvements A1 à G au Bauer-McNutt

#### 4.4.2. Étude de la pâte fractionnée au BMN

##### 4.4.2.1. *Étude de la pâte*

Les résultats permettant de caractériser chaque fraction de BMN des trois pâtes A1, E et F sont reportés à la figure 4.4. La fraction P200 n'étant pas récupérée lors du tamisage au BMN, ni test au Kajaani, ni formlettes n'ont été effectuées avec cette fraction quelque soit la pâte considérée. De plus, les fractions R14 des trois pâtes ainsi que la fraction R28 de la pâte non tamisée A1 présentant trop d'éléments grossiers, ces fractions n'ont pu être évaluées au Kajaani FS-200 (blocage de l'appareil pendant chaque tentative car obstruction du capillaire). Enfin, la masse linéique moyenne  $\lambda$  de la fraction R200 est surévaluée par le FS-200 qui ne compte pas toutes les fines. On ne se servira donc pas des valeurs obtenues de  $\lambda$  pour cette fraction.

La figure 4.5 montre la progression de la masse linéique en fonction du carré de la longueur des fibres pour les trois pâtes. On remarque une progression linéaire de  $\lambda$  en fonction de  $L_f^2$  (équation 4.1).

<b>PÂTE NON TAMISÉE (A1)</b>						
<b>Concentration: 2,34 % CSF : 67</b>						
<b>BMN (%)</b>	<b>R14</b>	<b>R28</b>	<b>R48</b>	<b>R100</b>	<b>R200</b>	<b>P200</b>
7,55	16,98	11,62	14,91	13,08	35,85	
<b>Lf (mm)</b>	/	/	1,12	0,49	0,18	/
<b><math>\lambda</math> (mg/m)</b>	/	/	0,152	0,102	0,130	/

Lf : longueur fibres (KS 200)  
 $\lambda$  : masse linéique (KS 200)

**PÂTE APRÈS BLANCHIMENT (E)**

<b>PÂTE APRÈS BLANCHIMENT (E)</b>						
<b>Concentration: 6,93 % CSF : 49,5</b>						
<b>BMN (%)</b>	<b>R14</b>	<b>R28</b>	<b>R48</b>	<b>R100</b>	<b>R200</b>	<b>P200</b>
2,34	14,16	12,67	16,79	15,13	38,91	
<b>Lf (mm)</b>	/	2,03	1,16	0,49	0,18	/
<b><math>\lambda</math> (mg/m)</b>	/	0,261	0,165	0,115	0,119	/

**PÂTE APRÈS RAFFINAGE (F)**

<b>PÂTE APRÈS RAFFINAGE (F)</b>						
<b>Concentration 4,07 % CSF : 24</b>						
<b>BMN (%)</b>	<b>R14</b>	<b>R28</b>	<b>R48</b>	<b>R100</b>	<b>R200</b>	<b>P200</b>
1,66	13,81	12,65	16,53	15,21	40,14	
<b>Lf (mm)</b>	/	1,93	1,09	0,45	0,18	/
<b><math>\lambda</math> (mg/m)</b>	/	0,273	0,145	0,115	0,140	/

FIGURE 4.4 : Caractéristiques des fractions BMN des pâtes A1, E, F

$$\lambda = a + b \cdot L_f^2 \quad [4.1]$$

avec a et b les constantes de la régression linéaire, fonction de la pâte. Les valeurs de a, b et le coefficient de corrélation,  $R^2$  pour les pâtes E et F sont reportées dans le tableau 4.3 (n'ayant pas de valeur de  $\lambda$  pour la fraction R24, pâte A1, il n'y a pas eu de régression effectuée pour cette pâte).

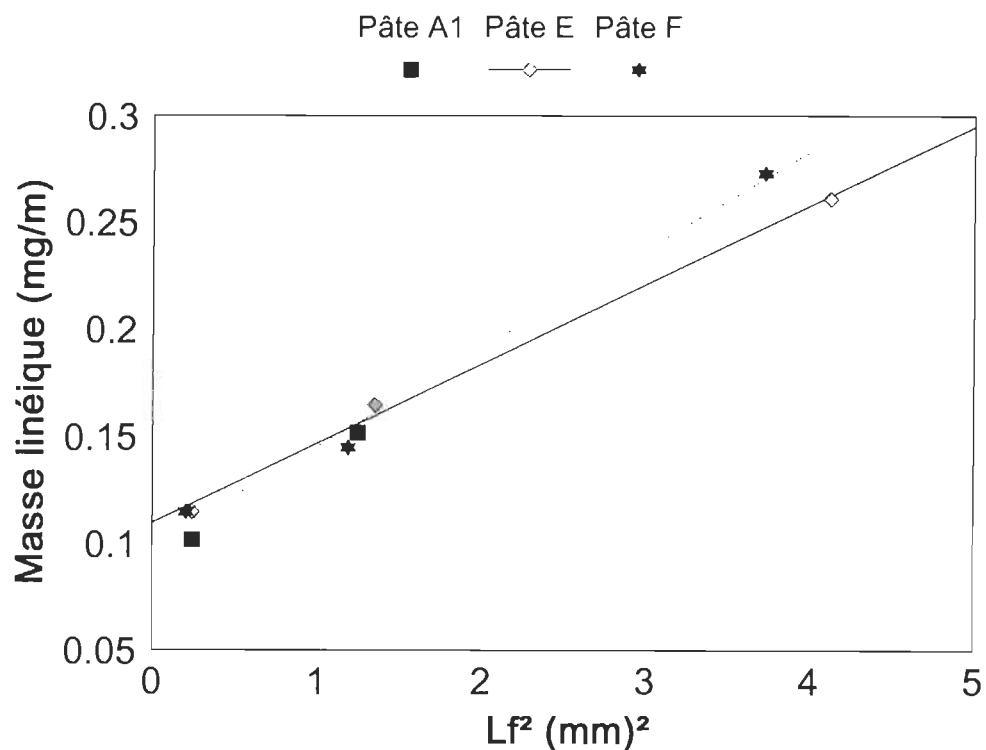
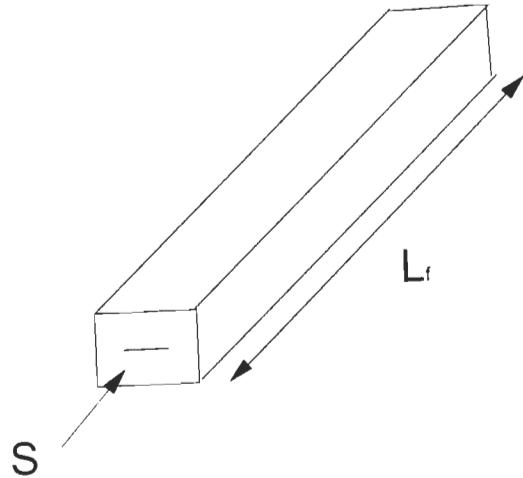


FIGURE 4.5 : Relation entre masse linéique et longueur des fibres

TABLEAU 4.3 : Régression linéaire entre  $\lambda$  et  $L_f^2$

Régression $\lambda = a + b \cdot L_f^2$	Pâte E	Pâte F
$R^2$	0,99596	0,99102
$b$	0,03703	0,04596
$a$	0,10988	0,09928

Considérons maintenant une fibre suivant un modèle simple. Une fibre après le traitement subit lors de la fabrication de la pâte a généralement son lumen écrasé, totalement ou partiellement (58). Considérons donc nos fibres comme ayant un lumen de volume négligeable. Elles peuvent alors être modélisées comme étant un parallélépipède rectangle de longueur  $L_f$ , et de section  $S$  (figure 4.6).



**FIGURE 4.6 : Fibre dont le lumen est écrasé**

La masse linéique d'une telle fibre est alors définie par

$$\lambda = \frac{m}{L_f} \quad [4.2]$$

avec  $m$ , la masse totale de la fibre.

Cette masse est elle-même reliée à la longueur et la section de la fibre par la relation :

$$m = \rho \cdot L_f \cdot S \quad [4.3]$$

avec  $\rho$  la masse volumique de la fibre.

En regroupant les équations 4.2 et 4.3, nous obtenons le résultat :

$$\lambda = \rho \cdot S \quad [4.4]$$

Nous concluons alors d'après les équations 4.1 et 4.4 que la section S de la fibre est linéairement proportionnelle au carré de la longueur L<sub>f</sub> de la fibre (équation 4.5).

$$L_f^2 = a \cdot S + b \quad [4.5]$$

a et b, fonctions de la pâte.

#### 4.4.2.2. Étude sur formettes

Les formettes faites avec les différentes fractions de BMN et les pâtes entières A1, E et F ont été utilisées pour des mesures de rugosité PPS qui sont présentées dans les tableaux 4.4 à 4.6. Dix mesures par pression de plaquage et par pâte ont été effectuées. Le support mou a été utilisé.

On remarque que la rugosité décroît avec la longueur des fibres. De plus, ces formettes étant fabriquées avec un matériel relativement homogène, les coefficients de variation obtenus sont extrêmement faibles (de 0,06 % à 3,1 %). Cependant, plus la pression est élevée et plus les fibres sont courtes, plus ce coefficient augmente.

Considérons la pâte F. La figure 4.7 montre la progression de la rugosité PPS en fonction de la longueur des fibres aux trois pressions de plaquage différentes. On remarque que plus la pression augmente et plus la courbe tend vers une allure du type :

**TABLEAU 4.4 : Rugosités PPS des fractions BMN, pâte A1**

	P = 0,5 MPa			P = 1 MPa			P = 2 MPa		
	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)
<b>R14</b>	7,05	0,008	0,12	7,02	0,008	0,12	6,93	0,028	0,40
<b>R28</b>	6,98	0,007	0,11	6,88	0,009	0,14	6,59	0,027	0,42
<b>R48</b>	6,90	0,005	0,08	6,69	0,021	0,31	6,04	0,069	1,14
<b>R100</b>	6,79	0,016	0,24	6,29	0,029	0,46	5,02	0,072	1,43
<b>R200</b>	6,75	0,021	0,32	5,98	0,059	0,99	3,75	0,093	2,48
<b>P. ent.</b>	6,93	0,016	0,23	6,61	0,028	0,42	4,91	0,095	1,94

TABLEAU 4.5 : Rugosités PPS des fractions BMN, pâte E

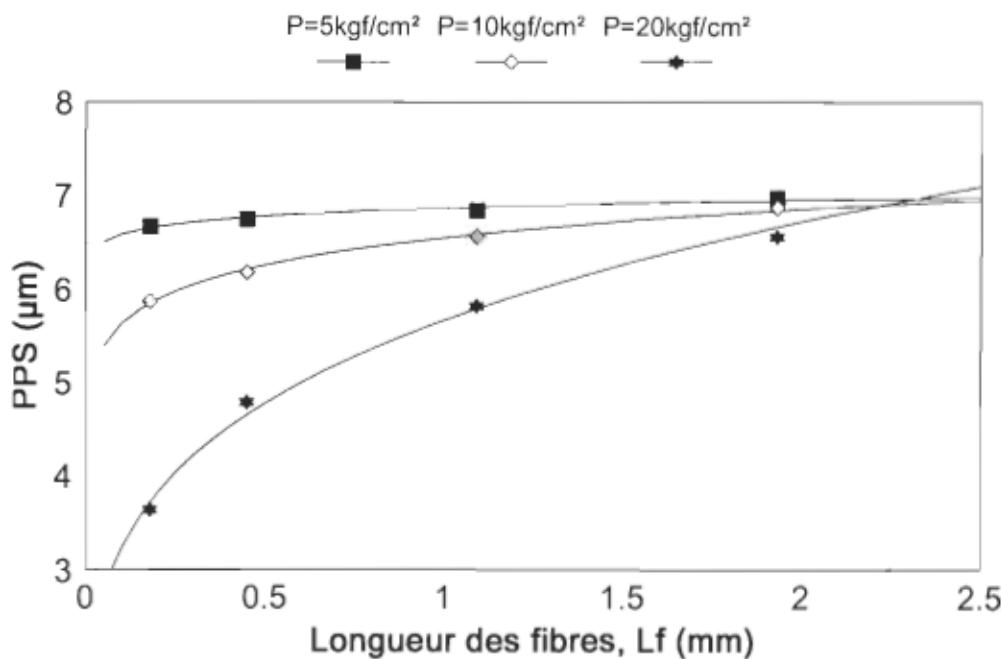
	P = 0,5 MPa			P = 10 MPa			P = 20 MPa		
	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)
<b>R14</b>	7,05	0,005	0,08	7,00	0,007	0,10	6,89	0,018	0,26
<b>R28</b>	6,99	0,009	0,14	6,90	0,011	0,16	6,66	0,021	0,32
<b>R48</b>	6,93	0,010	0,15	6,71	0,052	0,78	6,14	0,052	0,85
<b>R100</b>	6,76	0,012	0,17	6,29	0,025	0,39	5,03	0,096	1,91
<b>R200</b>	6,73	0,022	0,33	5,95	0,060	1,01	3,75	0,089	2,38
<b>P.ent.</b>	6,91	0,008	0,12	6,60	0,042	0,63	5,09	0,084	1,66

TABLEAU 4.6 : Rugosités PPS des fractions BMN, pâte F

	P = 0,5 MPa			P = 1 MPa			P = 2 MPa		
	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)	moy. (µm)	é.-ty. (µm)	varia. (%)
<b>R14</b>	7,03	0,005	0,07	6,97	0,004	0,06	6,82	0,015	0,22
<b>R28</b>	6,98	0,005	0,07	6,87	0,012	0,18	6,56	0,037	0,57
<b>R48</b>	6,84	0,026	0,38	6,56	0,024	0,37	5,82	0,091	1,56
<b>R100</b>	6,75	0,023	0,34	6,18	0,030	0,48	4,79	0,069	1,44
<b>R200</b>	6,67	0,024	0,36	5,87	0,068	1,16	3,64	0,114	3,13
<b>P.ent.</b>	6,88	0,018	0,26	6,54	0,024	0,37	4,84	0,131	2,71

$$G_{3PPS} \ a + b \cdot L_f^{\frac{1}{n}} \quad [4.6]$$

avec n de plus en plus élevé, a et b des constantes fonctions de la pâte étudiée. Cette même tendance a été observée pour les pâtes A1 et E.



**FIGURE 4.7 : Rugosité PPS en fonction de la longueur des fibres, pâte F**

En testant les quatre valeurs de  $n$  : 1; 2; 4 et 8, nous avons d'ailleurs trouvé des coefficients de corrélation au carré,  $R^2$  de l'ordre de 0,99 pour ces trois pâtes tel qu'indiqué ci-après.

- (a)  $P = 0,5 \text{ MPa}$        $R^2 \sim 0,99$       pour  $n = 1$ ;
- (b)  $P = 1 \text{ MPa}$        $R^2 > 0,99$       pour  $n = 4$ ;
- (c)  $P = 20 \text{ MPa}$        $R^2 > 0,99$       pour  $n = 8$ .

Les valeurs de ces régressions pour la pâte F sont données dans le tableau 4.7. Nous n'avons pas ici la prétention de donner le  $n$  optimal pour obtenir la meilleure régression , pour cela il faudrait construire un plan d'expériences. Le but ici est uniquement de montrer que la relation reliant la rugosité à la longueur moyenne des fibres est fonction de la pression à travers l'exposant  $n$ . Pour les pâtes A1 et E, la tendance ( $n$  augmente avec la pression) est également vérifiée même si la valeur de  $n$  donnant un  $R^2$  optimale peut varier légèrement d'une pâte à l'autre.

De même, si on observe les courbes de rugosité CLSM en fonction de la longueur

TABLEAU 4.7 : Coefficient de corrélation R<sup>2</sup> des régressions entre rugosité et L<sub>f</sub>

Régression PPS = a+b.L <sub>f</sub> <sup>1/n</sup>	P = 0,5 MPa	P = 1 MPa	P = 2 MPa
n = 1	0,98877	0,95515	0,90890
n = 2	0,98862	0,99548	0,97352
n = 4	0,97226	0,99979	0,99294
n = 8		0,99693	0,99800

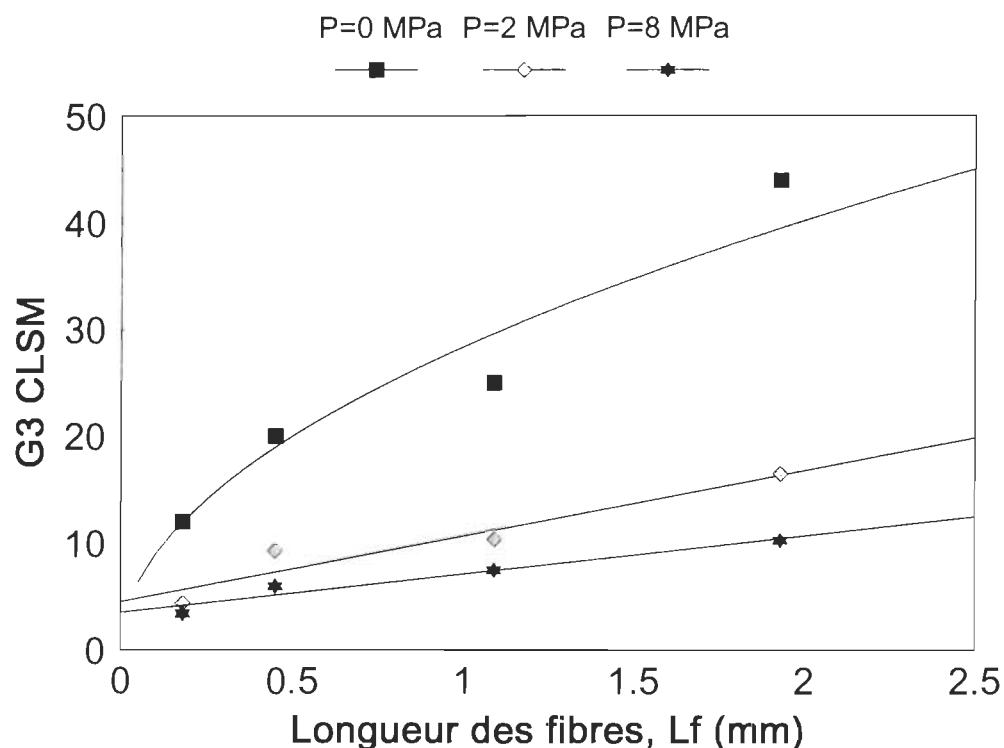


FIGURE 4.8 : Rugosité CLSM en fonction de la longueur des fibres, pâte F

des fibres et ceci, à pression croissante, on observe la même tendance que précédemment (figure 4.8), (ces rugosités CLSM à différentes pressions ont été mesurées initialement dans le but de calculer la compressibilité statique K<sub>s</sub> présentée ci-après; § 4.4.3.).

Ces deux types de mesure de rugosité (PPS, CLSM) à différentes pressions nous montre d'une part que plus la longueur des fibres augmente, plus la rugosité des formettes augmente et d'autre part que plus la pression de plaquage du papier augmente, plus la différence de rugosité entre les classes de fibres s'amenuise (pression dynamique pour le

PPS et pression statique pour le CLSM). Ainsi, si la pression appliquée était de valeur infiniment élevée, la rugosité du papier (qui tendrait à être nulle), ne serait plus fonction de la répartition en taille des fibres composant le papier.

L'absence de formettes composées de fines de la fraction P200 du BMN ne permet pas de vérifier si la rugosité PPS de la pâte entière est une combinaison linéaire des rugosités PPS des différentes fractions du BMN affectées de leur pourcentage massique. Si cela était vrai, la rugosité des fines P200, calculée à partir de l'équation 4.7, devrait avoir une valeur inférieure à celle des formettes des fractions R200. Les valeurs ainsi calculées sont regroupées dans le tableau 4.8.

$$G_{3-PPS_{pâte\ ent.}} = \left[ \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot G_{3-PPS_i}^3 \right]^{\frac{1}{3}} \quad [4.7]$$

avec

$G_{3-PPS_{pâte\ ent.}}$  : rugosité PPS des formettes faites avec la pâte non classifiée.

$G_{3i}$  : rugosité PPS des formettes faites avec la fraction i récupérée au BMN.

$\alpha_i$  : pourcentage massique de la fraction i récupérée.

**TABLEAU 4.8 : Rugosité PPS de la fraction P200 extrapolée (équation 4.7)**

Pression (MPa)	Rugosité PPS ( $\mu\text{m}$ ) Pâte A1	Rugosité PPS ( $\mu\text{m}$ ) Pâte E	Rugosité PPS ( $\mu\text{m}$ ) Pâte F
0,5	7,02	7,00	6,98
1	6,73	6,82	6,80
2	3,71	4,61	4,33

Ces valeurs sont trop élevées par rapport à celles de la fraction R200 pour être acceptables. La relation d'additivité 4.7 n'est donc pas ici vérifiée. Mohlin indique que l'état de raffinage des fibres influe sur la rugosité (49-50). Si une relation linéaire existe entre la rugosité de la pâte entière et la rugosité des fractions, un paramètre fonction de l'état des fibres doit intervenir. Ce paramètre peut être relié par exemple au CSF de chaque fraction ou bien à

la masse linéique moyenne des fibres de chaque fraction (le raffinage pèle la paroi des fibres, la masse linéique est donc fonction de l'état de raffinage des fibres). La relation serait alors du type :

$$G_{3,PPS_{pâte ent.}} = \left[ \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot k_i \cdot G_{3,PPS_i}^3 \right]^{\frac{1}{3}} \quad [4.8]$$

avec

$G_{3,PPS_{pâte ent.}}$  : rugosité PPS des formettes faites avec la pâte non classifiée.

$G_{3,i}$  : rugosité PPS des formettes faites avec la fraction i récupérée au BMN.

$\alpha_i$  : pourcentage massique de la fraction i récupérée.

$k_i$  : paramètre caractérisant le raffinage des fibres.

#### 4.4.3. Évolution de la compressibilité et de la rugosité CLSM des différentes classes de fibres

Pour la pâte raffinée F, sur la pâte entière ainsi que sur chaque classe de fibres du Bauer-McNett ont été effectuées trois mesures de compressibilité  $K_s$  sur formettes anglaises (mode opératoire et calcul : voir annexe C et § 2.4.). Les résultats obtenus pour  $K_s$  ainsi que les rugosités  $G_3$  des formettes non comprimées sont présentés au tableau 4.9.

