

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

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

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

PAR
SYLVIE RIOUX

ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DE PEUPLIERS HYBRIDES
CHOISIS POUR LE SUD DU QUÉBEC

Mai 1997

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

J'aimerais remercier le professeur Jacques L. Valade pour son soutien constant et pour avoir cru en ce projet qui, je l'espère, contribuera à créer un autre petit pont rapprochant la recherche forestière et sylvicole au monde industriel des pâtes et papiers. Je voudrais également exprimer mes sincères remerciements au Dr K. N. Law, codirecteur de ce mémoire, pour sa précieuse collaboration.

Mes remerciements s'adressent aussi à Messieurs Robert Lanouette, professionnel de recherche, et Alain Marchand, technicien de laboratoire, au Centre de Recherche en Pâtes et Papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Leur aide soutenue, leur patience et leurs judicieux conseils m'ont permis de mener ce projet avec diligence et à bon port. Je désire transmettre également un merci très spécial aux étudiants de premier cycle avec qui j'ai mis « la main à la pâte »: Mesdames Nathalie Dubois et Mama Saar, Messieurs François Bergeron et Martin Landry.

Je remercie sincèrement Dr Gilles Vallée et son équipe, du Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Sans leur persévérance parfois à contre-courant des idées reçues et sans leurs travaux de longue haleine sur la populiculture à croissance rapide adaptée au Québec, ce mémoire ne saurait exister. J'espère humblement que cette recherche contribuera à susciter l'intérêt que la ligniculture mérite, auprès de notre industrie papetière québécoise.

J'aimerais également remercier Messieurs Tony Zhang et Gilles Chaurest de Forintek Canada et Les Industries Lac Mégantic, pour leur collaboration au projet.

Finalement, je remercie tous mes proches pour leur appui et leurs encouragements.

SOMMAIRE

Les coûts de la matière première étant en constante augmentation, la complexité des scénarios d'approvisionnement (soit l'éloignement de la ressource et la certification des pratiques forestières) et les mouvements de protection des milieux naturels font en sorte que la ligniculture intensive gagne de plus en plus d'adeptes dans l'industrie forestière canadienne. La croissance rapide des peupliers hybrides et les rendements ligneux possibles de 60 à 100 tma/ha, en 10 à 15 ans, sont exceptionnels pour le Québec et rendent cette culture particulièrement intéressante pour l'industrie des pâtes et papiers. Au Québec, le Ministère des Ressources naturelles (MRNQ) recommande plus de cinquante clones adaptés à plusieurs régions dont une série de clones adaptés aux zones écologiques 1 et 2 (sud du Québec). Ils sont reconnus pour leur croissance exceptionnelle, leur bonne rusticité et leur résistance aux insectes et maladies. De façon à mieux orienter les choix d'une éventuelle populiculture intensive, nous avons voulu savoir s'il existe des différences significatives entre les propriétés papetières de ces différents clones et entre celles des pâtes fabriquées de peuplier faux-tremble, actuellement utilisé par l'industrie. A partir de cinq de ces clones âgés de 15 ans et récoltés dans la même plantation, deux procédés de mise en pâte ont été réalisés soit le procédé chimicothermomécanique (CTMP) à l'aide d'une unité pilote reproduisant les conditions en usine et le procédé semi-chimique au sulfite neutre (NSSC) avec un mini-lessiveur de 6 litres. Finalement, les pâtes ainsi produites ont subi un traitement au peroxyde afin de mesurer leur aptitude au blanchiment. Les résultats obtenus démontrent le grand potentiel papetier de ces nouveaux arbres.

En général, les peupliers hybrides sont supérieurs au peuplier faux-tremble pour de nombreuses caractéristiques. La croissance et le rendement ligneux des hybrides sont deux fois supérieurs à ceux des peupliers indigènes en 4 fois moins de temps. Les hybrides nécessitent moins d'énergie de raffinage que le tremble. Les différentes pâtes produites avec les clones comportent des résistances mécaniques supérieures à celles du tremble dont la longueur de rupture, l'indice d'éclatement, l'énergie en tension et l'allongement. La pâte NSSC de peuplier hybride possède une meilleure blancheur naturelle et con-

somme moins de peroxyde d'hydrogène lors du blanchiment. Pour la pâte CTMP des hybrides, les propriétés optiques (coefficient d'absorption et de diffusion et l'opacité) sont meilleures que celles des pâtes CTMP de tremble. Par contre, ces dernières ont une blancheur supérieure à celle des hybrides. Les pâtes NSSC de tremble ont un meilleur indice de déchirure et de meilleures propriétés optiques (coefficient de diffusion et d'absorption et opacité). En plus d'obtenir une blancheur de plus de 66% ISO, le blanchiment a amélioré la plupart des propriétés mécaniques des pâtes CTMP. À des degrés moindres, les pâtes NSSC se sont également bonifiées.

Plusieurs différences significatives ont été perçues entre les clones tant au niveau de leurs caractéristiques dendrométriques qu'au niveau de leur performance papetière, avant et après blanchiment. Ces différences ont été comparées statistiquement au moyen d'une analyse de variances (ANOVA, test de Duncan avec 95% d'intervalle de confiance). Au niveau de la caractérisation du bois, la longueur des fibres, le taux de matières fines et la masse linéique se révèlent de bons critères de différenciation des clones. Le taux de pentosanes, la solubilité à l'eau chaude et au NaOH sont les tests chimiques qui ont donné des différences significantes entre les cinq clones. Nous avons réalisé une grille d'analyse comparative de tous les critères mesurés. Il en ressort que le clone 3308 (*Populus euramericana*) est de loin le meilleur pour tous les procédés étudiés. Il est suivi du clone 3226 (*Populus trichocarpa x P. deltoides* cultivar *Beaupré*) dont les propriétés papetières moyennes sont compensées par les meilleures performances de croissance. Le clone 131 du Québec (*Populus euramericana*) présente les deuxièmes meilleures performances papetières mais il est désavantage par une croissance plus lente. Des différences intercloniales significatives existent, par exemple, entre les clones 3225, 3226, et 3230, de même famille mais de cultivars différents. À la lumière de ces dernières constatations, la sélection des hybrides à des fins papetières demeure un principe à intégrer dans les programmes de recherches forestières en génétique et dans la culture intensive de peuplier hybride. Un index des qualités papetières désirées (longueur des fibres, densité du bois, etc.) peut être utilisé de façon à aider les généticiens et les forestiers à faire les bons choix et les bons croisements.

SUMMARY

With the objective of better understanding the potential of eventual intensive poplar culture, we have evaluated the pulping and papermaking characteristics of 5 poplar clones recommended for plantation in southern Quebec. The clone's physico-chemical properties, their pulping behavior in CTMP and NSSC processes, and response to hydrogen peroxide bleaching were investigated and compared to those of trembling aspen. The results indicate that, in comparison with aspen, the hybrid poplars require less refining energy and possess several superior properties (eg., 2 times higher in wood yield in 10-20 years, better tensile and burst strengths, TEA and stretchability, etc.). A merit-point analysis of the significant differences measured between the clones (at 95% level of confidence) indicates that the clone 3308 (*Populus euramericana*) has the greatest potential in terms of its growth and papermaking quality. Since there exist significant differences between the clones studied, it is desirable to include a quality index of papermaking properties (eg., fiber lenght, wood density, etc.) in research programs on genetic and intensive culture of hybrid poplars.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
SUMMARY	iv
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
NOMENCLATURE ET ABRÉVIATIONS	xi
1. INTRODUCTION	1
1.1 OBJECTIFS.....	1
1.2 APPROCHE DE LA RECHERCHE	2
2. PROBLÉMATIQUE	4
2.1 LA DEMANDE.....	4
2.2 LE TERRITOIRE	5
2.3 RÉGLEMENTATIONS ET TENURE DES TERRES	7
3. BIBLIOGRAPHIE	9
3.1 LE PEUPLIER.....	9
3.1.1 DISTRIBUTION	9
3.1.2 TAXONOMIE	9
3.1.3 CARACTÉRISTIQUES DE LA FAMILLE, DU GENRE	9
3.1.4 CARACTÉRISTIQUES DU BOIS DE PEUPLIER.....	10
3.2 LA POPULICULTURE INTENSIVE	10
3.3 AVANTAGES DE LA POPULICULTURE INTENSIVE.....	11
3.4 LA POPULICULTURE PAPETIÈRE EN AMÉRIQUE DU NORD	13

3.5 LES CLONES DE PEUPLIERS UTILISABLES AU QUÉBEC.....	17
3.6 LE PEUPLIER DANS L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS.....	18
3.7 LE PROCÉDÉ CTMP	19
3.7.1 STRUCTURE DE L'INDUSTRIE ET MARCHÉ	21
3.8 LE PROCÉDÉ NSSC	23
3.8.1 STRUCTURE DE L'INDUSTRIE ET MARCHÉ	26
3.9 ÉTUDES PAPETIÈRES SUR LES PEUPLIERS HYBRIDES	28
4. TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES.....	35
4.1 MATIÈRE PREMIÈRE.....	35
4.1.1 LOCALISATION	35
4.1.2 HISTORIQUE DE LA PLANTATION.....	37
4.1.3 MÉTHODE DE RÉCOLTE.....	37
4.1.4 TRANSFORMATION ET PRÉPARATION DES COPEAUX.....	38
4.2 DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DU BOIS	38
4.3 CARACTÉRISATION DES FIBRES.....	39
4.4 PRODUCTION DES PÂTES CTMP.....	39
4.5 PRODUCTION DES PÂTES NSSC	42
4.6 PROPRIÉTÉS DES PÂTES CTMP ET NSSC	43
4.7 BLANCHIMENT DES PÂTES NSSC ET CTMP	43
4.8 MÉTHODE D'ANALYSE	45
5. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	49
5.1 CROISSANCE.....	49
5.2 DENSITÉ DU BOIS	51
5.3 RENDEMENT LIGNEUX	54
5.4 CARACTÉRISTIQUES DES COPEAUX UTILISÉS	57
5.5 CARACTÉRISTIQUES DES FIBRES ET DU BOIS	57
5.6 CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES	65

5.7 CARACTÉRISTIQUES PAPETIÈRES DES PÂTES CTMP	67
5.7.1 INDICE D'ÉGOUTTAGE	67
5.7.2 DIFFÉRENCES NON SIGNIFICATIVES.....	67
5.7.3 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.....	67
5.7.4 PROPRIÉTÉS OPTIQUES.....	68
5.7.5 PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES APRÈS BLANCHIMENT	70
5.8 CARACTÉRISTIQUES PAPETIÈRES DES PÂTES NSSC.....	73
5.8.1 RENDEMENT EN PÂTE	73
5.8.2 INDICE D'ÉGOUTTAGE	73
5.8.3 DIFFÉRENCES NON SIGNIFICATIVES.....	73
5.8.4 ÉNERGIE DE RAFFINAGE	73
5.8.5 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.....	75
5.8.6 PROPRIÉTÉS OPTIQUES.....	75
5.8.7 PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES APRÈS BLANCHIMENT	78
5.9 PROPRIÉTÉS COMPARATIVES	82
5.9.1 PÂTES CTMP	82
5.9.2 PÂTES NSSC.....	84
5.10 SOMMAIRES DES PERFORMANCES DES CLONES.....	87
5.11 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES.....	91
6. CONCLUSION.....	96
7. BIBLIOGRAPHIE	98
8. ANNEXES	107
ANNEXE 1 : OPÉRATIONS DE RÉCOLTES	108
ANNEXE 2 : OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES	110
ANNEXE 3 : LA DENSITOMÉTRIE	113
ANNEXE 4 : CONDITIONS DE RAFFINAGE	114
ANNEXE 5 : PÂTES CTMP AUX DIFFÉRENTS INDICES D'ÉGOUTTAGE.	124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Territoire utilisable pour la culture des arbres au Québec.....	8
Tableau 2 : Exemples de programme de populiculture papetière intensive	15
Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques des fibres des feuillus (54).....	19
Tableau 4 : Pâtes commerciales BCTMP de feuillus.....	21
Tableau 5 : Production canadienne de pâte commerciale CTMP.....	23
Tableau 6 : Production canadienne du papier cannelure (corrugating medium) ...	27
Tableau 7 : Liste des clones utilisés.....	35
Tableau 8 : Liste des essais normalisés correspondants	45
Tableau 9 : Processus suivi pour le test de comparaison multiple	48
Tableau 10 : Densité du bois (g/cm³).....	52
Tableau 11 : Rendement ligneux des clones à 10 ans, 1100 tiges/ha	56
Tableau 12 : Spécifications des productions et valeur approximative.....	56
Tableau 13 : Caractéristiques des copeaux utilisés.....	57
Tableau 14 : Caractéristiques des fibres des clones de peuplier	60
Tableau 15 : Composition chimique du bois de peuplier (en pourcentage)	65
Tableau 16 : Liste des essais sur les pâtes CTMP avec des moyennes équivalentes	68
Tableau 17 : Caractéristiques papetières des pâtes CTMP (CSF = 300ml).....	69
Tableau 18 : Caractéristiques papetières des pâtes BCTMP (CSF = 300ml).....	70
Tableau 19 : Liste des essais sur les pâtes NSSC avec des moyennes équivalentes .	74
Tableau 20 : Caractéristiques papetières des pâtes NSSC (CSF = 445 ml)	74
Tableau 21 : Caractéristiques papetières des pâtes NSSC blanchies.....	79
Tableau 22 : Caractéristiques comparatives moyennes des peupliers hybrides et du tremble pour les procédés NSSC et CTMP	86
Tableau 23 : Grille de points pour les différentes caractéristiques significantes	90
Tableau 24 : Choix de clones par procédé de mise en pâte	91

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Étapes principales du projet.....	3
Figure 2 : Répartition des peupliers par produit au Québec	16
Figure 3 : Évolution de la consommation du peuplier au Québec	16
Figure 4 : Carte de localisation de la plantation.....	36
Figure 5 : Raffineur Sunds Defibrator CD 300	41
Figure 6 : Croissance en diamètre des peupliers hybrides	50
Figure 7 : Croissance en hauteur des peupliers hybrides.....	50
Figure 8 : Hauteur moyenne à 10 ans (m)	51
Figure 9 : Diamètre moyen à 15 ans (m).....	51
Figure 10 : Évolution de la densité par année (g/cm³ par an).....	53
Figure 11 : Évolution de la croissance annuelle (cerne annuel mm/an).....	54
Figure 12 : Taux de matières fines (%) - fibres macérées	60
Figure 13 : Longueur des fibres macérées (moyenne arithmétique, mm)	61
Figure 14 : Longueur des fibres macérées (moyenne pondérée par la longueur, mm).....	61
Figure 15 : Longueur des fibres macérées (moyenne pondérée par le poids, mm)..	61
Figure 16 : Masse linéique des fibres macérées (mg/m)	62
Figure 17 : Longueur des fibres - CTMP (moyenne arithmétique, mm).....	62
Figure 18 : Longueur des fibres - CTMP (moyenne pondérée par le poids, mm)...	62
Figure 19 : Longueur des fibres - CTMP (moyenne pondérée par la longueur, mm).....	63
Figure 20 : Taux de matières fines(< 0.2 mm, %) - Pâtes CTMP	63
Figure 21 : Longueur des fibres - NSSC (moyenne arithmétique, mm)	63
Figure 22 : Longueur des fibres - NSSC (moyenne pondérée par la longueur, mm).....	64
Figure 23 : Taux de matières fines(< 0.2 mm, %) - Pâtes NSSC.....	64
Figure 24 : Taux de cendres (%).....	65
Figure 25 : Taux de pentosanes (%)	66
Figure 26 : Solubilité à l'eau chaude (%)	66
Figure 27 : Solubilité à 1% de NaOH (%).....	66
Figure 28 : Indice de déchirure (mN*m²/kg) - Pâte CTMP	69
Figure 29 : Longueur de rupture (km) - Pâte BCTMP.....	71
Figure 30 : Allongement (%) - Pâte BCTMP	71
Figure 31 : Indice d'éclatement (kPa*m²/g) - Pâte BCTMP	71
Figure 32 : Indice de déchirure (mN*m²/kg) - Pâte BCTMP.....	72
Figure 33 : Longueur de rupture (km) - Pâte NSSC	76
Figure 34 : Énergie en tension (TEA, g/cm) - Pâte NSSC	76
Figure 35 : Indice de déchirure (mN*m²/kg) - Pâte NSSC	76
Figure 36 : Blancheur (8-457 nm, %) - Pâte NSSC	77
Figure 37 : Opacité (%) - Pâte NSSC	77
Figure 38 : Coefficient de diffusion (m²/kg) - Pâte NSSC	77
Figure 39 : Coefficient d'absorption (m²/kg) - Pâte NSSC.....	78
Figure 40 : Peroxyde consommé (%) - Pâte NSSC blanchie	79
Figure 41 : Longueur de rupture (km) - Pâte NSSC blanchie	80
Figure 42 : Énergie en tension (TEA, g/cm) - Pâte NSSC blanchie	80
Figure 43 : Indice d'éclatement (kPa*m²/g) - Pâte NSSC blanchie	80

Figure 44 : Indice de déchirure (mN*m²/kg) - Pâte NSSC blanchie.....	81
Figure 45 : Coefficient de diffusion (m²/kg) - Pâte NSSC blanchie.....	81
Figure 46 : Indice d'égouttage (ml) en fonction de l'énergie (MJ/kg)	83

NOMENCLATURE ET ABRÉVIATIONS

- ACPP : Association Canadienne des Pâtes et Papiers (CPPA en anglais).
- ANOVA : Analyse de (of) Variance.
- BCTMP : Pâte chimico-thermomécanique blanchie.
- CRPP : Centre de Recherche en pâtes et papiers.
- CTMP : Pâte chimico-thermomécanique.
- CMP : Pâte chimico-mécanique.
- CSF : Indice d'égouttage de la pâte en ml (Canadian Standard Freeness, en anglais).
- CICR : Culture intensive sur courte rotation.
- DCM : Dichlorométhane.
- dhp : Diamètre à hauteur de poitrine (1,30 m du sol) ; au dhp (à 1,30 m du sol).
- dl : Degré de liberté, du numérateur.
- dln : Degré de liberté du numérateur.
- dld : Degré de liberté du dénominateur.
- FAO : Food and Agriculture Organization, institution spécialisée de l'ONU.
- ha : Hectare, 10000 m²
- ISO : Organisation des normes internationales (International Standards Organization).
- m³/ha : Mètre cube par hectare.
- MRNQ : Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- NSSC : Pâte semi-chimique au sulfite neutre (Neutral Sulfite Semichemical Pulp).
- ONU : Organisation des Nations Unies.
- PAC : Possibilité annuelle de coupe à rendement soutenu : Volume maximum de bois que l'on peut prélever à perpétuité, dans un territoire donné sans diminuer sa capacité de production.
- PGW : Pâte mécanique de meule sous pression (Pressurized groundwood, en anglais).
- SAA : Service d'amélioration des arbres.
- L* : luminosité.
- a* : indice de la couleur rouge-vert.
- b* : indice de la couleur bleu-jaune.

TAPPI : Technical Association of the Pulp and Paper Industry (États-Unis).

TEA : Énergie en tension (tensile energy absorption).

TMP : Pâte thermomécanique (thermomechanical pulp).

UQTR : Université du Québec à Trois-Rivières.

1. INTRODUCTION

Les pénuries, l'éloignement, les problèmes de qualité de la ressource ligneuse et la diminution graduelle des superficies exploitables en forêt naturelle sont les principales causes de l'intérêt croissant que la CICR a acquis depuis quelques années. Pour ces raisons, le peuplier hybride (*Populus*), longtemps perçu comme une espèce indésirable, gagne aujourd'hui en popularité grâce à sa croissance rapide (moins de 15 ans) et aux multiples utilisations papetières développées. Les plantations de peuplier hybride produisent de haut rendement de bois à l'hectare, jusqu'à deux fois la production des peupleraies naturelles, tout en comportant de nombreux avantages économiques (5,8,13,14,16,20,21,26,31,38, 41,54,62).

En 1995, le Service d'amélioration des arbres (SAA), de la direction de la recherche du Ministère des Ressources naturelles du Québec, recommandait pour la CICR cinquante clones de peuplier hybride, fruits de plus de 25 ans de recherche. Parmi eux, cinq clones de 15 ans, adaptés aux domaines écologiques 1 et 2 (sud du Québec), ont été choisis pour leur croissance exceptionnelle et leur résistance au chancre septorien (*Septoria musiva Peck.*) (56).

1.1 OBJECTIFS

Les objectifs principaux de cette étude sont la caractérisation physico-chimiques du bois et la mesure des propriétés papetières de cette nouvelle source de fibre qui n'a fait l'objet d'aucune recherche approfondie sur son potentiel papetier, au Québec. Les résultats des tests sur les clones sont également comparés à ceux obtenus avec le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) qui est le feuillu le plus couramment utilisé par l'industrie papetière québécoise.

De plus, nous voulons vérifier si des différences significatives existent entre les cinq clones choisis au niveau des caractéristiques physico-chimiques et de deux types de

pâtes qui utilisent abondamment le peuplier : le procédé chimicothermomécanique (CTMP) et le procédé semi-chimique au sulfite neutre (NSSC). Si des différences significatives existent, certains hybrides pourraient être recommandés pour ces procédés.

1.2 APPROCHE DE LA RECHERCHE

Pour ce faire, des copeaux industriels ont été fabriqués à partir des billots écorcés. Les pâtes CTMP ont été préparées à l'aide de l'unité pilote de raffinage (Sunds Defibrator) du Centre de recherche en pâtes et papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières tandis que les pâtes NSSC ont été produites avec deux mini-lessiveurs de six litres. Nous avons évalué les propriétés des pâtes et papiers produits avant et après blanchiment de même que les qualités morphologiques des fibres.

Tous les résultats des tests sur les arbres, les fibres, le bois, la pâte et le papier sont analysés par une ANOVA qui indique la présence de différences statistiquement significatives entre les clones (avec 95% d'intervalle de confiance). Lorsque des différences sont perçues par l'ANOVA, nous procédons à un test de Duncan pour les évaluer plus précisément. Finalement, l'ensemble des différences mesurées sont intégrées dans une grille de pointage qui donne un nouvel éclairage sur le sommaire des performances de chaque clone. La figure 1 résume les étapes principales de l'approche choisie.

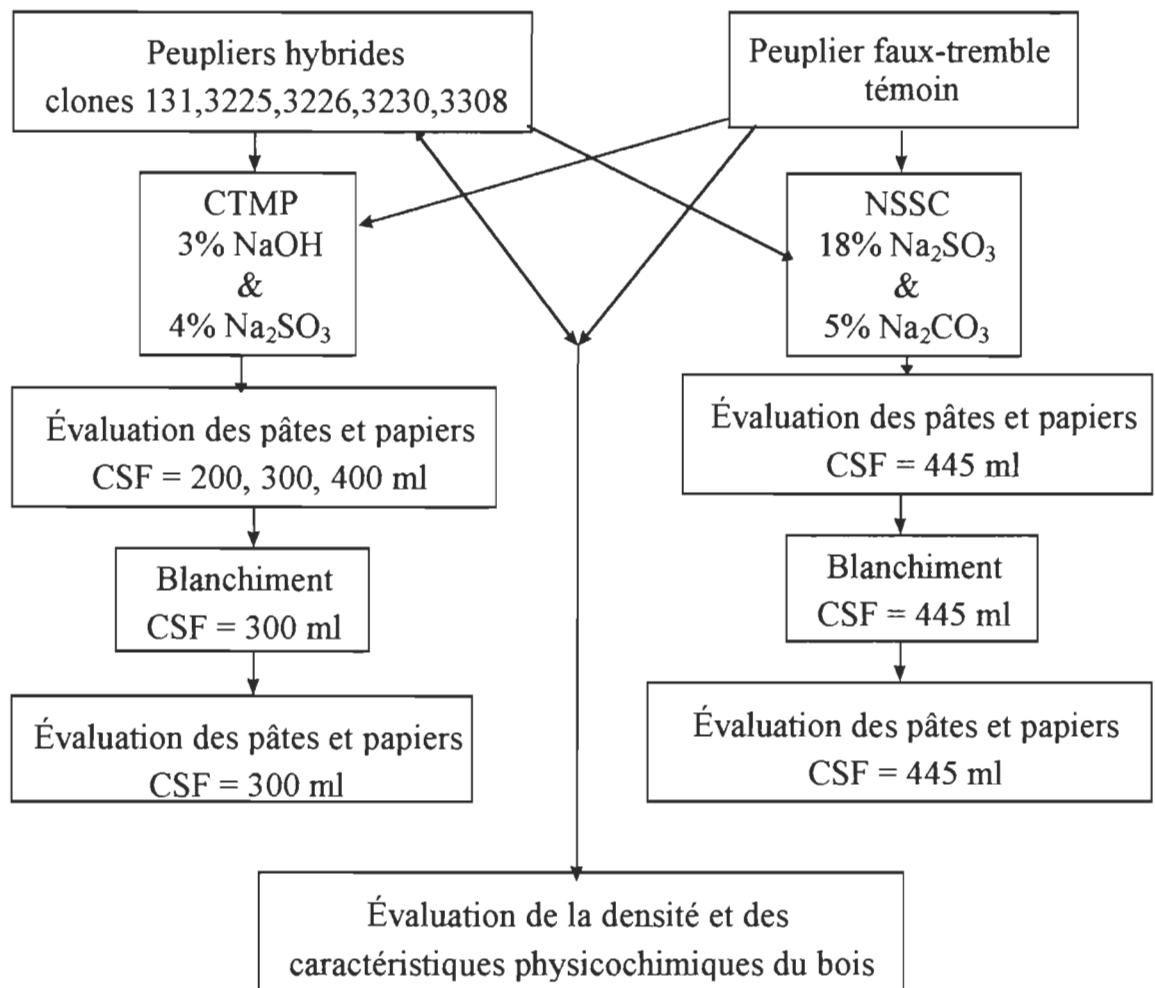


Figure 1 : Étapes principales du projet

2. PROBLÉMATIQUE

En général, la nécessité de développer de nouvelles sources de bois peut naître de l'une ou de plusieurs des situations suivantes :

- Déficit ligneux à l'usine ;
- Matière première rare, inaccessible ou inconstante ;
- Coûts de transport et d'exploitation importants ;
- Qualité problématique ;
- Contrainte d'efficacité au niveau des procédés et traitements industriels ;
- Aspects environnementaux : normes ISO, pressions des groupes environnementaux ;
- Exigences industrielles et commerciales (nouveaux produits) ;
- Efficience et rentabilité de l'entreprise .