**TABLEAU 4.9 : Compressibilité statique  $K_s$  et rugosité  $G_3$  de la pâte F**

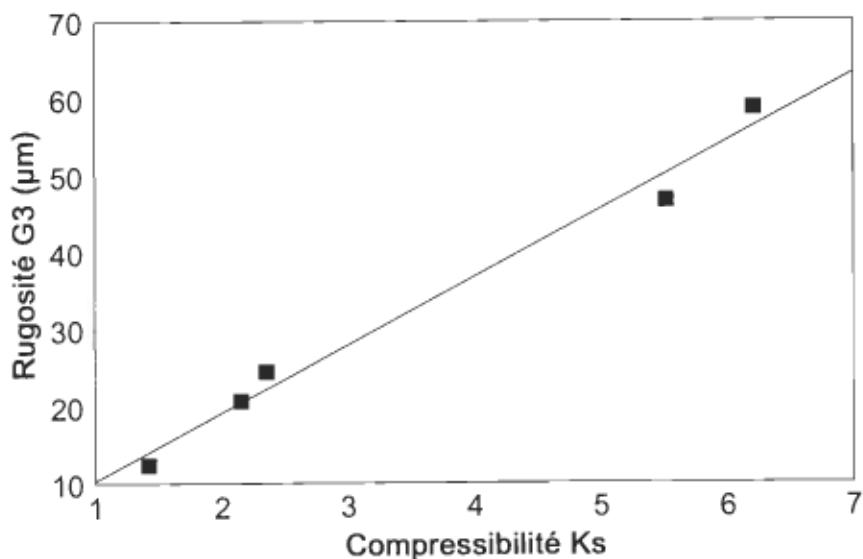
	Compressibilité statique $K_s$		Rugosité $G_3$	
	moyenne <sup>1</sup>	écart-type	moyenne <sup>1</sup>	écart-type
<b>Fraction R14</b>	6,2	0,4	59	3
" R28	5,5	0,6	44	8
" R48	2,4	0,5	25	5
" R100	2,2	0,5	20	5
" R200	1,4	0,3	12	2
<b>Pâte entière</b>	2,4	0,4	18	2

moyenne sur trois mesures

On remarque d'après les valeurs ci-dessus que la compressibilité statique  $K_s$  augmente lorsque la longueur des fibres augmente. Ceci peut s'expliquer par le fait que plus les fibres sont longues, moins le matelas fibreux est fermé et est donc plus compressible. De même, la rugosité croît avec la longueur des fibres. Il doit donc exister idéalement une valeur optimale de longueur de fibres pour obtenir une qualité d'impression optimale qui ferait un consensus entre la rugosité que l'on veut la plus faible possible et la compressibilité que l'on veut la plus élevée possible tout en ayant un papier aux propriétés mécaniques acceptables.

L'importance des fractions R14 et R28 sur la compressibilité de surface et la rugosité est remarquable. Une hausse de 1 point des fractions de fibres longues (R14; R28) entraîne une réduction de 2 à 3 fois plus importante de la rugosité et de la compressibilité de surface qu'une baisse de 1 point des autres fractions.

La figure 4.9 montre que pour cette pâte, la compressibilité  $K_s$  évolue linéairement par rapport à la rugosité  $G_3$  ( $R^2 = 0,982$ ). Ce résultat, s'il peut être généralisé à d'autres pâtes permettrait de réduire considérablement le temps nécessaire à l'étude de la compressibilité. Il suffirait en effet de connaître la compressibilité de deux classes et la rugosité de toutes pour connaître la compressibilité de toutes.



**FIGURE 4.9 : Compressibilité statique  $K_s$  en fonction de la rugosité  $G_3$**

La relation 4.8 proposée pour la rugosité PPS peut également être proposée pour la rugosité CLSM. La compressibilité  $K_s$  étant proportionnelle à la rugosité, cette relation peut également être proposée pour la compressibilité.

Ces différentes hypothèses que nous venons de formuler seraient intéressantes à vérifier dans le futur. En effet, la rugosité et la compressibilité sont deux propriétés essentielles à l'obtention d'une bonne qualité d'impression. Déterminer pour un papier les valeurs optimales à donner à ces deux propriétés permettrait de connaître les compositions de pâte, en longueur de fibres et état de raffinage qui permettraient d'obtenir ces deux valeurs.

#### 4.5. Conclusion

La pâte de meule sous pression fabriquée à LSPI est de bonne qualité même si celle-ci peut encore être améliorée en réduisant davantage la présence de bûchettes et fibres longues mal raffinées par un meilleur classage des fibres. Un projet d'amélioration du classage est d'ailleurs maintenant envisagé par LSPI. Ceci permettrait d'accroître de façon sensible le lissé du papier et donc sa qualité d'impression. Un autre moyen de réduire la rugosité du papier serait d'améliorer le raffinage des fibres. Les fibres longues et raides observées aux abords des points manquants seraient ainsi plus souples, plus fibrillées (49-50).

L'étude de la pâte classifiée au BMN nous a permis de mettre en évidence différentes relations :

- (a) La masse linéique des fibres évolue suivant le carré de la longueur des fibres.
- (b) En considérant les fibres comme étant des parallélépipèdes rectangles (poutres), nous montrons que la section transversale des fibres varie suivant le carré de la longueur des fibres.
- (c) Rugosité  $G_3$  et longueur de fibre  $L_f$  sont liés par une relation du type

$$G_3 = a + b \cdot L_f^n \quad [4.9]$$

avec  $a$  et  $b$  fonctions de la pâte utilisée,  $n$  nombre entier fonction de la pression utilisée et

augmentant avec elle, et n fonction également de la pâte.

(d) Tout comme pour les propriétés mécaniques des papiers, la relation simple d'additivité entre les rugosités des différentes fractions de fibres BMN auxquelles on affecterait comme coefficient le pourcentage massique de la fraction considérée et la rugosité de la pâte entière n'est pas vérifiée. Si une telle relation existe, elle doit tenir compte d'une autre caractéristique des fibres tel l'état de raffinage.

(e) Rugosité CLSM et compressibilité de surface CLSM varient linéairement l'une par rapport à l'autre. Si une relation d'additivité existe pour la rugosité elle est donc aussi valable pour la compressibilité de surface. De plus, les fractions de fibres longues (R14-R28) ont deux à trois fois plus d'influence sur la rugosité et la compressibilité que les autres fractions.

Ces différentes relations reliant les caractéristiques des fibres, de la pâte et l'état de surface des formettes de papier obtenues sont sans doute des indications utiles à l'élaboration dans le futur d'une modélisation de l'état de surface du papier en fonction de ces composants, modélisation venant compléter les modèles déjà proposés dans la littérature papetière (59; 60).

## CHAPITRE V

### COMPARAISON DES DEUX ESSENCES : SAPIN BAUMIER, ÉPINETTE NOIRE

#### 5.1. But de l'étude

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les papiers SCA fabriqués à Lake Superior Paper Industry ont pour composant principal de la pâte mécanique de meule sous pression (PGW). Celle-ci est elle-même à base d'un mélange de deux essences de bois de résineux :

- (a) du sapin baumier (*Abies Balsamea*);
- (b) de l'épinette noire (*Picea Mariana*).

LSPI préfère recevoir de l'épinette noire. Ils obtiennent ainsi un meilleur rendement lors de la fabrication de la pâte PGW d'où un gain économique. De plus, LSPI obtient une résistance mécanique légèrement meilleure avec l'épinette noire.

Ces deux types de résineux sont botaniquement parlant très proches l'un de l'autre. Les dimensions de leurs fibres et rayons ligneux sont en effet très similaires. Différentes valeurs sont proposées dans la littérature (32; 61; 62), elles ont cependant toutes pour point commun d'attribuer au sapin baumier des dimensions moyennes de fibres légèrement plus élevées (longueur, largeur, masse linéique).

Ces deux essences de bois sont toutes deux recommandées pour la fabrication de pâte de meule sous pression. En effet, les fibres de ces deux essences ont une paroi fine qui rend celles-ci flexibles. Ainsi, lors du défibrage du bois par la meule, les fibres supportent la composante tangentielle de la force exercée par les grains de la meule sans se casser, ceci grâce à leur flexibilité (43).

D'un point de vue macroscopique, le sapin baumier est un bois exempt de résine au contraire de l'épinette noire et sa densité est plus faible. On obtient ainsi un coefficient de

dispersion S généralement meilleur avec le papier à base de sapin, point favorable à l'augmentation de la blancheur et de l'opacité du papier.

Même si les fibres de sapin baumier sont légèrement plus longues dans le bois, elles sont plus courtes après leur mise en pâte (pâte kraft (61; 63), pâte SGW (61), pâte TMP (63)). De plus, lors de la fabrication de pâte de raffineur, à même énergie spécifique, le sapin baumier permet d'obtenir un CSF plus faible (61).

Des avis partagés sont proposés dans la littérature quant aux propriétés mécaniques à CSF constant conférées aux papiers par ces deux essences de bois. Parfois l'épinette noire semble donner au papier une plus grande résistance mécanique (pâtes SGW, RMP (61)) mais des résultats opposés sont également proposés pour la pâte SGW (64) ainsi que des valeurs égales (pâte RMP, (64)).

À propos des propriétés du papier reliées à l'impression, Karnis montre qu'à CSF constant, pour de la pâte SGW et RMP, le sapin permet d'obtenir un peluchage plus faible (32). Il montre également pour ces deux pâtes mécaniques que l'augmentation de rugosité de surface ("surface roughening") en fonction de la quantité d'eau absorbée par le papier est indépendante de l'essence de bois considérée. Quant à De Montmorency, il trouve que le sapin baumier confère une meilleure qualité d'impression aux papiers à base de pâte kraft et à base de pâte SGW (test non spécifié), (61).

Malgré leur ressemblance botanique, le sapin baumier et l'épinette noire semblent donner au papier des qualités légèrement différentes. Aucune donnée sur ces deux essences de bois directement reliée à notre sujet d'étude (pâte PGW, qualité d'impression) n'ayant été trouvée dans la littérature, nous avons jugé souhaitable de comparer ces deux essences, leur comportement lors du procédé de fabrication de la pâte PGW ainsi que la qualité d'impression obtenue avec les papiers ainsi fabriqués.

## **5.2. Échantillonnage disponible et mesures effectuées**

### **5.2.1. Essais en usine**

Deux essais en usine ont été effectués l'un après l'autre. Tout d'abord, de la pâte PGW a été fabriquée uniquement à l'aide de rondins de sapin baumier. Il en a découlé la fabrication d'un papier SCA sur machine à base de pâte PGW de sapin baumier, de pâte

kraft et d'argile. Par la suite, ce sont uniquement des rondins d'épinette noire qui ont été introduit dans la meule. Un papier de grammage identique au précédent a alors été fabriqué à l'aide de pâte PGW d'épinette noire, de pâte kraft et d'argile. Les consignes de fabrication de la pâte (CSF) et du papier (vitesse machine, rétention première passe, brillant en sortie de supercalandre) ont été gardées constantes d'un essai à l'autre. Il en est de même des pourcentages de pâte kraft et d'argile ajoutés à la pâte mécanique. Par la suite, des bobines fabriquées lors de ces deux essais ont été envoyées dans une même salle de presse héliogravure. Des imprimés commerciaux ont été obtenus lors d'un même tirage.

### 5.2.2. Prélèvements

Afin de comparer les deux pâtes obtenues, pour chacune d'elles, deux prélèvements ont été effectués sur la ligne de fabrication. Le premier se situe en sortie de tamisage (cf. point B, figure 4.2) et le second en sortie de raffinage (cf. point F, figure 4.2). Des échantillons de papier blanc, de grade SCA, fabriqués à l'aide de ces pâtes sur la machine de LSPI ont également été obtenus. Enfin, des échantillons imprimés sur une presse héliogravure commerciale ont été retenus.

### 5.2.3. Mesures effectuées

Afin de comparer la répartition des longueurs de fibres entre les deux essences, des classages de fibres au Bauer-McNett ont été effectués sur chacune des quatre pâtes (trois mesures par pâte). De plus une dizaine de formettes anglaises ont été réalisées avec les deux pâtes raffinées, F. L'état de surface des formettes à base de sapin baumier a alors été comparé à celui des formettes à base d'épinette noire en effectuant des rugosités au Parker Print-Surf et au microscope confocal ainsi que des compressibilités CLSM.

Les mêmes mesures ont été effectuées sur les papiers blancs fabriqués sur machine. L'état de surface des papiers industriels a pu ainsi être évalué. Le but était ici de vérifier si la différence d'état de surface entre les deux essences trouvée après avoir fait les mesures sur formettes se retrouvait sur les papiers commerciaux qui eux, au contraire des formettes, sont composés de trois constituants (pâte PGW, pâte kraft, argile). La qualité d'impression de ces papiers représentée par le nombre de points manquants a également été mesurée en

effectuant des Héliotest sur presse de laboratoire IGT. Au chapitre 3, nous avons vu que la mauvaise répartition des charges était une cause de points manquants. C'est pourquoi, afin de déterminer la répartition spatiale des minéraux contenus dans ces deux papiers, nous avons examiné au microscope électronique à balayage (MEB) la coupe transversale ainsi que les deux surfaces de ces échantillons.

Enfin, la fréquence des points manquants a été mesurée subjectivement sur les imprimés obtenus sur presse commerciale héliogravure. Rappelons que l'impression de ces papiers a été faite lors d'un même tirage. Ces papiers ont été imprimés avec et sans assistance électrostatique. L'étude au microscope confocal à laquelle ils ont été soumis a été traitée précédemment au chapitre 3.

Chacune des deux essences de bois a ainsi pu être évaluée de manière à part entière (Bauer-McNett, Formettes) mais aussi dans un tout qu'est le papier industriel composé de plusieurs éléments. Toutes ces mesures sont récapitulées dans le tableau 5.1.

**TABLEAU 5.1 : Mesures effectuées pour l'étude des pâtes pures**

Pâte PGW		Formettes	Papiers commerciaux	
après tamisage	après raffinage		blanches	imprimés
-BMN	-BMN -formettes	-rugosité PPS -rugosité CLSM -compressibilité CLSM	-rugosité PPS -rugosité CLSM -Héliotest -répartition des charges (MEB)	-évaluation subjective du nombre de points manquants

### 5.3. Résultats et discussion

#### 5.3.1. Étude de la pâte

Le tableau 5.2 ainsi que la figure 5.1 regroupent les résultats des mesures de Bauer-McNett pour les quatre pâtes étudiées. Après le stade de tamisage ainsi qu'après le raffinage, la pâte d'épinette noire a plus de fibres longues (tamis R14, R28) que la pâte de sapin baumier. Ces résultats confirment ceux déjà trouvés pour les pâtes SGW, RMP et kraft (61; 63). Le raffinage des deux pâtes étant effectué dans les mêmes conditions, il ne permet pas de réduire cette différence. Les fibres longues dans la pâte d'épinette sont

présentes au détriment des fibres de petite longueur (R100 et R200) par rapport à la pâte de sapin baumier. Les deux pâtes traitées dans les mêmes conditions ne donnent donc pas deux pâtes semblables.

Des mesures (de rugosité notamment) sur formettes et sur papiers industriels vont nous permettre de déterminer si cette différence à un impact sur la qualité d'impression des différents papiers obtenus. On peut s'attendre d'après la très faible quantité d'éléments grossiers (fraction R14) contenus dans la pâte de sapin baumier à ce que l'état de surface conféré au papier par cette essence de bois soit meilleur (cf. § 4.1).

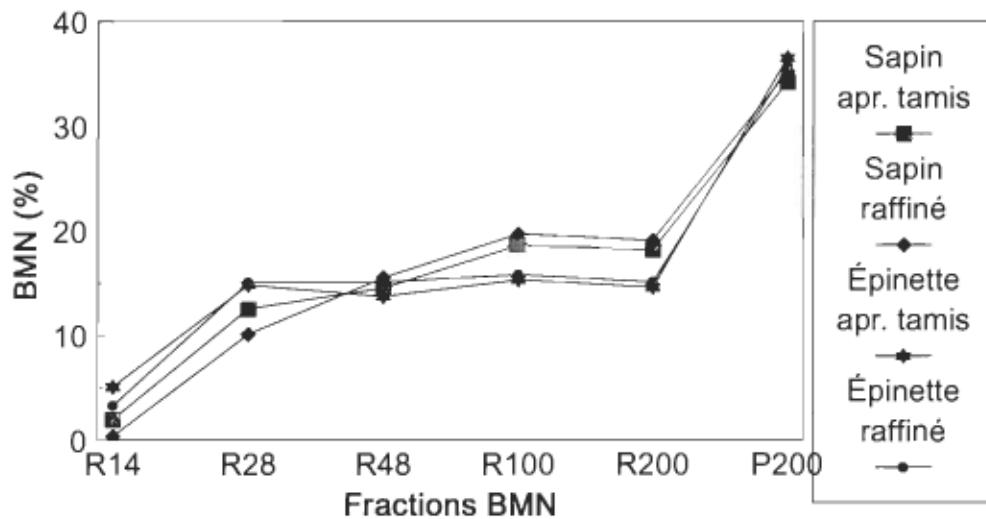


FIGURE 5.1 : Classage au Bauer-McNnett des pâtes de sapin b. et épinette n.

TABLEAU 5.2 : Classage au Bauer-McNnett des pâtes de sapin b. et épinette n.

		R14	R28	R48	R100	R200	P200
<b>Sapin baumier</b>	<b>après tamisage</b>	2,0	12,5	14,5	18,6	18,2	34,2
	<b>après raffinage</b>	0,4	10,1	15,5	19,7	19,1	35,2
<b>Épinette noire</b>	<b>après tamisage</b>	5,1	14,8	13,7	15,3	14,6	36,5
	<b>après raffinage</b>	3,3	15,0	15,1	15,8	15,1	35,7

Moyenne de trois mesures

### 5.3.2. Étude sur les formettes anglaises

Avec les deux pâtes raffinées, 10 formettes anglaises ont été fabriquées. Sur chacune d'elles, une mesure de rugosité PPS a été effectuée. Les trois pressions de plaquage disponibles ont été testées. Le support mou a été utilisé. Le tableau 5.3 et la figure 5.2 retracent les résultats obtenus.

Les écart-types étant très faibles, les différences de rugosité entre les formettes de sapin et d'épinette, même faibles sont significatives à toutes les pressions. On obtient une rugosité plus élevée pour l'épinette noire quelque soit la pression utilisée. Le nombre plus grand de fibres longues dans la pâte d'épinette est donc à l'origine d'un moins bon état de surface des formettes fabriquées.

Trois mesures de rugosité et compressibilité au microscope confocal ont été également entreprises sur ces formettes. Des coefficients de variations de 50 % ont été obtenus. Plus de mesures auraient été nécessaires. Ces résultats non exploitables ne sont pas répertoriés ici.

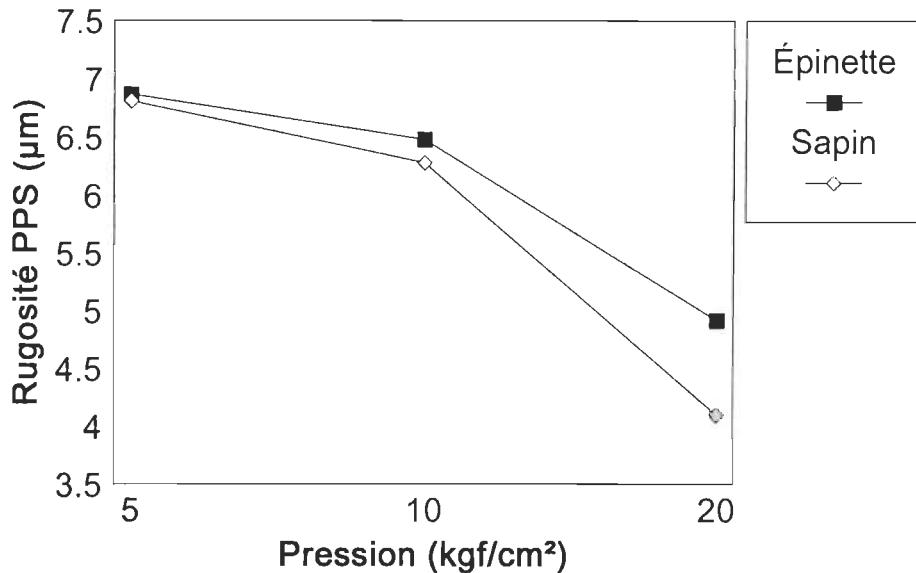
### 5.3.3. Les papiers industriels

#### *5.3.3.1. Rugosité PPS*

**TABLEAU 5.3 : Rugosité PPS des formettes de pâte de sapin b. et épinette n.**

pression de plaquage (MPa)	essence	moyenne (µm)	écart-type (µm)	coef. de variation (%)
<b>0,5</b>	<b>sapin b.</b>	6,81	0,034	0,5
	<b>épinette n.</b>	6,87	0,017	0,2
<b>1</b>	<b>sapin b.</b>	6,28	0,092	1,5
	<b>épinette n.</b>	6,48	0,042	0,6
<b>2</b>	<b>sapin b.</b>	4,10	0,14	3,3
	<b>épinette n.</b>	4,92	0,12	2,5

Moyenne de 10 mesures



**FIGURE 5.2 : Rugosité PPS des formettes de pâte de sapin b. et épinette n.**

Quinze mesures de rugosités au Parker Print-Surf réparties sur plusieurs feuilles ont été effectuées sur les deux faces des papiers industriels dont la pâte mécanique est à base de sapin baumier pour l'un et d'épinette noire pour l'autre (tableau 5.4 et figure 5.3).

Côté feutre, les deux papiers ont des rugosités semblables. En revanche, côté toile, le papier à base d'épinette noire est le plus rugueux. Les longues fibres plus nombreuses dans ce papier semblent être plutôt réparties sur le côté toile.

#### 5.3.3.2. Rugosité CLSM

Les moyennes sur six mesures des rugosités  $G_3$  sont répertoriées dans le tableau 5.5. Tout comme avec la rugosité PPS, les côtés feutre des deux papiers ont une rugosité identique d'un papier à l'autre. En revanche, côté toile, le papier à base d'épinette noire est plus rugueux.

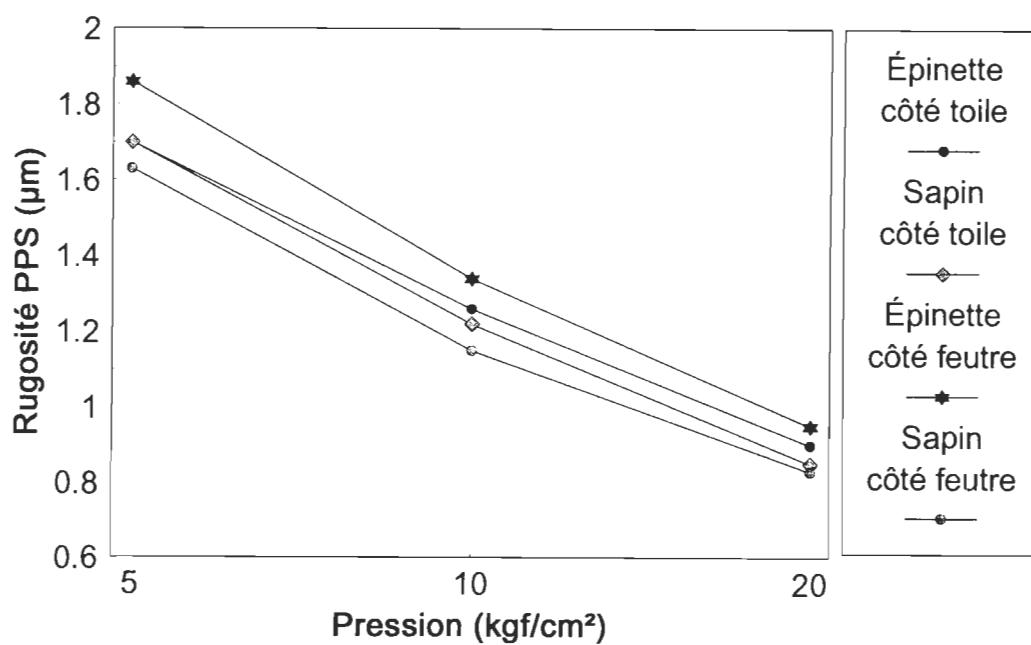
Les mesures de compressibilité effectuées sur ces papiers n'ont pu être menées à bien. En effet, l'appareil de compressibilité actuellement disponible sur le microscope confocal n'est pas assez sensible pour mesurer la faible compressibilité de ces papiers supercalandrés.