Au Québec, l'évolution du territoire, de la population, des pratiques forestières et des industries nous permettent d'entrevoir certains problèmes d'approvisionnement en fibres à venir.

2.1 LA DEMANDE

Dans toutes les forêts publiques et privées du Québec, le volume marchand des conifères est évalué à 3 milliards de m³ et celui des feuillus à 1,3 milliards m³. Soixante-dix pour-cent de ce stock est âgé de 70 ans et plus. La possibilité annuelle de coupe à rendement soutenu est évaluée à 36 millions de m³ pour le résineux et à 20 millions de m³ pour le feuillu. Ceci représente un prélèvement annuel autorisé de 1,3% du stock total de bois sur pied sur une période moyenne de 77 ans pour son renouvellement (2,34).

Au cours des vingt-cinq prochaines années, la demande pour les produits forestiers connaîtra, selon la FAO (10), une augmentation de l'ordre de 250% pour les panneaux

gaufrés, 25% pour le sciage résineux, 27% dans les pâtes et papiers et ce, pour l'Amérique du Nord seulement. Ces taux d'augmentation pourraient être nettement supérieurs en considérant d'autres marchés en croissance comme l'Asie. Afin de conserver sa part du marché américain, le Québec devrait augmenter sa récolte de bois rond de 24% entre 1991 et 2015. Les récoltes annuelles devraient donc passer de 30-35 Mm³ de bois à 40-45 Mm³.

Une augmentation substantielle du niveau de récolte du bois inciterait l'industrie à progresser davantage vers le nord, en territoire présentement inaccessible par route, plus éloigné des usines et des centres de main-d'œuvre. La dimension moyenne des arbres récoltables est alors de plus en plus faible et les milieux sont de plus en plus fragiles vers le nord. Ces facteurs auront pour effet de faire augmenter, non seulement les difficultés de récolte du bois, mais aussi les coûts (43).

2.2 LE TERRITOIRE

Parallèlement à une demande croissante pour les produits forestiers, nous pouvons observer une diminution du territoire utilisable pour la culture des arbres au Québec. Quoique faible, la pression démographique augmente (4,5 habitants par km²). Cette pression se traduit par le développement urbain, le transport routier et d'énergie, et l'agriculture et le recul de la forêt vers le nord. Sur les 52 millions d'hectares (Mha) de territoire forestier accessible et productif, des parcs de conservation, des refuges et des réserves écologiques ont été implantés (1,3 Mha) ; la coupe forestière y est interdite et des projets sont à l'étude pour 4 Mha de territoires protégés supplémentaires (2, 43).

Actuellement, les activités forestières sont tolérées dans les sites et habitats fauniques, les sites récréatifs, les sites d'utilité publique et les zones de conservation (8,2 Mha) ; pour combien de temps ? Les grandes coupes à blanc sont de plus en plus mal perçues par la population.

Dans les aires où la production forestière demeure prioritaire (34 Mha), différentes mesures de mitigation réglementent les coupes et la construction de chemin pour la protection de l'eau, des sols, du paysage et de l'écosystème forestier (2). On connaît mal l'impact que toutes ses nouvelles mesures de mitigation peuvent entraîner sur la superficie globale du territoire forestier productif. Les changements de vocation des terres exploitées, les objectifs de conservation de 12% proposés par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (11) et les nouvelles revendications territoriales autochtones sont autant de mesures qui pourraient réduire cette superficie à moins de 20 Mha (voir tableau 1).

Ce portrait nous amène à la réflexion suivante : D'une politique de récolte de bois à rendement soutenu sur un horizon de 70 ans, nous devrons, d'ici les vingt prochaines années, passer au rendement accru pour garder notre part du marché, avec moins de territoire à vocation forestière prioritaire, tout en restant ISO et environnementalement acceptable.

Comment faire plus avec moins ? Comment obtenir plus de bois, de meilleure qualité, à meilleur prix, plus près des usines, avec moins de territoire à gérer et moins de contraintes environnementales et ce, à l'intérieur des 25 prochaines années? En foresterie, cela représente tout un défi. La culture d'espèces à croissance rapide ou ligniculture intensive pourrait être une solution complémentaire, à court terme, à des problèmes d'approvisionnement en fibres, dont la culture intensive du peuplier hybride.

2.3 RÉGLEMENTATIONS ET TENURE DES TERRES

Plusieurs éléments nous ont été rapportés pour expliquer la quasi absence de culture forestière intensive, comme la populiculture, au Québec. Voici les principaux qui nous ont été mentionnés par différents intervenants forestiers.

Au Québec, la forêt est à 86% de propriété publique. Selon un contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) signé avec le gouvernement, les industriels forestiers peuvent récolter chaque année, sur un territoire précis et souvent commun à plusieurs, un volume de bois pour approvisionner leur usine. Le volume à prélever est déterminé selon la possibilité à rendement soutenu (PAC). De plus, l'industriel doit réaliser sur ce territoire des travaux sylvicoles qui permettent d'atteindre le rendement annuel prévu au CAAF. Le CAAF possède une durée de 25 ans. Si l'industriel remplit ses obligations, son contrat est prolongé tous les cinq ans pour une autre période quinquennale (34).

Les industriels respectent leur engagement et s'en tiennent à leur contrat. Les travaux sylvicoles effectués leur apportent des crédits sur les droits de coupe payables selon l'essence et les volumes récoltés. Par contre, peu d'investissements sont faits pour augmenter le rendement forestier parce que l'industrie ne possède pas un sentiment d'appartenance suffisamment fort sur les territoires qu'elle exploite. Prenant l'histoire à témoin, elle plaide souvent que le contrat peut être modifié à tout moment par le gouvernement (ex : changement de vocation des terres). Les industriels n'ont pas de garantie formelle sur le retour de leur investissement sur un horizon forestier (100 ans).

En forêts privées, la mise en marché du bois rond est soumise à la loi sur la mise en marché des produits agricoles. En vertu de cette loi, les producteurs de bois établissent les conditions de production et d'écoulement de leurs produits par le biais de plans conjoints. Les Syndicats et Offices des producteurs de bois s'occupent de la défense

défense des intérêts des producteurs : la mise en marché des bois incluant la négociation des prix avec l'industrie (42).

Un industriel, désireux d'investir dans la culture intensive de fibres sur ses propres terrains ou sur des lots sous bail de location auprès d'autres propriétaires, ne peut récolter et transformer son bois sans passer par les syndicats et offices. Il devra respecter les ententes de destination des volumes de bois et les prix décrétés par essence. Ainsi, il pourrait se faire imposer un prix de vente par un tiers ou voir sa récolte achetée par un compétiteur. Cette situation amène donc des contraintes suffisamment importantes pour freiner les investissements directs de l'industrie en forêts privées et dans la culture intensive du bois. Comme en forêt publique, l'industrie n'a pas la garantie du retour ligneux et monétaire de son investissement.

Finalement, la populiculture intensive sur courte rotation n'est pas considérée par le Ministère de l'agriculture québécois comme de l'agroforesterie. Ainsi, la loi de protection des terres agricoles s'applique très souvent et les projets de culture intensive de fibres, pouvant valoriser des terres agricoles abandonnées, sont difficiles à faire passer.

Tableau 1. Territoire utilisable pour la culture des arbres au Québec

	Superficie (Mha)
Territoire du Québec	150
Territoire forestier	65
Territoire forestier productif et accessible	52
Territoire où la production forestière est prioritaire (1996)*	38
Territoire utilisable pour la culture des arbres, prévision (2015)	20

*: dont 4M ha en forêts privées.

3. BIBLIOGRAPHIE

3.1 LE PEUPLIER

3.1.1 DISTRIBUTION

Le peuplier jouit d'une distribution très vaste puisqu'on le retrouve dans tout l'hémisphère nord, principalement dans la zone tempérée. Au Canada, on le rencontre de Terre-Neuve jusqu'à l'extrême ouest de l'Alaska, en suivant la limite nord de la flore arborescente. Au Québec, il est dispersé partout au sud du 54^{ème} parallèle nord (22-23).

3.1.2 TAXONOMIE

Les peupliers du genre *Populus* et les saules du genre *Salix* font partie de la même famille des salicacées qui elle, fait partie de l'ordre des *Salicales* du groupe Amentiflore. Ceux-ci se rangent dans la sous-classe des *Monochlamidae*, classe de *Dicotyledonae*, sous-division des Angiospermes de la division Phanérogame. Les peupliers indigènes au Québec sont le peuplier baumier (*Populus balsamifera L.*), le peuplier deltoïde (*P. deltoides Bartr. Ex Marsh.*), le peuplier à grandes dents (*P. grandidentata Michx.*) et, le plus largement distribué, le peuplier faux-tremble (*P. tremuloides Michx.*) (22-23).

3.1.3 CARACTÉRISTIQUES DE LA FAMILLE, DU GENRE

- **La famille des salicacées :**

Les arbres appartenant à cette famille offrent certaines particularités leur donnant une nette originalité par rapport aux autres essences forestières. Les salicacées se propagent essentiellement par voie végétative et non par graine. Cette situation est occa-

sionnée par le fait que la semence n'est viable que très peu de temps après sa maturation et que les peupliers ont des exigences très strictes en terme de lit de germination. Les salicacées sont dioïques, c'est-à-dire que les fleurs femelles et les fleurs mâles sont séparées et situées sur deux arbres différents. L'hybridation naturelle, soit le croisement entre deux espèces, est fréquente et facile à provoquer.

- **Le genre *Populus* :**

Essences de lumière, les peupliers sont des arbres à feuilles caduques qui ont une croissance rapide et une vie courte. Ils possèdent des racines superficielles très étendues. La plupart des espèces se propagent principalement par drageons ou clones naturels, nés des racines superficielles à la suite de perturbation telles le feu, les épidémies d'insectes, les maladies ou par des interventions de l'homme comme la coupe forestière ou le défrichage.

3.1.4 CARACTÉRISTIQUES DU BOIS DE PEUPLIER

Le bois de peuplier est léger, tendre et à droit fil ; sa densité est relativement basse avec $0,38 \text{ g/cm}^3$. Sa couleur pâle en fait un des bois les plus blancs parmi les essences commerciales canadiennes (particulièrement le peuplier faux-tremble). Il dégage souvent une odeur désagréable à l'état humide. Ses pores diffus, avec des zones semi-poreuses, sont facilement visible à la loupe mais ses cernes d'accroissement annuel sont plutôt indistincts (22).

3.2 LA POPULICULTURE INTENSIVE

La populiculture intensive désigne l'application de techniques agronomiques modernes à la culture du peuplier hybride, en vue de produire de la matière ligneuse à des fins spécifiques. La populiculture intensive n'utilise pas des espèces, mais des clones. Un clone possède un bagage génétique identique à celui de son donneur. Il est obtenu v-

gétativement par bouturage à partir d'un arbre hybride choisi pour ses qualités, parmi les individus qui composent l'espèce. Les clones produits en pépinière à partir de quartiers de pied-mères, peuvent être choisis pour leurs qualités au sein d'une population naturelle (ils sont alors le résultat d'une sélection naturelle) ou être de purs produits de laboratoire, par hybridation contrôlée (13, 30, 31, 32, 33, 36, 61). Cette sélection se fait principalement selon les caractéristiques suivantes :

- Performance de croissance, autant en volume qu'en rapidité ;
- Rusticité et résistance ;
- Tolérance ou résistance aux insectes et maladies ;
- Qualités technologiques (usinage) et caractéristiques physico-chimiques (densité, taux de lignine, blancheur, etc.).

Développée à partir de modèles européens, la populiculture intensive nécessite des techniques culturales appropriées et certaines interventions caractéristiques aux produits désirés.

3.3 AVANTAGES DE LA POPULICULTURE INTENSIVE

Les nombreux avantages de la populiculture intensive concernent autant les forestiers, les industriels et la société en général. En voici la liste résumée de la recherche bibliographique.

Avantages pour les forestiers (5, 13, 20, 31, 38):

- Alternative à l'agriculture sur les terres agricoles marginales, les friches et les boisés dégradés ;
- Moyen de diversification économique de la production agricole avec exploitation et revenus à court terme contrairement à tout autre type de reboisement (agroforesterie) ;

- Opérations d'établissement et de récolte des plantations de peupliers hybrides simples (horticoles et agronomiques), effectuées avec les équipements conventionnels retrouvés sur la majorité des fermes ;
- Culture flexible par la large gamme de produits du bois pouvant être mis sur le marché : bois à pâte, sciage, déroulage ou bois de chauffage ;
- Le reboisement à l'aide des boutures facile à réaliser. Après les premières récoltes, les parterres de coupe sont remis en production à des coûts très bas si les souches de peuplier sont laissées sur place pour reproduire la génération suivante sous forme de drageons ;
- Possibilité de considérer ce type de culture à courte rotation (moins de 10 ans) comme de l'agriculture avec tous les avantages fiscaux et légaux qui en découlent. Par exemple: possibilité de contrôler les mauvaises herbes la première année avec des phytocides biologiques ce qui ne sera plus possible en foresterie d'ici l'an 2000.

Avantages pour la société (21, 31, 38, 42):

- Les plantations de peupliers hybrides procurent des bienfaits esthétiques et environnementaux comme la protection des sols contre l'érosion et la purification de l'air ;
- Redynamisation de l'activité économique de régions agroforestières, création d'emplois, augmentation des prélèvements de taxes, impôts, etc. ;
- La ligniculture joue indirectement un rôle majeur dans la conservation des écosystèmes forestiers naturels. Une concentration et une maximisation de la production ligneuse dans des plantations à haut rendement donnerait plus de flexibilité dans l'utilisation des forêts et permettrait d'augmenter les superficies protégées sous forme de parcs et de réserves (42) ;

Avantages pour l'industrie (5, 14, 31, 41, 53, 73):

- Productivité supérieure en volume et récolte plus rapide (150 à 200 m³/ha en 10-15 ans pour le sud du Québec) ;
- Qualité standardisée de la matière première ;
- Ressource près des usines ;
- Disponibilité programmée et assurée, approvisionnement « juste à temps » ;
- Utilisation modulable d'une matière première homogène ;
- Ressource complémentaire aux approvisionnements actuels ;
- Coûts d'exploitation et de transformation inférieurs ;
- Opportunité d'utiliser les résidus compostés de pâtes et papiers à des fins sylvicoles (comme substitut d'herbicide).

La populiculture intensive comporte également des inconvénients dont :

- La majorité des investissements sont nécessaires au début du cycle de production mais l'amortissement se fait à court terme (10 à 15 ans) ;
- Les prix du bois et des copeaux de peuplier sont actuellement assez faibles et non liés à la qualité ;
- Ce type de monoculture doit être bien suivi, car elle peut présenter plus de risque pathologique et entomologique que la forêt naturelle.

3.4 LA POPULICULTURE PAPETIÈRE EN AMÉRIQUE DU NORD

Au Canada, l'utilisation de clones de peuplier a débuté en 1940 ; Carl Heimburger effectuait alors des travaux sur les peupliers en Ontario (42). Un programme de foresterie clonale des peupliers y est toujours en opération, sur une grande échelle, dans l'est de l'Ontario depuis 1975. Il implique, en partenariat, le Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario et une compagnie forestière, Domtar inc. (33).

Plusieurs facteurs ont incité l'implantation d'un tel programme. La crise du pétrole, à cette époque, faisait craindre une nette augmentation des coûts de transport de la fibre et un manque de bois pour l'usine locale de pâtes et papiers. Le peuplier hybride, avec sa croissance supérieure démontrée, pouvait être implanté sur les vastes superficies agricoles abandonnées, environnant l'usine, et présentant les caractéristiques propices à la populiculture (42). Quelque 300 000 boutures tirées de 25 clones sélectionnés pour leur productivité sont plantées annuellement. Depuis 1975, approximativement 2 260 ha ont été reboisés avec des peupliers hybrides dans un rayon de 32 km de l'usine située à Cornwall, Ontario. Chaque année, environ 100 ha de nouvelles plantations sont implantées (33, 42).

Aux États-Unis, les premières populicultures intensives ont été financées par le Département de l'Énergie américain en pleine crise du pétrole pour produire de la biomasse, en solution de remplacement aux coûteux produits pétroliers importés (41). Vers la même époque, une papetière de l'Oregon, entrevoit des ruptures dans son approvisionnement et décide de reprendre ces clones de peuplier pour produire de la fibre en courte rotation sur ses terrains privés.

Au début des années 90, le gouvernement américain a imposé une réduction des superficies de coupe qui ont entraîné la fermeture de plusieurs petites scieries et des diminutions importantes des volumes de bois disponibles pour l'industrie papetière. Une des principales raisons mentionnées : Protéger les vieilles forêts et certaines espèces menacées qui y vivent comme la chouette tachetée.

Plusieurs autres compagnies américaines ont décidé d'investir dans la culture intensive de peuplier. Dernièrement, une Coopérative de recherche et développement dans la génétique du peuplier a été formée par Boise Cascade, James River, Potlatch, Union Camp, l'Université de l'Oregon et d'autres (15). Ces compagnies complètent leur approvisionnement résineux avec des plantations populicoles âgées entre 7 et 10 ans. Ces cultures à courte rotation sont maintenant reconnues comme de l'agriculture par les

instances gouvernementales américaines et procurent certains avantages fiscaux et légaux comparés aux cultures forestières traditionnelles. Par exemple, l'usage de phytocide la première année, pour le contrôle des mauvaises herbes, est possible. Le tableau 2 donne des exemples de programmes populicoles de l'industrie papetière nord américaine (41).

Tableau 2 : Exemples de programme de populiculture papetière intensive

COMPAGNIES	PROCÉDÉ	DÉBUT	#HA prévus	#HA plantés
Scott Paper, É.-U.	SGWD	1960	5000	5000
Domtar, Cornwall, Ont.	KRAFT	1975	2260	2260
James River, É.-U.	CTMP	1983	4450	4450
Boise Cascade, É.-U.	KRAFT	1991	7700	5700
MacMillan Bloedel, B.-C.	CTMP	1994	10000	400
Georgia Pacific, É.-U.	KRAFT	1994	6100	260
Potlatch, É.-U.	KRAFT	1994	8900	1940
Domtar, Windsor, Qué.	KRAFT	1994	n/d	n/d
Cascades, Cabano, Qué.	NSSC	1996	n/d	n/d

Au Québec, la récolte globale de peupliers est inférieure à la possibilité annuelle de coupe mais, dans certaines régions, l'équilibre est déjà atteint. De plus, les concentrations de peuplier disponibles sont liées à des projets d'expansion d'usines existantes, principalement des usines de panneaux (48). La figure 2 montre la répartition des peupliers par produits. Le taux élevé d'utilisation du tremble par l'industrie du sciage, est une conséquence directe du manque de matière première de qualité (les résineux) ce qui a généré une plus grande quantité de copeaux sur les marchés papetiers. La figure 3 illustre l'évolution de la consommation québécoise du peuplier de 1990 à 1995 qui a augmenté annuellement de 12%. À ce rythme, la possibilité forestière devrait être dépassée par la demande au début des années 2000 (48, 2).

La forêt privée ne représente, quant à elle que 14%, de la superficie forestière mais compte pour 37% de la possibilité annuelle en peuplier. Cependant, un pourcentage de plus en plus grand des propriétaires n'opte pas pour l'exploitation de la ressource ligneuse de leur forêt pour diverses raisons : coût de récolte trop élevé, prix de vente

faible, récolte artisanale, forêt de loisir, etc.. Par conséquent, la récolte du peuplier est bien en deçà de la possibilité forestière avec environ 46% du prélèvement admissible (48).

De plus, on note une diminution graduelle du territoire utilisable pour la culture des arbres et des pressions environnementales croissantes. Dans ce contexte, certaines compagnies forestières québécoises commencent à investir dans la populiculture intensive sur de courtes rotations malgré plusieurs contraintes vécues et dues, en partie, aux lois et règlements en vigueur (voir section 2 : Problématique).

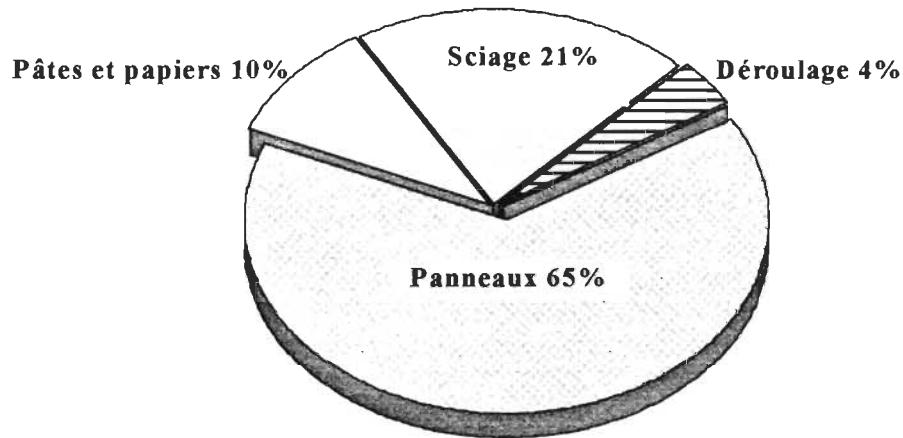
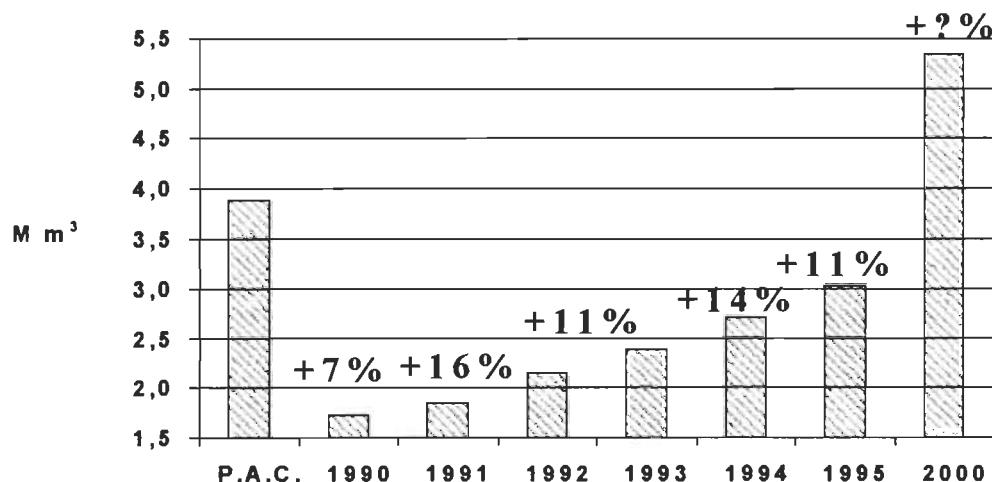


Figure 2 : Répartition des peupliers par produit au Québec



**Figure 3 : Évolution de la consommation du peuplier au Québec
(en millions de m³)**

3.5 LES CLONES DE PEUPLIERS UTILISABLES AU QUÉBEC

En 1968, le Ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) a mis sur pied un programme de recherche et de développement portant sur le peuplier. Les premiers travaux visaient l'amélioration des espèces indigènes du Québec et l'introduction de clones européens et ontariens. Dès 1972, le Service de l'amélioration des arbres (SAA) du MRNQ sur le peuplier a élaboré un programme dans lequel l'un des thèmes principaux visait le développement de la populiculture intensive avec comme but l'établissement de plantations de peupliers hautement productives (de 4 à 5 fois plus que les peupleraies naturelles) (55, 56, 61).

Dans le cadre de la populiculture intensive, des projets de recherche ont été entrepris afin de trouver, par les méthodes de l'amélioration des arbres forestiers, des clones et des lignées de peuplier à croissance rapide adapté à nos conditions écologiques et qui possèdent également des aptitudes à résister aux principaux agents pathologiques et entomologiques du Québec.

Le SAA a introduit plusieurs espèces et hybrides sous forme de clones, de provenances ou de descendances diverses. Sa collection comprend cinq espèces de *Populus* introduites sous forme de graines dont *P. alba*, *P. maximowiczii* Henry, *P. nigra*, *P. tremula* et *P. trichocarpa*.

Le projet 021030, dirigé par Dr Gilles Vallée¹, a réalisé, comme objectif, la sélection de clones et des variétés de peupliers, pour différentes régions écologiques, qui produisent de 8 à 15 m³/ha/an sur des rotations de plus ou moins 15 ans tout en ayant des qualités de bois désirées. Ils doivent posséder également une bonne résistance aux ma-

¹ Service de l'amélioration des arbres, Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles du Québec.

ladies et aux insectes les plus virulents du peuplier. En comparaison, les tremblaies naturelles du Québec produisent environ 2 à 5 m³/ha/an sur 40 à 70 ans

Aujourd’hui, les résultats de ces recherches permettent d’obtenir plus de 80 types d’hybrides disponibles pour les différentes régions écologiques du Québec. Cependant, il reste beaucoup à faire concernant les qualités technologiques et physico-chimiques propres aux différents hybrides. Par exemple, quels hybrides doit-on planter en vue d’une production de bois de pulpe aux propriétés optimales pour tel ou tel procédé de pâtes et papiers? Les recherches ne font que débuter sur cette avenue avec l’intérêt croissant de l’industrie pour cette nouvelle source de fibres.