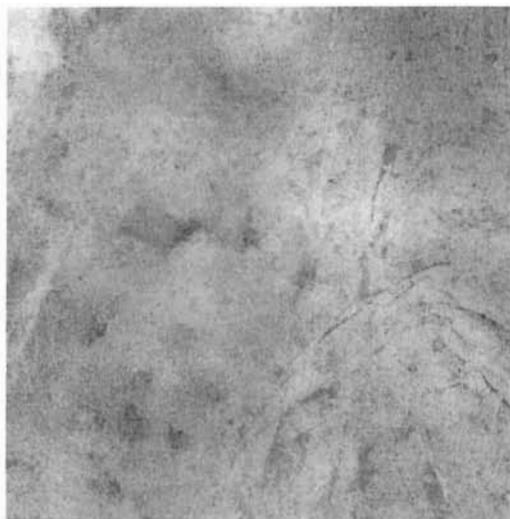
Les figures 5.4.a à 5.4.d sont des images topographiques représentatives des surfaces qui ont été visionnées lors des mesures de rugosité répertoriées dans le tableau 5.5.

TABLEAU 5.4 : Rugosité PPS des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n.

pression (MPa)	essence	côté feutre			côté toile		
		moyenne (µm)	écart- type (µm)	coef. de variation (%)	moyenne (µm)	écart- type (µm)	coef. de variation (%)
0,5	sapin	1,7	0,044	2,5	1,63	0,04	2,4
	épinette	1,7	0,086	5,0	1,86	0,064	3,4
1	sapin	1,22	0,035	2,9	1,15	0,02	1,7
	épinette	1,26	0,071	5,6	1,34	0,063	4,7
2	sapin	0,85	0,02	2,3	0,83	0,03	3,6
	épinette	0,9	0,054	6,0	0,95	0,056	5,9

Moyenne de 15 mesures

FIGURE 5.3 : Rugosité PPS des papiers industriels à base de sapin b.  
et épinette n.



(a)



(b)



(c)



(d)

**FIGURE 5.4 : Images topographiques (CLSM) représentatives des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n.**

(a) : sapin, côté feutre. (b) : sapin, côté toile. (c) : épinette, côté feutre. (d) : épinette, côté toile.

**TABLEAU 5.5 : Rugosité G<sub>j</sub> des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n.**

essence	côté feutre			côté toile		
	moyenne (µm)	écart-type (µm)	coef. de variation (%)	moyenne (µm)	écart-type (µm)	coef. de variation (%)
<b>sapin</b>	3,63	0,41	11	3,97	0,62	16
<b>épinette</b>	3,66	0,44	12	4,11	0,59	14

Moyenne de 6 mesures

On ne remarque pas de différence notable entre les deux essences du côté feutre. En revanche, il y a plus de larges et longues fibres sur la surface du papier à base d'épinette noire du côté toile, d'où un plus grand nombre de pores non comblés par les charges minérales. L'hypothèse avancée précédemment (§ 5.3.3.1.) et stipulant que les fibres longues trouvées en plus grand nombre dans la pâte d'épinette noire se retrouvent préférentiellement sur le côté toile est donc ici confortée.

#### 5.3.3.3. Héliotest

Les résultats regroupés dans le tableau 5.6 montrent que le papier à base de sapin baumier a environ moitié moins de points manquants que le papier à base d'épinette noire du côté feutre. Il y a également davantage de points manquants sur le côté toile que sur le côté feutre pour le papier à base d'épinette noire. Ceci accentue encore la différence de qualité d'impression entre les deux papiers du côté toile. En effet sur cette face, trois fois plus de points manquants sont comptés pour le papier à base d'épinette noire.

#### 5.3.3.4. Répartition spatiale des charges minérales

Afin de déterminer la répartition spatiale des minéraux contenus dans les deux échantillons de papier, nous avons examiné au microscope électronique à balayage la coupe transversale ainsi que les deux surfaces de ces deux échantillons. Les figures 5.5 à 5.8 regroupent des micrographies des deux surfaces de chacun des deux papiers à faible et fort grossissement (50 X et 250 X). Le tableau 5.7 rapporte les résultats de l'analyse d'image effectuée sur des micrographies digitales (quatre micrographies par face, grossissement 80 X). Cette analyse donne une évaluation de la quantité relative des charges à la surface des

échantillons. Ces micrographies ainsi que celles représentant la section des papiers ne sont pas incluses ici.

**TABLEAU 5.6 : Héliotest des papiers industriels à base de sapin b. et épinette n.**  
(tramé fin, diamètre des points : 85 µm)

essence	côté feutre			côté toile		
	moyenne	écart-type	coef. de variation (%)	moyenne	écart-type	coef. de variation (%)
sapin	11,8	4,2	35,0	13,8	4,4	32
épinette	26,5	5,2	19,5	38,5	7,0	18

Moyenne de 10 mesures, moyenne et écart-type s'expriment en nombre de points manquants.

On observe que l'échantillon à base d'épinette contient légèrement plus de charges que celui de sapin baumier en particulier du côté feutre (cf. tableau 5.7 et images 5.5 à 5.8). Le côté toile de l'échantillon à base d'épinette a plus de fibres longues (figure 5.8) comme nous l'avons déjà remarqué lors de l'étude au CLSM. La répartition des charges sur les deux faces des échantillons est de plus peu homogène. Les charges sont principalement localisées dans les pores aux croisement des fibres ou dans les interstices le long des fibres contiguës. Il y a très peu de charges sur les fibres. La répartition des charges dans la section du papier ainsi que la formation de celui-ci sont également peu homogène.

Pour une raison inconnue le papier à base d'épinette a retenu plus de charges minérales lors de sa formation. Comme le montre l'analyse des structures sous-jacentes des points manquants pour ce papier (§ 3), cet excès de charges retenues est à la source de la moins bonne qualité d'impression de ce papier par rapport à celui à base de sapin baumier du côté feutre.

Du côté toile, où plus de fibres larges ( $> 30 \mu\text{m}$ ) et longues d'épinette sont apparentes, un léger lavage semble avoir eu lieu (moins de charges retenues sur ce côté par rapport au côté feutre). Fibres nombreuses et lavage combinés entraînent un plus grand nombre de points manquants (tableau 5.6). Un phénomène de "two-sidedness" est, de plus, ici mis en évidence pour ce papier à base d'épinette, ce qui n'est pas le cas pour le papier à base de sapin baumier.

**TABLEAU 5.7 : Quantité relative des charges sur les surfaces des papiers à base de sapin b. et épinette n.**

Essence	Côté	moyenne		écart-type (mm <sup>2</sup> )
		mm <sup>2</sup> (*)	%	
<b>Sapin</b>	<b>Feutre</b>	0,6719	37,38	0,2538
	<b>Toile</b>	0,6713	37,35	0,2325
<b>Épinette</b>	<b>Feutre</b>	0,9762	54,31	0,153
	<b>Toile</b>	0,8694	48,37	0,4767

(\*) : La surface totale d'une région (une micrographie au grossissement 80 X) est de 1,7975 mm<sup>2</sup>. La moyenne est effectuée sur quatre mesures.

#### 5.3.4. Imprimés commerciaux

La comparaison subjective des imprimés commerciaux par plusieurs personnes indique unanimement que la papier à base d'épinette noire a plus de points manquants. Cette différence est surtout nette du côté toile et lorsque l'assistance électrostatique n'est pas employée. Ceci conforte les résultats obtenus en laboratoire avec l'Héliotest.

Rappelons, de plus, que l'étude au CLSM du papier imprimé à base d'épinette à montré que les points manquants sont particulièrement dus à la présence d'un excès de charges du côté feutre contre un excès de fibres longues du côté toile (§ 3.4.1.).

### 5.4. Conclusion

Les fibres d'épinette noire sont en moyenne plus longues que celles de sapin baumier dans la pâte PGW étudiée. Leur utilisation dans la pâte de meule sous pression permet d'ailleurs à LSPI de renforcer la résistance à la déchirure et à la traction du papier fabriqué. Cependant, la présence de ces longues fibres (fraction R14, R28 du BMN) dans la pâte entraîne une rugosité plus élevée pour le papier à base d'épinette noire. Le papier à base de sapin baumier, plus lisse (formette et papier industriel) car contenant moins de longues fibres permet donc d'obtenir une meilleure qualité d'impression. Ceci est surtout évident du côté toile où les fibres longues ont tendance à se déposer préférentiellement comme nous le montre l'observation de ces surfaces de papiers au microscope confocal et au microscope électronique à balayage.

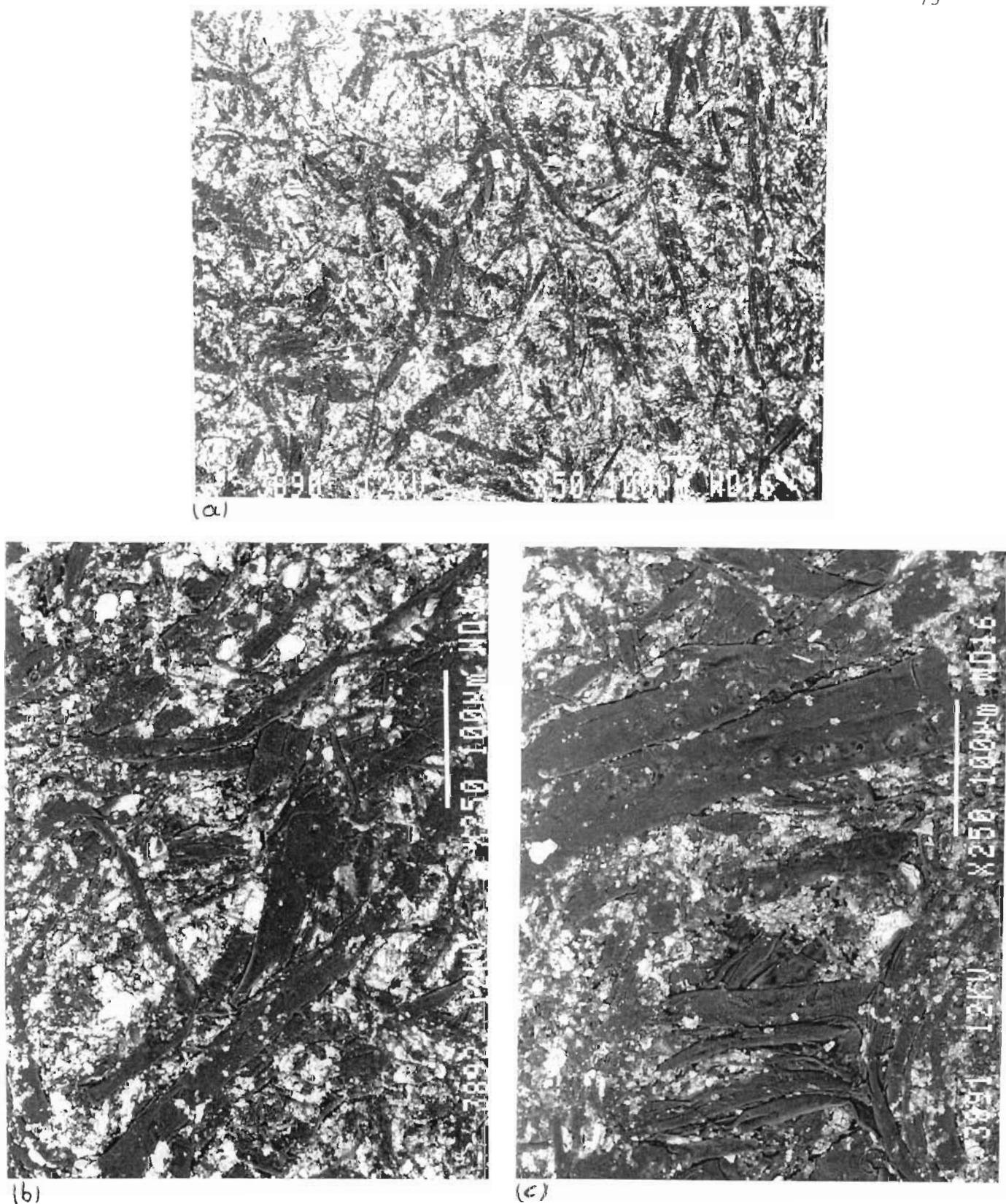


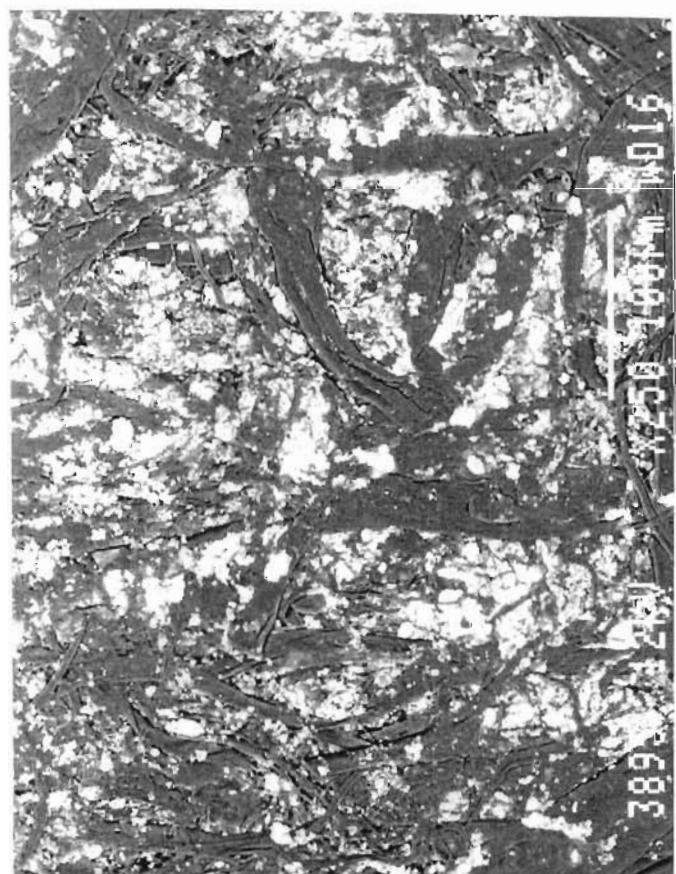
FIGURE 5.5 : Microographies prises au MEB du papier à base de sapin baumier, côté feutre. (a) : grossissement 50 X. (b) et (c) : grossissement 250 X.



(a)



(b)



(c)

**FIGURE 5.6 : Microographies prises au MEB du papier à base de sapin baumier, côté toile. (a) : grossissement 50 X. (b) et (c) : grossissement 250 X.**

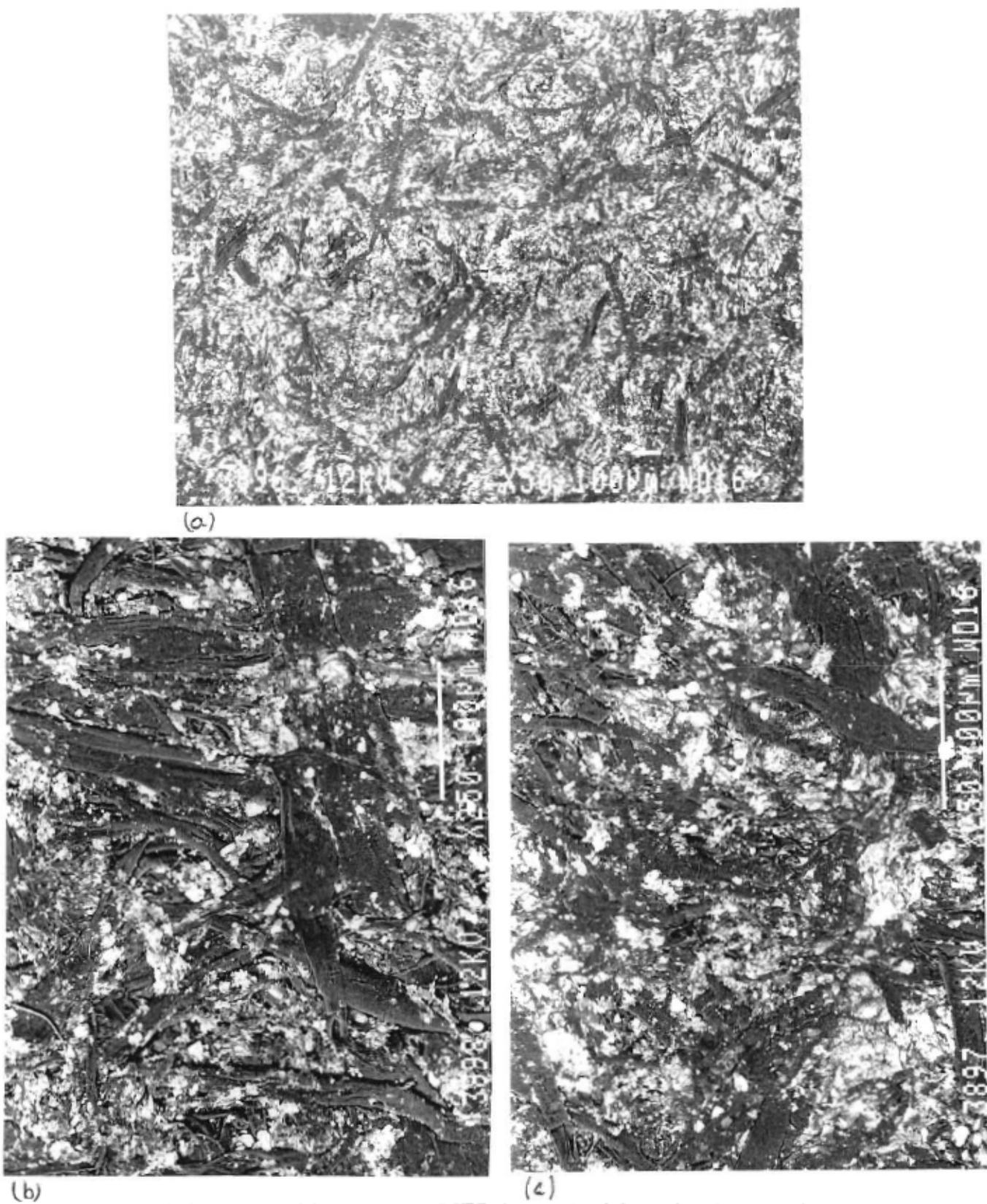
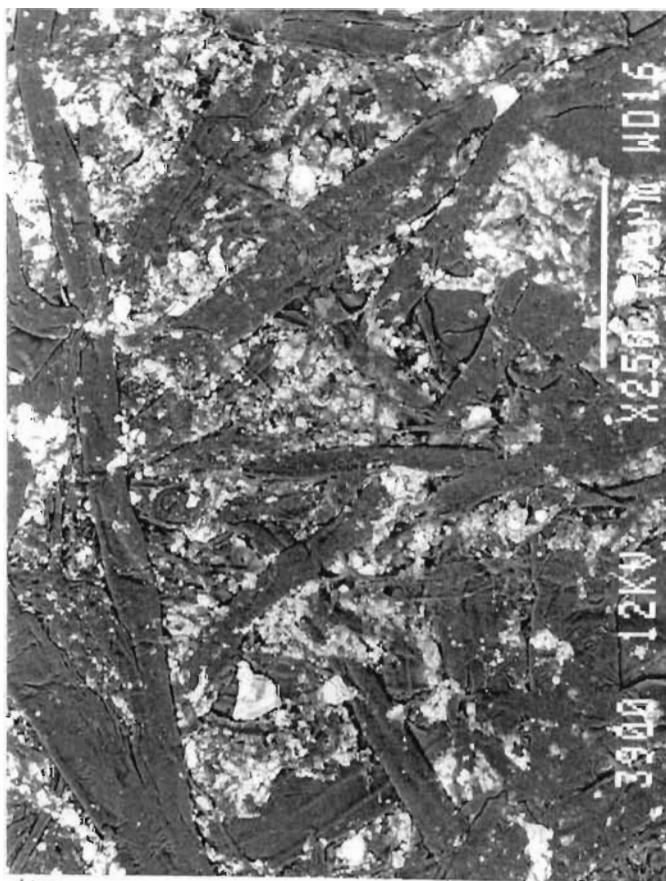


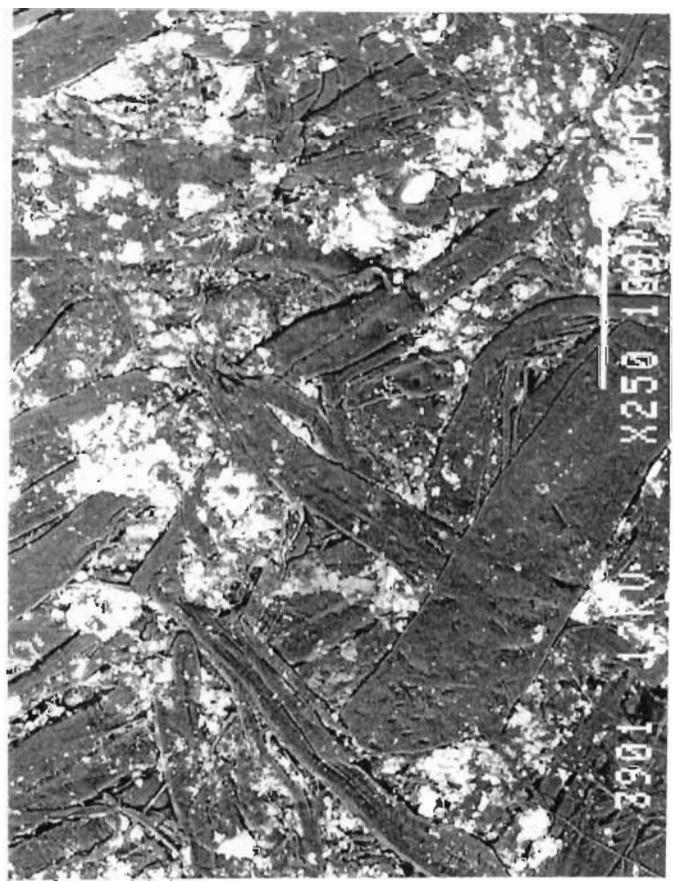
FIGURE 5.7 : Microographies prises au MEB du papier à base d'épinette noire, côté feutre. (a) : grossissement 50 X. (b) et (c) : grossissement 250 X.



(a)



(b)



(c)

FIGURE 5.8 : Microographies prises au MEB du papier à base d'épinette noire, côté toile. (a) : grossissement 50 X. (b) et (c) : grossissement 250 X.

Le papier à base d'épinette à retenu globalement sur les deux faces plus de charges que celui à base de sapin baumier. Ceci peut éventuellement s'expliquer par un plus grand nombre de pores à combler le long des fibres larges et longues, elles-mêmes plus nombreuses dans ce papier. De plus, la répartition des charges est inégale entre ces deux surfaces (papier à base d'épinette seulement). En effet, plus de charges se retrouvent du côté feutre. Lors du prédrainage sur la toile de formation hybride Duoformer F, les fibres longues semblent s'être préférentiellement déposée du côté toile. Ce dernier subit de plus un léger lavage.

Le papier à base de sapin baumier, qui lui contient peu de fibres longues et larges dans la pâte mécanique (0,4 % de fraction R14 et 10,1 % de fraction R28 au classage BMN) n'a pas eu ce problème de répartition inégale des fibres et charges lors de sa formation (pas de "two-sidedness"). Son impression est ainsi de qualité égale et bonne sur ses deux faces. Aucune casse n'a été enregistrée ni lors de la fabrication du papier ni lors de son impression. La résistance mécanique de ce papier à base de sapin baumier est donc satisfaisante même si elle est inférieure à celle du papier à base d'épinette noire.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

La caractérisation de l'état de surface des papiers supercalandrés en vue de leur impression en héliogravure a été le but de ce projet. Pour cela, nous avons essentiellement utilisé la microscopie confocale comme moyen de mesure. Le microscope confocal est un profilomètre optique, non destructeur, permettant d'observer la surface des papiers, de construire des images topographiques et de quantifier la rugosité et la compressibilité de surface des échantillons.

Afin de connaître la cause des points manquants, lors d'une étude préliminaire nous avons observé à l'aide d'un microscope confocal, les structures sous-jacentes de 115 points manquants sur des échantillons de papiers SCA imprimés sur diverses presses héliogravures commerciales.

Sept classes distinctes de structures sous-jacentes ont été identifiées. Pour six de ces classes (= 98 % des cas) des pores de surface sont présents. Ces pores sont des dépressions de 30 µm à 150 µm de côté et de 3 µm à 12 µm de profondeur. Il est apparu que les points manquants sont la plupart du temps dus à des (croisements) de fibres et/ou à une mauvaise répartition des charges minérales (agglomérats et/ou manque de charges). Sous les points bien imprimés des croisements de fibres sont parfois visibles mais des charges minérales comblient la dépression ainsi créée. Aucune dépression telle que celles décrites précédemment n'a donc été observée où les points de trame avaient été bien imprimés.

Deux papiers SCA fabriqués sur la même machine mais dont le composant de la pâte PGW diffère ont été plus particulièrement étudiés. Il a été ainsi montré que :

(a), les surfaces correspondant à des points non imprimés sont plus rugueuses que les surfaces imprimées;

(b), l'utilisation de l'assistance électrostatique par les imprimeurs permet à l'encre d'être transférée même où il y a des pores profonds et ceci jusqu'à 1,5 µm plus

profondément que sans ESA. Sachant qu'en moyenne la profondeur des pores diffère de 2  $\mu\text{m}$  entre un endroit imprimé et un endroit avec point manquant, cette valeur de 1,5  $\mu\text{m}$  représente un gain énorme. Il y a ainsi moins de points manquants;

(c), L'utilisation de sapin baumier plutôt que d'épinette noire dans la pâte mécanique de meule pressurisée permet d'obtenir une meilleure qualité d'impression. Les pores présents à la surface du papier à base de sapin baumier sont en moyenne moins profonds que ceux présents à la surface du papier à base d'épinette noire;

(d), même si le côté toile est globalement plus rugueux que le côté feutre, localement, à la dimension des points de trame, la rugosité locale est la même pour les deux faces. Il y a plus de pores du côté toile mais ceux-ci ont la même topographie sur les deux faces.

Afin de comprendre d'avantage les raisons amenant la présence de ces points manquants, il serait intéressant dans le futur de pouvoir observer le comportement de ces structures sous-jacentes lorsque soumises à une compression.

Un classage au Bauer-McNett des pâtes PGW de sapin baumier et d'épinette noire a été effectué. La rugosité des papiers SCA fabriqués à l'aide de ces pâtes ainsi que leur qualité d'impression ont été évaluées. Ces mesures ont montré que la pâte PGW d'épinette noire contient plus de fibres longues que celle de sapin baumier. La présence de ces fibres longues entraîne une rugosité plus élevée pour le papier à base d'épinette noire surtout du côté toile où ces fibres se sont préférentiellement déposées. De plus une analyse de ces papiers au microscope électronique à balayage a montré que le papier à base de sapin baumier avait une répartition des charges en surface plus homogène. Le papier à base de sapin baumier est ainsi plus uniforme d'une face à l'autre (pas de "two-sidedness"). Ceci tant d'un point de vue répartition des charges que d'un point de vue répartition des fibres longues. Il est plus lisse et permet d'obtenir une meilleure qualité d'impression. Ceci tout en ayant des propriétés mécaniques acceptables puisqu'aucune casse sur machine à papier et sur presse héliogravure n'a été déplorée lors des essais.

La pâte PGW habituellement utilisée à LSPI, c'est à dire en mélange sapin baumier-

épinette noire, a également été fractionnée au BMN. Cette pâte contient peu d'éléments grossiers (fractions R14-R28) par rapport à d'autres pâtes PGW. C'est sans doute une des clés qui permet à LSPI d'obtenir des papiers SCA réputés de qualité en Amérique du Nord. Cependant des bûchettes sont encore présentes. Un classage plus approprié lors de la fabrication de la PGW permettrait d'améliorer encore la qualité d'impression de ces papiers.

D'un point de vue plus théorique, cette étude des différentes fractions de fibres nous a permis de mettre en évidence différentes relations :

- (a), la masse linéique des fibres évolue suivant le carré de la longueur des fibres;
- (b), en considérant les fibres comme étant des parallélépipèdes rectangles (poutres), nous montrons que la section transversale des fibres varie suivant le carré de la longueur des fibres;
- (c), rugosité  $G_3$  (PPS et CLSM) et longueur de fibre  $L_f$  sont liés par une relation du type

$$G_3 = a + b \cdot L_f^{1/n}$$

avec a et b fonctions de la pâte utilisée, n nombre entier fonction de la pression utilisée et augmentant avec elle, et n fonction également de la pâte;

(d), rugosité et compressibilité de surface mesurées à l'aide du CLSM varient linéairement l'une par rapport à l'autre.

Nous avons de plus montré que tout comme les propriétés mécaniques des papiers, la rugosité de la pâte entière n'est pas égale à la somme des rugosités des différentes fractions auxquelles on affecterait comme coefficient le pourcentage massique de chaque fraction. L'état de raffinage de la fibre doit être pris en compte. Enfin, les fibres longues (fractions R14-R28) ont deux à trois fois plus d'influence sur la rugosité et la compressibilité que les autres fractions de fibres d'où l'importance d'agir sur ces fractions de fibres longues pour réduire la rugosité du papier.

Globalement, cette étude a permis de mettre en évidence différents moyens de réduire le nombre de points manquants lors de l'impression héliogravure, à savoir :

- (a), l'utilisation de l'ESA. Son efficacité a en effet été confirmée.

(b), la réduction du nombre de fibres longues, raides et légèrement surélevées à la surface du papier. Ceci peut être fait en améliorant le classage des fibres lors de la fabrication de la pâte mécanique ou en augmentant l'efficacité du raffinage pour rendre les fibres moins épaisses, plus souples. L'utilisation de sapin baumier plutôt que d'épinette noire est un autre facteur permettant de réduire la quantité de ces fibres longues à la surface du papier.

(c), l'amélioration de la répartition des charges minérales afin que celles-ci comblient d'avantage les pores causés par le croisement des fibres en surface du papier et les pores bordant ces mêmes fibres et afin qu'elles ne s'agglomèrent pas pour former des bosses à la surface du papier. Il faut pour cela éviter que la quantité de charges minérales contenue globalement dans le papier ne soit trop élevée.

Une prochaine étape dans ce projet pourrait donc être de trouver les proportions optimales de pâte PGW, de pâte kraft et de charges minérales permettant d'optimiser la qualité d'impression de ces papiers SCA.

## BIBLIOGRAPHIE

1. International Paper Company, "Pocket Pal, A Graphic Arts Production Handbook", 15 ème éd., pp. 26-27 et 124 - 125, (1992).
2. Zwicky, K., "Glätte-Prüfung an Papieren : Eine Übersicht über verschiedene Methoden", UGRA-Mitteilungen 27, pp 699-705 (Dezember 1972).
3. Aspler, J.S., "Gravure and Screen Printing", Papriprint course, 9ième lecture, Papricon, Pointe-Claire, Canada (November 1994).
4. Gratton, M.F., Crotogino, R.H., "Le calandrage : techniques d'aujourd'hui et de demain", ATIP Vol. 42, N°1, pp. 13-27 (1988).
5. Chiodi, R., Silvy, J., "Porosité du papier. Variation de la porosité et de la dimension moyenne des pores du papier en fonction de l'écrasement de la feuille", ATIP Vol. 25, N°1, pp.81-96, (1971).
6. ISO 4287/1-1984, "Rugosité de surface-Terminologie-Partie 1 : Surface et paramètres", (1984).
7. Gervason, G., Webhi, D., Roques-Carmes, C. et Cheradame, H., "Calandrage du papier. Étude par caractérisation de la topographie de sa surface", ATIP, Vol. 40, N°8, pp.433-443, (1986).
8. Mangin, P.J., "Étude de la destructuration de la surface du papier en zone d'impression offset", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, (Octobre 1988).
9. Bristow, J.A., and Parker, J.R., "Parker Print-Surf Tester-Effect of Head Pressure", STFI Laboratorierapport 7408/3, (1975).
10. Mangin, P.J., Béland, M.-C., " Three-dimensional Evaluation of Paper Surfaces Using Confocal Microscopy. Part I : Research and Development Applications", 22th IARIGAI Conference, Munich, Germany (5-8 September 1993).
11. Wenzel, R.N., "Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water", Ind. Eng. Chem., Vol. 28, N°8, pp.988-994, (1936).

12. Kent, H.J., Climpson, N.A., Coggon, L., Hooper, J.J., and Grane, P.A.C., "Novel Techniques for Quantitative Characterization of Coating Structure", TAPPI Journal, Vol. 69, N°5, pp. 78-83, (1986).
13. Lipshitz, H., Bridger, M., and Derman, G., "On the Relationship Between Topography and Gloss", TAPPI Journal, Vol. 73, N°10, (1990).
14. Kent, H.J., "The Fractal Dimension of Paper Surface Topography", TAPPI/CPPA IPGAC, pp. 73-78, (1990).
15. Hagerty, G.A., and Walkinshaw, J.W., "The Sheffield Unit. Update on Today's Technology", TAPPI Journal, Vol. 71, N°1, pp.101-106, (1988).
16. Wehlmoff, B.L., Simmons, R.H. and Boyce, D.H., "The Bekk Smoothness Tester as an Aid in Studying the Printing Quality of Paper", Paper Trade Journal, Vol. 96, N°1, pp. 48-52, (1933).
17. Bendsten, C., "The Printability of Newsprint Paper", Pulp and Paper Magazine of Canada, Vol.40, N°1, pp.20-26, (1940).
18. Parker, J.R., "An Air-Leak Instrument to Measure Printing Roughness of Paper and Board", Paper Technology, Vol. 6, N°2, pp.126-130, (1965).
19. Bichard, W., "The Interrelationship Among Air-Leak Roughness/Smoothness Methods. A Canadian Newsprint Study", Paprigan, Canada, Miscellaneous Report N°177 (March 1990).
20. Abbot, P.H.J. and Hendry, I.F., "Methods of Evaluating Art Papers for Letterpress Printability", EUCEPA, 3rd Symposium, pp.321-345, (1959).
21. Bliesner, W.C., "Dynamic Smoothness and Compressibility Measurement on Coated Papers", TAPPI Journal, Vol. 53, N°10, pp.1871-1879, (1970).
22. Chapman, S.M., "The Measurement of Printing Smoothness", Pulp and Paper Magazine of Canada, Convention Issue, Vol. 48, N°3, pp.140-150, (1947).
23. Voillot, C., "MEB et microanalyse dans le domaine papetier", ATIP, Vol. 36, N°4, pp.167-179, (1982).
24. Voillot, C., "Application quantitative de la microscopie à balayage. Mesure des effets de surface du calandrage", ATIP, Vol.37, N°10, pp. 605-612, (1983).
25. Ginman, R., "Le lissé du papier et son imprimabilité", La Papeterie, N°98, pp.15-17 (Avril 1986) et N°99, pp.17-23 (Mai 1986).

26. Fetsko, J.M., Schaeffer, W., and Zettlemoyer, A.C., Am Ink Maker, Vol.40, N°5, p.72, (1962).
27. Dalphond, J.E., "Essais d'imprimabilité à l'Institut Canadien de Recherche en Pâtes et Papiers", Papricon, Canada, Miscellaneous Report N°84, (Mars 1986).
28. Sauret, G., et Chiodi, R., "L'apport des clients à l'évolution de la qualité. Le point de vue du laboratoire d'imprimabilité du C.T.P.", ATIP, Vol. 36, N°8, pp.447-454, (1982).
29. Hendry, I.F., "Some Techniques for the Assessment of Coated Art Paper", TAPPI Journal, Vol. 44, N°10, pp.725-731, (1961).
30. Climpson, N.A., "3-Dimensional Paper Surface Profilometry", Research and Development Departure, ECC International, St Austell, Cornwall, England, (1984).
31. Caber, P., "An Interferometric Profiler for Rough Surfaces", WYKO Corporation, 2650 East Elvira Road, Tucson, Arizona 85706, Patent Pending, (1992).
32. Karnis, A., "Effect of Wood Species and Process on the Linting Propensity and Surface Roughening of Mechanical Pulps", JPPS, Vol. 21, N°9, pp.J321-J329 (1995).
33. Béland, M.-C. and Mangin, P.J., in "Surface Analysis of Paper", Conners T.E. and Banerjee S. Ed., CRC Press Boca Raton, Fl., USA., pp. 1-40, (1995).
34. Mangin, P.J., Geoffroy, P., "Printing Roughness and Compresibility", Fundamentals of Papermaking, 9th Fundamental Research Symposium, Cambridge, England, Vol. 2, pp.951-978, (1989).
35. Mangin, P.J., Béland, M.-C., Cormier, L.M., "Paper Surface Compressibility and Printing", International Printing and Graphic Arts Conference, CPPA/TAPPI, Halifax, pp. 19-31, (October 1994).
36. Bristow, J.A., "The Surface Compressibility of Paper - A Printability Property", 15th IARIGAI Conference, Lillehammer, Norvège, pp.373-383 (1979).
37. Gregersen, Ø.W., Johnsen, P.O., Helle, T., "Small Scale Topographical Variations of Paper Surfaces, and Their Effects on Printing Ink Transfer Distribution", International Printing and Graphic Arts Conference, CPPA/TAPPI, Halifax, pp. 271- 281, (October 1994).
38. Kant, A., "The Influence of Formation and Wire Marks on the Printability in Rotogravure Printing.", Dissertation N°110 at the Institute for Paper Fabrication, Darmstadt, (1990).

39. Pritchard, E.J., "The Effect of Roughness Distributions on Speckle in Gravure Printing", Avd. in " Printing Science and Technology, Banks,W.H, Ed., Pentech Press, London, UK, Vol.4, pp. 277-294, (1965).
40. Bery, Y., Davis, B., and Mallory, W., "Structural Printability of Coated Board", TAPPI Journal, Vol. 74, N°12, pp. 92-98, (1991).
41. Praast, H., Götsching, L., "Analyse und Ursachen von Missing Dots im Tiefdruck", Das Papier, Vol. 47, No.1, pp.12-19, (1993).
42. Parker, J.H., "The Measurement of Printing Roughness", TAPPI, Vol. 64, N°12, pp. 56-58, (1981).
43. Lachenal, D., Cours de "Procédés de fabrication des pâtes et papiers", EFPIG, France, 2ième année, (1992).
44. Mouttet, B., Cours de "Microscopie biologique papetière", EFPIG, France, 2ième année, (1992).
45. Hoydahl, H.-E., Solbakken, M., "Screening of TMP and SGW with Valmet TAP Pressure Screens at the Norske Skog / Saugbrugs Mill", 82nd annual meeting, Technical Section, CPPA, Montréal, Preprints, pp. B15-B19, (February 1996).
46. Amiri, A., Wood, J.R. and Karnis, A., "Pulp Mixtures : a Literature Survey", Papricon, Canada, Miscellaneous Report N°173, (January 1990).
47. Lindholm, C.A., "Comparison of Some Papermaking Properties of Groundwood , Pressure Groundwood and Thermomechanical Pulp by Means of Artificial Blends of Pulp Fractions, Part III : The Fibre Fractions", Paperi ja Puu, Vol. 63, N°8, pp.487-497, (1981).
48. Lindholm, C.A., "Comparison of Some Papermaking Properties of Groundwood , Pressure Groundwood and Thermomechanical Pulp by Means of Artificial Blends of Pulp Fractions, Part IV : Results of the Series of Investigation", Paperi ja Puu, Vol. 63, N°9, pp.551-558, (1981).
49. Mohlin, U.B., "Properties of TMP Fractions and their Importance for the Quality of Printing Papers, Part I : Large Variations in Properties Within Fractions are Observed", Svensk Papperstidning, Vol. 83, N°16, pp.461-466, (1980).
50. Mohlin, U.B., "Properties of TMP Fractions and their Importance for the Quality of Printing Papers, Part II : The Influence of Particle Properties and Particle Size distribution on Pulp Properties", Svensk Papperstidning, Vol. 83, N°18, pp.513-519, (1980).

51. Law, K.N. and Garceau, J.J., "Optimum Combinations of Groundwood Fractions for Higher Sheet Strength", Pulp and Paper Canada, Vol. 77, N°2, pp.63-68, (1976).
52. Corson, S.R., "Fibre and Fines Fractions Influence Strength of TMP", Pulp and Paper Magazine of Canada, Vol. 82, N° 5, pp.69-76, (1980).
53. Bristow, J.A. and Pauler, N., "Multilayer Structures in Printing Papers", Svensk Papperstidning, Vol. 86, N°15, pp.R164-R172, (1983).
54. Lake Superior Paper Industry, "All about Paper, Making Paper the Lake Superior Way", Duluth, Minnesota, USA, (1990).
55. Görres, J., Amiri, R., Wood, J.R., Karnis, A., "Mechanical Pulp Fines and Sheet Structure", Papricon, Canada, Pulp and Paper Report N° 1146, (March 1995).
56. Atack, D., Fontebasso, J., Jackson, M., and Stationwala, M.I., "Pressurized Grinding of Loblolly Pine", Papricon, Canada, Pulp and Paper Report N°386 (August 1982).
57. Lindholm, C.A., "Comparison of Some Papermaking Properties of Groundwood , Pressure Groundwood and Thermomechanical Pulp by Means of Artificial Blends of Pulp Fractions, Part I : Primary Results", Paperi ja Puu, Vol. 62, N°10, pp.593-605, (1980).
58. Jang, H.F., Amiri, R, Seth, R.S., Karnis, A., "Fibre Characterization using Confocal Microscopy - Collapse Behaviour of Mechanical Pulp Fibres", 81th Annual Meeting Technical Section, CPPA, Montréal, Canada, pp. B147-B154, (Janvier 1995).
59. Mangin, P.J., "A Structural Approach to Paper Surface Characterization", Process and Product Quality TAPPI Conference, Atlanta, pp. 17-23, (November 1993).
60. Kent, H.J., "The Fractal Dimension of Paper Topography", TAPPI/CPPA IPGAC, pp. 73-78 (1990).
61. De Montmorency, W.H., "The Relationship of Wood Characteristics to Mechanical Pulping", Pulp and Paper Magazine of Canada, Vol. 65, N° 6, pp.T325-T348 (1965).
62. Staniowala, M.I., Mathieu, J., and Karnis, A., "On the Interaction of Wood and Mechanical Pulping Equipment, Part I : Fibre Development and Generation of Fines", 1995 International Mechanical Pulping CPPA Conference, Ottawa, Canada, pp.157-163, (June 1995).
63. Johal, S.S., Mc Phee, F.J., Gee, W.Y., and Hatton, J.V., "Kraft, Magnesium Bisulphite, and Thermomechanical Pulping of Mature and Overmature Black

- Spruce and Balsam Fir", Paprican, Canada, Miscellaneous Report N° 284 (May 1994).
64. Stanionwala, M.I., Mathieu, J., and Karnis, A., "On the Interaction of Wood and Mechanical Pulping Equipment, Part II : Pulp Quality", 1995 International Mechanical Pulping CPPA Conference, Ottawa, Canada, pp.165-170, (June 1995).

## **ANNEXES**

## ANNEXE A

### Tests pratiqués sur les pâtes et les papiers utilisés

Deux tests ont été pratiqués sur les pâtes étudiées :

- le classage BMN
- le Fiber Length Analyser Kajaani FS-200

Trois tests autres que l'étude au CLSM ont été pratiqués sur les papiers étudiés :

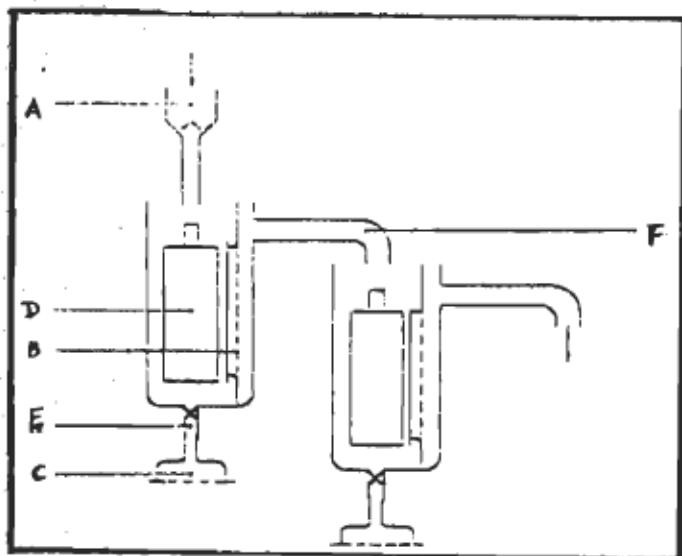
- la rugosité PPS
- l'héliotest
- l'observation au microscope électronique à balayage (MEB)

#### 1- Le classage Bauer-McNett

##### *- Principe de mesure*

Une suspension de pâte agitée est fractionnée grâce à un procédé utilisant des tamis verticaux dont les mailles sont de plus en plus petites. Ces tamis sont montés dans des réservoirs disposés en cascade. La masse des fibres retenues par chaque tamis et celle ayant traversé tous les tamis est déterminée et exprimée en un pourcentage de la masse sèche introduite au départ.

##### Principe du classeur de fibres



- A. réservoir d'eau avec trop-plein
- B. tamis
- C. récipient de récupération avec filtre
- D. agitateur
- E. tuyau de vidange
- F. trop-plein

##### *- Description de l'appareil*

Le classeur de fibres est composé de plusieurs unités, chacune d'elles est constituée:

- d'un réservoir dont l'un des côtés a une ouverture rectangulaire scellée par un bâti détachable, lui-même fixé par un joint de culasse. Un tube de sortie situé au dessus du tamis permet à la suspension de s'écouler dans le réservoir suivant. Le tuyau de vidange situé au sommet du réservoir est connecté à un récipient contenant un filtre qui récupère la fraction de fibres.

- d'un agitateur cylindrique mené par un moteur et équipé de quatre "pagaies" de 10 mm de large. Il est monté verticalement au centre d'une des sections semi-circulaires du réservoir.

- d'un tamis en bronze

- d'un réservoir délivrant de l'eau au débit constant de 10 l/mn. Il est situé au dessus du premier réservoir et possède un système permettant d'évacuer le trop-plein. Cet équipement est constitué d'un matériel non corrosif.