3.6 LE PEUPLIER DANS L’INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS

Au cours de la dernière décennie, plusieurs facteurs ont stimulé l’utilisation accrue du peuplier dans l’industrie des pâtes et papiers. Le développement de nouveaux procédés de fabrication a fait de la pâte de peuplier, avec sa bonne opacité, sa brillance et sa bonne réponse au blanchiment au peroxyde d’hydrogène, une espèce très acceptable pour l’industrie des pâtes et papiers (5, 8, 13, 16, 20, 26, 54).

Au tableau 3, on note que le peuplier contient moins de lignine (18%) et plus d’hémicellulose et de cellulose (50%) que le bouleau et l’érable. Le peuplier fraîchement coupé est un bois très blanc dont les copeaux ont une blancheur naturelle de l’ordre de 62-64% ISO (54). Les vaisseaux sont courts et d’un fort diamètre.

La concentration de lignine du peuplier est très élevée à l’intérieur de la lamelle moyenne mais la majorité de sa masse se retrouve dans la paroi cellulaire, particulièrement dans la couche S2. La propension au gonflement des fibres de peuplier par la soude, d’où une augmentation de la flexibilité et de la conformabilité, est la base de la

technologie de mise en pâtes à très haut rendement (>90%) : imprégnation, traitements interstages et blanchiment (54).

Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques des fibres des feuillus (54)

propriétés/essence	peuplier faux-tremble	bouleau jaune	érable à sucre
Densité du bois (g/cm ³)	0,34-0,4	0,48-0,55	0,56
Longueur des fibres (mm)	1,0	1,5	0,8
Diamètre (μm)	10-27	20-36	16-30
Masse linéique (mg/m)	0,121	n/d	0,102
Épaisseur paroi (μm)	2,5	3,0	n/d
Densité spécifique (g/cm ³)	0,40	0,66	0,66
Lignine (%)	18,2	21,2	22,0
Alpha-cellulose (%)	50,2	49,4	43,6
Hémicellulose (%)	21,2	26,6	22,2
Pentosanes (%)	17,5	21,4	19,6
Solubilité : Alcool/benzène	2,4	2,6	5,2
Solubilité : Éther (%)	1,1	0,7	0,9
Solubilité : Eau chaude (%)	2,0	2,8	3,6

3.7 LE PROCÉDÉ CTMP

Développé durant les années 70 par les scandinaves, le procédé de fabrication de pâte blanchie chimico-thermomécanique (BCTMP) se révèle une technologie simple de mise en pâte à haut rendement. Il se résume en trois étapes principales: Les copeaux de bois subissent une imprégnation chimique, puis un traitement thermique pour finalement être défibrés par raffinage pressurisé. Le traitement chimique implique l'utilisation d'agents tels que le sulfite de sodium, dans le cas des résineux, ou le sulfite de sodium avec la soude s'il s'agit de feuillus (25). Le degré de sulfonation optimal à atteindre dépend du type de bois et du pH de la liqueur de cuisson; pour les résineux, le milieu est acide et pour les feuillus, alcalin. La combinaison du traitement chimique et thermique permet le ramollissement des copeaux, ce qui a pour effet de diminuer la dépense énergétique nécessaire au raffinage.

Le but de l'étuvage chimique des copeaux est de dégrader ou de sulfurer la lignine afin de faciliter la séparation des fibres avant de passer au raffinage pressurisé. Les copeaux de bois y sont défibrés entre deux disques, l'un rotatif et l'autre stationnaire. La pâte ainsi produite est épurée, blanchie selon les besoins du client et séchée s'il s'agit d'une pâte marchande. Le rendement en pâte de ce procédé se situe aux alentours de 89 à 92%.

La pâte CTMP, une fois traitée au peroxyde d'hydrogène, atteint des niveaux de blancheur de 80-82% ISO pour le résineux et jusqu'à 87% ISO pour les feuillus. Elle s'approche alors de la pâte kraft blanchie. En mélange, elle améliore l'opacité nécessaire, par exemple au papier journal, mais elle n'améliore pas la force du papier comme la pâte kraft peut le faire.

Cette pâte possède également certains avantages sur la pâte TMP. Le traitement chimique des copeaux permet un défibrage moins drastique résultant en un haut taux de fibres longues et une longueur moyenne plus élevée que cette dernière. Les fibres, plus flexibles, permettent une bonne densité de la feuille, une résistance à l'éclatement et aux forces de tension supérieures. Les principaux inconvénients de la pâte CTMP en comparaison avec la pâte TMP sont des résistances inférieure et des propriétés optiques moins bonnes. La pâte CTMP, avec sa blancheur naturelle, rencontre mieux les caractéristiques requises pour le papier absorbant mais aussi pour les contenants alimentaires puisque les matières extractibles du bois sont presque entièrement disparues. De plus, l'opacité de la pâte CTMP est supérieure à celle de la pâte kraft blanchie de résineux et sa résistance à la déchirure l'équivaut. Cependant, la pâte CTMP ne peut atteindre les résistances en tension de cette pâte chimique.

Des chercheurs du CRPP de l'UQTR ont publié des travaux touchant le blanchiment (70-71) et l'incorporation de la pâte de tremble pour la fabrication du papier journal (72). Des recherches ont aussi été entreprises sur le raffinage des mélanges : tremble/bouleau avec blanchiment (66-69) et tremble/épinette blanche (68). Diverses pâtes

CTMP et CMP ont été préparées en usine pilote et comparées avec une pâte TMP en utilisant divers solvants organiques tels : l'alcool éthylique, l'acide acétique et l'acétate d'éthyle. Malgré une certaine économie d'énergie, les propriétés optiques laissaient à désirer (67). Le tableau 3 donne différentes caractéristiques de pâtes chimicothermомécaniques blanchies de feuillus (54)

Tableau 4 : Pâtes commerciales BCTMP de feuillus

caract./pâte/essence	Tremble A	Tremble B	Tremble C	Bouleau D	Bouleau E	Érable F
CSF (ml)	210	413	235	509	498	400
Blancheur ISO %	86,0	85,5	84,3	84,9	84,8	79,6
Opacité, %	71,0	n/d	84,2	n/d	n/d	n/d
Indice d'éclatement, kPa.m ² /g	3,3	2,5	1,2	1,1	1,8	0,7
Indice de déchirure, mN.m ² /g	5,4	5,8	3,0	5,3	5,7	2,7
Longueur de rupture, km	5,6	n/d	3,2	n/d	n/d	n/d
Bouffant, cm ³ /g	1,5	1,8	2,2	2,8	2,4	3,4
Taux de rejets, %	0,010	0,008	0,020	0,005	0,001	0,025
Matières extractibles au DCM, %	n/d	0,143	n/d	0,143	0,101	0,120
Longueur des fibres, mm	0,79	0,84	n/d	1,07	1,10	0,68

3.7.1 STRUCTURE DE L'INDUSTRIE ET MARCHÉ

Le Canada est le premier producteur mondial de pâte CTMP et compte 20 usines (en comparaison de deux seulement aux États-Unis) (1). Les premières usines datent du début des années 80, avec une capacité totale annuelle de pâte commerciale feuillues et/ou de résineux aux environ de 1,8 millions de tonnes métriques (voir tableau 5) (54).

En 1995, la production totale de pâte CTMP s'élevait à 3,5 millions de tonnes. Des augmentations de capacité et de nouvelles installations canadiennes sont prévues ; on mentionne des augmentations de 435 000 tonnes en 1996, de 65 000 en 1997 et de 30 000 en 1998 (1, 54).

La tendance du marché mondial de ces pâtes s'oriente vers les grades feuillus. Les pâtes feuillues possèdent certains avantages sur celles des résineux : une blancheur plus élevée avec moins de réversion à la lumière et un niveau moindre de matières extractibles (8, 26).

La pâte CTMP sert dans la production du papier journal, des cartonnages, des papiers absorbants, du papier mousseline et comme papier à haut bouffant. Blanchie à plus de 75% ISO, elle peut être substituée à de la pâte kraft pour des utilisations de pâtes « fluff » et dans la production de certains papiers pour impression-écriture. Selon l'utilisation requise, certaines propriétés papetières seront plus ou moins importantes. Par exemple, les propriétés les plus importantes dans le cas des papiers impressions et d'écriture seront : le bouffant, la rigidité, l'opacité, la blancheur, la réversion de couleur, l'absence de bûchettes et de débris, la capacité et le taux d'absorption, le peluchage, l'imprimabilité, le contenu en extractibles, le contenu en solides dissous, la masse linéique, la stabilité dimensionnelle, l'odeur, la couleur après blanchiment, etc. (25).

Le procédé de fabrication des pâtes à haut rendement BCTMP requiert des investissements en capitaux moins élevés que ceux requis pour la pâte kraft. Il nécessite moins d'eau, sa chimie est très simple et les rendements en pâte sont de beaucoup supérieurs à ceux de la pâte kraft (environ 90% pour le CTMP p/r à 50% pour le kraft). Par ailleurs, de grandes quantités d'énergie électrique sont requises et les propriétés papetières des pâtes restent plutôt faibles avec un choix limité des essences utilisables. Le niveau maximal de blancheur de ces pâtes de même que la réversion de couleur se révèlent des problèmes à surmonter.

Tableau 5 : Production canadienne de pâte commerciale CTMP

Compagnie/ année de démarrage	Localisation	Capacité annuelle de prod. tm/an	essences de bois utilisées
Quesnel River (1983/88)	Quesnel River, BC	165 000	résineux/feuillus
Tembec (1986/91)	Temiscaming, QC	190 000	résineux/feuillus
Stone-Consolidated (1983)	Bathurst, NB	180 000	résineux/feuillus
Uniforêt (1988)	Port-Cartier, QC	175 000	résineux
Fibreco Pulp (1988)	Taylor, BC	190 000	résineux
Millar Western (1988/91)	Whitecourt, ALB	240 000	résineux/feuillus
Slave Lake (1990)	Slave Lake, ALB	130 000	résineux/feuillus
Donohue Matane (1990)	Matane, QC	200 000	résineux/feuillus
Louisiana-Pacific (1991)	Chetwynd, BC	160 000	feuillus
Millar Eastern (1992)	MeadowLake SASK	260 000	feuillus

3.8 LE PROCÉDÉ NSSC

Développé dans les années vingt par le Forest Products Research Laboratory (Madison, Wis. USA), le procédé semi-chimique au sulfite neutre (Neutral Sulfite Semi-Chemical pulp, NSSC) devait transformer les grandes quantités de feuillus à faible valeur économique, improches au sciage ou au déroulage. Les essences de bois les plus utilisées (et moins coûteuses que les résineux) sont tous les feuillus : chêne, érable, merisier, bouleau et peuplier (25, 51).

Un des grands avantages de ce procédé est qu'il peut transformer, dans la même recette, toutes ces différentes essences de bois. Les résineux se prêtent moins bien au procédé NSSC parce qu'ils demandent trop d'énergie au défibrage et au raffinage. Leur haut contenu en résine occasionne des problèmes de poix (51).

Les pâtes mi-chimiques constituent une des matières de base idéale pour le papier cannelure, partie centrale des cartons ondulés, car elles assurent une bonne rigidité et une bonne résistance à la compression.

La mise en pâte NSSC, fait appel à des méthodes chimiques et mécaniques. Les copeaux sont imprégnés, à une température de moins de 110°C, d'une liqueur de sulfite de sodium (Na_2SO_3 , 8-20%) tamponnée par un agent alcalin comme le carbonate de sodium (Na_2CO_3 , 10-15%). Le bicarbonate ou l'hydroxyde de sodium peuvent également servir d'agents tampons. L'alcali ajouté neutralise les acides organiques libérés au cours de la cuisson et produits par la désacétylation des polysaccharides (libération des acyles de 3 à 5% pour le bois feuillu).

L'utilisation du NaOH facilite la préparation des liqueurs à un pH plus précis, tandis que l'usage du carbonate s'avère difficile à cause de la perte de CO_2 . La quantité d'alcali devient une variable importante du procédé : une alcalinité plus élevée augmente le degré de sulfonation et améliore les propriétés des pâtes. En contrepartie, elle entraîne une perte de blancheur, du drainage et des polysaccharides résiduels dans la pâte.

Les cuissages s'effectuent en continu, ou en discontinu, à des pH variant entre 7 et 10, durant 1 à 6 heures et à des températures allant de 140° à 175° C selon la pâte désirée (25).

La cuisson NSSC dissous une certaine partie de la lignine (80-85%) et un peu d'hémicellulose du bois mais de façon moins drastique que le procédé kraft. Le reste de la réduction en pâte s'effectue mécaniquement, le plus souvent dans des raffineurs à disques qui séparent les fibres. L'énergie de raffinage requise varie de 400 à 800 kWh/tonne. Le lavage de cette pâte s'effectue de façon superficielle et dans certains cas, la pâte n'est pas lavée du tout (25).

La pâte NSSC possède des rendements variant entre 65% et 80% (poids sec absolu) mais a une qualité inférieure à celle de la pâte kraft. La lignine résiduelle lui confère des résistances et une rigidité exceptionnelle. Les feuilles de papier fabriquées avec cette pâte feuillue sont même plus fortes que celles de la pâte kraft feuillue et presque aussi

fortes que celles issues du NSSC résineux. À cause de son haut contenu en lignine et de son usage courant (la cannelure), cette pâte est rarement blanchie (25).

Une des caractéristiques les plus importantes du papier cannelure est son aptitude au « passage sur machine ». Cette expression désigne la capacité de la feuille à supporter les contraintes et les déformations liées à la formation de la cannelure sans se casser. Les facteurs qui favorisent cette aptitude au passage sur machine sont : une forte capacité d'allongement et l'absence de grosses bûchettes ou de matons dans la feuille. La qualité du raffinage de la suspension fibreuse, qui doit réduire le plus possible le nombre de bûchettes, revêt donc une importance particulière, au même titre que les contraintes au séchage. Ces dernières doivent être aussi faibles que possibles pour que la capacité d'allongement de la feuille soit optimale.

La plupart des usines NSSC canadiennes et américaines se convertissent graduellement à un procédé sans soufre afin de régler les problèmes de pollution de l'eau et de l'air. Le sulfite de sodium est alors remplacé par de l'hydroxyde de sodium (NaOH). Ces usines se retrouvent souvent en complexe intégré avec une usine de pâte kraft, la combinaison de leurs produits servant à la fabrication des boîtes de carton. La cuisson NSSC peut alors s'accomplir avec la liqueur verte du kraft. En plus des économies d'échelle évidentes, cette intégration comporte également de nombreux avantages au niveau du recyclage des liqueurs de cuisson (25, 51).

Finalement, la pâte NSSC s'avère une option valable de substitution des pâtes kraft. Son procédé flexible permet l'utilisation de plusieurs produits chimiques qui peuvent agir comme agents tampons et qui peuvent être combinés avec des accélérateurs de réaction dont l'antraquinone. Le NSSC obtient des rendements nettement plus élevés que ceux du kraft pour des résistances similaires, un blanchiment plus facile et une moindre consommation énergétique pour le raffinage.

3.8.1 STRUCTURE DE L'INDUSTRIE ET MARCHÉ

Aux États-Unis, 24% du papier cannelure (corrugating medium) est toujours produit selon le procédé NSSC classique. La majorité des fabricants de ce grade ont des procédés à base de carbonate de soude (48%), de liqueur verte ou de carbonate/ Na_2S (28%) (1). Le papier à canneler est produit à 64% à l'aide des procédés mi-chimiques de fibres vierges et le reste (36%) est fabriqué entièrement de fibres recyclées.

Récemment, la pâte NSSC a commencé à être commercialisée comme remplaçant partiel des pâtes kraft dans la fabrication de carton mince et de sacs de papier (1). Cette tendance semble plus marquée lorsque la pâte kraft atteint des prix élevés.

Un grand nombre de producteurs indépendants font en sorte que le marché américain du papier cannelure est très compétitif et très régional. Les fabricants de boîtes de carton profitent de ce fait et ont tendance à garder moins de papier cannelure en stock que de carton couverture. Les producteurs de papier cannelure sont donc soumis à la loi des livraisons « juste à temps ». Le tiers des usines NSSC se retrouvent dans le mid-ouest, le reste étant dans la région atlantique sud. Les usines s'alimentant exclusivement en papier recyclé se retrouvent près des grands centres urbains. Le marché des boîtes de carton ondulé continue d'augmenter aux États-Unis; la production américaine de 1996 s'élevait à 9,38 millions de tonnes soit une augmentation annuelle de 3%.

L'industrie canadienne du papier cannelure, nettement plus petite que celle de ses voisins du sud, dessert surtout son marché domestique. Sur les 903 000 tonnes métriques expédiées en 1994, 405 000 tonnes étaient exportées (dont 271 000 t. aux É.-U.) et plus de 35% du papier cannelure était fabriqué à partir de fibres recyclées.

Le tableau 6 donne une liste des principaux producteurs canadiens du papier cannelure. On note que très peu d'usines utilisent encore le procédé NSSC classique à partir de

fibres vierges. À noter que les compagnies Stone-Consolidated et Cascades sont les plus gros exportateurs de papier cannelure dans l'est et que Carton St-Laurent retourne vers la production de pâte NSSC.

Tableau 6 : Production canadienne du papier cannelure (corrugating medium)

Compagnies	Localisation	Procédé/production
Stone-Container	Bathurst (N.-B.)	Semi-chimique, 150 000 t/an
Cascades	Cabano (Qué.)	Semi-chimique, 140 000 t/an, papier recyclé/copeaux feuillus
Cartons St-Laurent	Matane (Qué.)	NSSC avec papier recyclé, 180 000 t/an
MacMillan Bloedel	Sturgeon Falls (Ont.)	Semi-Chimique avec papier recyclé
Thunder Bay Pkg.	Thunder Bay (Ont.)	Papier recyclé, 105 000 t/an
Domtar Containerboard	Trenton (Ont.)	Semi-chimique, 170 000 t/an
Crown Packaging	Burnaby (B.C.)	Semi-Chimique avec papier recyclé, 180 000 t/an
Lake Utopia (Irving)	St-Georges (N.-B.)	NSSC

3.9 ÉTUDES PAPETIÈRES SUR LES PEUPLIERS HYBRIDES

Plusieurs pays développent des activités de recherche dans le domaine des arbres à croissance rapide, particulièrement avec les peupliers hybrides. Cette matière première est implantée partout où la forêt naturelle se fait rare ou ne suffit plus à la demande. L'Amérique du Nord (4, 5, 14, 20, 30, 33, 41, 55, 56, 61, 62), l'Europe (13, 45), d'autres pays dont l'ancienne URSS (40, 53) et l'Argentine (18) sont autant de régions diverses qui pratiquent et étudient la populiculture intensive.

Avec cet intérêt marqué, les recherches des années 80 ont portées beaucoup sur les performances forestières et papetières (pour le procédé kraft surtout) des peupliers hybrides en comparaison avec les peupliers indigènes. Une décennie plus tard, on analyse plutôt les performances des hybrides entre eux. Certains se démarquent grâce aux améliorations génétiques subies et à cause des qualités papetières de plus en plus marquées pour différents procédés de mise en pâte.

Plusieurs chercheurs ont démontré que, en plus d'avoir une croissance deux fois plus rapide que les peupliers indigènes, les peupliers hybrides possèdent des qualités papetières améliorées au niveau de la longueur de fibres et des différentes résistances du papier (particulièrement la résistance à la déchirure, à l'éclatement et la longueur de rupture) (6, 18, 20, 47).

Un autre grand avantage de la populiculture est que, une fois le peuplement établi, les arbres récoltés sont aussitôt régénérées par des rejets de souche, les drageons, dont il suffit d'éclaircir les meilleurs sujets pour avoir une nouvelle forêt en croissance. Cependant, cette nouvelle forêt et les subséquentes, doivent posséder au moins les mêmes caractéristiques papetières que l'originale. C'est ce qu'a voulu vérifier une équipe de chercheurs en évaluant et en comparant les pâtes kraft de peupliers hybrides (cultivars de *Populus maximowiczii* et de *P. trichocarpa*) de trois ans de la première et de la

deuxième génération (28). Aucune différence significative ($P \leq 0.05$) n'a été enregistrée concernant le rendement en pâte. Par ailleurs, les feuilles issues des drageons étaient plus fortes que celles de la première génération. On peut expliquer ce phénomène par un meilleur établissement, une croissance supérieure et un développement cellulaire idéal des pousses de la deuxième génération.

Les peupliers ont également l'avantage de pouvoir s'établir sur plusieurs sites de fertilités différentes, selon une multitude de scénarios sylvicoles et sous plusieurs climats. Mais pour un hybride donné, quels sont les impacts de ces facteurs sur les propriétés papetières quand on sait que cet arbre peut être récolté à cinq ans ? Une étude entreprise en ce sens évalue les propriétés papetières des pâtes kraft d'un peuplier hybride (*P. maximowiczii x trichocarpa*) de trois ans ayant subi quatre scénarios d'aménagement différents sur site riche et sur site pauvre soit: site irrigué, site fertilisé, site irrigué/fertilisé et un site témoin (52). Malgré certaines différences évidentes au niveau des croissances, aucune différence significative ($P \leq 0.05$) n'a été observée entre les rendements en pâte pour les différents scénarios, entre les deux qualités de sites et entre les forces respectives des formettes résultantes (longueur de rupture, indice de déchirure, résistance à l'éclatement). Cependant, les arbres issus du site riche comportaient des fibres plus longues que celles du site pauvre.

Une étude a tenté d'évaluer l'influence de la croissance, du type de clone, de l'âge (14 à 21 ans) et du site (pauvre ou riche) sur différentes propriétés comme la longueur des fibres, la chimie du bois (ex : taux de matières extractibles et de lignine) et le ratio aubier/duramen (19). Les résultats révèlent que le type de clone, le site et l'âge de récolte ont une incidence significative sur la longueur des fibres, les réactifs du bois et sur le taux de bois de cœur. Sur les sites pauvres, les jeunes peupliers ont une forte proportion de duramen, bien que, sur les sites plus riches, cette proportion tend à augmenter avec l'âge. La longueur moyenne des fibres est plus importante sur les sites riches et le taux de matières extractibles dans le bois est également plus élevé. Cette influence des sites s'est aussi traduite lors de l'évaluation des pâtes fabriquées avec ces clones selon

le procédé NSSC. Après analyse des performances papetières, le site se révèle comme un facteur plus important que l'âge des arbres. En effet, les pâtes des peupliers issus des sites riches ont un meilleur rendement, des propriétés mécaniques et une blancheur supérieures à celles fabriquées avec les peupliers des sites pauvres. Cette constatation pourrait s'expliquer par une plus grande proportion de bois d'aubier combinée à des fibres plus longues pour les plantations sur sites riches.

En Colombie-Britannique, vingt hybrides (croisements de *Populus trichocarpa*, *P. deltoïdes*, *P. nigra* et/ou *P. maximowiczii*), âgés de cinq ans et provenant de la même plantation, ont été comparés selon les caractéristiques suivantes (15): la densitométrie, la largeur des cernes annuels, la longueur des fibres, la masse linéique, et la proportion de bois de tension. La densité du bois décroît légèrement avec l'âge des arbres et le taux maximal de croissance est enregistré vers la troisième année. La longueur moyenne des fibres augmente graduellement au fil des ans mais la masse linéique demeure plutôt constante. De plus, il s'avère que le bois de tension est quasi inexistant et que la variation entre les clones, au niveau de la densité du bois et de la longueur des fibres, est nettement moins significative que leurs différentes performances de croissance et de rusticité. Toutefois, les auteurs recommandent que la sélection des peupliers papetiers se fasse, non seulement selon la performance forestière mais aussi selon certains critères soient une densité du bois élevée et des fibres d'au moins 1 mm de long avec des parois minces.

Des chercheurs finlandais ont recueilli des échantillons de dix peupliers hybrides provenant de la Finlande, des États-Unis, de l'Angleterre et d'Allemagne (29). Les propriétés chimiques et physiques des fibres ont été analysées et des pâtes mécaniques de meule pressurisée (PGW) et CTMP ont été fabriquées à l'aide d'unités pilotes pour évaluer les propriétés papetières. Une analyse de régression multiple a été réalisée pour tenter de voir les liens qui peuvent exister entre les pâtes et les caractéristiques physico-chimiques des fibres, tout en considérant les différentes variétés d'hybrides. L'énergie spécifique de raffinage utilisée, pour un indice d'égouttage donné, s'avère

une variable importante. La morphologie des fibres, particulièrement la masse linéique, peut varier beaucoup d'un clone à l'autre : de 103 à 143 µg/m. L'épaisseur double des parois des fibres passe de 4.8 à 7.6 µm. Ces différences morphologiques semblent correspondre aux différences observées dans la densité du bois. La longueur des fibres, mesurée avec des échantillons de bois macéré avec le Kajaani FS-200, varie de 0.88 à 1.02 mm. Des différences significatives entre les hybrides ont été observées dans la mise en pâte CTMP et PGW. Les hybrides finnois (*Populus tremula X tremuloides*) se démarquent pour la résistance à la déchirure et à la tension.