#### *- Mesure (Méthode standard TAPPI T233 cm-82)*

Désintégrer 24 gr. sec sec de pâte humide dans un désintégrateur pendant 5 mn (15000 révolutions). Diluer à 10 g/l. Introduire 10 g de pâte dans l'appareil et maintenir une agitation et un débit constant pendant 20 mn. Vider les réservoirs et recueillir les différentes fractions. Placer celles-ci à l'étuve puis peser à 0,01 gr. près.

Exprimer pour chaque fraction, la quantité massique de fibres récupérée par rapport au 10 gr. de pâte initiale. La fraction de fines P200 (fraction de pâte passant à travers le tamis R200) est déduite par soustraction de la somme des fractions récupérée sur les tamis au 10 gr. initiaux<sup>1</sup>. Trois mesures ont été effectuées par pâte.

#### *- Tamis*

Parmi les différents tailles de tamis proposées (voir tableau ci-dessous) nous avons utilisé les tamis R14 - R28 - R48 - R100 - R200

**Table 1. Screen openings**

<i>Tyler series</i>	<i>Opening, mm</i>	<i>U.S. standard</i>
10	1.68	12
12	1.41	14
14	1.19	16
20	0.841	20
28	0.595	30
35	0.420	40
48	0.297	50
65	0.210	70
100	0.149	100
150	0.105	140
200	0.074	200

Bibliographie : LE NY, C., "Étude comparative d'appareils mesurant la longueur des fibres", projet de fin d'études, EFPG, Grenoble, France (1991).

<sup>1</sup>

Il est également possible de donner une longueur moyenne de fibres. Nous avons préféré pour faire des mesures au Kajaani.

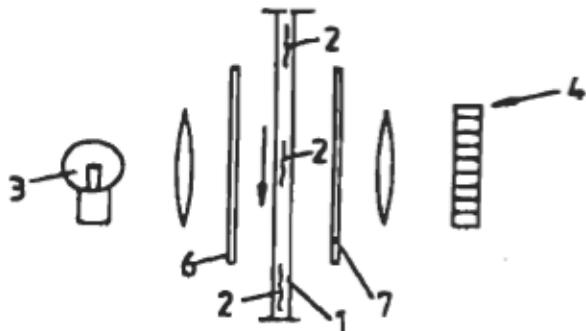
## 2- Fiber Length Analyser Kajaani FS-200

Cet appareil a été utilisé pour mesurer la longueur moyennes des fibres ainsi que leur masse linéique.

### - Principe de la mesure

Les fibres passent les unes après les autres en position verticale, dans un capillaire de 0,3 mm de diamètre. D'un côté du capillaire est placé une source lumineuse, de l'autre côté un détecteur optique (barre de diodes).

De part et d'autre du capillaire (entre la source lumineuse et la barre de diodes) sont placés deux filtres polarisant croisés. En l'absence de fibre, il y a extinction de la lumière. Au passage d'une fibre qui polarise la lumière, l'extinction est supprimée et les diodes excitées lorsque l'extrémité inférieure de la fibre atteint le bas de la barre de diodes. Ce signal optique est converti en signal électrique auquel est associé une longueur de fibre.



(1) Capillaire, (2) Fibres, (3) Source lumineuse

(4) Barre de diodes, (6) et (7) Polariseurs

### - Mesure

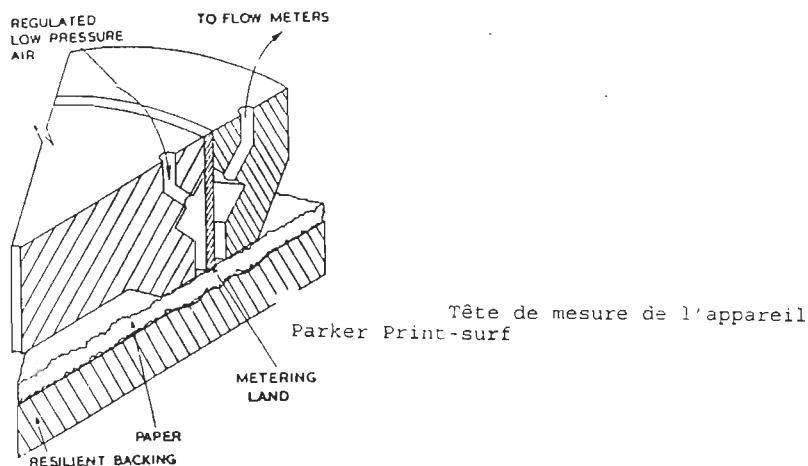
Désintégrer 24gr. sec sec de pâte. Déterminer la concentration et prélever 1 gr. sec sec de pâte. Diluer ce gramme dans 2 litres d'eau. Recalculer la concentration et déterminer la masse de suspension nécessaire pour avoir 2 mg de pâte. Prélever ces 2 mg à l'aide d'une seringue, peser à l'aide d'une balance à 0,00001 gr. près. Mettre cette pâte dans un bêcher et diluer. Le nombre de fibres compter par le Kajaani devra être entre 20 et 40 fibres/seconde. Faire deux mesures de suite. Pour être valables, les deux mesures de longueur de fibre ne doivent pas être différentes de plus de 0,02 mm et les deux mesures de la masse linéique ne doivent pas être différentes de plus de 0,05 mg. Sinon faire des mesures supplémentaires.

### 3- Rugosité Parker Print Surf

Cet instrument donne directement un indice de rugosité et représente la profondeur moyenne des pores de surface.

#### - Principe de la mesure

La mesure de rugosité PPS est effectuée par la mesure d'un flux d'air. Le papier est plaqué entre un support et l'anneau de mesure. Cet anneau a une largeur de 51 µm. Les surfaces de contact flux d'air-papier sont limitées (51 µm également) grâce à deux gardes positionnés de part et d'autre de l'anneau de mesure. Un flux d'air comprimé arrive en contact avec le papier entre le garde intérieur et l'anneau de mesure. Après passage entre l'anneau et le papier, le flux d'air rejoint des débitmètres par le canal situé entre l'anneau de mesure et le garde extérieur. Les débitmètres sont calibrés pour donner une mesure directement en µm (cf. équation de Lamb-Shaw et équation de Hagen-Poiseuille).



#### - Mesure

Le papier est plaqué entre un support et l'anneau de mesure. Deux supports de dureté différentes ainsi que trois pressions sont proposées. Ces options permettent de reproduire les conditions (dureté du rouleau de contre-pression, pression au niveau de la pince) pour différents procédés d'impression. L'utilisation du support mou et de la pression 1 MPa est assez générale. Voici cependant les recommandations suivant le procédé d'impression :

Procédé d'impression	Pression appliquée (MPa)	Support
Typographie	2	dur
Offset	1 ou 2	mou
Héliogravure	0.5 ou 1	dur

Il est conseillé de faire 15 mesures par papier.

Bibliographie : Dalphond, J.E., Miscellaneous Report N°84 (Mars 1986).

Parker, J.R., "An Air-Leak Instrument to Measure Printing Roughness of Paper and Board". Paper Technology, Vol. 6, N°2, pp.126-130, (1965).

#### 4- Héliotest NC

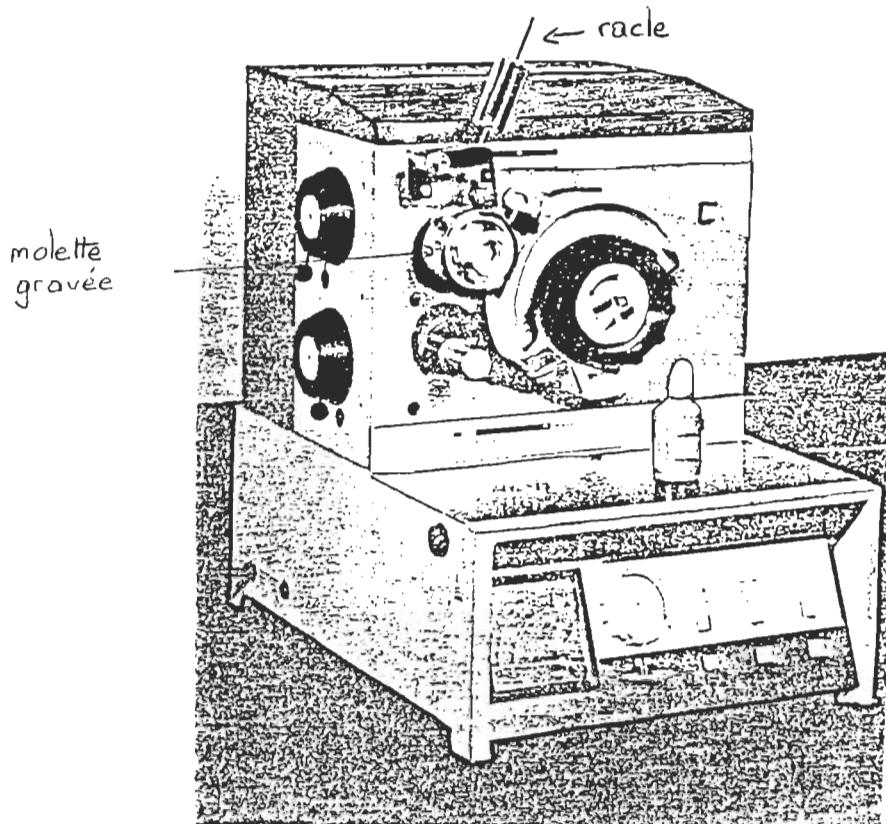
##### - Principe de la mesure

Ce test permet d'évaluer la qualité d'impression en héliogravure par la mesure des points manquants. Ceux-ci correspondent à une alvéole du cylindre gravé dont l'encre n'a pas été transférée au papier. Ce phénomène est généralement attribué à un manque de contact entre le cylindre et le papier.

L'héliotest est un appareil accessoire de la presse IGT. Il consiste en une molette gravée en simili et d'une racle d'essuyage. Après impression du papier à l'aide d'une encre héliogravure, le nombre total de points manquants sur des tramés de 15400 et 15840 points doivent être comptés.

##### - Mesure

L'enrage de la molette héliogravure est effectué directement sur la presse IGT. Après installation de la molette, une goutte d'encre déposée à sa surface remplit les alvéoles et la racle sert à essuyer l'excès d'encre. Le cylindre est ensuite amené en contact avec le papier porté par le secteur et une impression est effectuée. Faire 10 mesures par papier.

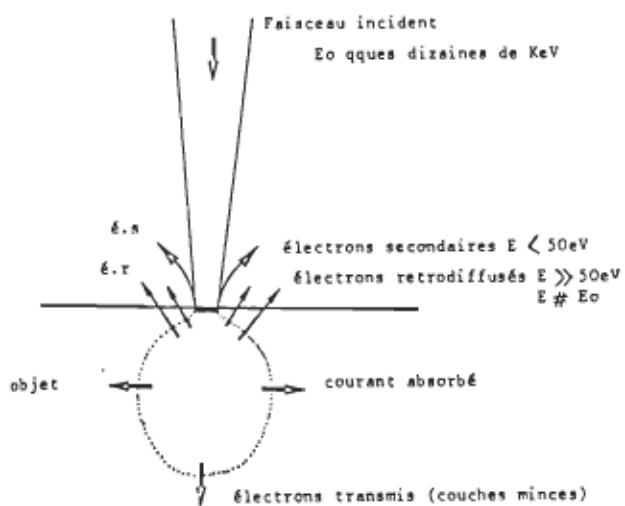


Presse IGT avec les  
accessoires de l'héliotest

Bibliographie : Dalphon J.E., " Mesure d'imprimabilité à l'ICRPP", Miscellaneous Report N°84 (Mars 1986).

## 5- Le microscope électronique à balayage (MEB)

L'échantillon de papier est métallisé par une fine couche d'or (environ 100 Å). Il est ainsi conducteur. Un fin pinceau d'électrons balaye la surface de l'objet placé sous vide. Des électrons rétrodiffusés et secondaires sont alors émis. La détection des électrons rétrodiffusés permet d'une part d'obtenir des images topographiques en niveau de gris de la surface du papier (détecteur annulant le contraste chimique) et d'autre part d'obtenir des images en niveau de gris dont le contraste dépend du numéro atomique moyen de la région balayée par le faisceau d'électrons (détecteur augmentant le contraste chimique). Dans ce deuxième cas de figure (celui que nous avons utilisé lors de cette étude), les régions les plus blanches dans les micrographies correspondent à des matériaux dont le n° atomique est élevé; exemple, les charges minérales dans le réseau des fibres.



Principe de la M.E.B.

Bibliographie : Voillot, C., "MEB et microanalyse dans le domaine papetier", ATIP, Vol. 36, N°4, pp.167-179, (1982).

## ANNEXE B

### Programme Turbo-Pascal pour le calcul de la rugosité $G_3$

C. Antoine, mars 94.

Programme en Turbo-Pascal ayant pour but de calculer la rugosité  $G_3$  et les coordonnées servant à dessiner le pore équivalent de surface correspondant, ceci à partir de l'histogramme des intensités d'une image topographique obtenue avec le CLSM.

```
program rugosite;
uses crt;
var
i,j,k,n,valr,limsup,liminf,G3entier,code,code2 : integer;
range,obj,aire,s,G3,G3cube,G3arrondi : real;
rep,reponse : char;
hist,sauve : string;
valt : string[6];
int,inv,A,CA,x : array[0..255] of real;
f,g : text;
ch1 : string [1];
ch2 : string [2];
ch3 : string [3];
ch4 : string [4];
ch5 : string [5];
ch6 : string [6];
sauveval,recommence : boolean;

BEGIN
clrscr;
recommence := true;
while recommence do
begin

{-I- lecture du range, de la valeur de l'objectif et du nom du fichier où se trouve
l'histogramme}
writeln; writeln; writeln;
writeln ('Bonjour, je suis heureux de t''aider a calculer tes rugosités');
writeln;
writeln;
write ('range = ');
readln (range);
```

```

writeln;
writeln;
writeln ('objectif : ');
writeln;
writeln ('Attention, je n'accepte uniquement que les valeurs 16 ou 40');
writeln;
writeln;
write('objectif =');
readln(obj);
while (obj<>16) and (obj<>40) do
begin
writeln;
writeln('non, je veux comme nombre 16 ou 40 !!!');
writeln('recommence');
writeln('objectif = ');
readln(obj);
end;
clrscr;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln('Pourrais-tu s'il te plait me donner le nom du fichier ou se trouve l"histogramme ?');
writeln;
writeln;
writeln('      exemple : "a:\hist.prn" ');
readln(hist);

```

{-II-lecture du fichier en texte, mise des valeurs dans un tableau et traduction en réels}

```

assign(f,hist);
reset(f);
i := 0;
while not eof(f) do
begin
readln(f,volt);
val(volt, int[i], code);

case code of
2 : begin ch1 := volt ; val(ch1, int[i], code2) ; end;
3 : begin ch2 := volt ; val(ch2, int[i], code2) ; end;
4 : begin ch3 := volt ; val(ch3, int[i], code2) ; end;
5 : begin ch4 := volt ; val(ch4, int[i], code2) ; end;
6 : begin ch5 := volt ; val(ch5, int[i], code2) ; end;
7 : begin ch6 := volt ; val(ch6, int[i], code2) ; end;

```

```

    end;
    i := i+1;
    end;
close(f);

```

{-III- recherche de la fréquence d'intensité >=26 pour les z profonds}

```

limsup := 0 ; i := 0;
while int[i]<26 do
    begin
    i := i+1;
    limsup := i;
    end;

```

{-IV- inversion du tableau des valeurs de fréquence d'intensité et calcul dans un tableau des profondeurs x}

```

for i := 0 to 255 do
    begin
    inv[i] := int[255-i];
    x[i] := (range/255)*i;
    end;

```

{-V- recherche de la fréquence d'intensité >=26 pour les z en surface}

```

liminf := 0; j := 0;
while inv[j]<26 do
    begin
    j := j+1;
    liminf := j;
    end;

```

{-VI- calcul de l'aire de l'image en fonction de l'objectif, et calcul de l' "area" pour les fréquences comprises entre les 2 limites inf et sup à 26}

```

valr := 256 - liminf-limsup;
s := 0;
if obj=16 then aire := 313*313/(512*512)
            else aire := 125*125/(512*512);

```

```

for k := liminf to 255-limsup do
    begin
    A[k-liminf] := inv[k]*aire;
    s := s+A[k-liminf];
    end;

```

{-VII-calcul et mise en tableau des "cumulative areas", calcul de G3cube  
rque : dCA=A[k]/s}

```
CA[0] := A[0]/s;
G3cube := 0;
for k := 1 to valr-1 do
    begin
        CA[k] := CA[k-1] + A[k]/s;
        G3cube := G3cube + x[k]*x[k]*x[k]*A[k]/s;
    end;
```

{-VIII- calcul de G3 et sa valeur 3 chiffres après la virgule}

```
if G3cube>0 then G3 := exp(1/3*ln(G3cube))
    else writeln('Cherche l'erreur, je ne peux te donner ici un G3 !');
G3arrondi := G3*1000;
G3entier := trunc(G3arrondi);
G3arrondi := G3entier;
G3arrondi := G3arrondi/1000;
```

{-IX- donne le résultat G3, sauvegarde des valeurs intermédiaires en texte, recommence ou non un nouveau calcul}

```
clrscr;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln('          G3 =',G3:6:2,' μm');
writeln;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln('          Alors, heureuse ??...');
writeln;
writeln('          tape "entrée" ');
readln;
clrscr;
sauveval := true;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln('Veux-tu sauver les valeurs intermediaires + G3 pour des graphes ?');
```

```

writeln;
writeln('           tape "o" pour oui et "n" pour non');
readln(rep) ;
clrscr;
if rep= 'n' then sauveval := false;
if sauveval then
    begin
    writeln;
    writeln;
    writeln;
    writeln;
    writeln('Donne moi le nom du fichier où je dois sauver les area, cumarea... ');
    writeln;
    writeln('           exemple : "a:\valeurs"  ');
    writeln;
    writeln('           Attention !  ');
    writeln('           1- si le fichier existe déjà, je l"écraserai sans prévenir');
    writeln('           2- je donne automatiquement ".abc" comme extension');
    writeln;
    writeln;
    writeln(' Le fichier est : ');
    readln(sauve);
    sauve := sauve+ '.abc' ;
    assign (g,sauve);
    rewrite(g);
    writeln(g,' Roughness = ',G3arrondi, 'µm; range = ',range,'µm;');
    writeln(g,' X   ',' frequence',' area ',' cumarea ');
    writeln(g, x[0], inv[liminf], A[0], CA[0]);
    for i := 1 to valr-1 do
        writeln(g, x[i], inv[liminf+i], A[i], CA[i]);
    close(g);
    end;
clrscr;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln(' Veux-tu calculer un autre G3 ? ');
writeln;
writeln;
writeln('           tape "o" pour oui et "n" pour non ');
readln(reponse);
if reponse = 'n' then recommence := false;
end;

```

END.

## ANNEXE C

### Compressibilité CLSM : préparation des échantillons et mesures

#### **1- Calibration des papiers pour les mesures de compressibilité**

##### **1.1-But**

Connaître la pression réellement exercée sur chacun des papiers en fonction de la pression appliquée et lire à l'aide d'une clé dynamométrique.

##### **1.2- Matériel**

Densitomètre (mac Beth)

Papier Fuji (Opérer dans une salle où température et humidité sont contrôlées)

Appareil de compressibilité

Clé dynamométrique

##### **1.3- Mode opératoire**

\* Calibrer le densitomètre à l'aide des courbes fournies avec le papier fuji. Ceci permet de connaître la pression en kgf/cm<sup>2</sup> exercée ultérieurement sur le papier fuji en fonction de la densité lue au densitomètre. En effet plus la pression appliquée sur le papier fuji sera élevée, plus la coloration rose du papier sera foncée et donc plus la densité lue mesurée sera élevée.

Tracer la courbe pression (kgf/cm<sup>2</sup>) en fonction de la densité et trouver les coefficient de régression linéaire.

\* Pour chaque papier sur lesquels on veut effectuer des compressibilité :

- découper des 10 rondelles de papier de diamètre 5/16"
- découper des lamelles de verres de diamètre 5/16 " au diamant
- découper des morceaux de papier Fuji
- faire un empilement dans l'appareil de compressibilité comme suit :
  - papier développeur
  - papier ...
  - lamelle de verre
  - rondelle de papier
  - lamelle de verre
- positionner la plaque orifice sur l'appareil de compressibilité et le système de serrage
- appliquer à l'aide de la clé dynamométrique la pression désirée pendant 5 secondes (2, 5, 10, 15 et 20 PSI pour le papier Fuji "super low"  
15, 20, 30, 50 PSI pour le papier Fuji "low")
- récupérer le papier Fuji et mesurer la densité de coloration à l'aide du

densitomètre.

- A l'aide de la courbe de calibration du densitomètre, déduire quelle est la pression en kgf/cm<sup>2</sup> appliquée sur le papier en fonction de la pression en PSI appliquée avec la clé dynamométrique. Faire la conversion en MPa :

$$1\text{kgf/cm}^2 \times 98.1 / 1000 = 1 \text{ MPa}$$

\* Pression appliquée par le poids de la plaque orifice et des rondelles :

- pesée :            plaque orifice : 31,16 g  
                      plaque orifice + rondelles : 57,6 g

- surface d'appui : rondelle de 5/16 " de diamètre soit 0,479 cm<sup>2</sup>
- pression appliquée : plaque orifice :  $0,065 \text{ kgf/cm}^2 = 0,0064 \text{ MPa}$   
pl. orif. + rondelles :  $0,120 \text{ kgf/cm}^2 = 0,012 \text{ MPa}$

### **Calibrations du densitomètre effectuées en vue des mesures de compressibilité des formettes à base des fractions BMN de la pâte PGW (chp. 4) et des pâtes pures sapin-épinette (chp.5).**

Régressions linéaires : pression = b.densité + a

Papier Fuji "Super Low"

Date	R <sup>2</sup>	b	a
28 février 95	.999	25.0599	1.54892
1 mai 95	.99653	25.6785	1.63452
2 mai 95	.99478	25.4285	1.99285

Papier Fuji "Low"

Date	R <sup>2</sup>	b	a
28 février 95	.99187	72.5287	6.35541
1 mai 95	.96606	79.8571	3.91904
2 mai 95	.95392	80.4285	3.90952

Échantillon F-R200 , 28 février

Papier "super low"			Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	
2	0.23	7.31	0.72	15	0.65	53.5
5	0.74	20.09	1.97	20	0.91	72.36
10	1.26	33.12	3.25	30	1.13	88.31
15	1.27	33.37	3.27	40	1.44	110.8
20	1.33	34.87	3.42	50	1.47	112
						11.08

Échantillon F-pâte entière , 28 février

Papier "super low"			Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	
2	0.24	7.56	0.74	15	0.72	58.57
5	0.67	18.34	1.80	20	0.78	62.93
10	0.96	25.61	2.51	30	1.07	83.96
15	1.31	34.38	3.37	40	1.07	83.96
20				50	1.45	111.52
						10.94

Échantillon F-R48 , 1er mai

Papier "super low"			Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	
2	0.35	10.62	1.04	15	0.49	43.05
5	0.87	23.97	2.35	20	0.76	64.61
10	1.06	28.85	2.83	30	0.93	78.19
15	1.25	33.73	3.31	40	1.01	84.57
20	1.25	33.73	3.31	50	1.45	119.71
						11.74

Échantillon Sapin baumier , 1er mai

Papier "super low"			Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	
2	0.3	9.34	0.92	15	0.69	59.02
5	0.82	22.69	2.22	20	0.78	66.21
10	1.07	29.11	2.85	30	0.98	82.18
15	1.25	33.73	3.31	40	1.41	116.52
20	1.34	36.04	3.53	50	1.45	119.71
						11.74

Échantillon Épinette noire , 1er mai

Papier "super low"			Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	
2	0.28	8.82	0.86	15	0.63	54.22
5	0.89	24.49	2.40	20	0.80	67.80
10	0.96	26.28	2.58	30	0.85	71.80
15	1.26	33.99	3.33	40	1.43	118.11
20	1.37	36.81	3.61	50	1.45	119.71
						11.74

Échantillon F-R14, 2 mai

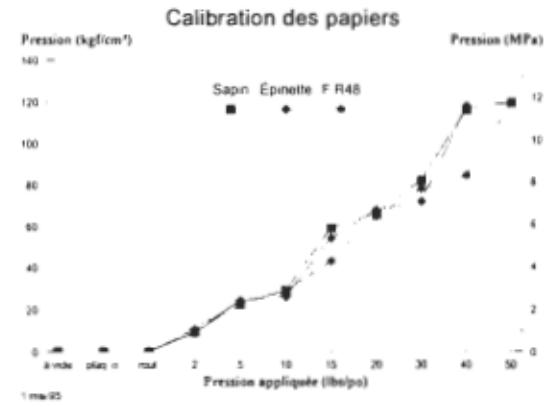
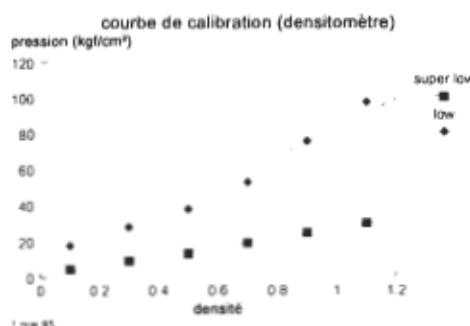
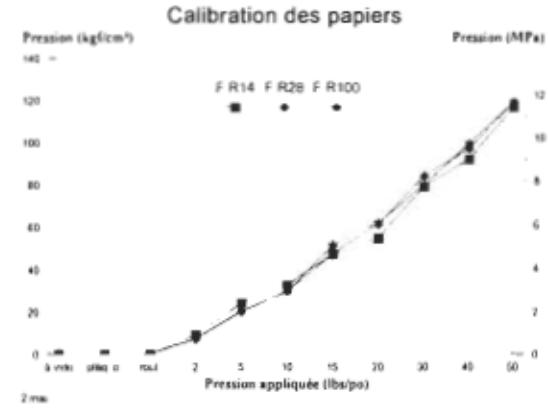
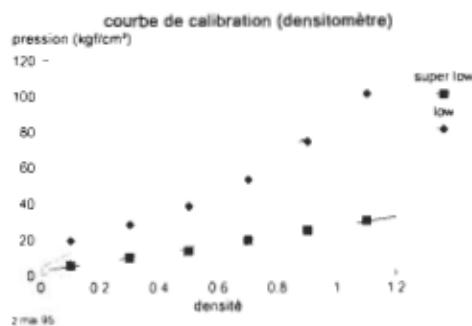
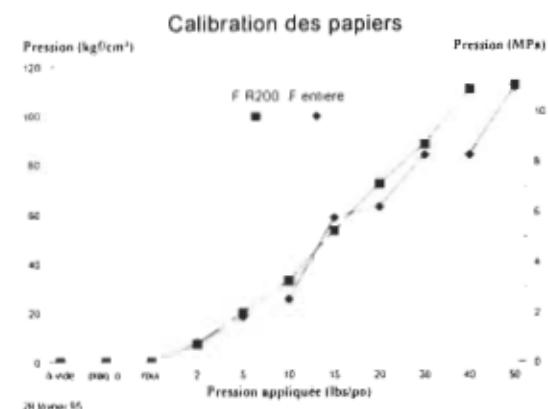
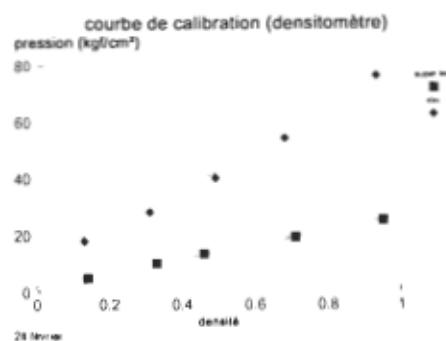
Papier "super low"			Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	
2	0.28	9.11	0.89	15	0.54	47.34
5	0.88	24.37	2.39	20	0.63	54.58
10	1.21	32.76	3.21	30	0.93	78.71
15	1.3	35.04	3.44	40	1.09	91.58
20	1.32	35.56	3.49	50	1.4	116.51
						11.42

Échantillon F-R28, 2 mai

Papier "super low"				Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)		
2	0.2	7.07	0.69	15	0.54	47.34	4.64
5	0.71	20.05	1.97	20	0.71	61.01	5.98
10	1.1	29.96	2.94	30	0.99	83.53	8.19
15	1.24	33.52	3.29	40	1.15	96.04	9.46
20	1.26	34.03	3.34	50	1.43	118.92	11.67

Échantillon F-R100 , 2 mai

Papier "super low"				Papier "low"			
clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)	clé dyn. PSI	densité	Pression réel. appl. (kgf/cm <sup>2</sup> )   (MPa)		
2	0.22	7.59	0.74	15	0.59	51.36	5.04
5	0.73	20.55	2.01	20	0.72	61.82	6.06
10	1.09	29.71	2.91	30	0.94	79.51	7.80
15	1.27	34.29	3.36	40	1.18	98.81	9.69
20	1.29	34.79	3.41	50	1.43	118.92	11.67



## 2- Mesures de compressibilité

- Une rondelle de papier est placée dans le fond du boîtier de l'appareil (cf. figure 2.4 du mémoire). Une lamelle de verre de 5/16" de diamètre est positionnée sur l'échantillon.
- Mesure de rugosité à vide ( $P = 0 \text{ MPa}$ ) : le boîtier dans lequel est inséré le papier est la lamelle est placé sous l'objectif du microscope. Un balayage est alors effectué. Sa position est repérée pour que le positionnement ne change pas au cours des mesures ultérieures.
- Par la suite, on place la plaque orifice et la lamelle sur la lamelle de verre et on effectue un nouveau balayage. Si le repérage de positionnement du boîtier a bien été effectué, la surface balayée est la même que précédemment.
- Pour les mesures suivantes, on positionne la vis de serrage sur le boîtier et l'on applique pour chaque mesure une pression en PSI croissante et connue à l'aide de la clé dynamométrique. La pression effectivement appliquée sur l'échantillon en MPa est connue grâce aux courbes de calibration effectuée auparavant.
- Pour connaître la compressibilité  $K_s$ , on trace les courbes  $G_3 = \ln(P)$ ,  $P$  en MPa.  $K_s$  est le coefficient directeur de la droite obtenue (cf. équation 2.4 du mémoire).

Les images topographiques jointes correspondent à une mesure de compressibilité sur une formette de pâte F, fraction R48 du classage BMN. On remarque que les images n'évolue plus au delà de 10 PSI au dynamonètre (soit 3 MPa).

Les courbes  $G_3 = f(P)$ ,  $P$  en MPa et  $G_3 = f(\ln(P))$  pour les fractions BMN de la pâte F, la pâte F entière et les pâtes de sapin et épinette et les tableaux de valeurs correspondant sont également joints.

F-R14

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)
<b>à vide</b>	160	62.48	170	56.17	157	57.71
rondelles	144	56.56	112	47.54	144	48.57
<b>2</b>	72	24.77	48	15.49	62	23.94
<b>5</b>	65	22.87	38	12.11	49	18.39
<b>10</b>	56	17.97	34	10.58	41	14.62
<b>15</b>	48	16.58	29	8.69	33	11.64
<b>20</b>	44	14.03	25	7.83	33	11.72
<b>30</b>	40	12.63	25	7.58	32	11.39
<b>50</b>	38	11.88	25	7.41	29	10.08
	K <sub>s</sub> = 6.65		K <sub>s</sub> = 6.11		K <sub>s</sub> = 5.86	

range = profondeur scannée à la surface du papier

F-R28

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)
<b>à vide</b>	112	42.01	150	38.23	165	52.96
rondelles	104	42	112	45.36	125	52.26
<b>2</b>	54	19.13	57	21.72	57	20.73
<b>5</b>	46	15.71	48	17.17	49	16.58
<b>10</b>	34	10.86	36	12.44	46	15.04
<b>15</b>	30	9.8	33	10.75	42	13.55
<b>20</b>	30	9.41	32	10.63	38	12.21
<b>30</b>	30	9.8	28	9.3	37	11.75
<b>50</b>	30	9.85	25	8.13	37	11.59
	K <sub>s</sub> = 4.96		K <sub>s</sub> = 4.50		K <sub>s</sub> = 6.07	

F-R48

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)
<b>à vide</b>	65	20.79	80	30.47	78	22.7
<b>rondelles</b>	61	19.75	70	27.34	68	20.55
<b>2</b>	34	9.45	42	14.65	45	14.22
<b>5</b>	33	8.74	34	11.72	34	10.42
<b>10</b>	32	8.32	29	9.47	30	8.61
<b>15</b>	28	7.12	28	9.06	29	7.88
<b>20</b>	25	6.8	28	8.84	29	7.83
<b>30</b>	26	6.89	25	8	28	7.56
<b>50</b>	26	6.96	26	8.09		
	Ks = 1.96		Ks = 2.96		Ks = 2.09	

F-R100

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)
<b>à vide</b>			57	15.18	80	24.79
<b>rondelles</b>	60	23.07	58	15.82	61	20.45
<b>2</b>	33	11.13	34	11.75	36	12.32
<b>5</b>	28	9.25	26	8.52	30	9.97
<b>10</b>	24	7.2	22	7.11	25	8.07
<b>15</b>	21	6.45	20	6.18	24	7.8
<b>20</b>	18	5.25	20	6.01	21	6.86
<b>30</b>	20	5.78	18	5.39	21	6.81
<b>50</b>	20	5.71				
	Ks = 2.66		Ks = 1.64		Ks = 2.15	

## F-R200

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)
<b>à vide</b>	40	13.07	33	10.57	48	13.66
rondelles	40	13.1	30	10.22	36	14.07
<b>2</b>	20	4.78	22	6.71	21	6.01
<b>5</b>	17	3.94	18	5.18	16	4.08
<b>10</b>	16	3.56	16	4.61	14	3.79
<b>15</b>	14	3.33	14	3.81	13	3.35
<b>20</b>	14	3.36	13	3.65	13	3.28
<b>30</b>	13	3.14	14	3.72	13	3.42
<b>50</b>	14	3.39				
	K <sub>s</sub> = 1.41		K <sub>s</sub> = 1.03		K <sub>s</sub> = 1.69	

## F-pâte entière

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)	range (µm)	G <sub>3</sub> (µm)
<b>à vide</b>	49	15.6	52	19.08	61	18.67
rondelles	53	16.46	53	18.21	48	19.62
<b>2</b>	28	10.16	38	15.85	21	6.9
<b>5</b>	28	8.33	32	13.58	14	4.32
<b>10</b>	16	4.79	21	7.31	12	3.58
<b>15</b>	14	3.79	16	4.8	9	2.6
<b>20</b>	13	3.53	14	3.94	10	2.81
<b>30</b>	13	3.4	12	3.5	10	2.78
<b>50</b>	13	3.4	13	3.72		
	K <sub>s</sub> = 2.06		K <sub>s</sub> = 2.38		K <sub>s</sub> = 2.78	

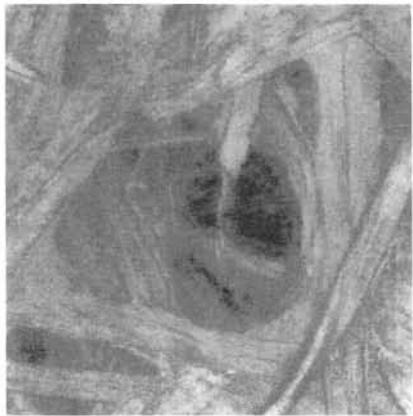
Épinette

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (μm)	G <sub>3</sub> (μm)	range (μm)	G <sub>3</sub> (μm)	range (μm)	G <sub>3</sub> (μm)
à vide	41	14.72	56	17.62	45	15.95
rondelles	43	18.86	48	14.89	42	16.84
2	25	7.57	30	10.48	22	6.88
5	22	5.62	26	8.17	20	5.92
10	21	4.94	24	7.45	17	4.75
15	20	4.76	22	6.66	14	4.14
20	18	4.31	20	6.16	14	3.88
30	18	4.48	21	6.45	14	3.73
50	16	4.03	21	6.54	14	3.77
	Ks = 1.78		Ks = 1.33		Ks = 1.98	

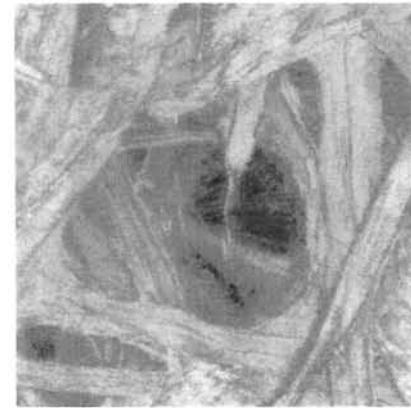
Sapin

#	a		b		c	
clé dyn. (PSI)	range (μm)	G <sub>3</sub> (μm)	range (μm)	G <sub>3</sub> (μm)	range (μm)	G <sub>3</sub> (μm)
à vide	53	17.32	65	26.54	48	13.97
rondelles	48	18.38	58	25.66	40	10.67
2	24	6.76	33	12.49	22	6.11
5	21	5.63	18	5.1	18	4.91
10	17	4.48	16	4.49	13	3.84
15	16	4.18	16	4.4	12	3.26
20	14	3.63	16	4.38	10	2.64
30	14	3.59	16	4.37	13	3.43
50	13	3.37	14	3.88	10	2.75
	Ks = 2.24		Ks = 3.36		Ks = 1.23	

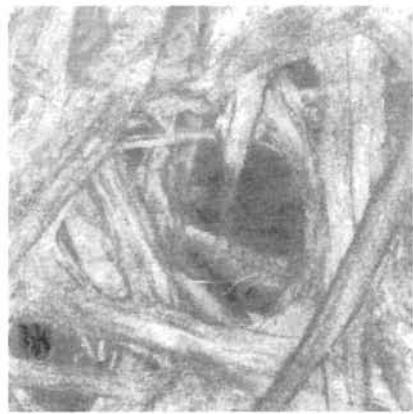
F-R48 (à vide)



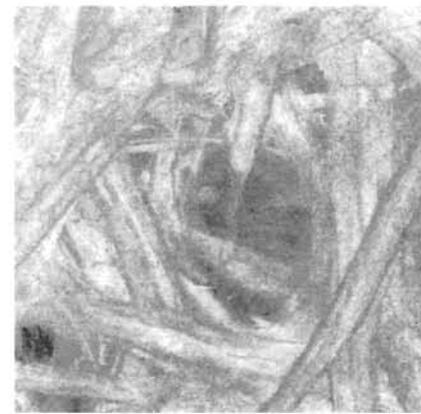
F- R48 (rondelles)



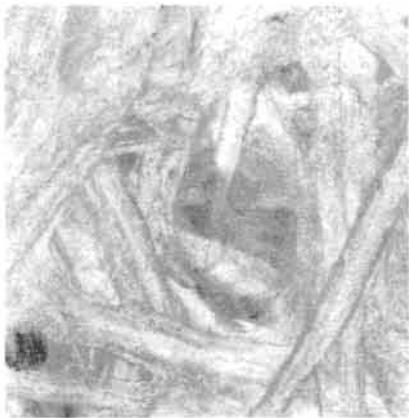
F-R48 (1 MPa)



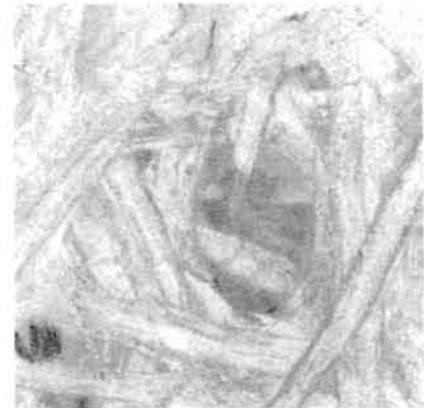
F-R48 (2.3 MPa)



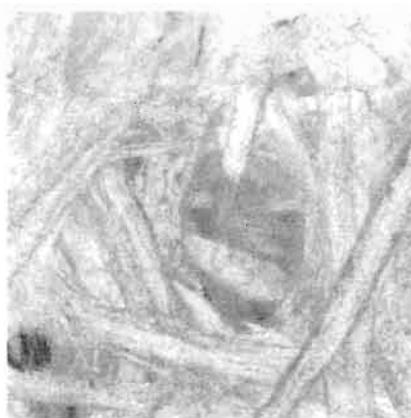
F- R48 (2.8 MPa)



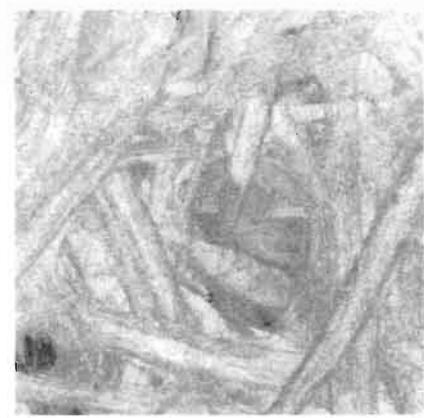
F- R48 (4.2 MPa)

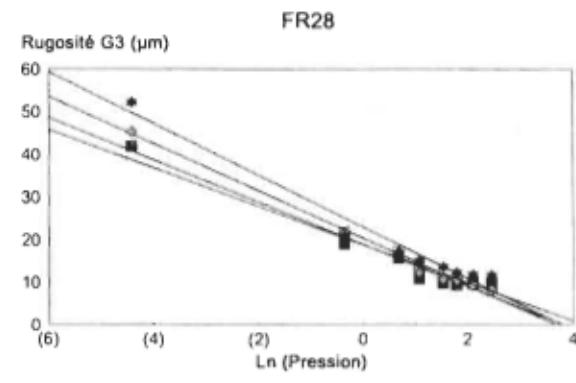
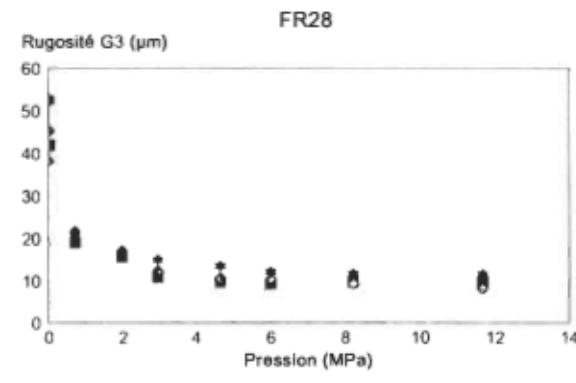
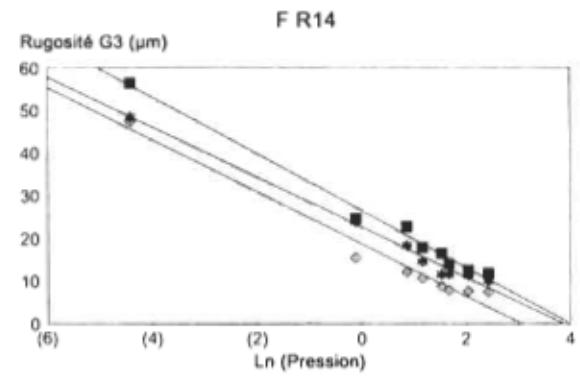
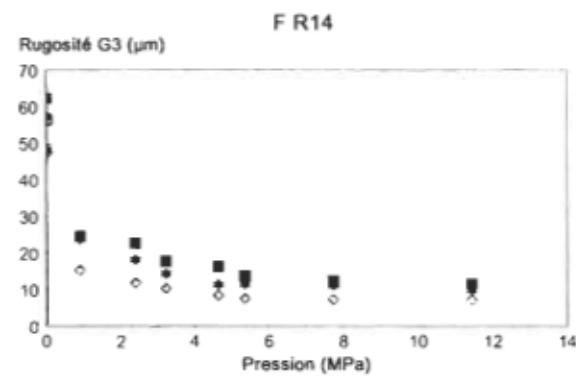


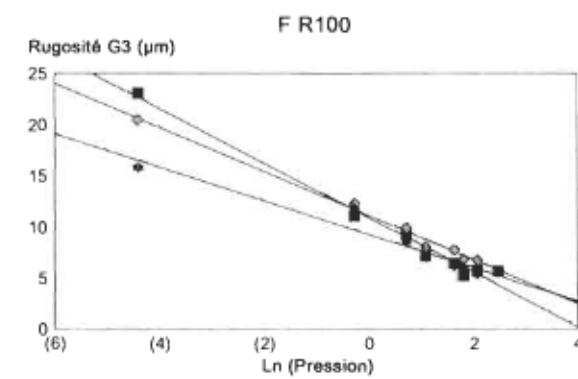
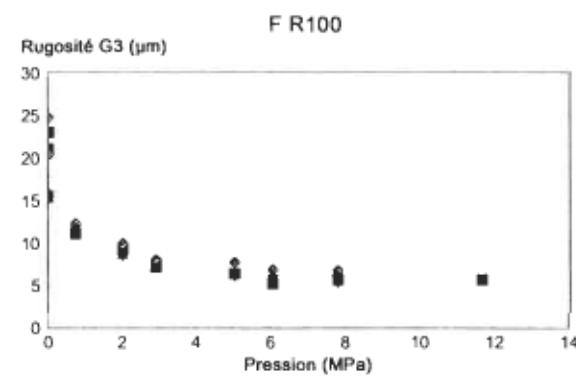
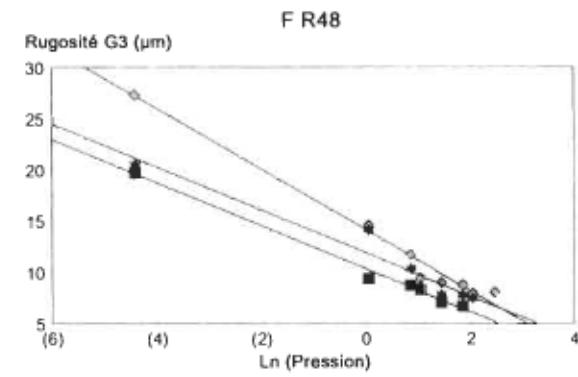
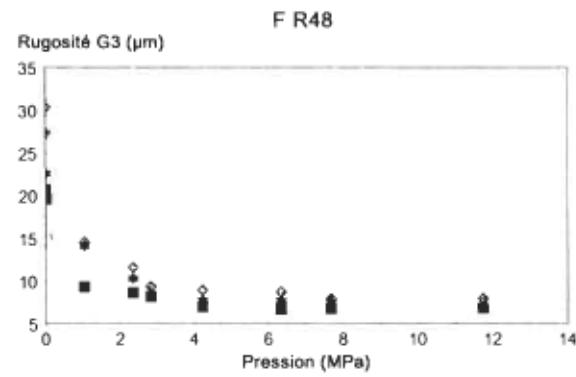
F-R48 (6.3 MPa)