Dans cette même recherche, la quantité de produits chimiques, nécessaires pour atteindre un niveau de blancheur donné, varie d'une espèce à l'autre de même que le niveau maximal de blancheur par hybride. Pour expliquer les résultats papetiers, les meilleures variables indépendantes qui ressortent de l'analyse statistique sont : la densité du bois, la masse linéique des macérations de bois et le contenu en lignine. De plus, la longueur des fibres et le taux de particules fines (cellules de rayon) apparaissent aussi comme des facteurs importants de différenciation. La capacité tampon des bois est faiblement corrélée avec la blancheur des pâtes obtenues. Finalement, la variation dans l'énergie spécifique de raffinage des pâtes CTMP pourrait s'expliquer à 80% par le contenu en lignine et la densité du bois. Pour les pâtes PGW et CTMP en imprégnation douce, les variations d'énergie spécifique seraient causées à 50% par le taux de cellules de rayon.

Récemment, une recherche a comparé les pâtes kraft de peupliers hybrides diploïdes (*Populus tremuloides*) et triploïdes (*Populus tremula x tremuloides*) âgés de 19 ans et celles de peupliers faux-tremble de qualité (*Populus tremuloides*) âgés de 27 ans (6). La densité du bois pour les hybrides était de 0,40 g/cm³ et de 0,37 g/cm³ pour le peuplier indigène. Le taux de glucides et le contenu en lignine se sont révélés semblables pour tous. Le taux de matières extractibles des hybrides était légèrement supérieur aux autres.

Les auteurs (6) ont constaté également que :

- Les hybrides diploïdes et triploïdes peuvent être mis en pâte à un indice kappa similaire à celui obtenu avec le peuplier faux-tremble.
- Il n'existe pas de différence significative entre les peupliers au niveau du rendement en pâte obtenu, de la viscosité, et du niveau de blancheur obtenu après blanchiment. Considérant que le peuplier indigène utilisé était de très bonne qualité, on peut s'attendre à ce que les hybrides soient supérieurs aux approvisionnements « normaux » de peupliers indigènes.
- Les peupliers triploïdes possèdent les fibres les plus longues (25% de plus que le peuplier faux-tremble).
- Finalement, les peupliers hybrides à croissance rapide peuvent remplacer ou être mêlés aisément aux peupliers indigènes pour le procédé kraft.

Des chercheurs français ont évalué la variabilité des propriétés papetières de pâtes kraft faites de 25 clones (*Populus euramericana*, *interamericana*, *deltoïdes x balsamifera* et *deltoïdes*) âgés de un an (12). Une première méthode consiste à traiter en cuisson kraft des tiges entières (macrocuisson) et une deuxième utilise la méthode des microcuissons sur de petits échantillons de bois de 1 g, effectués à une hauteur de 50 cm sur la section complète de la tige (technique des microtests papetiers). Les résultats suivants sont passés en revue et comparés pour les deux méthodes : rendement en pâte, indice Kappa, indice permanganate et longueur des fibres. Les résultats des microcuissons ont toujours bien corrélé avec ceux des cuissons de tiges entières. Il ressort clairement que les qualités papetières du bois de peuplier sont sous contrôle génétique dès l'âge de 1 an. Déjà à cet âge, le groupe de recherche souligne la longueur supérieure des fibres des *P. deltoïdes* et des *P. euramericana* sur les hybrides inter-américains. Mais pour la longueur moyenne pondérée des fibres et le rapport indice Kappa/(rendement)², la discrimination des clones n'est jamais parfaitement identique entre les deux méthodes. Les auteurs (12) concluent qu'un travail méthodologique plus affiné est à entreprendre afin que les estimations fournies par le procédé de microcuisson soient le plus proche possible des caractéristiques moyennes des arbres entiers.

Toujours de la France, vingt clones de peuplier (cultivars de *P. euramericana*, *P. trichocarpa* x *deltoïdes*, *P. interamericana* et autres), âgés de 7 ans, proviennent de trois sites différents de plantation et ont été mis en pâtes selon le procédé thermomécanique (TMP) à l'aide d'une unité pilote CTP (45). Tel que mentionné dans plusieurs travaux, la qualité des pâtes (à un CSF de 100 ml) varie d'un site à l'autre mais, au niveau du taux de lignine (de 21 à 25%) et des matières extractibles (de 0.4 à 0.8%), il n'existe pas de différence significative. Certains clones pourraient toutefois être développés selon un faible taux de lignine et une haute proportion de cellulose. Par ailleurs, le taux de croissance influence la structure des fibres, leur morphologie et la densité du bois : les fibres les plus longues (de 0.64 à 0.79 mm en moyenne pondérée par le poids, appareil Kajaani FS-100) proviennent des arbres ayant crû sur les stations plus riches et la densité du bois varie de 0.290 à 0.330 g/cm³. Les auteurs (45) notent que les longues fibres ne correspondent pas toujours avec les meilleures forces du papier.

Après une analyse de variances précédée d'un plan d'expérimentation factoriel, on indique pour les éléments suivants que :

- Le classement des performances des clones ne varie pas, avant ou après un blanchiment au peroxyde d'hydrogène alcalin.
- Le taux de croissance pour un clone donné varie légèrement et inversement avec les qualités papetières de la pâte résultante.
- Deux clones ont permis de fabriquer des pâtes TMP avec des résistances (longueur de rupture, éclatement et déchirure) supérieures à celles d'une pâte TMP d'épinette.
- La main (cm³/g) du papier possède une bonne corrélation avec toutes les caractéristiques physiques étudiées du papier avant et après blanchiment. Ce critère pourrait être suffisant pour sélectionner les meilleurs clones.
- Une quantité plus élevée de cellulose correspond à une amélioration des propriétés papetières comme la longueur de rupture, et entraîne une moindre consommation d'énergie de raffinage.

- La composante de couleur jaune (valeur de b* de CIELAB) apparaît également comme un critère de différenciation des clones. Cette valeur corrèle fortement et négativement avec les propriétés physiques des pâtes TMP (mais il est mentionné que ce résultat est difficile à interpréter).

Finalement, les auteurs (45) concluent que la sélection clonale pour les procédés kraft et TMP pourrait être basée simplement sur la couleur du bois , sur sa densité et sur ses composantes chimiques.

À la lumière des derniers travaux de recherche sur les peupliers hybrides, il appert qu'à partir des meilleurs clones différenciés forestièrement pour leur croissance et leur rusticité, une seconde sélection sur les propriétés papetières serait ultimement souhaitable et faisable. Il semble également que les différences papetières perçues, et les plus significatives entre les clones, proviennent d'essais sur des pâtes à haut rendement (CTMP, TMP, NSSC) plutôt que de ceux sur des pâtes kraft. La sélection des peupliers destinés à la production de pâtes serait donc particulièrement importante pour les procédés à haut rendement puisqu'une plus grande proportion du matériel initial (cellulose, hémicellulose, lignine) est conservée pour la fabrication du papier.

Au Québec, les recherches papetières sur les peupliers hybrides à croissance rapide ne font que débuter au fil de l'intérêt croissant de l'industrie papetière québécoise et à mesure que du matériel mature est rendu disponible par le Ministère des Ressources naturelles du Québec. Les quelques clones québécois étudiés semblent rencontrer les caractéristiques du peuplier faux-tremble ou possèdent même des résistances papetières supérieures (rapport interne, CRPP). La blancheur naturelle du bois des hybrides et un taux de pourriture quasi nul sont d'autres des nombreux avantages observés.

4. TECHNIQUES EXPÉIMENTALES

4.1 MATIÈRE PREMIÈRE

Parmi tous les clones recommandés par le MRNQ, cinq ont été choisis pour la présente étude (tableau 7). Ils se sont montrés relativement rustiques et comportaient peu de gélure et d'insolation. La majorité d'entre eux ont résisté aux attaques du chancre septrien (*Septoria musiva Pk.*) et sont adaptés aux zones écologiques 1 et 2 (sud du Québec).

Tableau 7 : Liste des clones utilisés

Clone	Origine	Type d'hybride et cultivar
131	Québec	<i>Populus euramericana</i> = <i>P. deltoides X nigra</i>
3225	Belgique	<i>P. trichocarpa X deltoides</i> cultivar Unal
3226	Belgique	<i>P. trichocarpa X deltoides</i> cultivar Beaupré
3230	Belgique	<i>P. trichocarpa X deltoides</i> cultivar Boelare
3308	France	<i>Populus euramericana</i> = <i>P. deltoides X nigra</i> cultivar Regenerata

4.1.1 LOCALISATION

La plantation ayant servi au présent projet se situe à St-Ours, près de Sorel, dans la vallée du Richelieu sur des terres du MRNQ (figure 4). Elle se trouve dans les limites de la forêt décidue de la région écologique 1(b) de l'érablière à caryer et à tilleul (42).

Le sol y est fertile, argileux, bien structuré avec un bon drainage. La plantation couvre une superficie de 1,6 ha d'anciennes terres agricoles abandonnées et est entourée de nouvelles plantations de peupliers hybrides maintenant âgés de 4 ans.

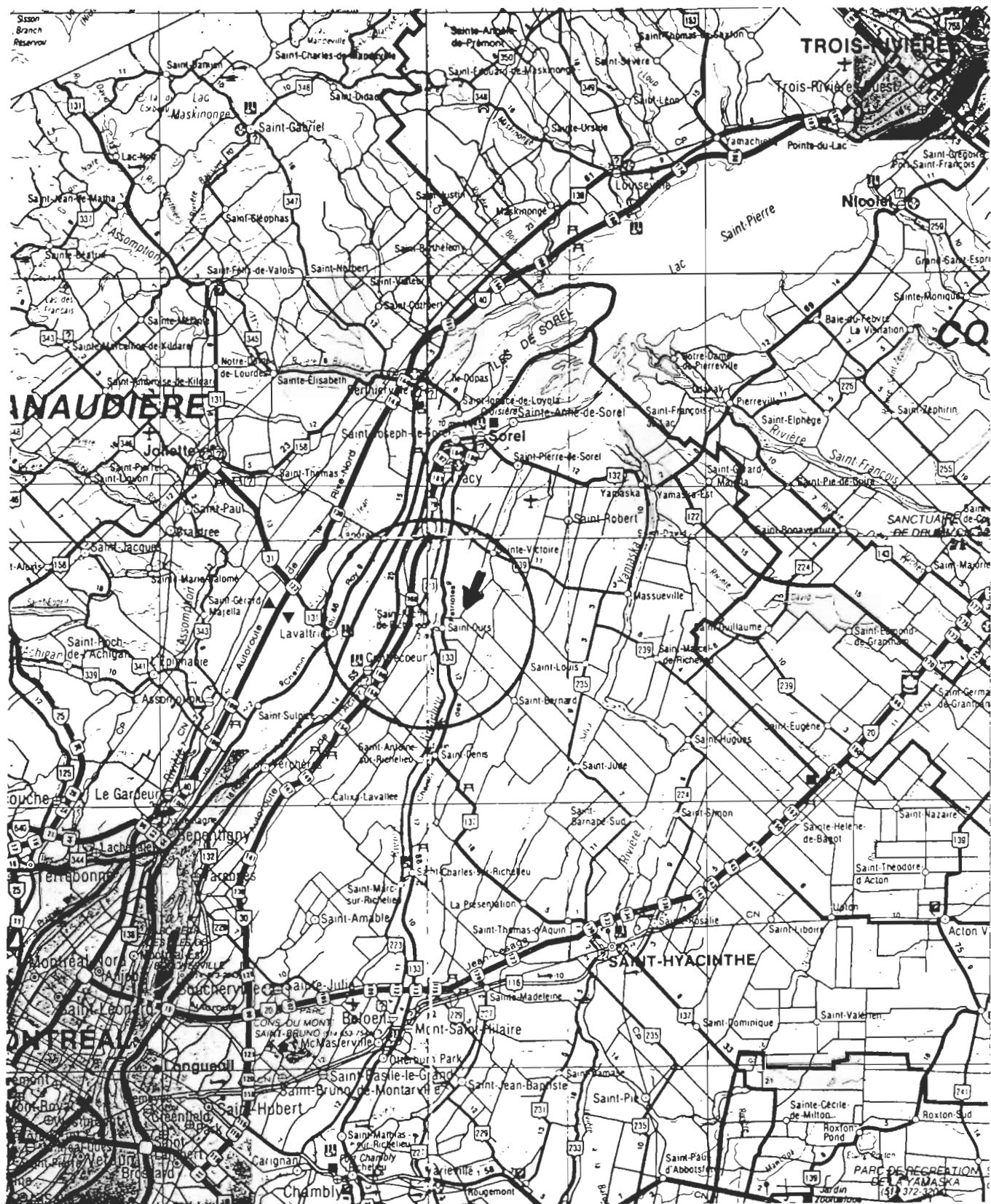


Figure 4 : Carte de localisation de la plantation

4.1.2 HISTORIQUE DE LA PLANTATION

En 1981, l'établissement de la plantation du MRNQ a débuté par un traitement au phytocide, suivi d'un labourage et d'un hersage du sol. La plantation s'est faite au moyen de boutures d'une centaine de clones différents, sans installation de paillis, avec un espacement de 2,4 mètres par 3 mètres entre les tiges. La densité résultante des tiges se situait autour de 2257 tiges/ha. Une première éclaircie a été réalisée à 4 ans pour ramener la densité à 1400 tiges/ha. Les effets de la compétition naturelle entre les arbres et les attaques du chancre septorien ont provoqué une éclaircie sélective qui a réduit la densité des tiges à 566 tiges/ha.

Des mesures dendrométriques et pathologiques ont été prises sur chaque tige par le MRNQ les 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, et 15ème année, soit jusqu'à la récolte finale en mai 1996. Les mesures se sont concentrées sur les tiges excluant celles se trouvant dans « l'effet de bordure ».

4.1.3 MÉTHODE DE RÉCOLTE

Cinq arbres différents par clone ont été choisis aléatoirement par un chercheur du MNRQ pour la récolte. La coupe a été effectuée de façon conventionnelle avec scie à chaîne et débardage au moyen d'un tracteur de ferme. Le tronçonnage des billes s'est fait sur place en tenant compte des différentes utilisations potentielles de ces arbres. Certaines billes présentaient une légère coloration naturelle du cœur mais aucune ne possédait de carie. On peut retrouver à l'annexe 1, quelques-unes des photographies prises lors de cette opération.

Les premières billes de pied, d'une longueur de 1,22 m (4 pieds), ont été triées pour une usine de déroulage de Lac Mégantic. À 1,3 mètres du sol (au dhp), une rondelle a été prélevée sur chaque tige pour des études sur le bois comme la densité. À la suite,

une bille de 1 mètre a été choisie pour Forintek Corp., aux fins de l'étude du sciage. Finalement, deux billes de 4 pieds, dûment identifiées par clone, ont été réservées pour l'étude papetière. Les billes de pâtes avaient un diamètre moyen de 18 cm, dimension maximale pour pouvoir les réduire aisément en copeaux dans un déchiqueteur de scierie conventionnel.

4.1.4 TRANSFORMATION ET PRÉPARATION DES COPEAUX

Les billes ont été écorcées manuellement et mises en copeaux au moyen d'un déchiqueteur à trois couteaux Forano 48`` à l'usine de Lac Mégantic. Les copeaux ont été classés, séparément par clone, par épaisseur (appareil Rader) et par dimensions (classificateur Williams). Les trop épais, surdimensionnés et les sciures ont été enlevés pour ne conserver que la tranche de 2 à 6 mm (appareil Rader). Par la suite, les copeaux ont été lavés par flottation pour éliminer les saletés et les particules métalliques qui pourraient être présentes. Les copeaux non utilisés immédiatement ont été séchés à l'air afin d'éviter leur pourrissement et la moisissure.

4.2 DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DU BOIS

La densité spécifique du bois est un indicateur très important pour évaluer le potentiel et le rendement papetier d'une espèce donnée. Elle a été évaluée de trois façons sur les cinq clones étudiés : méthode par immersion des copeaux (méthode TAPPI 258), immersion de morceaux de bois prélevé au dhp et par densitométrie au rayon X (65). Cette dernière méthode consiste à mesurer l'évolution de la densité pour chacun des cernes annuels tout au long de la croissance des arbres. L'appareil utilisé, le densitomètre, a été développé par Forintek Corp., et l'expérience a donc été réalisée à leur laboratoire de Québec. On retrouve à l'annexe 3 un résumé de cette méthode.

4.3 CARACTÉRISATION DES FIBRES

Les propriétés des fibres, comme la longueur moyenne des fibres, la masse linéique et le taux de fibres très courtes, ont été évaluées à l'aide de l'appareil Fiber Quality Analyzer (Optest) à partir d'une macération de bois dans de l'acide acétique et du peroxyde d'hydrogène (1 :1 vol.) à 70°C (voir p. 54 , section 5.5 pour les détails).

4.4 PRODUCTION DES PÂTES CTMP

La production des pâtes a été effectuée à l'aide de l'unité pilote (capacité nominale de 2 tonnes métrique/jour) Sunds Defibrator CD300 du CRPP de l'UQTR. Les principaux éléments de cette unité sont : le système d'alimentation des copeaux, le lessiveur et le raffineur (figure 5)

L'alimentation en continu se fait par un système de vis sans fin qui dirige les copeaux vers le lessiveur. Cette vis conique permet également la compression des copeaux (ratio de compression : 2). La compression facilite l'absorption ultérieure des produits chimiques dans le lessiveur par un effet « éponge » imposé aux copeaux. Deux vis verticales amènent les copeaux vers le lessiveur où le temps de rétention est ici de 10 minutes. La température du lessiveur se règle à volonté en modifiant la pression de vapeur.

Enfin, les copeaux sont dirigés vers le raffineur (type CD300, « disc and cone »). L'espacement entre les disques plats et coniques s'ajuste indépendamment. Le raffinage se fait sous une pression de 25 lb/po² (173 kPa) pour le premier stade. La pâte est ensuite séparée de la vapeur à sa sortie.

L'interpolation des diverses propriétés à un indice d'égouttage cible (CSF=300 ml) est largement utilisé par l'industrie et nécessite un nombre d'échantillons supérieurs à trois

avec différents CSF. La variation de CSF s'obtient en modifiant l'écart entre les plaques du raffineur lors du deuxième stade de raffinage à pression atmosphérique. Les conditions de raffinage détaillées se retrouvent à l'annexe 4 avec sept pâtes d'indice d'égouttage décroissant par clone et une reprise par essai pour la validité statistique. Ces pâtes correspondent donc à des distances de plaques diverses et à des énergies croissantes de raffinage.

Par la suite, les pâtes sont lavées et épaissies à l'aide d'une lessiveuse commerciale. La cuve rotative contient un sac de coton servant à retenir les matières fines. Finalement, les pâtes sont gardées au réfrigérateur à 4°C pendant toute la durée des essais.

Les paramètres de raffinage retenus en fonction de conditions réalistes d'opération en usine sont:

- Temps de préchauffage à pression atmosphérique : 10 minutes
- Temps de rétention : 10 minutes, à 130°C et à 173 kPa.
- Taux de sulfite de sodium appliqué : 4%
- Taux de soude caustique appliqué : 3%
- Indices d'égouttage visés après le 2^{ème} stade de raffinage: de 100 à 400 ml CSF
- Production moyenne (poids sec, au 2^{ème} stade) : 0.5 kg/min.
- Consistance moyenne à la sortie (au 2^{ème} stade): 11%

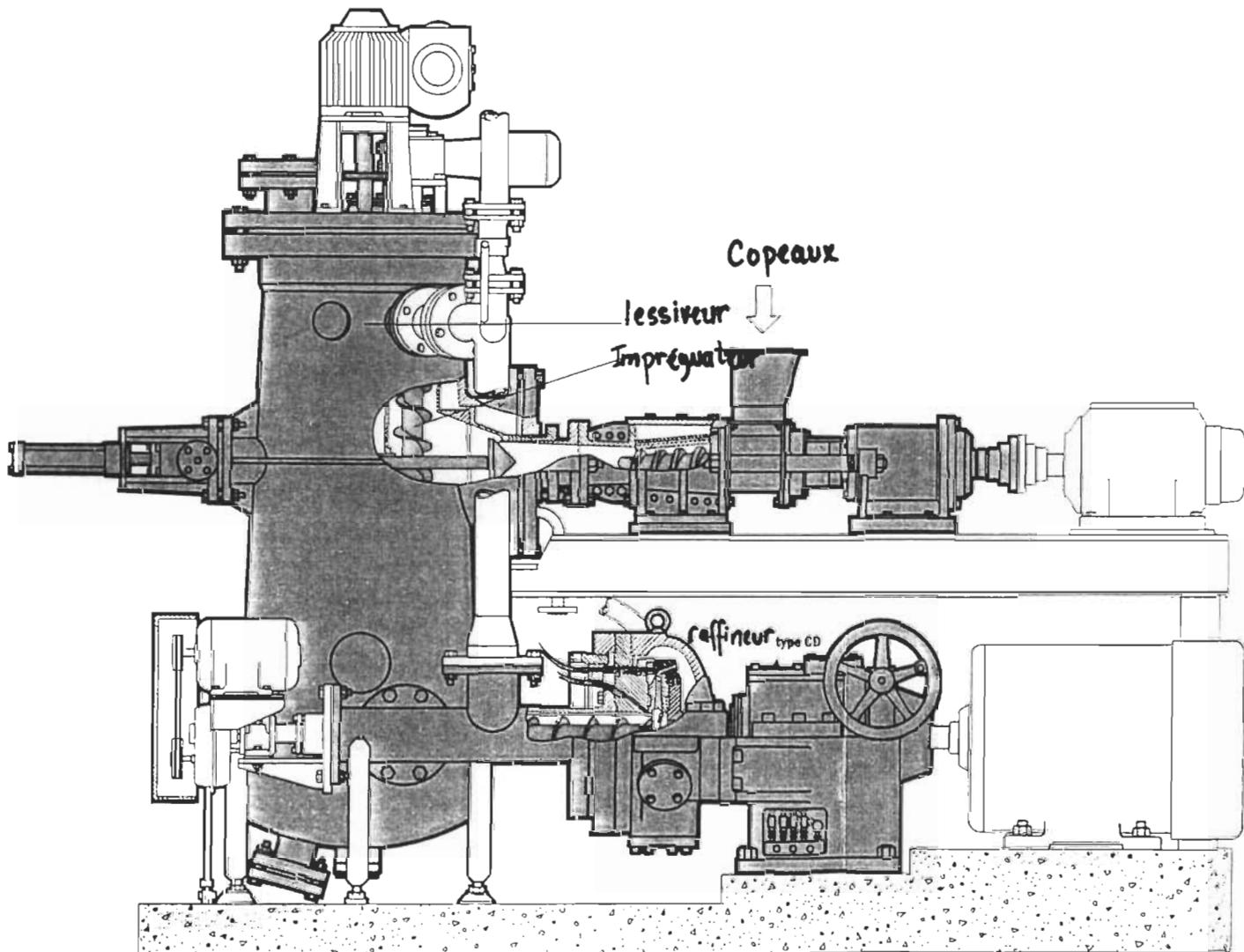


Figure 5 : Raffineur Sunds Defibrator CD 300

4.5 PRODUCTION DES PÂTES NSSC

Les paramètres de fonctionnement du second procédé choisi, le NSSC, ont été basés sur une production industrielle de papier cannelure, constituant central du carton ondulé. Les cuissons ont été accomplies dans un lessiveur d'une capacité d'environ 6 litres (M/K System, U.S.) muni d'un chauffage électrique indirect. L'appareil de cuisson possède un système de recirculation de la liqueur. Deux séries identiques ont été effectuées par clones et pour le tremble, pour obtenir un total de 12 pâtes. Les conditions de cuissons étaient les suivantes :

- 18% Na₂SO₃ (sur le poids sec du bois)
- 5% Na₂CO₃
- Rapport liqueur sur bois : 1 : 6
- pH : 10
- Temps de montée à 100° C : 15 minutes
- Temps d'imprégnation à 100° C : 60 minutes
- Temps de montée de 100° à 170° C : 30 minutes
- Temps de cuisson à 170° C : 60 minutes

Enfin, les copeaux ont été lavés puis réduits en pâtes par raffinage atmosphérique, au moyen de l'unité pilote Sunds Defibrator, avec comme cible 400 ml de CSF. Les pâtes obtenues ont été conservées au frais jusqu'à leur utilisation. Deux pâtes ont dû être repassées à la pile raffineuse PFI afin de réduire leur indice d'égouttage à un niveau statistiquement comparable aux autres.

4.6 PROPRIÉTÉS DES PÂTES CTMP ET NSSC

L'énergie totale de raffinage requise (stade 1+2) a été mesurée dans tous les cas. La latency des pâtes a été enlevée à l'aide d'une désintégration à l'eau chaude (environ 90°C, désintégrateur Domtar). La plupart des essais chimiques et physiques sont conformes aux normes standards TAPPI ou de l'ACPP en utilisant les appareils du CRPP. L'identification des différents essais réalisés se retrouvent au tableau 8.

Les mesures papetières suivantes ont été prises sur quatre pâtes CTMP par clone avec leurs reprises correspondantes (40 au total) et sur les pâtes NSSC (12 pâtes): classification des fibres Bauer-McNutt, densité spécifique, longueur moyenne des fibres, CSF, longueur de rupture, allongement, énergie de rupture, indices d'éclatement et de déchirure, blancheur, $L^*a^*b^*$, opacité, coefficient de diffusion et d'absorption et les refus Pulmac (0.006" ou 0.004").

Les quatre échantillons de pâte analysés correspondent à des indices d'égouttage de 200, 275, 300 et 350 ml environ pour les pâtes CTMP et de 445 ml pour les pâtes NSSC. Seul le rendement des cuissons NSSC a pu être déterminé.