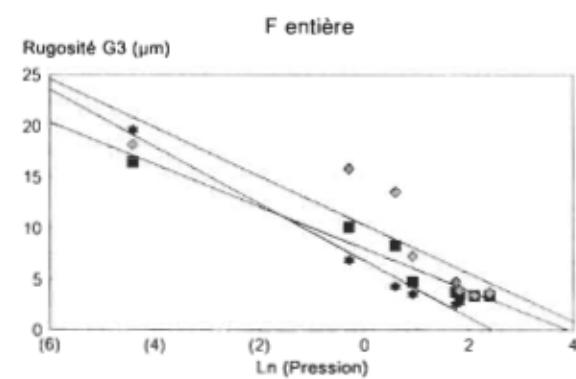
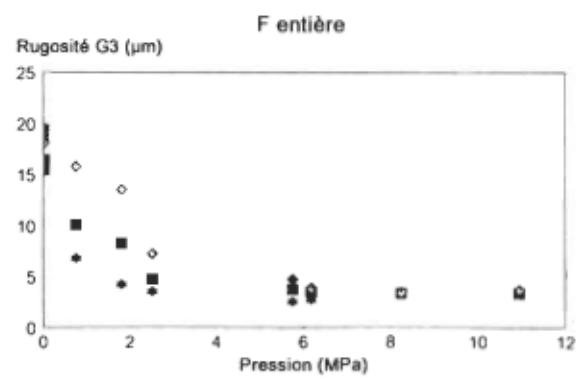
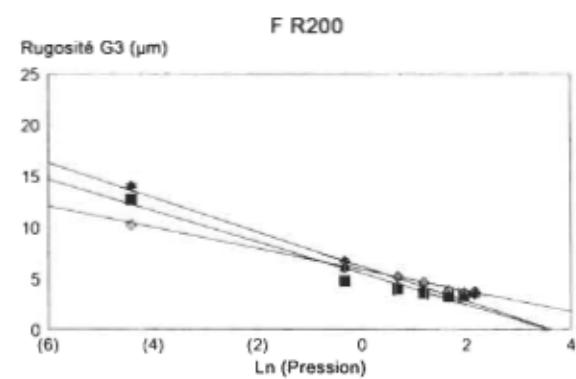
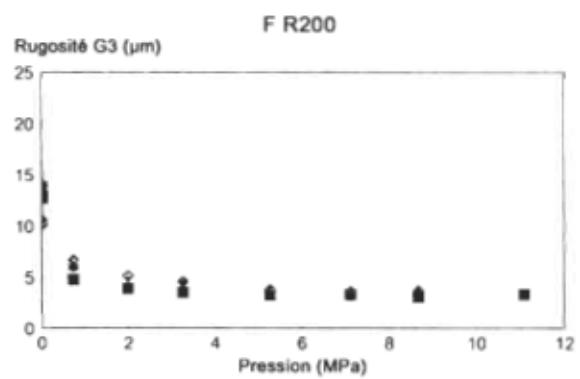


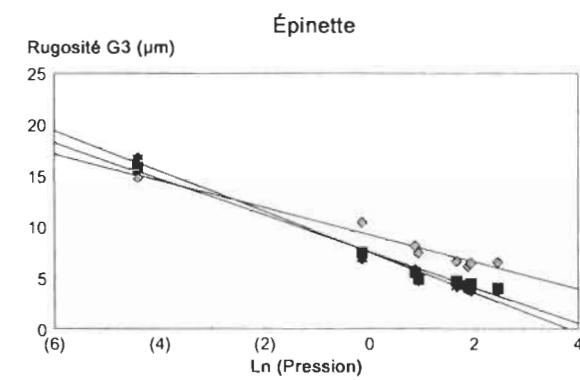
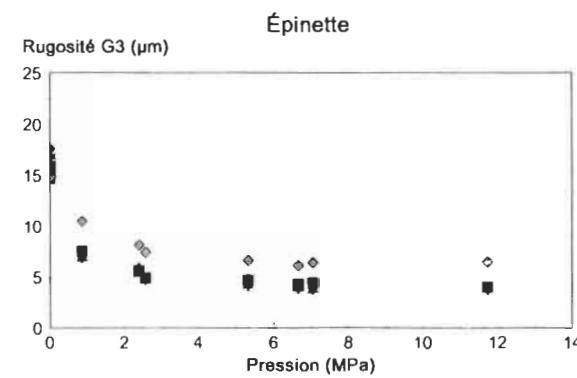
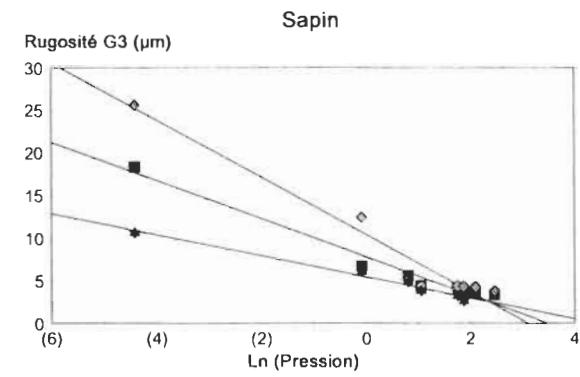
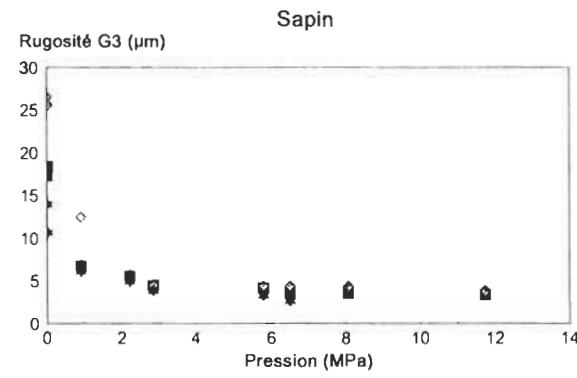
F-R48 (7.7 MPa)











## ANNEXE D

### **Analyse de la qualité d'impression des 15 imprimés héliogravure de la première étude, chapitre 3.**

Sont inclus dans cette annexe :

une analyse visuelle succincte des 15 imprimés commerciaux;

une évaluation détaillée de la qualité d'impression par analyse d'images réalisée sur les papiers 5 à 8 et 13 à 15;

#### **Étude visuelle succincte des échantillons SCA imprimés**

Les échantillons d'un même tirage sont ici comparés entre eux.

Les différents tirages regroupent les échantillons :

(a) 1 et 2 ; (b) 3 et 4 ; (c) 5; 6; 7 et 8 ; (d) 9 et 10; (e) 11 et 12; (f) 13; 14 et 15;

#	Papeterie	Étude visuelle
1	A	1>2 : beaucoup plus de points manquants en 2
2	B	
3	A	sur 3 et 4, présence de lignes horizontales de points manquants
4	C	
5	A	5 et 6 : nombreuses bûchettes apparentes dans les tons clairs qui apparaissent sales.
6	D	8 : moins de points manquants que les 3 autres échantillons.
7	B	
8	E	
9	A	9 > 10 : 9 a moins de points manquants, cependant, plus de bûchettes et/ou fibres apparentes dans les tons clairs
10	F	
11	A	18 > 19 : 19 a plus de points manquants. On remarque encore des fibres et bûchettes pour la papeterie A.
12	F	
13	A	13 et 14 : une face sur deux : 13 > 14, pour l'autre face : 14 > 13 (cf. points manquants);
14	D	pour les deux faces 15 est de meilleure qualité que 13 et 14.
15	E	

## **Évaluation de la qualité d'impression par analyse d'images**

### **Échantillons d'impression sur papiers des papeteries A, B, D et E**

#### **1- But**

Le but de cette étude est de pouvoir quantifier la qualité d'impression qui est seulement observable qualitativement à l'oeil nu. Et ainsi pouvoir comparer ces qualités d'impression suivant le papier utilisé.

#### **2- Mode opératoire**

Le matériel utilisé comprend un macroscope, une caméra et un système informatique de traitement de l'image.

La dimension des images saisies est de 1,28 mm x 1,20 mm (256 x 240 pixels).

Le système est calibré à chaque série d'acquisition à l'aide de référence de blanc et de noir.

#### **3- Échantillonnage**

2 séries d'échantillons ont été analysées.

Chaque série correspond à une impression, le papier étant le seul facteur variant entre chaque élément d'une même série.

La série 1 comprend les échantillons

5 (A)

6 (D)

7 (B)

8 (E)

La série 2 comprend les échantillons

13 (A)

14 (D)

15 (E)

Sur chacune de ces séries plusieurs zones d'impression ont été analysées :

(a) sur un tramé noir, à l'endroit précis où les mesures de rugosité au microscope confocal ont été effectuées, 10 mesures ont été faites. Ces échantillons ont été divisés en deux groupes lors de l'acquisition sur le microscope confocal : Un groupe est qualifié de "bonne impression" (sans point manquant) et le second groupe de "points manquants". La surface analysée à l'aide du système du microscope confocal est plus restreinte que celle analysée ici. Cela entraîne qu'un échantillon sans point manquant sur le confocal peut en avoir ici.

(b) sur un aplat noir

(c) sur différents mélanges de couleurs

(d) sur des lettres

(e) sur le papier non imprimé.

#### **4- Mesures effectuées**

##### **4.1- Sur les tramés**

###### *4.1.1- Mesures sur l'image complète*

- **Intensité moyenne**, elle est exprimée en niveau de gris de 0 à 255.

- **Pourcentage de couverture** = (surface imprimée) / (surface totale) x 100

La surface imprimée est déterminée en binarisant l'image à un seuil calculé. Ce seuil a été fixé à une même valeur pour tous les éléments d'une même série, afin de pouvoir comparer les valeurs obtenues.

- **Pourcentage de points manquants** =

(nombre de points manquants) / (nombre théorique de points) x 100

#### 4.1.2- *Moyennes sur l'image*

Chaque point imprimé est analysé individuellement, les valeurs fournies sont les valeurs moyennes pour un point. Pour obtenir ces mesures, l'image est binarisée, puis les points situés au bord de l'image (donc coupés) sont supprimés afin que leurs valeurs incomplètes n'influencent pas le résultat final.

Les mesures sélectionnées sont

- **Aire** moyenne d'un point (en  $\mu\text{m}^2$ )

- **Périmètre** moyen d'un point (en  $\mu\text{m}$ )

- **Facteur de forme** = (périmètre) / (4 $\pi$ .aire)

Ce facteur sans dimension vaut un pour un disque.

#### 4.2- Sur les aplats

- **Intensité moyenne** (0-255)

- **Écart-type de l'intensité** sur l'image. Cette mesure indique la répartition des intensités.

- **Périmètre spécifique** (en  $\mu\text{m}$ ). Pour calculer ce périmètre, l'image est binarisée à son niveau de gris moyen et le périmètre total des objets obtenus est mesuré.

- **Largeur du pic**. L'histogramme des intensités présente un pic. L'idéal serait que ce pic aie une largeur nulle. La mesure de ce pic à  $I_{\max} / 2$  permet de mesurer la distribution des intensités.

### 5- Résultats

Les résultats présentés représentent les moyennes des mesures effectuées. Les graphes permettent de visualiser la classification des papiers pour chaque facteur mesuré.

### 6- Commentaires

#### 6.1- Tramé

##### Série 1

En tenant compte du % de couverture, de la surface, du périmètre et du % de points manquants, les impressions peuvent être classées dans l'ordre décroissant de qualité suivant : 8 (E), 7 (B), 5 (A), 6 (D).

L'échantillon 6 a vraiment des valeurs éloignées des trois autres, cela confirme ce qui est visible en regardant les agrandissements de ces imprimés.

Le classement est globalement le même pour le facteur de forme, à part pour l'échantillon 6 dont les valeurs de surface et de périmètre très éloignées donnent un facteur de forme différent.

Les échantillons 5 et 8 ont les meilleures intensités. L'échantillon 7 n'est pas trop éloigné.

### *Série 2*

Le % de couverture est beaucoup plus important que pour la série 1, les points sont plus difficiles à distinguer et à séparer. Les résultats sont donc moins nets car les valeurs sont plus proches l'une de l'autre.

Le % de points manquants est tout de même significatif. Il permet de classer les papiers.

L'échantillon 15 comporte beaucoup moins de points manquants que les deux autres.

Sur les autres mesures, il semble que l'échantillon 14 se distingue légèrement par sa meilleure qualité (% de couverture, surface, intensité). Ce papier présenterait-il des irrégularités au cours de sa formation ?

### 6.2- Aplat noir

#### *Série 1*

Deux groupes se distinguent. Les échantillons 5 et 8 présentent une meilleure qualité que les échantillons 6 et 7.

#### *Série 2*

L'écart-type, le périmètre spécifique et la largeur du pic varient exactement dans le même sens. Meilleure qualité pour l'échantillon 15, puis 14 et enfin 13.

### 6.3- Zone non imprimée

Les valeurs de blanc sont données pour montrer l'influence de la contribution du papier dans les autres mesures, en particulier pour la mesure d'intensité qui mesure chaque pixel (encre et papier de l'image).

Les papiers présentent des valeurs proches les unes des autres.

### 6.4- Tramé plusieurs couleurs : vert

#### *Série 1*

La surface moyenne, le périmètre moyen et l'intensité montrent très nettement le classement (ordre décroissant) : 8 > 7 > 6 > 5.

Les quatre couleurs étant superposées, les objets observés sont composés de plusieurs points se recouplant, le facteur de forme est donc variable et complexe suivant les recoulements.

#### *Série 2*

Les valeurs sont très proches les unes des autres, il n'y a pas de classement valable pour toutes les mesures.

## **7- Conclusion**

Les mesures ont été effectuées sur des papiers d'une même catégorie de qualité (papiers SCA). Leur analyse nécessite donc une très bonne calibration pour pouvoir les comparer. Il ressort globalement de cette étude, sur l'échantillonnage observé que les papiers venant de la papeterie E ont la meilleure qualité. Cette papeterie est suivie par la B. Les papeteries A et D, en queue de peloton sont plus difficiles à départager, A semble cependant meilleure que D.

# Image analysis

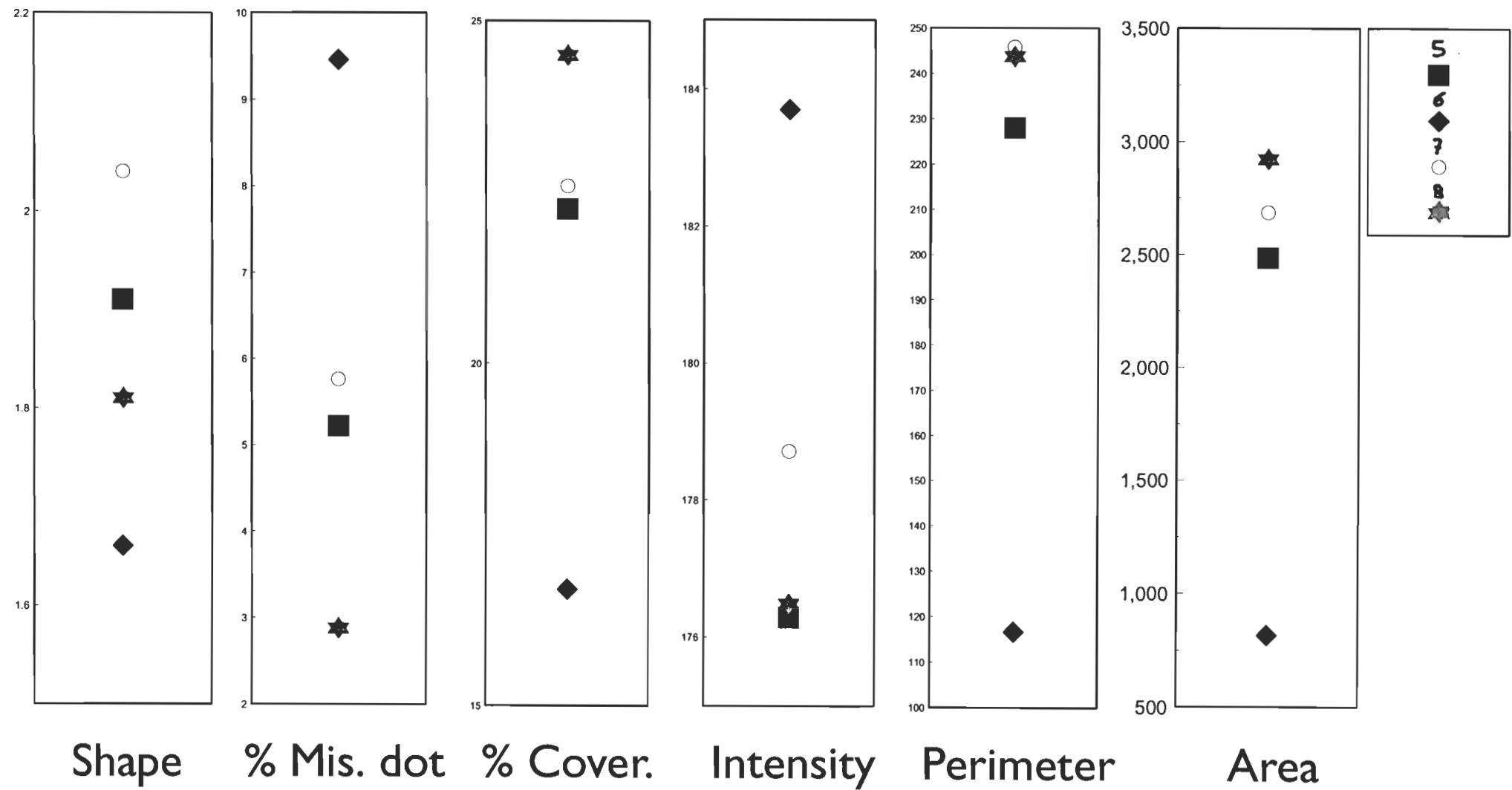
Series 1 - Screen

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	5 (A)	6 (D)	7 (B)	8 (E)
<b>Shape</b>	1.91	1.66	2.04	1.81
<b>Area (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>	2485.5	816	2686.00	2924.25
<b>Perimeter (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	228.05	116.75	245.80	243.70
<b>% Coverage</b>	22.26	16.70	22.60	24.50
<b>Intensity (grey level)</b>	176.29	183.70	178.71	176.48
<b>% Missing dots</b>	5.22	9.46	5.76	2.88

# Series 1 - Screen



# Image analysis

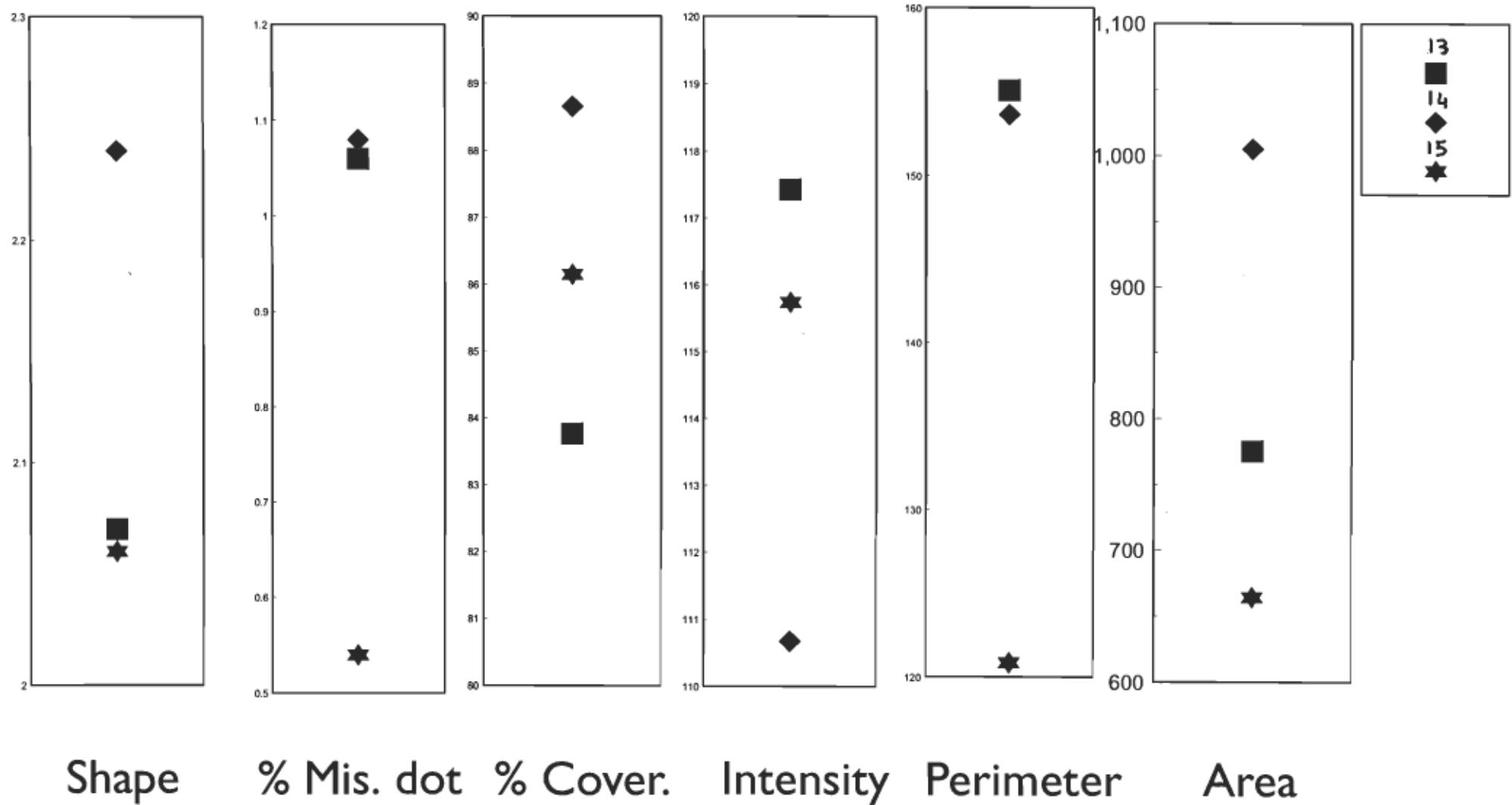
Series 2 - Screen

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	13 (A)	14 (D)	15 (E)
<b>Shape</b>	2.07	2.24	2.06
<b>Area (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>	775.5	1005.0	664.0
<b>Perimeter (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	155.10	153.65	120.85
<b>% Coverage</b>	83.77	88.66	86.15
<b>Intensity (grey level)</b>	117.43	110.67	115.74
<b>% Missing dots</b>	1.06	1.08	0.54

## Series 2 - Screen



# Image analysis

Series 1 - Black

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	5 (A)	6 (D)	7 (B)	8 (E)
Intensity (grey level)	48.17	64.52	54.41	50.91
Standard deviation	25.03	28.60	28.20	25.40
Specific Perimeter ( $\mu\text{m}$ )	43.14	52.97	46.11	42.20
Peak	36	38	41	35

# Image analysis

Series 2 - Black

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	13 (A)	14 (D)	15 (E)
<b>Intensity (grey level)</b>	52.21	49.68	50.79
<b>Standard deviation</b>	12.81	11.71	7.58
<b>Specific Perimeter (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	63.76	59.79	55.98
<b>Peak</b>	17	12	9

# Image analysis

Series 1 - White

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	5 (A)	6 (D)	7 (B)	8 (E)
Intensity (grey level)	207.48	208.1	209.08	208.27
Standard deviation	9.67	8.80	9.95	11.13
Specific Perimeter ( $\mu\text{m}$ )	64.37	66.33	55.18	56.73
Peak	13	11	13	15

# Image analysis

Series 2 - White

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	I3 (A)	I4 (D)	I5 (E)
<b>Intensity (grey level)</b>	215.06	214.65	216.67
<b>Standard deviation</b>	11.74	10.90	11.8
<b>Specific Perimeter (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	65.88	67.14	68.35
<b>Peak</b>	12	13	14

# Image analysis

Series 1 - Green

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	5 (A)	6 (D)	7 (B)	8 (E)
<b>Shape</b>	2.66	3.10	3.51	4.06
<b>Area (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>	384.25	351.25	497.75	553.25
<b>Perimeter (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	107.15	113.55	140.8	162.2
<b>Intensity (grey level)</b>	164.10	169.17	167.34	167.15

# Image analysis

Series 2 - Green

Average values

Image size : 1.28 mm x 1.2 mm

	13 (A)	14 (D)	15 (E)
<b>Shape</b>	1.85	1.86	1.76
<b>Area (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>	393.25	319.25	383.25
<b>Perimeter (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	87.3	80.35	82.75
<b>Intensity (grey level)</b>	97.63	102.30	101.85

## ANNEXE E

### Rapports, séminaires reliés au projet

#### **1- Présentation de poster**

"Relationship Between the Paper Surface Structure and Gravure Print Quality"

Ce poster a été présenté lors des deux conférences suivantes :

(a), CPPA-TAPPI International Printing and Graphic Arts Conference, Halifax, Octobre 1994.