4.7 BLANCHIMENT DES PÂTES NSSC ET CTMP

Le blanchiment des pâtes à très haut rendement permet de décolorer la lignine résiduelle sans la dissoudre. La méthode la plus utilisée pour l'obtention de blancheurs élevées est la méthode oxydante utilisant le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Ce composé réagit avec les groupements chromophores de la lignine et plus spécifiquement avec les quinones et les carbonyles. Dans le cas de la présente étude, l'objectif de cette étape visait essentiellement la mesure de l'aptitude au blanchiment plutôt que l'optimisation d'un blanchiment pour ces nouvelles espèces de bois.

Les douze pâtes NSSC et dix pâtes CTMP (CSF = 300 ml) ont été préalablement traitées avec du DPTA., un agent chélatant qui élimine l'influence des métaux responsables de la décomposition du peroxyde d'hydrogène. Les conditions de traitements au DPTA étaient les suivantes :

- Température : 60°C
- Consistance de la pâte : 3%
- Charge DPTA : 0,25%
- Durée : 15 minutes

Suite au traitement DPTA, les pâtes sont épaissies à la constance désirée pour le blanchiment. Les différents produits sont incorporés à la pâte, puis placés dans des sacs de plastique scellés. Ces derniers sont immergés dans un bain thermostaté où la température est maintenue à 60°C. À la fin du temps de réaction, un échantillon de liqueur est prélevé pour déterminer le pH final et le peroxyde résiduel. Enfin, la pâte est diluée à une consistance de 1% puis acidifiée à un pH de 5,5 avec le métabisulfite de sodium. La neutralisation a pour but de décomposer le peroxyde résiduel et de stabiliser la blancheur. Finalement, les pâtes sont filtrées et gardées au frais et à la noirceur. Les formettes de pâte destinées aux essais optiques ont été préparées dès le lendemain.

Les différents éléments du blanchiment au peroxyde étaient les suivants :

- Consistance de la pâte : 15%
- H₂O₂ : 5%
- NaOH : 4%
- Silicate de Na : 3%
- Sulfate de Mg : 0,05%
- Température : 60°C
- Temps : 120 minutes

De l'eau déminéralisée a été utilisée pour toutes les étapes du blanchiment : le prétraitement, la préparation des solutions de blanchiment ainsi que la fabrication des feuilles en laboratoire.

Tableau 8 : Liste des essais normalisés correspondants

Essais	Normes ACPP	Normes TAPPI
Enlèvement de la latence par désintégration à chaud (Domtar)	C.8p	-
Concentration de la pâte	D.16	-
Indice d'égouttage	C.1	-
Taux de rejets Pulmac	-	-
Classification Bauer McNett	-	T233 om-95
Conditions standards et atmosphère contrôlée	A.4	-
Fabrication des feuilles	C.4	-
Grammage du papier	D.3	-
Essais physiques des formettes de pâte	D.12	-
Épaisseur	D.4	
Longueur de rupture	-	T220 sp-96
Indice d'éclatement	-	T404 om-88
Indice de déchirure	-	T414 om-88
Blancheur ISO (Technibrite)	E-1	-
Opacité ISO	E-2	-
Coefficient de diffusion de la lumière	-	-
Coefficient d'absorption de la lumière	-	-
Détermination du taux de lignine insoluble	-	T222 om-88
Détermination du taux de pentosanes	-	T223 om-84
Solubilité à l'eau chaude		T207 om-93
Solubilité à 1% de NaOH		T212 om-93
Taux de cendres		T211 om-93
Détermination du peroxyde résiduel	J-16	
Matières extractibles au DCM	-	T204 om-88

4.8 MÉTHODE D'ANALYSE

Les résultats obtenus ont été comparés statistiquement afin de mesurer leur validité et le degré de différenciation entre les différents clones pour toutes les caractéristiques analysées. Pour ce faire, nous avons utilisé une analyse de variance (ANOVA) qui

permet d'examiner la signification de toutes les différences perçues pour tous les essais effectués. En général, si cette épreuve d'ensemble ne révèle pas de différences significatives, le travail s'achève là et il est inutile d'éprouver la signification de toutes ces différences de groupes pris deux à deux (63,64).

La technique de l'ANOVA fournit les moyens de calculer deux estimations de la variance indépendamment l'une de l'autre. L'une estime la variance en fonction des moyennes de groupes (variance intergroupe), l'autre estime la variance en fonction des individus en éliminant l'effet des différences possibles de groupes (variance intragroupe). S'il n'existe pas de différences significatives entre les groupes, (l'hypothèse que nous voulons éprouver), ces deux estimations doivent être équivalentes dans les limites des fluctuations d'échantillonnage.

Nous comparons donc ces deux estimations de la variance de la population totale par division en ayant soin de porter au numérateur l'estimation de la variance inter-groupe. Ce quotient s'appelle le rapport F. Les fluctuations entre échantillons de la valeur de F, aux divers niveaux de probabilité (95%, 99%, ou 99,9%), dépendent des degrés de liberté (dl) du numérateur (dln) et du dénominateur (dld). Les valeurs de F sont fournies directement par des tables que l'on retrouve dans les livres de statistiques.

Si le rapport F des échantillons est inférieur à la valeur permise par les fluctuations de l'échantillonnage (valeur de la Table F), les différences qui existent entre les différents clones ne sont pas significatives pour le niveau de confiance choisi. Si le rapport F des échantillons dépasse la valeur permise (valeur de la Table F), nous pouvons conclure qu'il existe des différences significatives et réelles entre les moyennes des groupes. On peut alors passer à d'autres tests pour identifier plus précisément la signification de ces différences.

Comme nos comparaisons résultent de l'examen des données recueillies, il s'agit alors de comparaisons *a posteriori*, où des procédés particuliers d'analyse statistiques

s'appliquent. Le tableau 9 illustre le processus suivi pour notre étude (63). Notons que le logiciel « Statgraphics » a été utilisé pour la réalisation des principaux calculs.

Tableau 9 : Processus suivi pour le test de comparaison multiple

1. Décision du taux d'erreur : nous avons choisi un niveau d'erreur honnête pour un petit groupe de données et communément employé, soit 5% (ou 95% d'intervalle de confiance).
2. Le but de l'exercice est de découvrir la signification de différences suggérées après coup par les données recueillies (post hoc).
3. Procéder à l'Analyse de la variance pour chacun des tests effectués sur les clones.
4. Si $F < F_{0,95}(d_{ln}, d_{ld})$, il n'est pas significatif. On doit assumer l'hypothèse que toutes les moyennes de ce test sont équivalentes et qu'il n'existe donc pas de différences significatives entre elles.
5. Si $F > F_{0,95}(d_{ln}, d_{ld})$, il est significatif. Comme le taux d'erreur ne se rapporte pas à l'expérience ou à l'ensemble des contrastes, mais plutôt à un choix personnel, nous avons choisi le Test de Duncan pour identifier plus clairement la signification des différences décelées. Ce test permet de protéger les résultats des erreurs de type 1 pour un petit nombre de comparaisons. L'erreur du type 1 est celle que l'on commet en rejetant l'hypothèse que les moyennes sont équivalentes lorsqu'elles le sont effectivement.
6. Chacun des résultats, présentant des différences significatives, est illustré par un graphique où les groupes homogènes, de résultats équivalents, et les clones, se démarquant nettement des autres, sont clairement identifiés. La mention **groupe homogène** indique donc dans la discussion que les clones qui y sont présents n'ont pas de différence significative entre eux pour une caractéristique donnée.

5. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

5.1 CROISSANCE

A l'âge de récolte (15 ans), le diamètre moyen des clones se situe entre 24 et 36 cm. La hauteur atteint, en moyenne, 22 mètres. Le clone 3226 se démarque avec 23,5 mètres de haut et 36 cm de diamètre suivi de près par le 3308. Sous nos latitudes, ces résultats sont exceptionnels quand on sait qu'un peuplier faux-tremble, du même âge et sur un site comparable, n'atteindra que 15 cm environ ou 55 ans pour des proportions similaires. L'accroissement annuel moyen a été estimé à plus de 10 m³/ha/an, soit près du triple de celui de certaines peupleraies naturelles, avec un volume de plus de 200 m³/ha (70 tma/ha). Les figures 6 et 7 illustrent respectivement la croissance en hauteur et en diamètre de ces arbres avec des points de comparaison pour le peuplier faux-tremble et le produit des meilleurs hybrides du peuplier deltoïde, indigène au Québec, le clone 2021.

L'analyse des données dendrométriques a été réalisée sur l'ensemble des arbres de numéros de clones correspondants aux nôtres à partir des informations fournies par le MRNQ. En aucun temps durant ces 15 années, la localisation des arbres dans les blocs ne révèle une différence significative sur la croissance, ce qui est normal vu la petite superficie de la plantation. Seuls la hauteur à 10 ans et le diamètre à 15 ans présentent des différences significatives qui sont illustrées par les figures 8 et 9.

Les clones 3226 et 3308 possèdent la meilleure croissance en diamètre à 15 ans. En reculant de cinq ans, on constate que la même tendance se dessinait cette fois au niveau de la hauteur. La récolte aurait d'ailleurs pu être réalisée à cet âge avec plus de tiges à l'hectare, pour un volume probablement supérieur et pour un usage papetier surtout. À l'âge de cinq ans, les clones forment un groupe homogène de croissance en diamètre, mais déjà le 3226 et 3308 se démarquent légèrement par leur hauteur. À

noter que le clone 131, originaire du Québec, possède la croissance la plus lente durant toutes ces années.

Il serait intéressant de suivre l'évolution des rejets de souche après la coupe du peuplement initial pour vérifier si les différentes particularités (rusticité, croissance, propriété du bois, etc.) propres aux clones se perpétuent bien d'une génération à l'autre.

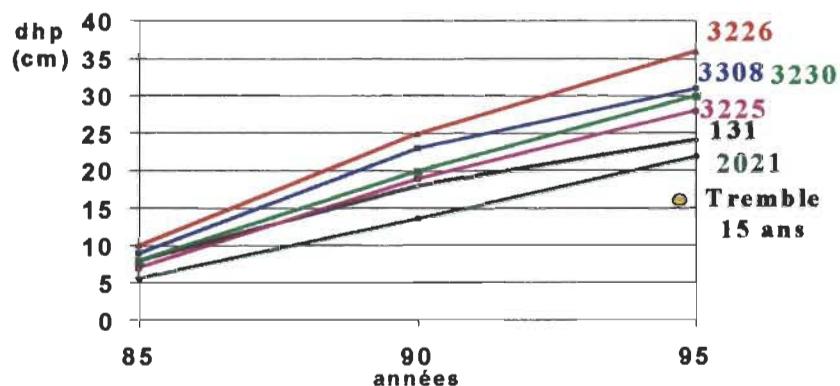


Figure 6 : Croissance en diamètre des peupliers hybrides

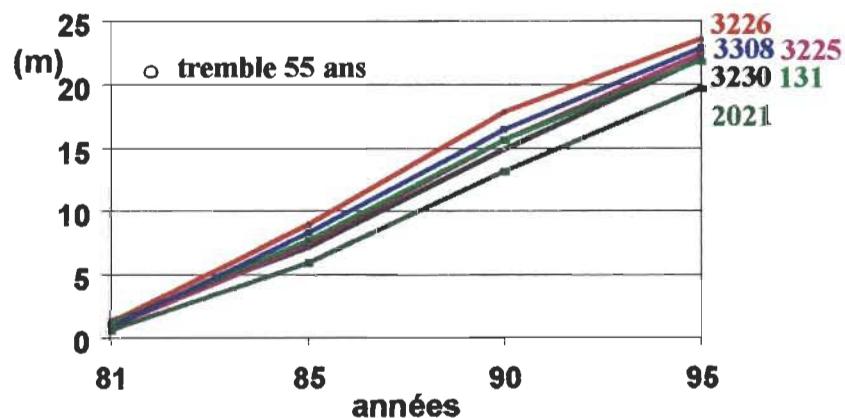


Figure 7 : Croissance en hauteur des peupliers hybrides

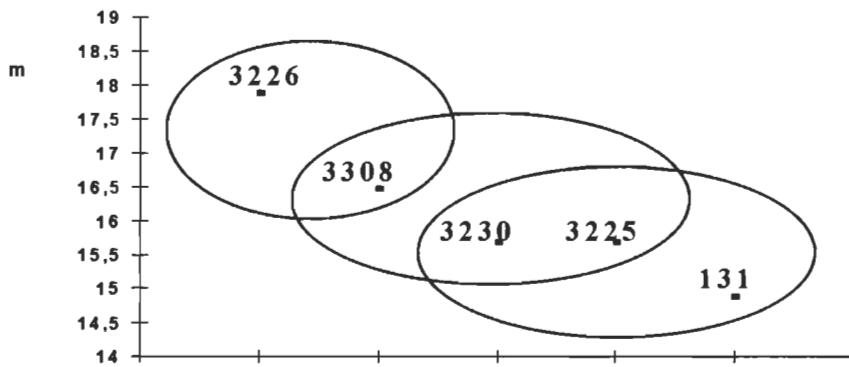


Figure 8 : Hauteur moyenne à 10 ans (m)

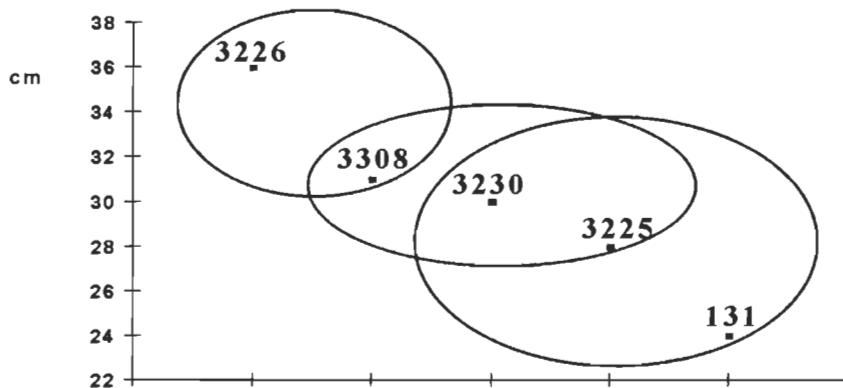


Figure 9 : Diamètre moyen à 15 ans (m)

5.2 DENSITÉ DU BOIS

Malgré une croissance très rapide, la densité du bois des peupliers hybrides se compare à celle du peuplier faux-tremble et aux densités rapportées par la littérature spécialisée (9, 15, 45). Elle oscille entre 0,304 et 0,322 g/cm³ (voir tableau 10). Nous l'avons calculé selon la méthode d'évaluation de la densité basale dans un premier temps avec les copeaux et ensuite avec des morceaux de bois prélevé à 1,3 m du sol (au dhp) sur

tous les arbres récoltés. La différence observée peut s'expliquer par la provenance des copeaux plus haut qu'au dhp.

Tableau 10 : Densité du bois (g/cm³)

Clones et autres peupliers	Densité des copeaux	Densité du bois	Densité Littérature (15)
131 (<i>P. deltoides x P. nigra</i>)	0,298	0,304	0,324
3225 (<i>P. deltoides x P. trichocarpa Unal</i>)	0,359	0,305	0,334
3226 (<i>P. deltoides x P. trichocarpa Beaupré</i>)	0,344	0,321	0,334
3230 (<i>P. deltoides x P. trichocarpa Boelare</i>)	0,332	0,311	0,322
3308 (<i>P. deltoides x P. nigra Regenerata</i>)	0,327	0,322	0,335
<i>Populus trichocarpa</i>	-	-	370-430
<i>Populus deltoides</i>	-	-	400
<i>Populus tremuloides</i>	0,343	-	310-470

On sait que la densité du bois varie en hauteur et radialement dans les arbres (44). Plus particulièrement pour les essences à pores diffus, comme le peuplier, on croit que la densité spécifique dépend surtout des changements, en proportion, au niveau du volume des vaisseaux et des parois des fibres. Pour les clones du MRNQ, la densité serait élevée à la base des arbres, décroîtrait à mi-hauteur, et croîtrait par la suite jusqu'à la limite marchandes des tiges (9). Par ailleurs, certaines études démontrent que la densité du bois décroît avec l'âge des hybrides (15), tandis que d'autres indiquent exactement le contraire (44).

Dans des études récentes (15, 45), nous avons retrouvé des densités comparables à celles mesurées pour les clones de même nom commercial Unal, Beaupré et Boelare. Les différences peuvent s'expliquer par la différence de latitude où les arbres ont pu croître, par l'âge de récolte, ou à cause des différentes méthodologies employées.

Même si la littérature indique que la densité pourrait être un facteur de différenciation important au niveau papetier, aucun des résultats obtenus avec le bois des clones ne présentent des différences significatives. La densité trouvée avec les copeaux indique,

par contre, que les cinq clones sont différents les uns des autres. Cependant, nous considérons ce dernier résultat avec réserve puisque nous n'avons pas la localisation précise des copeaux prélevés et échantillonnés pour chaque arbre étudié.

La densitométrie nous révèle que la densité spécifique des arbres varie peu d'une année de croissance à l'autre et dans le même ordre de grandeur entre les clones qu'au tableau 10. Un léger creux s'est produit en 1987 ce qui est sûrement dû à la réaction des arbres à l'éclaircie pratiquée l'année d'avant (voir figure 10). D'ailleurs, on observe un pic en 1986 pour l'évolution de la croissance annuelle (voir figure 11). En 1990, on observe également un pic de croissance qui peut être dû à des conditions météorologiques favorables ou à une éclaircie produite par sélection naturelle suite aux attaques de maladies comme le chancre septorien.

Finalement, ces observations nous permettent de conclure que les interventions sylvicoles ont eu peu d'influence sur les variations de densité dans le bois au cours de la relative courte vie des clones.

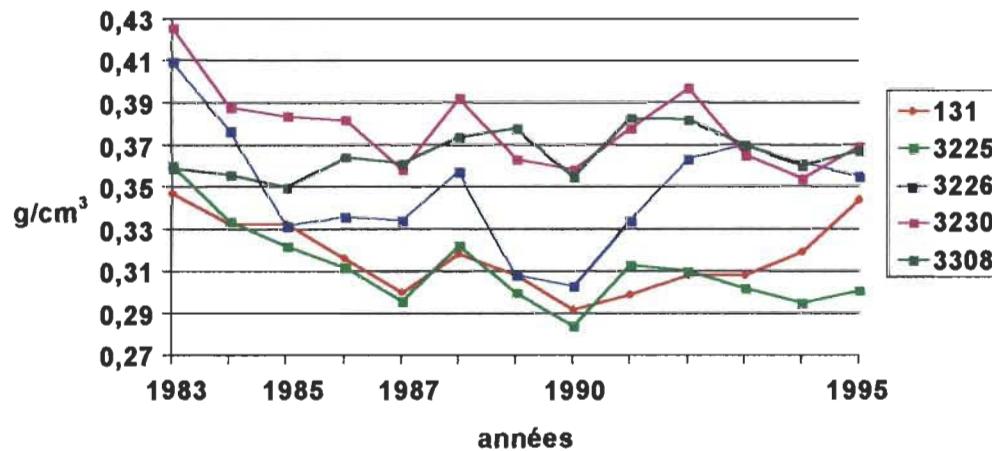


Figure 10 : Évolution de la densité par année (g/cm³ par an)

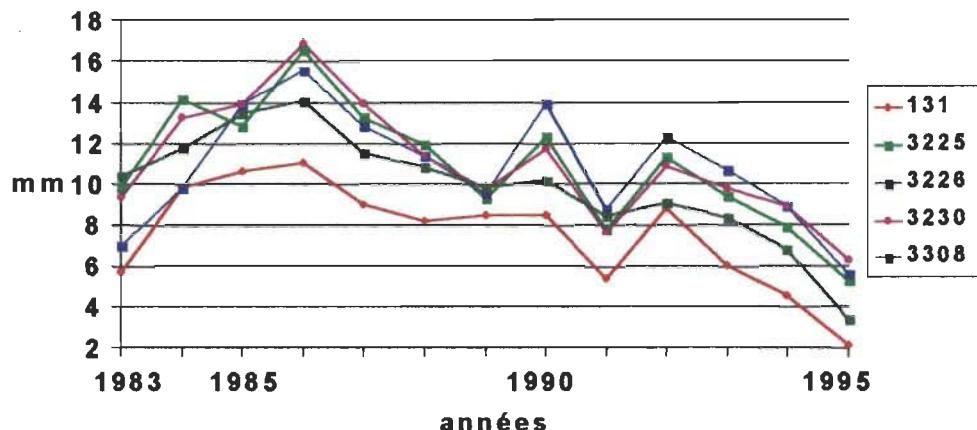


Figure 11 : Évolution de la croissance annuelle (cerne annuel mm/an)

5.3 RENDEMENT LIGNEUX

Idéalement, les plantations de peupliers destinées à la production de bois de pulpe devraient avoir une densité de 930 à 1600 tiges/ha pour une récolte autour de 10 ans. On estime le coût d'établissement d'une plantation de peuplier à environ 2000\$/ha ce qui comprend la préparation du terrain, la mise en terre des boutures, le contrôle de la végétation et les services professionnels et techniques (source Domtar, Cornwall). Le coût d'établissement de la plantation peut être amorti, sur plus d'un cycle de production (2 cycles = environ 20 ans), puisqu'après une première récolte, les drageons émergent des souches pour former le peuplement suivant. Pour une production de bois de pulpe, les éclaircies ultérieures sont superflues au premier cycle de la plantation. Au deuxième cycle, les drageons doivent être éclaircis (610\$/ha, source MRNQ) pour ne conserver que les sujets d'avenir (environ 3 drageons par souche).

Pour une production de bois de haute qualité (sciage et déroulage), on doit compter une éclaircie précommerciale (610\$/ha) et commerciale (595\$/ha), cette dernière générant environ 30% du volume sur pied de bois à pâte. Le cycle de culture est alors plus long soit de 15 à 20 ans.

Dans le cas d'un approvisionnement de copeaux non écorcés, une production de peupliers hybrides de trois ans, à raison de 20 000 tiges/ha est possible et donnerait un rendement de 30 tma/ha (déchiqueté sur place) (33). Pour ce faire, on garde tous les drageons qui émergent des souches après une première récolte.

À partir des données dendrométriques de tous les arbres à 10 ans (données du MRNQ) et des tables de rendement des hybrides ontariens (33), le volume marchand moyen de chaque clone a été calculé approximativement (table de rendement pour les clones étudiés non disponibles). Le tableau 11 donne le rendement ligneux d'une plantation de 10 ans, à 1100 tiges/ha et à un espacement de 3 m x 3 m pour chacun des clones étudiés. On note que la densité du bois, qui se révélait peu différenciée, a pourtant un fort impact sur la production ligneuse globale. Le rendement ligneux, passant de 58 à 110 tma/ha, devient donc une caractéristique économique importante dans le choix des clones.

Plusieurs autres scénarios pourraient être envisagés : ils rendraient la production plus versatile et, par la valeur ajoutée des tiges, pourraient améliorer la rentabilité des plantations. Pour un propriétaire de lot privé, ce scénario est peut-être moins risqué malgré la période plus longue de culture et les éclaircies à faire. Par exemple, la plantation étudiée pour la présente étude comportait une forte proportion de produits de valeur soit du bois de déroulage et du bois de sciage (75% du volume, environ). Les résultats préliminaires de l'étude sur les hybrides (sciage et déroulage) indiquent un bon potentiel pour ces marchés, car le bois de qualité est de plus en plus rare (réf. Forintek Canada Corp.). Le tableau 12 résume les spécifications requises des différentes productions, la valeur approximative et l'âge de rotation de ces cultures (33). La valeur approximative du bois rond provient des prix obtenus par les propriétaires de lots boisés du Syndicat des Producteurs de bois de la Mauricie (prix du bois non livré).

Tableau 11 : Rendement ligneux des clones à 10 ans, 1100 tiges/ha

Clones	DHP moyen (cm)	Hauteur moyenne (m)	Volume marchand (m ³ /tige)	Volume marchand (m ³ /ha)	Densité du bois (tma/m ³)	nombre de tma/ha	Rendement ligneux tma/ha/an
3226	24	18	0.3117	342.9	0.321	110.1	11.01
3308	24	17	0.2816	309.8	0.322	99.7	9.97
3230	20	16	0.1914	210.5	0.311	65.5	6.55
3225	20	15	0.1729	190.2	0.305	58.0	5.80
131	20	15	0.1729	190.2	0.304	57.8	5.78
moy	22	16	0.2221	244.3	0.313	76.4	7.64

Tableau 12 : Spécifications des productions et valeur approximative

Produits	Spécifications	Valeur approx.	Rotation approx.
Copeaux d'arbres entiers :			
• pâte	minimum de 13 cm au dhp	25-80\$/tma	10-12 ans
• panneaux composites	ou	prix usine (coût de transport non inclus)	ou
• énergie	30 tma/ha (mis en copeaux sur place)		3 ans pour plantation de 20 000 tiges/ha
• paillis et autres			
Billots			
• Pâte	1,2 -2,4 m de long et 10 cm minimum de diamètre	25\$/m ³	10 ans et moins
• Sciage	2,4 - 4,8 m de long et 20 cm minimum de diamètre	28-35\$/m ³	entre 10 et 15 ans
• Déroulage	billes de pied de haute qualité, 2,4 m et plus minimum 30 cm	45-70 \$/m ³	20 ans

5.4 CARACTÉRISTIQUES DES COPEAUX UTILISÉS

Le tableau 13 présente les résultats de la classifications Williams, de la classification Rader et de la siccité pour chaque clone et pour un témoin. Les copeaux témoins choisis se composent de tremble provenant de la compagnie Donohue Matane.