(b), TAGA Conference, Orlando, Avril 1995.

P.J. : photo du poster.

#### **2- Séminaire**

"The Influence of Paper Surface Structure on Missing Dots in Gravure"

C. Antoine, P.J. Mangin, M.-C. Béland, K. Chartier, M.A. MacGregor, J.L. Valade

Cette présentation a eu lieu à :

IARIGAI Conference, Paris, Septembre 1995.

P.J. : listing des diapositives présentées.

#### **3- Rapport**

(a), "The Influence of Paper Surface Structure on Missing Dots in Gravure"

C. Antoine, P.J. Mangin, M.-C. Béland, K. Chartier, M.A. MacGregor, J.L. Valade

Post-Graduate Research Laboratory Report, Papricon, Canada, 1996.

(b), "Rugosité du papier : Théories et mesures"

C. Antoine

Rapport réalisé en vue de satisfaire aux exigences du cours de Physique des fibres et du papier (Z. Koran). Une présentation orale de ce rapport a de plus été effectuée le 3 décembre 1994 pendant ce cours, à l'UQTR.

P.J. : Sommaire du rapport

#### **4- Réunions**

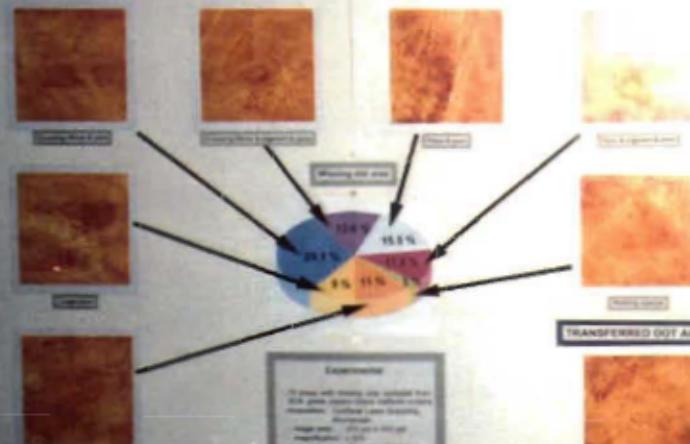
Trois réunions par an ont eu lieu avec le personnel de LSPI en charge de ce projet (Janv. 94, Fév. 94 Sept. 94, Janv. 95, Avril 95, Juin 95). Un rapport faisant état des nouvelles données obtenues a été présenté et discuté à chacune de ces réunions.

2

## RELATIONSHIP BETWEEN THE PAPER SURFACE STRUCTURE AND GRAVURE PRINT QUALITY

### MISSING DOTS UNDERLYING STRUCTURE

Fibres surrounding pores cause 77 % of the missing dots



### EXAMPLES OF 3 DIFFERENT SURFACE STRUCTURES

Paper A

Paper B

Paper C

Paper A:  
Smooth surface, no visible surface structure.  
Smooth paper surface.

Paper B:  
Smooth surface, some visible surface structure.  
Coarse white paper surface.

Paper C:  
Smooth surface, many visible surface structures.  
Coarse grey paper surface.

### TRANSFERRED DOT AREA

Experimental Surface Print (dots) values and % values are obtained from Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM) images. The mean of the area is given by the mean of the dot area.

100% background area	10%	20%	30%
100	10	20	30
100	10	20	30
100	10	20	30

Percentage of missing dots in transferred area

### CONFOCAL PRINCIPLE

### FUTURE WORK

To study the influence of surface roughness on dot transferability with the help of confocal microscopy.

To reduce the problem of dot transferability by using different surface treatments.

**Christine ANTOINE**  
Maîtrise en Pâtes et Papiers  
Université du Québec à Trois-Rivières

# **Rugosité du papier : Théories et mesures**

Rapport présenté à l'UQTR dans le but de satisfaire aux exigences du cours de :  
Physique des fibres et du papier (Z. Koran)  
le : 3 décembre 1994 (Session Automne 94)

## SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>1- Définitions et généralités</b>	<b>5</b>
1.1- La rugosité	5
1.2- Les conditions d'impression industrielles	5
1.3- Mesures statiques et dynamiques	6
1.4- Mesures directes et indirectes	7
<b>2- Théories des mesures de rugosité</b>	<b>7</b>
2.1- Normes ISO	7
2.2- Autres fonctions statistiques	8
2.3- La surface développée	9
2.3.1- Coefficient de Wenzel	9
2.3.2- Données topographiques	11
2.4- Transformées de Fourier et Walsh	11
2.5- Equation fondamentale de la topographie	13
2.6- Pore équivalent de surface	14
2.7- Modélisation fractale	16
<b>3- Appareil à écoulement d'air</b>	<b>18</b>
3.1- Principe général	18
3.2- Appareil Gurley	18
3.3- Appareil Bekk	20
3.4- Appareil Bendsten	21
3.5- Appareil Sheffield	23
3.6- Appareil Parker Print-Surf	23
3.7- Corrélations entre les appareils à écoulement d'air	26
3.8- Conclusion	26
<b>4- Appareils à mesure optique</b>	<b>27</b>
4.1- Rappels d'optique	27
4.1.1- Parcours de la lumière pour les appareils avec prisme	27
4.1.2- Parcours de la lumière pour les appareils sans prisme	29
4.2- Appareils avec prisme	29
4.2.1- Appareil Chapman	29
4.2.2- Variantes de l'appareil Chapman	31
4.2.3- Le K.A.M.	33
4.2.4- Dynamic Printability Smoothness Tester	36
4.3- Appareils sans prisme	36
4.3.1- Le K.L.	36
4.3.2- Mesure de rugosité par lumière I.R.	38
4.3.3- Appareil de A.Hunsuebsai et D.J.Morantz	38

4.4- Appareils avec nip	39
4.4.1- IGT Dynamic Smooth Tester	39
4.4.2- Appareil de B.Lyne	41
4.4.3- Dynamic Contact Smoothness Tester	41
4.5- Interférométrie, microscopie confocale	43
4.6- Microscopie électronique à balayage (MEB)	43
<b>5- Appareils profilométriques</b>	<b>44</b>
5.1- Principe général	44
5.2- Les profilomètres à stylet	44
5.3- Les profilomètres optiques	45
5.3.1- Interférométrie	45
5.3.1- Le microscope confocal	47
5.4- Utilisation	47
<b>6- Mesures d'imprimabilité</b>	<b>49</b>
6.1- Le micro-contour test	49
6.2- Lissé d'impression	49
6.3- L'héliotest (papiers couchés)	50
6.4- L'essai d'absorption Bristow	52
6.5- Etalement d'une goutte d'huile	54
6.6- Méthodes de couchage du papier	54
<b>7- Porosimétrie à mercure</b>	<b>55</b>
<b>8- Conclusion</b>	<b>56</b>

# The Influence of Paper Surface Structure on Missing Dots in Gravure

C. Antoine, P.J. Mangin, M.-C. Béland,  
K. Chartier, M.A. MacGregor, J.L. Valade

## Summary

- Introduction
- Experimental
- Classification (qualitative)
- Pores topography (quantitative)
- Conclusions

## Introduction

- Project
  - objective and partners
  - milestone

## Project

- **Objective** : Optimizing the gravure printing characteristics of highly filled (SCA-grade) papers
- **Partners** :
  - UQTR
  - Paprigan
  - LSPI
  - Voith Sulzer

## Project milestone

To establish relationship(s)  
between paper surface  
underlying structure and  
gravure print quality.

## Summary

- Introduction
- Experimental
- Classification (qualitative)
- Pores topography (quantitative)
- Conclusions

## SCA papers

- > 20% fillers
- North American & European papers
- Pure species P.M. trials
- Commercial gravure printing



## Instrumentation

# CLSM

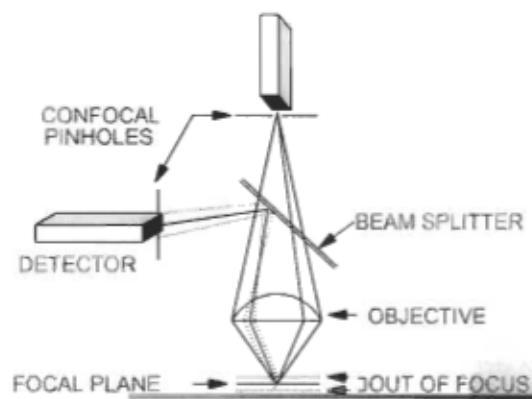


## Instrumentation

- Confocal Laser Scanning Microscope

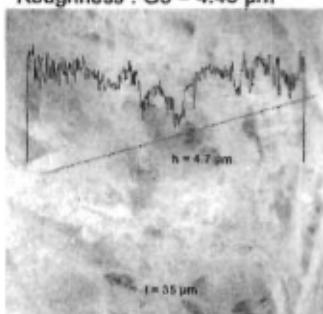


## PRINCIPLE



## Topographic image

Area : 313  $\mu\text{m} \times 313 \mu\text{m}$   
Roughness : G3 = 4.46  $\mu\text{m}$



## Gravure Commercial Prints

- Series 1
- Series 2



# - 1	Mill	Pressroom	Date
1	A	Brown P.	3 march 94
2	B	"	"
3	A	England	28 nov. 93
4	C	"	"
5	A	RR Donn.	10 oct. 93
6	D	"	"
7	B	"	"
8	E	"	"
9	A	RR Donn	25 sept. 93
10	F	"	"
11	A	Conf.	7 july 93
12	F	"	"
13	A	Ringier	30 april 93
14	D	"	"
15	E	"	"

### Pure species P.M. trials

# - 2	PGW furnish	ESA	Side
SEb	Spruce	✓	bottom
BEb	Balsam	✓	bottom
Sb	Spruce		bottom
Bb	Balsam		bottom
SEt	Spruce	✓	top
BEt	Balsam	✓	top
St	Spruce		top
Bt	Balsam		top

### Measures

- 5 well printed areas and 5 areas with missing dot(s).
- Areas :
  - $313 \times 313 \mu\text{m}^2$  (1st series)
  - $157 \times 157 \mu\text{m}^2$  (2nd series)
- Scanning depth :  $\approx 20 \mu\text{m}$

Note that "sampling"  
is biased

### Summary

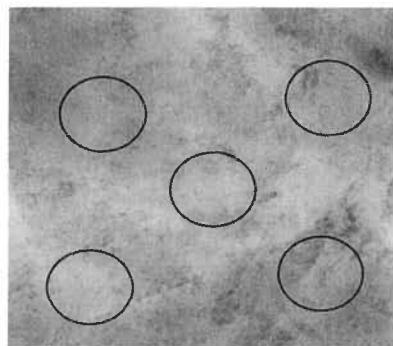
- Introduction
- Experimental
- Classification (qualitative)
- Pores topography (quantitative)
- Conclusions

### Main findings

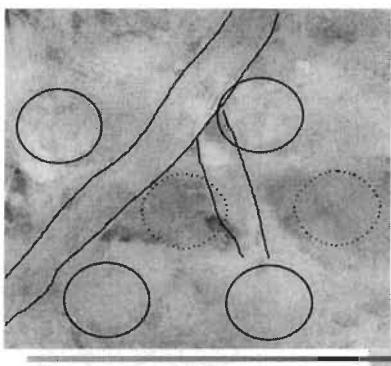
- Pores are always present where dots have not been transferred.
- Pore nature is fundamental to paper surface structure.
- Pore origin differs.

# Classification

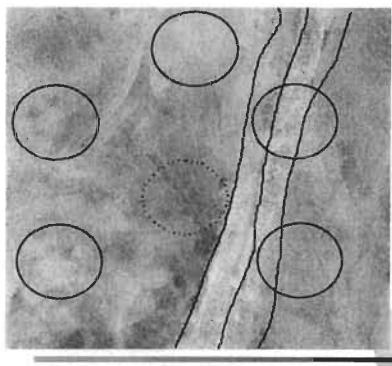
Transferred dots



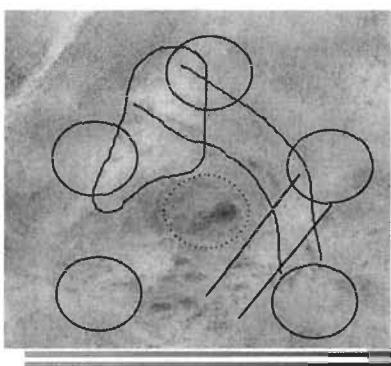
Fibre crossing



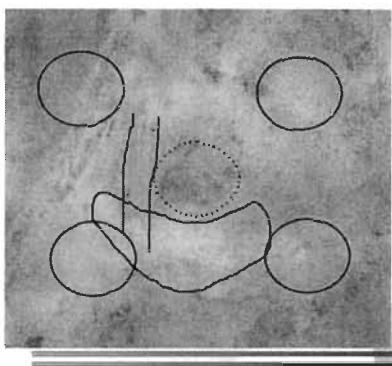
Fibre(s)



Fibre crossing & pigment agglomerates



Fibre & pigment agglomerates



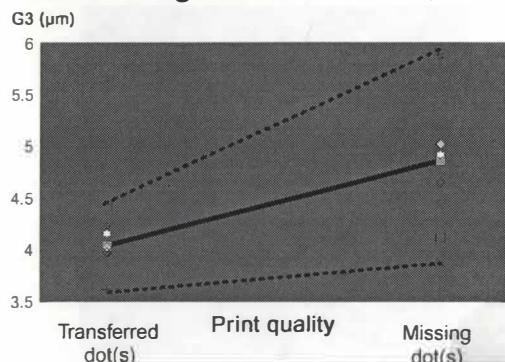
## Missing dots underlying structures : pores & hills

- Fibres (pores) : 78 %
- Fillers (hills) : 43 %

## Summary

- Introduction
- Experimental
- Classification (qualitative)
- Pores topography (quantitative)
- Conclusions

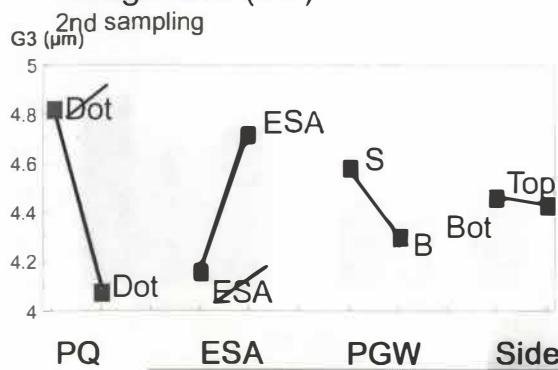
## Local roughness (1st Series)



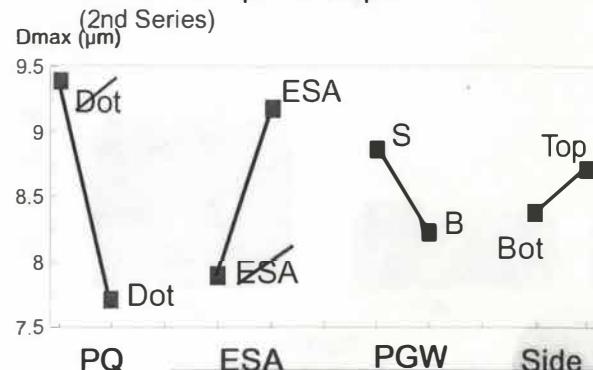
## Pure species trials 2nd Series

- Balsam / Black Spruce
- Electrostatic Assist
- Paper Side

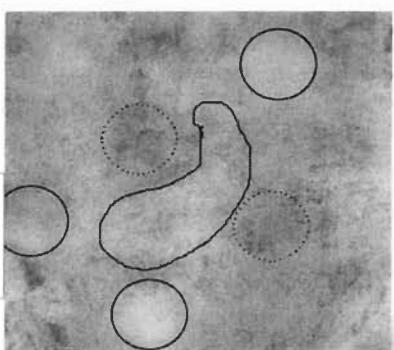
## Roughness (G3)



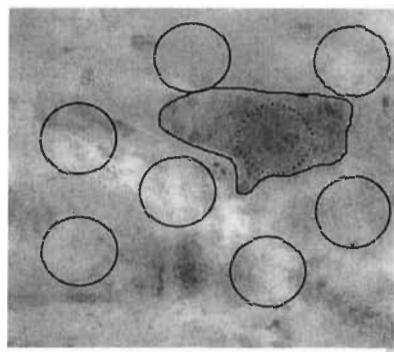
## Maximum pore depth



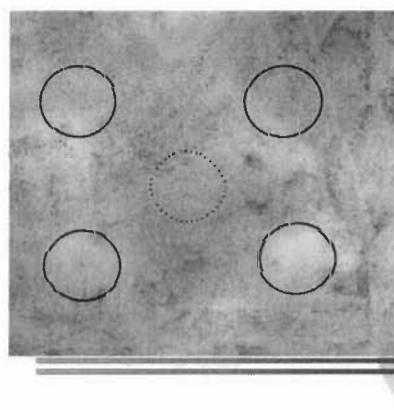
### Pigment agglomerates



### Large, deep pore

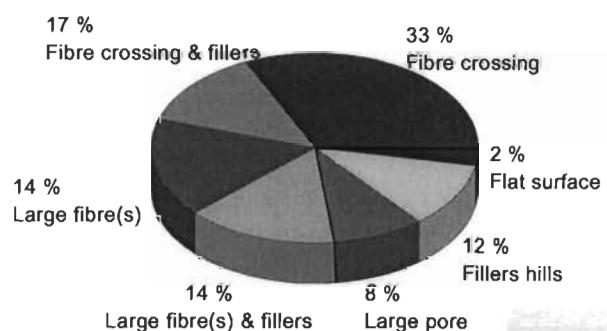


### No pore

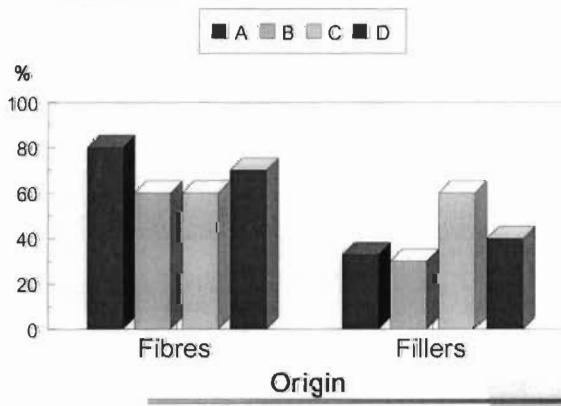


### Underlying structures

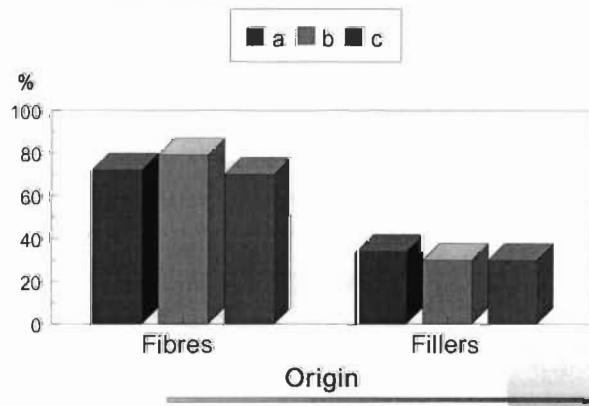
1st & 2nd Series



### Pores = f ( mill )



### Pores = f ( pressroom )



## Topographic images



Spruce, top side



Spruce, bottom side



Balsam, top side



Balsam, bottom side

## Significant factors on roughness / print quality relationship

### ▪ Significant

- PQ : Local area

- ESA : Pressroom

- PGW Species : Paper mill

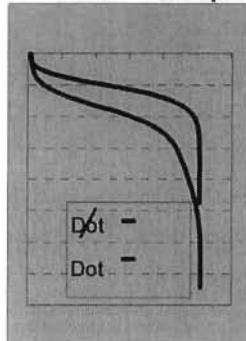
### ▪ Non Significant

- Side

## Equivalent Surface Pore (ESP)

- Normalised, cumulative distribution of areas as a function of depth.
- Pore shape is provided by ESP shape.

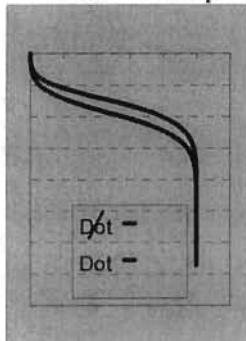
## ESP and print quality : paper A



Difference between "printed" and "missing dots" area is very large

Missing dots :  
5.2 %

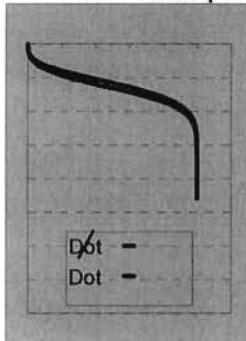
## ESP and print quality : paper B



High local  
roughness for both  
"printed" and  
"missing dots"  
areas

High number of  
missing dots :  
9.5 %

## ESP and print quality : paper C



Smooth "printed"  
areas (= A)

Relatively smooth  
"Missing dots"  
areas

Low number of  
missing dots :  
2.9 %

## More surface information...

- Paper A : smooth surface, occasional rough areas = average print quality.
- Paper B : uniformly relatively rough = overall poor print quality.
- Paper C : smooth, uniform surface = best print quality.



## Summary

- Introduction
- Experimental
- Classification (qualitative)
- Pores topography (quantitative)
- Conclusions



## Conclusions (1)

- Missing dots are caused by pores&hills.
- Pores structure is created by large fibre and/or fibre crossing .
- Hills structure is created by pigments agglomerates.



## Conclusions (2)

- Local surface areas rougher under missing dots.
- ESA works !!!
- Balsam better than Spruce.
- "Locally" side does not matter.