Tableau 13 : Caractéristiques des copeaux utilisés (%)

CLASSIFICATION WILLIAMS:	131	3225	3226	3230	3308	tremble
1 1/8"	1,7	2,4	1,3	1,4	2,5	n/d
7/8"	22,5	25,9	17,9	19,3	25,2	n/d
5/8"	45,1	46,1	41,8	42,8	43,8	n/d
3/8"	26,4	22,5	31,7	30,7	24,6	n/d
3/16"	4,0	2,8	6,6	5,3	3,6	n/d
sciures	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	n/d
CLASSIFICATION RADER:						
> de 8 mm	1,7	2,8	1,1	1,1	4,8	36,5
de 6 à 8 mm	3,3	3,6	2,6	1,8	4,4	17,0
de 4 à 6 mm	70,2	67,4	71,3	63,1	62,8	40,3
de 2 à 4 mm	24,5	25,8	24,6	33,6	27,6	6,0
< 2mm	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2
Siccité %	41,9	47,2	45,4	48,6	42,1	40,0

5.5 CARACTÉRISTIQUES DES FIBRES ET DU BOIS

Des coupes transversales de bois d'une épaisseur de 20µm ont été assemblées en lamelles de façon à observer et à mesurer microscopiquement les structures du bois. On retrouve les photos illustrant les phénomènes énoncés à l'annexe 2. Les fibres ont une largeur moyenne de 17.5µm et des parois de 2µm d'épaisseur tandis que les vaisseaux ont un diamètre de 90,0 µm. Les vaisseaux occupent un volume d'environ 28% et sont relativement petits par rapport à d'autres feuillus. Ils sont plus encombrés dans le bois de printemps, avec un diamètre décroissant vers le bois d'été. Le tableau 14 donne les

détails des dimensions obtenues pour chaque clone. Les données indiquées pour le tremble (macération et pâtes CTMP) sont à titre indicatives, car elles proviennent d'une étude privée avec laquelle nous comparons nos résultats dans une section ultérieure (p. 82).

Nous pouvons constater que ces espèces à pores semi-diffus comme le peuplier présentent une très faible proportion de bois d'été ce qui explique que les cernes annuels soient faiblement perceptibles macroscopiquement (photos 3 - 4, annexe 2). La forte croissance radiale de ces arbres doit être supportée par une bonne charpente transversale. C'est pourquoi on peut constater une forte concentration de rayons composés de cellules de parenchyme. Ces dernières viennent grossir le taux de matières fines. Le clone 3226 présente une particularité : certains cernes annuels possèdent des vaisseaux qui s'alignent presque parfaitement (photo 4). Plusieurs échantillons du clone 3225 semblent avoir subi un début d'attaque d'une carie brune qui s'infiltra entre deux anneaux de croissance dans l'aubier (photos 5-6). Après observation macroscopique, ce phénomène n'a pas causé de dommage sévère dans le bois (pas de zone de carie molle).

Le tableau 14 dresse également la liste de tous les résultats obtenus par l'analyse FQA de la macération du bois, des pâtes CTMP (CSF=300 ml) et NSSC (CSF=445 ml). À noter que le taux de matières fines est exprimé en moyenne pondérée par la longueur. Une macération peroxyde/acide du bois a servi également à capturer sur pellicule photographique les différents éléments fibreux qui composent ces bois. On retrouve à l'annexe 2 des photographies illustrant les vaisseaux, les fibres et les cellules de rayons à différentes échelles.

Macération peroxyde/acide

La macération peroxyde/acide acétique conserve toutes les cellules de rayons, de parenchymes et les vaisseaux qui composent les particules fines du bois. L'analyse FQA donne une longueur moyenne arithmétique inférieure à celle que l'on peut retrouver

habituellement dans la littérature en utilisant d'autres méthodes. Il en résulte une longueur moyenne (pondérée par le poids et avant blanchiment) de 0,9 mm. La relative grande variation du taux de matières fines se révèle un bon critère de différenciation des clones. Le 3308 apparaît comme celui renfermant le moins de matières fines et le 3225, celui en renfermant le plus (figure 12). Les clones 3225, 3226 et 3230 forment statistiquement un groupe homogène au niveau de la longueur moyenne arithmétique des fibres qui est plutôt faible (figure 13). Les clones 3308 et 131 possèdent les fibres les plus longues. A noter l'absence de relation logique avec la croissance puisqu'ils se placent respectivement en 2^{ème} et dernière position au niveau du diamètre et de la hauteur à 10 et 15 ans. De plus, le clone 3308 possède des fibres plus larges et de plus petits vaisseaux.

Pour la longueur moyenne pondérée par le poids et celle pondérée par la longueur des fibres, seuls les clones 3225 et 131 forment un groupe homogène (figures 14 et 15). Le clone 3308 reste celui qui possède les plus longues fibres.

Concernant la masse linéique présentée à la figure 16, les clones 3225, 3226, 3308 forment un groupe supérieur et statistiquement homogène. Le clone indigène 131 est nettement désavantage par une masse linéique faible par rapport aux autres.

Procédé CTMP

Les figures 18 et 19 illustrent clairement que les longueurs moyennes des fibres pour les pâtes CTMP sont assez homogènes pour les quatre clones 3225, 3226, 3230 et 131. Le clone 3308, comme on pouvait s'y attendre devance nettement le groupe. Les clones 131 et 3225, quant à eux, semblent avoir mal réagi au traitement puisqu'ils tiennent nettement de l'arrière par rapport aux résultats obtenus par macération. De plus, le clone 3225 possède un taux particulièrement élevé de particules fines (figure 20) qui le désavantage pour la moyenne arithmétique de la longueur de ses fibres (fig. 17).

Procédé NSSC

La longueur moyenne arithmétique et pondérée par la longueur (figure 21 et 22) donnent le même patron que pour les pâtes CTMP. Il se compose d'un groupe homogène formé du tremble, des clones 3230, 3226 et 131 avec, à chaque extrémité, le clone 3308 en tête et le clone 3225 en fin de liste. Ce dernier continue de se différencier par un taux de matières fines particulièrement élevé, comme pour le procédé CTMP et la macération (figure 23).

Tableau 14 : Caractéristiques des fibres des clones de peuplier

procédés	caractéristiques	131	3225	3226	3230	3308	tremble
Mesures Microscopiques	Diamètre des fibres, µm	17	17	16	19	19	19
	Épaisseur des parois, µm	1.88	2.25	1.88	2.25	1.88	2.68
	Diamètre vaisseaux, µm	95	80	99	105	70	-
Macération peroxyde/acide acétique	Masse linéique (mg/m)	0.103	0.140	0.139	0.130	0.138	0.121
	Taux matières fines (%)	3.91	6.38	5.29	4.64	3.17	2.46
	Long. moy. arith. (mm)	0.56	0.53	0.52	0.51	0.60	0.71
	Long moy. pond./poids	0.91	0.93	0.87	0.81	0.96	0.94
	Long moy. pond./long.	0.75	0.76	0.72	0.67	0.80	1.08
CTMP CSF= 300 ml	Long. moy. arith. (mm)	0.51	0.48	0.52	0.52	0.56	0.60
	Long moy. pond./poids	0.83	0.81	0.85	0.85	0.92	1.00
	Long moy. pond./long.	0.70	0.68	0.71	0.71	0.78	0.82
	Taux matières fines (%)	5.34	6.85	5.70	5.61	5.01	-
NSSC CSF=445 ml	Long. moy. arith. (mm)	0.66	0.59	0.66	0.67	0.72	0.67
	Long moy. pond./poids	1.11	1.12	1.16	1.18	1.23	1.23
	Long moy. pond./long.	0.87	0.86	0.91	0.91	0.97	0.95
	Taux matières fines (%)	2.60	4.29	3.06	2.87	2.54	2.92

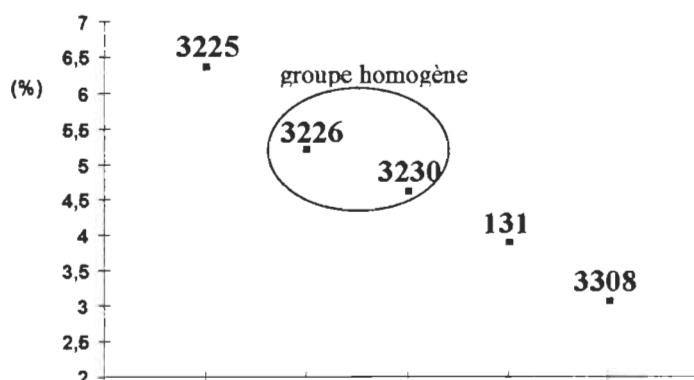


Figure 12 : Taux de matières fines (%) - fibres macérées

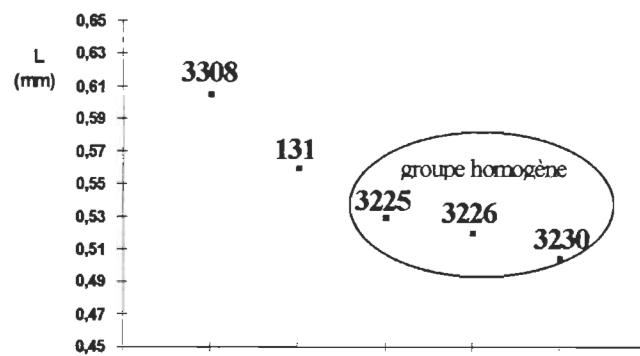


Figure 13 : Longueur des fibres macérées (moyenne arithmétique, mm)

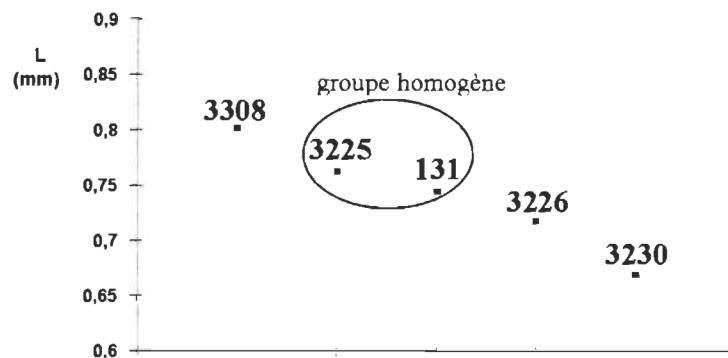


Figure 14 : Longueur des fibres macérées (moyenne pondérée par la longueur, m)

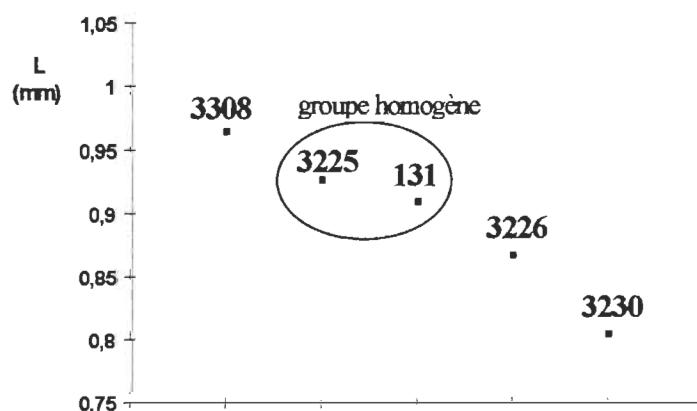


Figure 15 : Longueur des fibres macérées (moyenne pondérée par le poids, mm)



Figure 16 : Masse linéique des fibres macérées (mg/m)

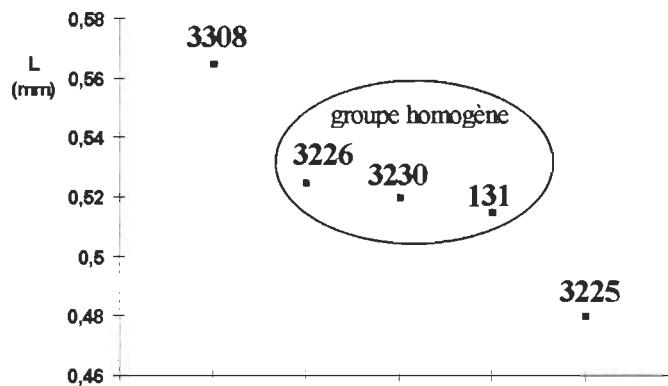


Figure 17 : Longueur des fibres - CTMP (moyenne arithmétique, mm)

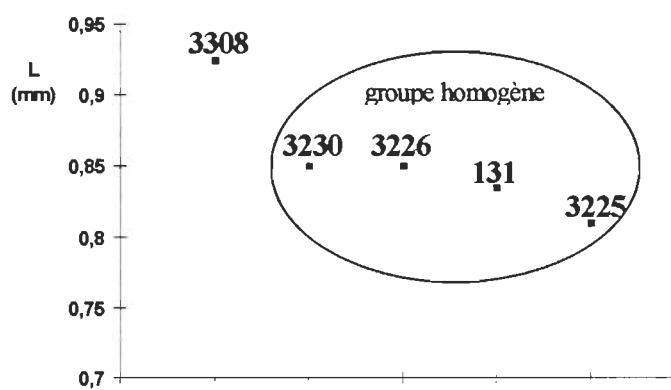


Figure 18 : Longueur des fibres - CTMP (moyenne pondérée par le poids, mm)

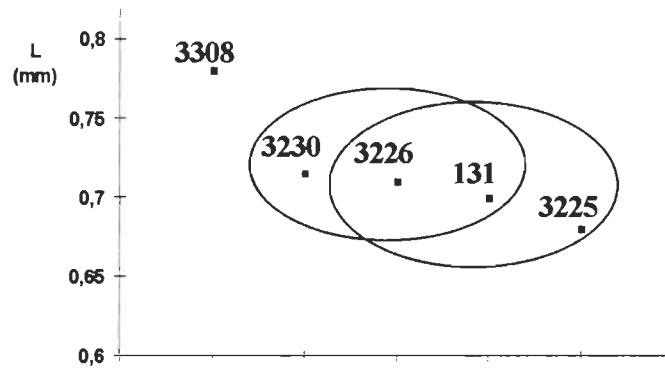


Figure 19 : Longueur des fibres - CTMP (moyenne pondérée par la longueur, mm)

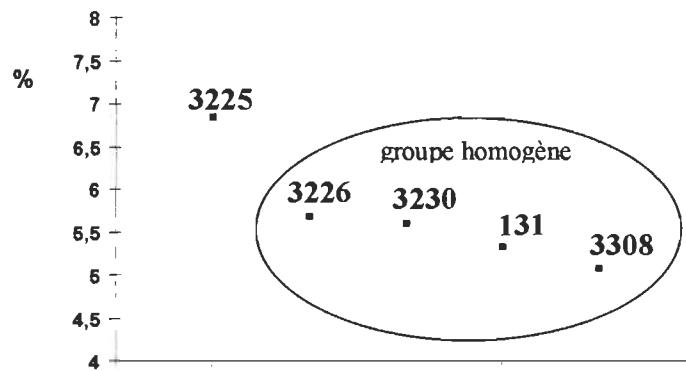


Figure 20 : Taux de matières fines(< 0.2 mm, %) - Pâtes CTMP

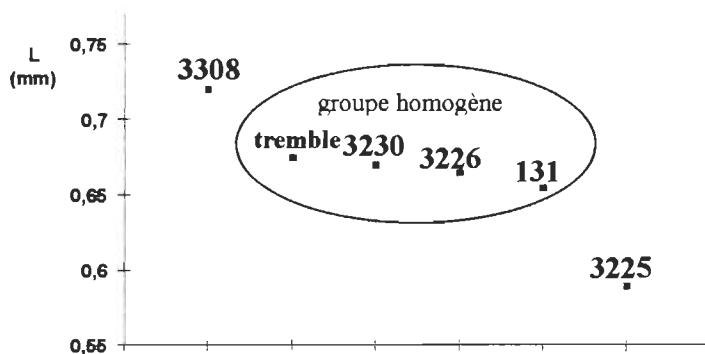


Figure 21 : Longueur des fibres - NSSC (moyenne arithmétique, mm)

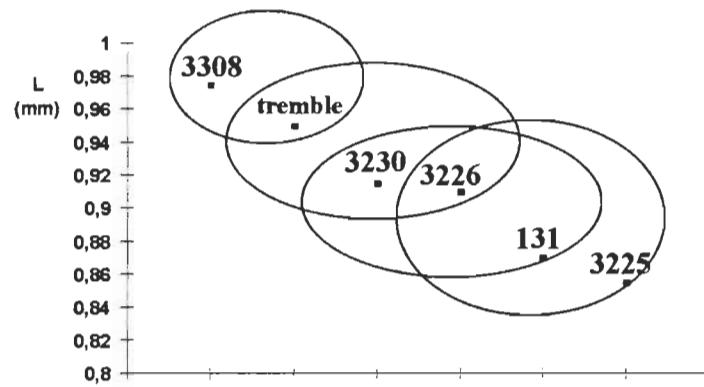


Figure 22 : Longueur des fibres - NSSC (moyenne pondérée par la longueur, mm)

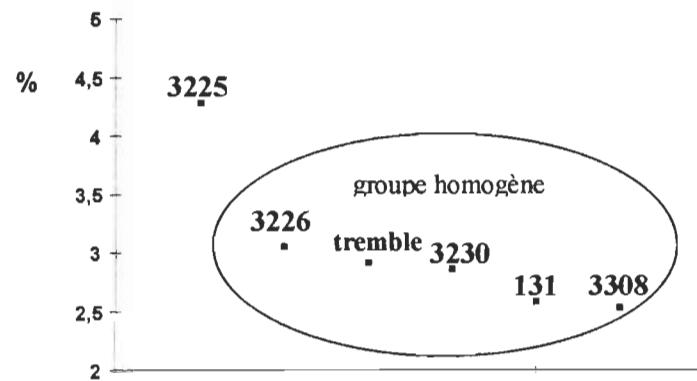


Figure 23 : Taux de matières fines(< 0.2 mm, %) - Pâtes NSSC

5.6 CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Les analyses chimiques réalisées sur les peupliers hybrides se retrouvent au tableau 15 . La teneur en lignine insoluble et en pentosanes des clones se comparent à celles du tremble. Le taux de cendres, le taux de pentosanes, la solubilité à l'eau chaude et à 1% de NaOH présentent des différences significatives entre les clones (figures 24, 25, 26, 27). Le 3308 se démarque avec son taux de cendres élevé, sa faible solubilité à l'eau chaude et à la soude.

Tableau 15: Composition chimique du bois de peuplier (en pourcentage)

test/clone	131	3225	3226	3230	3308	tremble
Lignine insoluble %	22,70	23,00	22,91	23,04	22,55	18,12
Pentosanes %	16,86	16,04	16,28	16,16	15,92	17,20
Cendres %	0,81	0,87	0,83	0,87	0,91	0,40
Solubilité eau chaude %	3,33	2,52	2,77	2,65	0,85	2,75
Solubilité 1% NaOH %	21,06	19,06	19,40	22,49	18,05	19,30
Mat. extractibles au DCM %	0,79	0,69	0,74	0,61	1,31	1,50



Figure 24 : Taux de cendres (%)

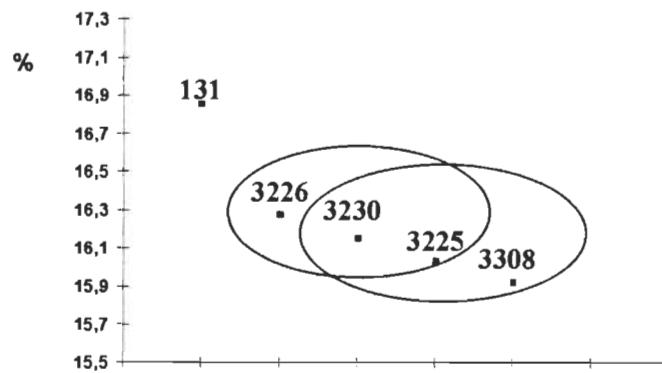


Figure 25 : Taux de pentosanes (%)

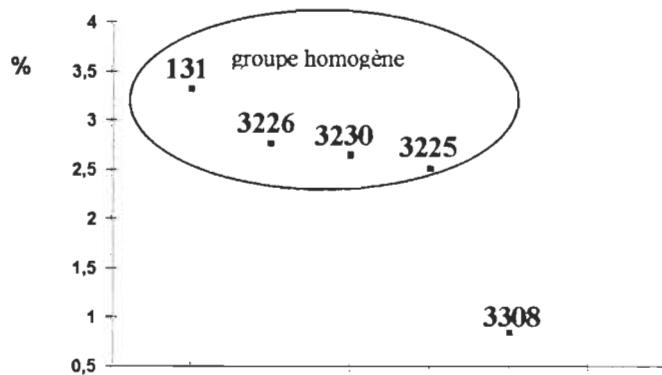


Figure 26 : Solubilité à l'eau chaude (%)

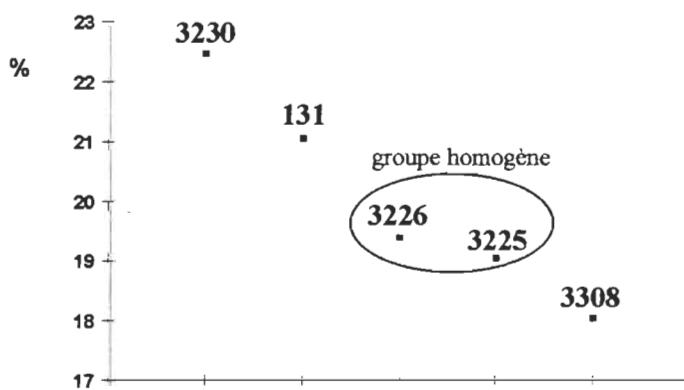


Figure 27 : Solubilité à 1% de NaOH (%)

5.7 CARACTÉRISTIQUES PAPETIÈRES DES PÂTES CTMP

Toutes les pâtes CTMP ont été réalisées en double sauf avec le clone 3225 pour lequel nous avons manqué de copeaux. De plus, nous n'avions pas de billots de tremble en quantité suffisante, du même âge, et ayant subi les mêmes conditions de site et de croissance, pour pouvoir produire des pâtes comparables. Cependant, à la section 5.9, les résultats sont comparés et discutés avec ceux obtenus d'un rapport interne du CRPP, qui évalue des pâtes CTMP faites de copeaux de tremble et autres peupliers à des conditions similaires.

5.7.1 INDICE D'ÉGOUTTAGE

Deux stades de raffinage ont été requis pour arriver à la gamme de points de CSF de 100 à 400 ml. L'énergie de raffinage est donc l'addition des valeurs des deux stades. Les propriétés papetières à 300 ml proviennent de l'interpolation des courbes résultantes et elles sont compilées au tableau 17 (voir annexe 5 pour les propriétés des pâtes et papiers aux autres niveaux de CSF).

5.7.2 DIFFÉRENCES NON SIGNIFICATIVES

Le tableau 16 présente la liste des propriétés papetières des pâtes CTMP et BCTMP dont les moyennes des cinq clones, puis celles additionnées des valeurs du rapport interne, se sont révélées équivalentes par l'ANOVA à cause d'un rapport F inférieur au F de la table, avec 95% d'intervalle de confiance. Seuls les essais présentant un test de F significatif sont testés par le Duncan et illustrés d'une figure.

5.7.3 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

L'ensemble des caractéristiques papetières des clones étudiés se retrouve au tableau 17. Les résultats se révèlent assez homogènes entre les cinq clones. Avant l'étape de blanchiment, seule la déchirure nous révèle des particularités par l'analyse statistique (voir figure 28). Les clones 3308 et 131 sont ceux qui y résistent le mieux.

5.7.4 PROPRIÉTÉS OPTIQUES

Il n'existe pas de différences significatives dans les propriétés optiques, avant blanchiment, pour les pâtes des cinq clones étudiés (homogène à 95% d'intervalle de confiance).

Tableau 16 : Liste des essais sur les pâtes CTMP avec des moyennes équivalentes
(rapport F non significatif à 95% d'intervalle de confiance)

Essais avant ou après blanchiment	5 clones
Indice d'égouttage	X
Energie de raffinage	X
Volume spécifique	X
Volume spécifique après blanchiment	X
Densité spécifique	X
Densité spécifique après blanchiment	X
Longueur de rupture	X
Allongement avant et après blanchiment	X
Indice TEA avant et après blanchiment	X
Indice d'éclatement	X
Indice d'éclatement après blanchiment	Différences significatives
Peroxyde consommé	X
Gain de blancheur	X
Blancheur	X
Blancheur après blanchiment	X
Opacité	X
Opacité après blanchiment	X
Coef. De Diffusion avant et après blanchiment	X
Coef. D'Absorption avant et après blanchiment	X

Tableau 17: Caractéristiques papetières des pâtes CTMP (CSF = 300ml)

	131	3225	3226	3230	3308
Énergie raffinage, kWh/tmsa	1521	1502	1482	1465	1694
Longueur moy. arithm., mm	0.52	0.48	0.53	0.52	0.57
Longueur moy. pond/longueur	0.70	0.68	0.71	0.71	0.78
Longueur moy. pond/poids	0.83	0.81	0.85	0.85	0.93
Taux de matières fines, moy. pond/longueur, %	5.34	6.85	5.70	5.62	5.10
Densité, g/cm ³	0.40	0.34	0.37	0.39	0.40
Longueur de rupture, km	3.74	2.76	3.12	3.56	3.47
Allongement, %	1.43	1.16	1.23	1.36	1.42
Énergie en tension TEA, g/cm	21.24	12.47	15.57	19.48	19.44
Indice d'éclatement, kPa.m ² /g	1.75	1.14	1.49	1.68	1.81
Indice de déchirure, mN.m ² /g	4.9	3.3	3.8	4.3	5.1
Blancheur, % ISO	53.90	52.32	52.30	50.77	51.33
Coefficient de diffusion, m ² /kg	44.60	45.52	44.16	42.94	43.25
Coefficient d'absorption, m ² /kg	2.58	2.87	2.88	3.16	3.08
Opacité, %	91.85	92.26	92.31	92.40	92.30

**Figure 28 : Indice de déchirure (mN*m²/kg) - Pâte CTMP**

5.7.5 PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES APRÈS BLANCHIMENT

Les pâtes choisies pour le blanchiment possédaient un CSF variant entre 269 et 332 ml et formaient statistiquement un groupe homogène. Une pâte du clone 3308 a dû être éliminée n'ayant pas subit le blanchiment aux mêmes conditions que les autres. Le pH initial et final ont été enregistrés avec des valeurs respectives de 11,20 et 10,37. Le taux de peroxyde consommé moyen a été de 61.5 % (soit 5% du H₂O₂ initial moins le résiduel, ce qui donne 3.07 %).

Le blanchiment améliore la plupart des propriétés mécaniques des pâtes (voir résultats au tableau 18). Par exemple, l'amélioration s'est exercée, en moyenne, sur la densité (29%), la longueur de rupture (44%), l'allongement (23%), le TEA (86%), l'indice d'éclatement (57%) et l'indice de déchirure (30%). Le gain de blancheur moyen a été de 39% ISO et le gain en L* de 5%. Les autres propriétés optiques se sont détériorées soit l'opacité (-10%), le coefficient de diffusion (-16%) et le coefficient d'absorption (-66%). Cette opération a eu également pour effet d'induire une différenciation plus marquée entre les cinq clones pour les tests de la longueur de rupture (figure 29), l'allongement (figure 30), l'éclatement (figure 31) et la déchirure (figure 32). Le 3308 continue de performer pour ces tests papetiers et est suivi du clone 131.

Tableau 18: Caractéristiques papetières des pâtes BCTMP (CSF = 300ml)

	131	3225	3226	3230	3308
Blancheur ISO, %	73	72	73	71	71
Gain de blancheur, ISO, %	19.2	19.9	20.2	20.8	20.8
Taux de peroxyde consom. %	59.9	64.8	57.5	61.6	63.6
Indice d'égouttage, ml	320	357	291	300	296
Densité, g/cm ³	0.51	0.45	0.48	0.48	0.52
Longueur de rupture, km	5.02	3.51	4.54	4.76	5.4
Allongement, %	1.61	1.10	1.50	1.54	2.05
Énergie en tension, g/cm	33	14	28	30	47
Ind. Éclatement, kPa.m ² /g	2.74	1.85	2.10	2.36	2.96
Ind. Déchirure, mN.m ² /g	5.86	3.97	4.98	5.42	6.79
Coef. Diffusion, m ² /kg	36	38	37	35	35
Coef. Absorption, m ² /kg	1.0	0.8	0.9	1.2	0.8
Opacité, %	83	83	83	84	82

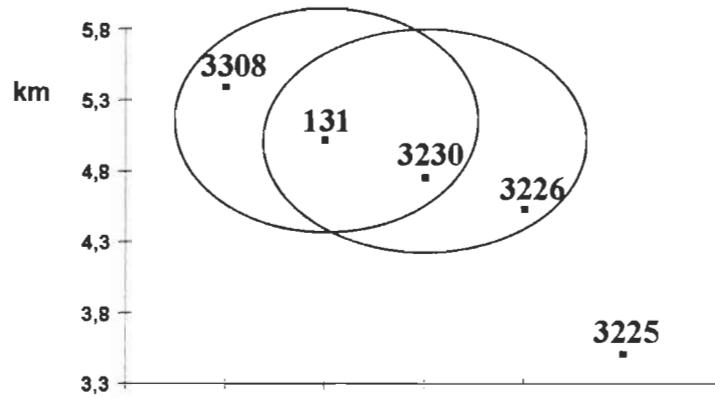


Figure 29 : Longueur de rupture (km) - Pâte BCTMP

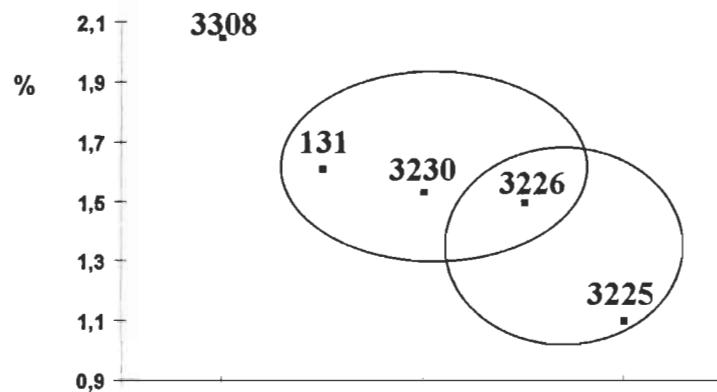


Figure 30 : Allongement (%) - Pâte BCTMP

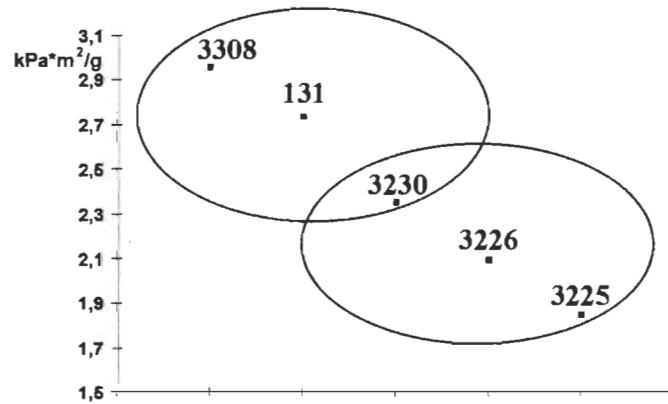


Figure 31 : Indice d'éclatement (kPa*m²/g) - Pâte BCTMP

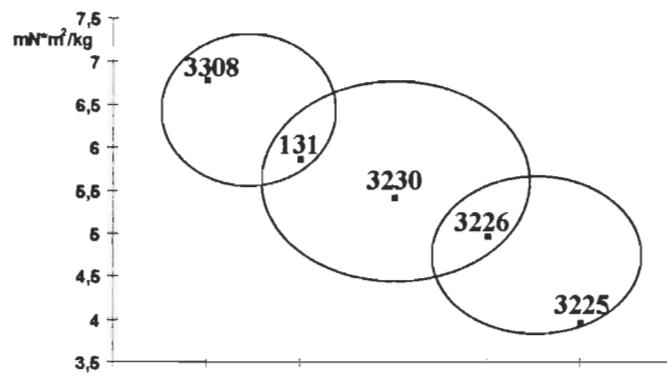


Figure 32 : Indice de déchirure ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$) - Pâte BCTMP

5.8 CARACTÉRISTIQUES PAPETIÈRES DES PÂTES NSSC

Le tableau 20 donne le détail des résultats des tests sur les pâtes NSSC des cinq clones et du tremble.

5.8.1 RENDEMENT EN PÂTE

Les rendements en pâte obtenus avec les mini-lessiveurs varient autour de 76,4% ce qui se rapproche des rendements d'usines NSSC. Sur une moyenne de deux cuissons par clones, aucune ne ressort du groupe et cela comprend les cuissons-témoins de peuplier faux-tremble.

5.8.2 INDICE D'ÉGOUTTAGE

L'indice d'égouttage moyen des pâtes NSSC est de 445 ml. D'après l'ANOVA, on peut assumer que toutes ces moyennes sont équivalentes et qu'il n'y a pas de différences significatives entre elles. Les résultats des différents tests papetiers pour les peupliers peuvent donc être comparés entre eux. Pour ce faire, deux pâtes ont dû être raffinées à nouveau avec la pile PFI (2000 révolutions) pour abaisser leur CSF de 100 ml

5.8.3 DIFFÉRENCES NON SIGNIFICATIVES

Le tableau 19 présente la liste des propriétés papetières des pâtes NSSC, avant ou après blanchiment dont les moyennes des cinq clones et du tremble se sont révélées aussitôt équivalentes par l'ANOVA à cause d'un rapport F inférieur au F de la table, avec 95% d'intervalle de confiance. Seuls les essais présentant un test de F significatif sont testés par le Duncan et illustrés d'une figure.

5.8.4 ÉNERGIE DE RAFFINAGE

L'énergie de raffinage du tremble est supérieure à celle des clones pour un niveau de CSF donné. Cet état de fait contredit certaines études qui mentionnent que les arbres jeunes, comportant un haut taux de bois juvénile, nécessitent plus d'énergie de raffinage que le bois mature (45). Cependant, les clones étant tout de même parvenus à

leur état mature (15 ans), la différence d'énergie pourrait s'expliquer par la moindre fraîcheur, l'origine et une grosseur moyenne supérieure des copeaux de tremble. À noter également que l'énergie pour les pâtes des clones 3226 et 3308 devrait être légèrement supérieure à celle du tableau 20 mais la valeur énergétique, attribuée à la pile PFI, n'a pu être estimée.

Tableau 19: Liste des essais sur les pâtes NSSC avec des moyennes équivalentes (rapport F non significatif à 95% d'intervalle de confiance)

Essais	Clones et tremble
Énergie spécifique de raffinage	X
Indice d'égouttage	X
Volume spécifique avant et après blanchiment	X
Densité spécifique avant et après blanchiment	X
Allongement avant et après blanchiment	X
Indice d'éclatement avant blanchiment	X
Gain de blancheur	X
Blancheur après blanchiment	X
Opacité après blanchiment	X
Coefficient d'absorption après blanchiment	X
Rendement des cuissons	X
Longueur moyenne des fibres pondérée par le poids	X

Tableau 20: Caractéristiques papetières des pâtes NSSC (CSF = 445 ml)

	131	3225	3226	3230	3308	tremble
Énergie raffinage, kWh/tmsa	350.6	394.9	498.45	490.0	561.8	712.45
Indice d'égouttage (CSF, ml)	436	453	440	421	484	446
Rendement des cuissons, %	74.0	78.1	76.6	75.5	76.4	77.5
Longueur moy. arithm., mm	0.66	0.59	0.66	0.67	0.72	0.67
Longueur moy. pond/longueur	0.87	0.86	0.91	0.91	0.98	0.95
Longueur moy. pond./poids	1.11	1.12	1.17	1.18	1.23	1.23
Taux de matières fines, %	2.60	4.29	3.06	2.87	2.54	2.92
Densité, g/cm ³	0.51	0.44	0.48	0.47	0.49	0.47
Longueur de rupture, km	8.95	6.57	8.07	7.76	8.39	6.26
Allongement, %	1.92	1.51	1.85	1.65	2.18	1.61
Énergie en tension TEA, g/cm	68	38	59	51	73	41
Indice d'éclatement, kPa.m ² /g	4.46	3.41	4.33	4.18	3.86	3.50
Indice de déchirure, mN.m ² /g	6.31	6.36	6.47	6.09	6.88	7.29
Blancheur, % ISO	41.3	37.1	36.7	37.0	35.8	33.0
Coefficient de diffusion, m ² /kg	18	21	20	18	19	21
Coefficient d'absorption, m ² /kg	2.8	3.8	4.0	3.6	4.0	5.9
Opacité, %	79.6	84.8	84.9	83.4	84.3	90.3

5.8.5 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

La longueur de rupture (figure 33), l'énergie en tension (figure 34) et la déchirure (figure 35) présentent des différences significatives entre les pâtes NSSC des clones et du tremble.

Les clones forment un groupe homogène de valeurs pour la longueur de rupture à l'exception du 3225 et du tremble qui se retrouvent ensemble avec les moins bonnes performances. Pour l'énergie en tension, on constaterait de prime abord que le 3225 reste encore le moins bon avec le tremble et que le 3308 est le meilleur. Mais on pourrait surtout affirmer que le 3308 et le 131 sont significativement meilleurs que le tremble et le 3225, les clones 3226 et 3230 étant communs aux deux ensembles de 4 clones. À la figure 35, on réalise que le 3308 se fait dépasser par le tremble pour la résistance à la déchirure. Cependant, les ensembles nous suggèrent que la performance du tremble est vraiment différente de celle des clones 3226, 3225, 131 et 3230 mais équivalente à celle du 3308. De la même façon, le clone 3308 est nettement différent des clones 131 et 3230.

5.8.6 PROPRIÉTÉS OPTIQUES

Les propriétés optiques de la pâte NSSC ont habituellement peu d'importance pour son usage courant, le carton cannelure. Cependant, de nouveaux usages de ce produit pouvant être développés, nous avons voulu évaluer son aptitude au blanchiment et les performances qui en découlent.

La blancheur naturelle de cette pâte se révèle faible avec 33% pour le tremble et 41% ISO, pour le clone 131 (voir figure 36). Par contre, l'opacité devient assez élevée variant inversement entre 80% pour le clone 131 et 90% pour le tremble (figure 37). De plus, peuplier faux-tremble devient le gagnant pour les coefficients d'absorption et de diffusion (figures 38 et 39).

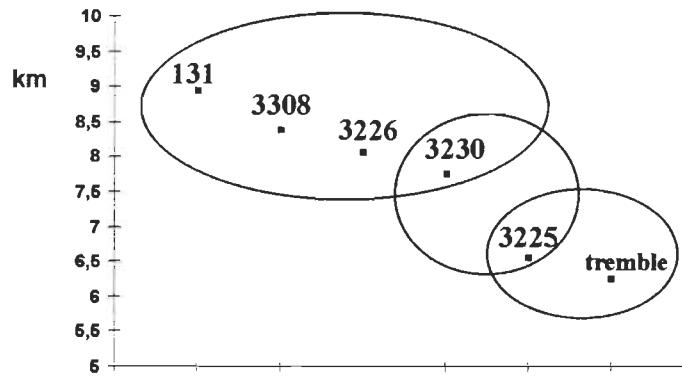


Figure 33 : Longueur de rupture (km) - Pâte NSSC

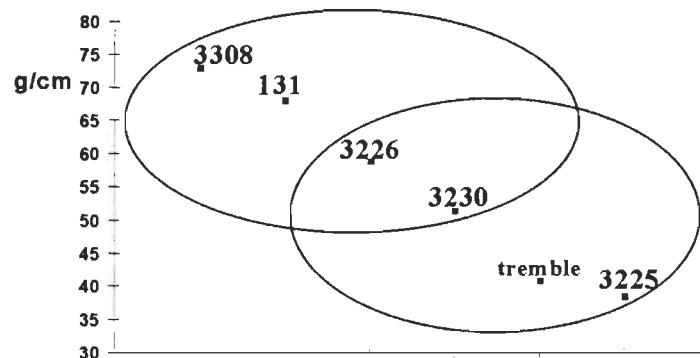


Figure 34 : Énergie en tension (TEA, g/cm) - Pâte NSSC

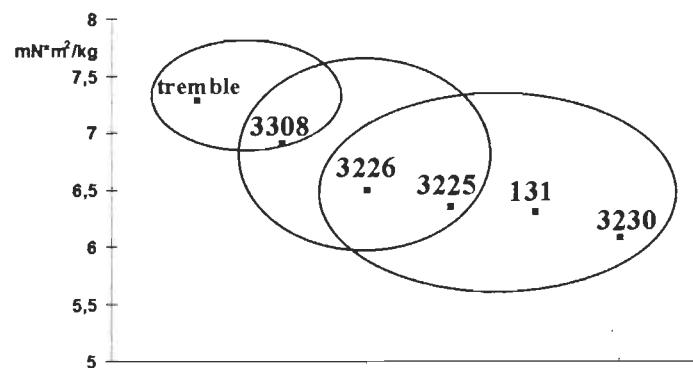


Figure 35 : Indice de déchirure ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$) - Pâte NSSC

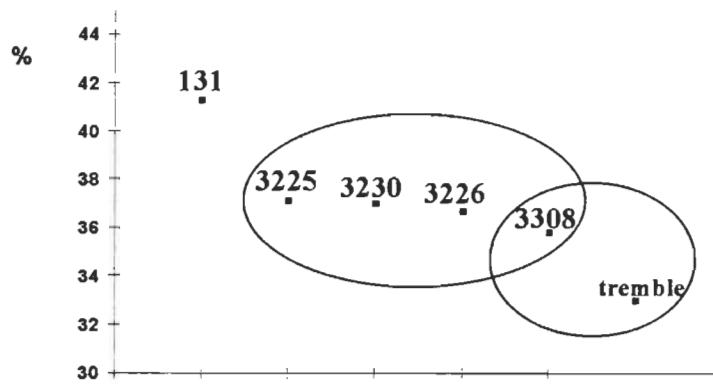


Figure 36 : Blancheur (8-457 nm, %) - Pâte NSSC

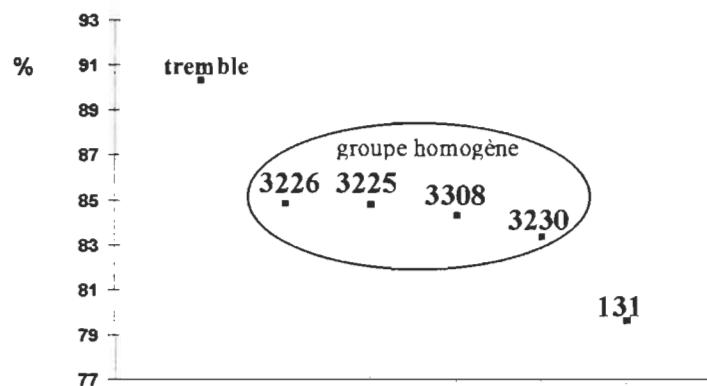


Figure 37 : Opacité (%) - Pâte NSSC

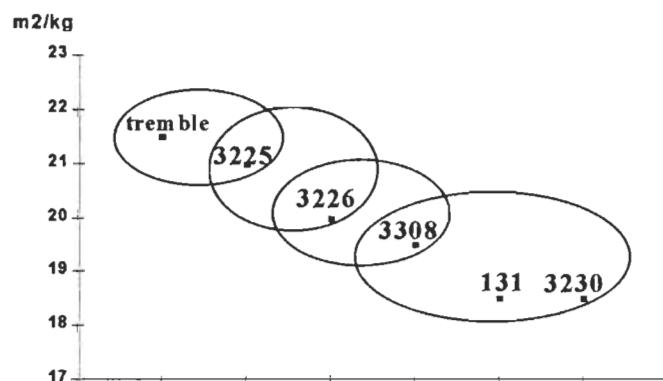


Figure 38 : Coefficient de diffusion (m^2/kg) - Pâte NSSC

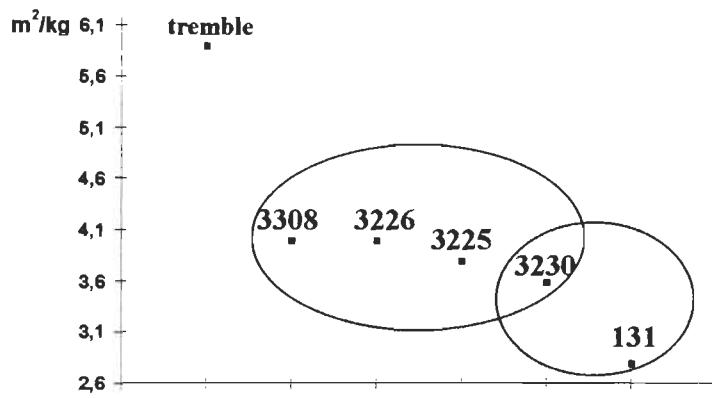


Figure 39 : Coefficient d'absorption (m^2/kg) - Pâte NSSC

5.8.7 PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES APRÈS BLANCHIMENT

Le blanchiment des pâtes NSSC s'est déroulé normalement avec un pH initial de 11,29, un pH final de 11,12 ; tous les résultats des tests se retrouvent au tableau 21. Le taux de consommation moyenne du peroxyde est de 57,4% (soit le peroxyde initial (5%) moins le résiduel, ce qui donne 2,87%). On observe une certaine différenciation entre les essais pour le peroxyde consommé (figure 40). Le tremble a consommé plus de peroxyde que les clones pour atteindre le gain de blancheur maximal de près de 25% ISO.

Comme pour les pâtes CTMP, les pâtes NSSC se sont bonifiées avec le blanchiment au peroxyde mais à des degrés moindres. Des améliorations moyennes ont été calculées pour la densité (4,3%), l'allongement (21,3%), l'énergie en tension (30,7%), l'indice d'éclatement (12,5%) et l'indice de déchirure (4,9%).

Le gain de blancheur se révèle plus grand que celui du CTMP avec une moyenne de 23% ISO et pour le L*, une amélioration de 11,5%. Une diminution des autres propriétés optiques était à prévoir avec, par exemple, des diminutions pour l'opacité (-13,3%) et le coefficient d'absorption (-69,2%).

Le blanchiment au peroxyde d'hydrogène semble avoir accentué la différenciation papetière entre les clones pour la longueur de rupture (figure 41), l'énergie en tension

(figure 42), la déchirure (figure 43), l'éclatement (figure 44) et le coefficient de diffusion (figure 45). Le clone 131, suivi de près par le 3308, se démarque par sa haute valeur de longueur de rupture et sa résistance à l'éclatement mais sinon, il continue de suivre le 3308 pour l'énergie de tension. Le tremble et le 3308 se sont avérés les plus résistants à la déchirure.

Tableau 21: Caractéristiques papetières des pâtes NSSC blanchies

	131	3225	3226	3230	3308	tremble
Blancheur ISO, %	64.5	58.5	59.4	59.7	58.9	57.6
Gain de blancheur, ISO %	23.2	21.3	22.7	22.7	22.8	24.7
Taux de peroxyde consommé, %	51.6	64.0	42.8	60.0	55.2	70.9
Indice d'égouttage, ml	441	439	474	470	526	421
Densité, g/cm ³	0.54	0.47	0.47	0.49	0.48	0.47
Longueur de rupture, km	8.55	6.78	7.51	7.76	7.94	7.02
Allongement, %	2.30	1.87	1.92	1.99	2.58	2.13
Énergie en tension TEA, g/cm	81	53	60	63	87	65
Indice d'éclatement, kPa.m ² /g	4.90	3.39	3.86	4.18	4.54	3.82
Indice de déchirure, mN.m ² /g	6.44	6.79	6.53	6.69	7.40	7.88
Coefficient de diffusion, m ² /kg	18	21	20	19	20	21
Coefficient d'absorption, m ² /kg	1.0	1.2	1.0	1.2	1.2	1.6
Opacité, %	70.3	74.8	71.6	72.9	73.1	77.2

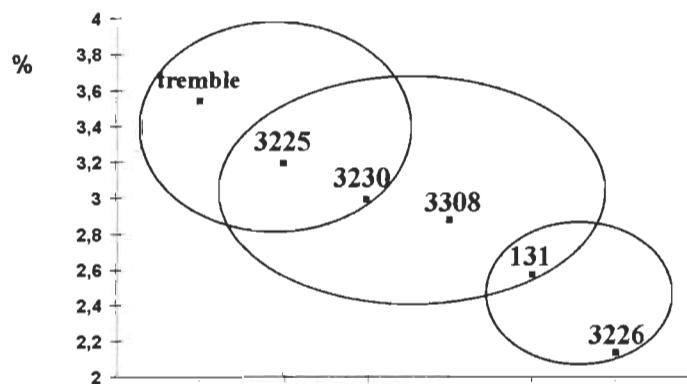


Figure 40 : Peroxyde consommé (%) - Pâte NSSC blanchie
(quantité de départ : 5%)

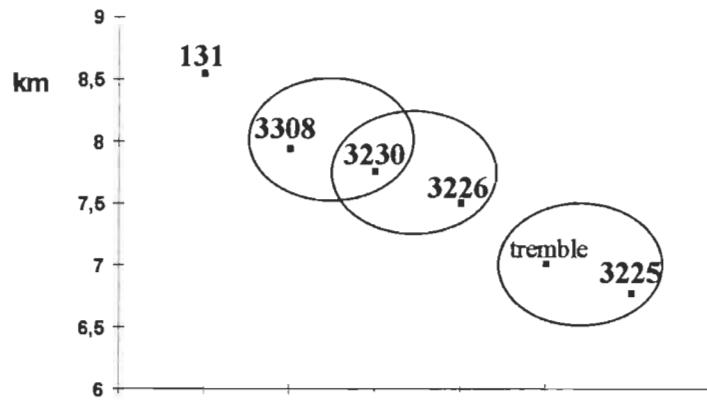


Figure 41 : Longueur de rupture (km) - Pâte NSSC blanchie

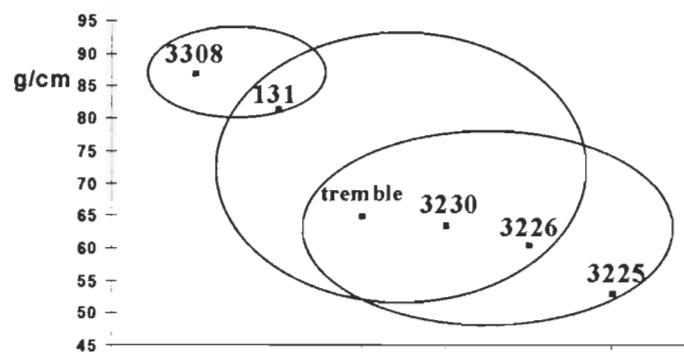


Figure 42 : Énergie en tension (TEA, g/cm) - Pâte NSSC blanchie

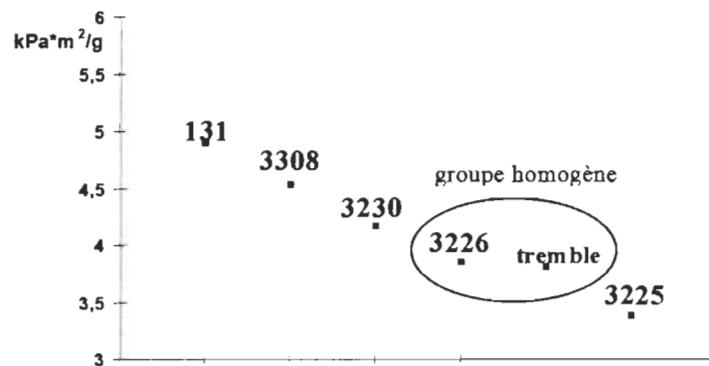


Figure 43 : Indice d'éclatement (kPa*m²/g) - Pâte NSSC blanchie

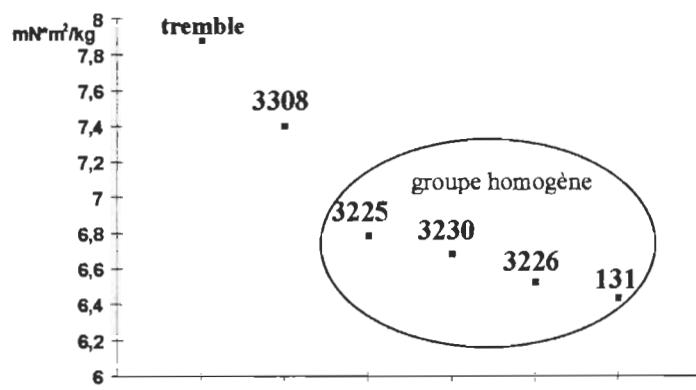


Figure 44 : Indice de déchirure ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$) - Pâte NSSC blanchie

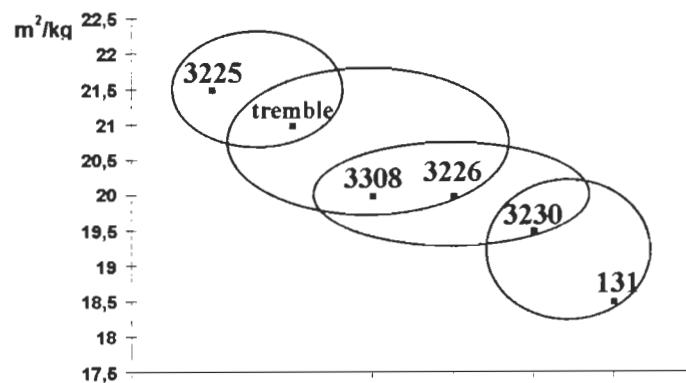


Figure 45 : Coefficient de diffusion (m^2/kg) - Pâte NSSC blanchie

5.9 PROPRIÉTÉS COMPARATIVES

Le tableau 22 compare les procédés CTMP et NSSC des peupliers hybrides et du tremble selon les différentes caractéristiques papetières usuelles avant et après le blanchiment. En général, on constate que les résistances papetières des hybrides sont supérieures à celle du tremble ce qui a été également rapporté dans quelques travaux (6 et rapport interne CRPP).

5.9.1 PÂTES CTMP

Nous avons comparé nos résultats à ceux d'un rapport interne du CRPP sur des pâtes CTMP produites à partir d'autres clones (22, 1080, 3052) et du tremble. Les clones 22 et 1080, âgés de 23 ans, originent d'hybrides de *Populus deltoides* x *P. balsamifera* du Québec ayant cru dans le Bas St-Laurent. Le clone 3052 provient de la même plantation mais est le produit d'un hybride interaméricain originaire des États-Unis. Bien que les niveaux d'énergie de raffinage diffèrent, certaines conclusions peuvent tout de même être faites. Leurs valeurs de CSF sont comparables (niveau de 300 ml) et ne sont utilisés ici que pour mieux identifier les tendances de différenciation entre les clones et le tremble pour les pâtes CTMP. Les pâtes BCTMP ne sont pas comparées, car trop de différences existent dans les conditions de traitement.

Consommation énergétique

La figure 45 illustre les différents niveaux d'indice d'égouttage en fonction de l'énergie (ici, l'énergie est en MJ/kg pour permettre une lecture plus rapide). On constate que, globalement, les courbes du rapport interne (groupe 1) et celles des clones de notre étude (groupe 2) forment deux groupes distincts de niveau d'énergie ; le groupe du rapport, incluant le tremble et les clones 22, 1080 et 3052, exige en moyenne 35% de moins d'énergie (pour un niveau de CSF=300 ml) que l'autre groupe.

Nous pouvons difficilement expliquer une telle différence, car les conditions de raffinage et le dosage des produits chimiques ont été généralement les mêmes pour les deux

projets. Cependant, une certaine différence pourrait être attribuable à l'origine même des deux approvisionnements (site, âge, densité du bois et autres). Les copeaux de l'étude CRPP ont été fabriqués dans une scierie ; les sections sciage ayant été retirées, les copeaux proviennent donc surtout des délinigures se composant essentiellement du bois d'aubier. Dans le cas présent, des billots entiers de peupliers hybrides fraîchement coupés ont été déchiquetés et les copeaux résultant sont formés de tout l'aubier et du bois de cœur. Idéalement, des pâtes CTMP de tremble auraient dû être produites avec des arbres témoins de la même région ou de la même plantation. Quoi qu'il en soit, nous ne pouvons conclure que les clones consomment plus d'énergie que le tremble puisque les clones 22 1080 et 3052 ont une moyenne de consommation d'énergie inférieure à celle du tremble.

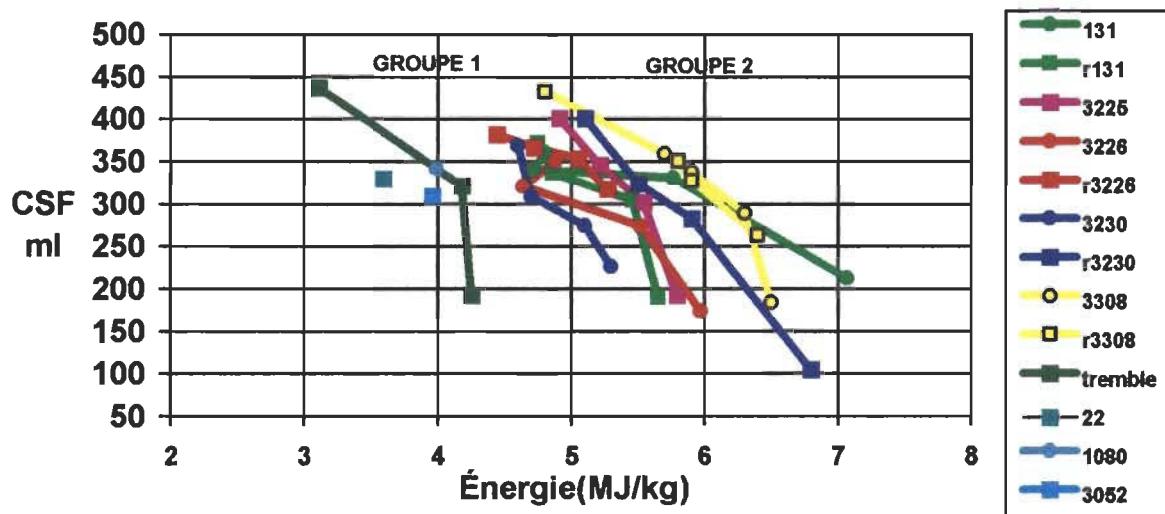


Figure 46 : Indice d'égouttage (ml) en fonction de l'énergie (MJ/kg)

Propriétés papetières

Malgré des différences énergétiques difficiles à expliquer, on peut percevoir, à un niveau de 300 ml d'indice d'égouttage, certaines différences entre les pâtes des clones et celles faites de tremble, avant blanchiment.

La densité et la longueur des fibres est inférieure pour les clones de la présente étude en comparaison avec celles des clones et du tremble du rapport CRPP. Cependant, ces deux derniers ont des valeurs assez similaires entre eux. La longueur de rupture, les indices d'éclatement et de déchirure des clones du rapport CRPP sont supérieures aux performances du tremble. Pour les deux études, l'allongement, l'énergie en tension, les coefficients d'absorption, de diffusion et l'opacité sont supérieures chez les clones de toutes provenances. Finalement, la blancheur naturelle de la pâte de tremble dépasse celle des clones; ce phénomène est inverse dans les pâtes NSSC.

5.9.2 PÂTES NSSC

Bien que les clones aient un rendement moindre de 1,4% celui du tremble, leurs nombreuses autres qualités papetières les rendent assez avantageux.

Consommation énergétique

En comparant les pâtes NSSC des clones avec celles du tremble, on constate que, pour un niveau comparable d'indice d'égouttage, le tremble accuse une plus grande consommation énergétique (Cette tendance est aussi observée dans le rapport CRPP pour les pâtes CTMP).

Propriétés papetières

Plusieurs des qualités supérieures des pâtes CTMP, produites à partir des clones en comparaison avec celles du tremble, se retrouvent également dans les pâtes NSSC. En effet, à densité équivalente et malgré des fibres plus courtes, les clones enregistrent des performances supérieures, pour la longueur de rupture, l'allongement, l'énergie en tension, l'indice d'éclatement et la blancheur naturelle de la pâte. Cependant, pour l'indice de déchirure, les coefficients d'absorption et de diffusion et pour l'opacité, les valeurs obtenues pour le tremble sont supérieures. À noter que le phénomène inverse est observé dans les propriétés optiques du CTMP du tremble : dans le procédé NSSC, elles sont supérieures à celles des clones (mise à part la blancheur) et dans le procédé CTMP, elles sont inférieures.

Après blanchiment, les différences s'amoindrissent entre les clones et le tremble. La densité, la longueur de rupture, l'énergie en tension et les niveaux de blancheur obtenus sont supérieurs chez les pâtes de clones. L'allongement des pâtes de tremble se rapproche de celui des clones mais le tremble continue de performer pour l'indice de déchirure.

Tableau 22: Caractéristiques comparatives moyennes des peupliers hybrides et du tremble pour les procédés NSSC et CTMP

	NSSC peup.hyb. 15 ans	NSSC tremble	CTMP peup. hyb 15 ans	CTMP ² peup. hyb. 23 ans	CTMP ² tremble
AVANT BLANCHIMENT					
Rendement, %	76,1	77,5	ca.90	ca.90	ca.90
Énergie (kW·h/tmsa)	459	712	1533	1068	1160
Indice d'égouttage, ml	447	446	300	327	322
Densité, g/cm ³	0,48	0,47	0,38	0,43	0,44
Long. moy. arith (mm)	0,66	0,67	0,52	0,59	0,60
Long. moy. pond./poids, mm	1,16	1,23	0,85	1,10	1,00
Long. moy. pond./long., mm	0,90	0,95	0,72	0,84	0,82
Taux de matières fines, %	3,07	2,92	5,70	n/d	n/d
Longueur de rupture, km	7,95	6,26	3,33	4,10	3,89
Allongement, %	1,82	1,61	1,32	1,41	1,12
Énergie en tension, g/cm	58	41	18	23	16
Ind. Éclatement, kPa·m ² /g	4,05	3,50	1,57	1,91	1,79
Ind. Déchirure, mN·m ² /g	6,42	7,29	4,28	5,91	4,89
Blancheur, % ISO	37,6	33,0	52,1	53,1	56,9
Coef. Diffusion, m ² /kg	19	21	44	43	42
Coef. Absorption, m ² /kg	3,6	5,9	2,91	2,64	2,20
Opacité, %	83,4	90,3	92,2	91,3	89,5
APRÈS BLANCHIMENT					
Énergie (kW·h/tmsa)	459	712	1533	1068	865
Indice d'égouttage, ml	470	421	310	283	230
Densité, g/cm ³	0,49	0,47	0,48	0,58	0,58
Longueur de rupture, km	7,6	7,03	4,59	5,87	7,15
Allongement, %	2,13	2,13	1,48	1,73	2,03
Énergie en tension, g/cm	68,5	65	27,80	38,8	59,2
Ind. Éclatement, kPa·m ² /g	4,12	3,82	2,32	3,29	3,45
Ind. Déchirure, mN·m ² /g	6,96	7,89	5,21	6,49	6,6
Blancheur, % ISO	56,4	53,0	66,1	73,5	79,1
Coef. Diffusion, m ² /kg	20	21	36	32,1	29,7
Coef. Absorption, m ² /kg	1,23	1,65	1,0	0,5	0,33
Opacité, %	73,3	77,2	83,3	77,0	74,3

² Résultats d'un rapport de recherche interne du CRPP

5.10 SOMMAIRES DES PERFORMANCES DES CLONES

Une grille d'évaluation des cinq clones étudiés a été construite en ne retenant que les critères qui montraient des différences statistiquement significantes pour un intervalle de confiance de 95% selon 6 catégories : les performances forestières, les caractéristiques physico-chimiques de la fibre et les résistances papetières des deux types de pâtes, avant et après blanchiment. Une telle grille pourrait être utile afin d'orienter le choix des clones destinés à l'étude génétique et à la ligniculture intensive pour le sud du Québec. À partir des graphiques à bulles (figures 6 à 53), nous avons attribué une forme de pointage qui fonctionne comme suit.

Le nombre de points, à attribuer par figure, est déterminé par le nombre d'ensembles séparés formés des groupes et des intergroupes homogènes. Les intergroupes sont formés des clones communs à deux groupes ou plus et sont homogènes. Les clones se retrouvant en tête ou dans le même groupe supérieur des valeurs homogènes se voient attribués la valeur de 1 point, les clones présents dans l'ensemble ou dans l'intergroupe suivant, la valeur de 2 points et ainsi de suite. Normalement, tous les clones compris dans un même ensemble ou dans un même intergroupe ont la même valeur de points. Ainsi, en additionnant l'ensemble des points obtenus pour chaque clone, pour toutes les mesures significantes, nous identifions facilement le vainqueur par celui ayant obtenu le moins grand nombre de points de démerite. On retrouve le détail de l'attribution des points obtenus pour chaque clone au tableau 23.

Il est à noter que, selon les besoins de chaque procédé papetier, un degré d'importance des différentes caractéristiques aurait pu être établi afin de pondérer ces résultats. Certains éléments ont même une incidence indéterminée sur la qualité des pâtes (le taux de cendre par exemple). Malgré cela, nous avons voulu plutôt donner un exemple de ce qui peut être fait pour éclairer le choix d'un clone papetier en attribuant un même poids pour toutes les caractéristiques étudiées.

Selon les performances forestières, les trois meilleurs clones sont le 3326, le 3308 et le 3230. Pour les caractéristiques physico-chimiques des fibres, le clone 3308, avec ses longues fibres et sa faible solubilité à l'eau chaude et au NaOH, se démarque nettement du groupe : 13 points le séparent du pire, le clone 3230. À cet effet, il est intéressant de noter que les clones possèdent des différences interclonales importantes : 3225, 3226 et 3230, bien qu'étant tous des clones de la même famille *Populus trichocarpa x P. deltoides* mais de cultivars différents, possèdent des différences réelles et mesurables.

Le clone 3308 se comporte également très bien lorsque mis en pâte selon le procédé CTMP avant et après blanchiment. La deuxième meilleure performance pour ces pâtes est enregistrée par le clone du Québec 131. Ce phénomène contraste avec la lenteur de sa croissance et son faible rendement en fibre. Certains clones réagissent mieux au blanchiment que d'autres : une plus nette démarcation dans la qualité des pâtes des clones 131 et 3308 a été provoquée par le blanchiment.

Pour la pâte NSSC, les différences sont moins marquées entre les clones mais on constate que leurs pâtes sont tout à fait comparables à celles du tremble et même meilleures pour certaines propriétés. Avant blanchiment, les clones 3226 et 3308 apparaissent comme les plus prometteurs pour ce type de pâte. Par ailleurs, les pâtes NSSC des clones 3308 et 131 réagissent mieux à un blanchiment au peroxyde et sont même supérieures à celles du tremble.

Pour tenir compte des différentes particularités du bois, on additionne, à chaque procédé, le pointage des performances forestières et des caractéristiques physico-chimiques des fibres. Le tableau 24 donne un ordre de choix de clones pour les quatre procédés étudiés. Le résultat final donne le clone français 3308 gagnant comme choix de clone à planter dans les zones 1 et 2 et ce, pour les quatre procédés. Le clone 3226 le suit, pour tous les procédés. Il est intéressant de constater ici que les deux meilleurs clones forestiers permettent également un bon compromis pour les procédés de mise

en pâte. Bien que le clone du Québec 131 vienne en troisième place, ses pâtes obtiennent de bonnes résistances pour les procédés CTMP et NSSC (souvent en deuxième lieu après le 3308). Sa croissance plus lente et des caractéristiques physico-chimiques moins intéressantes le désavantagent lors du pointage final.

Certains tests pourraient être fait sur les performances de ces clones en plantation dense de 20 000 tiges/ha sur rotation de trois ans.

Tableau 23 : Grille de points pour les différentes caractéristiques signifiantes

1. Performance forestière :	131	3225	3226	3230	3308
Diamètre moyen à 15 ans	5	4	1	3	2
Rendement en fibres	5	4	1	3	2
Hauteur moyenne à 10 ans	4	3	1	3	2
sous total :	14	11	3	9	6
2. Caractéristiques physico-chimiques de la fibre					
Taux de cendre	3	2	3	2	1
Taux de pentosanes	1	3	2	3	4
Solubilité à l'eau chaude	2	2	2	2	1
Solubilité à 1% de NaOH	3	2	2	4	1
Matières extractibles au DCM	2	2	2	1	3
Masse linéique	3	1	1	2	1
Longueur moy. arithmétique	2	3	3	3	1
Longueur moy. pond/long	2	2	3	4	1
Longueur moy. pond/poids	2	2	3	4	1
Taux de matières fines	2	4	3	3	1
sous total:	22	23	24	28	15
3. Pâtes CTMP					
Déchirure	2	5	4	3	1
sous total	2	5	4	3	1
4. Pâtes BCTMP					
Longueur de rupture	1	2	1	1	1
Allongement	2	3	2	2	1
Éclatement	1	3	3	2	1
Déchirure	2	5	4	3	1
sous total	6	13	10	8	4
5. Pâtes NSSC					
	131	3225	3226	3230	3308
Longueur de rupture	1	3	1	2	1
TEA	1	3	2	2	1
Déchirure	2	2	2	2	1
Blancheur	1	2	2	2	3
Opacité	2	1	1	1	1
Coefficient de diffusion	4	1	2	4	3
Coefficient d'absorption	3	1	1	2	1
sous total	14	13	11	15	11
6. Pâtes NSSC blanchies					
Longueur de rupture	1	5	4	3	2
TEA	1	3	2	2	1
Éclatement	1	5	4	3	2
Déchirure	2	2	2	2	1
Consommation de peroxyde	2	4	1	4	3
Coefficient de diffusion	4	1	2	3	2
sous total	11	20	15	17	11

Tableau 24 : Choix de clones par procédé de mise en pâte

Procédés	131	3225	3226	3230	3308
CTMP	3 (38)	4 (39)	2 (31)	5 (40)	1 (22)
BCTMP	3 (42)	5 (47)	2 (37)	4 (45)	1 (25)
NSSC	4 (50)	3 (47)	2 (38)	5 (52)	1 (32)
NSSC blanchies	3 (47)	4 (54)	2 (42)	5 (54)	1 (32)

note : les nombres entre parenthèses indiquent le pointage total obtenu.

5.11 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES

La populiculture intensive sur de courte rotation est une technique culturale éprouvée, dont les coûts sont connus selon les superficies de plantation à réaliser. Les hybrides, adaptés aux différentes régions du Québec, sont également disponibles et les premières études permettent d'envisager des usages d'intérêt pour l'industrie forestière. À ce jour, toutes ces informations nous permettent de passer à un niveau opérationnel tout en poursuivant le processus d'amélioration continue de cette culture.

Dans le contexte actuel, il serait utopique d'envisager la CICR comme approvisionnement principal d'une usine de pâtes et papiers; la populiculture devrait être considérée comme un approvisionnement d'appoint pour contrer des ruptures de stock éventuelles et imprévisibles. Cependant, la CICR reste encore singulièrement méconnue des aménagistes, des gestionnaires et de l'industrie forestière québécoise en général. La question demeure: la ligniculture de peuplier, est-ce rentable ?

Contrairement à plusieurs pays dans le monde, la forêt naturelle du Québec est toujours la matière première principale pour les usines de transformation; moins de 1% du bois récolté provient de plantations artificielles ou de forêts éclaircies. La valeur sur pied des peupliers sur forêt publique est actuellement assez faible si on se rapporte aux droits de coupe prélevés par le Gouvernement (sud du Québec : de 1.00 à 3.00 \$/m³

pour le peuplier et 13 à 25 \$/m³ pour les résineux, source MRNQ). En comparaison, le coût d'établissement d'une plantation, estimée à 2 000\$/ha pour un volume dans 10 ans de 200 m³/ha, correspondrait à un investissement de 10\$/m³ pour du bois à pâte. On peut alors comprendre pourquoi les investissements privés dans la ligniculture intensive ne sont pas encore entrés dans les moeurs de l'industrie québécoise. Le bois est disponible et économiquement exploitable quoique de plus en plus éloigné des usines. Depuis quelques années, on observe même des surplus de copeaux surtout feuillus sur les marchés dus à la production réduite de certaines usines de pâtes et papiers ou aux manques de débouchés pour cette ressource.

Cependant, certains signes avant coureurs laissent présager une rareté accrue de la ressource. Longtemps considérés comme indésirables, le tremble et le bouleau trouvent aujourd'hui preneur. Dans le cas du tremble, le point d'équilibre a été atteint entre l'offre et la demande, en seulement cinq ans, pour les volumes disponibles en forêts publiques. De plus, les courants actuels tendent vers la conservation des vieilles forêts naturelles, des écosystèmes rares et fragiles ce qui entraîne une diminution graduelle et irréversible des superficies exploitables pour la ressource ligneuse en forêt naturelle. De plus, l'application des normes de certification des pratiques forestières pourrait avoir des impacts non négligeables sur les façons de faire habituelles et sur le coût de la matière première.

Enfin, une nouvelle approche peut être envisagée concernant la gestion des distances de transport qui ont un impact important sur le coût de la fibre à l'usine. Un industriel pourrait se demander: « combien de m³ de bois économiquement trop loin devons-nous remplacer par des plantations situées dans un rayon de 100 km autour de l'usine pour maintenir les coûts de la matière première à un niveau acceptable et ce, d'ici les 10, 20, 30... prochaines années ? » En considérant toutes les contraintes actuelles et à venir concernant la coupe forestière et si chaque usine pouvait effectuer le calcul des distances de transport moyennes pour un approvisionnement sur un horizon de cinquante

Le cas de la forêt privée est plus complexe. L'évaluation de la possibilité de ces territoires est imprécise compte tenu du fait qu'un pourcentage inconnu des propriétaires n'opte pas pour l'exploitation de la ressource ligneuse de leur forêt. De même, la récolte de tremble est bien en deçà de la possibilité forestière. Des coûts d'opérations plus élevés en forêt privée qu'en forêt publique et des contraintes d'équipement et d'opération reliées à l'exploitation de billes de grosses dimensions (bois en longueur ou billots de 8 à 16 pieds) pourraient expliquer en partie ce défaut de récolte. Par ailleurs, si toutes les usines de transformation consommaient actuellement la totalité du volume nécessaire à leur fonctionnement à pleine capacité, il ne resterait pratiquement plus de bois disponible en forêts privées (48).

À cet égard, la populiculture sur courte rotation pourrait constituer une alternative intéressante, pour lutter contre l'abandon massif des terres agricoles marginales en forêt privée. Avec ses techniques culturales relativement simples, elle pourrait s'inscrire dans le processus de la certification forestière, rendant cette dernière plus accessible pour les producteurs privés. Elle permettrait d'améliorer le potentiel de milliers d'hectares de terres abandonnées, de créer des emplois et de favoriser le développement régional tout en limitant l'exode rural. La dimension des billes de pâte, sur courte rotation, est plus facilement manipulable par les propriétaires avec des équipements courants. La localisation stratégique des forêts privées, près des usines de transformation, devrait également éveiller l'intérêt de l'industrie pour ce potentiel de développement.

L'évaluation des retombées économiques d'un programme de populiculture intensive peut être déterminée pour un territoire donné, soit un rayon de 100 km autour d'une usine consommant du peuplier. Les retombées économiques sont associées à la mise en œuvre du programme et à la transformation des volumes ligneux qui en découlent avec le temps.

Le développement des activités forestières, tant au niveau de l'aménagement que de l'exploitation, entraîne un accroissement de l'emploi et une amélioration des revenus pour la région. En plus d'engendrer une amélioration des quantités et de la qualité de la matière produite, le programme amène une augmentation des activités dans le secteur de transformation.

Pour que l'action locale et régionale d'un projet de populiculture intensive soit lancée, elle doit s'articuler dans un milieu conscient d'une problématique à résoudre (déficit ligneux) et qui favorise cette action. En d'autres termes, le milieu doit démontrer que des intérêts divers (propriétaires/communautés/entreprises) peuvent faire œuvre commune pour faciliter l'établissement d'un tel projet. De plus, le projet de populiculture doit s'inscrire dans un cadre permettant à chacune des parties d'être d'accord sur les règles et leurs fondements et d'en tirer profit à son avantage.

Les projets de populiculture intensive sortent des sentiers battus et nécessitent un certain leadership pour progresser. Le leader potentiel doit être reconnu par la majorité des acteurs locaux et doit avoir la capacité de transmettre des connaissances et des comportements. Un industriel qui désire obtenir un approvisionnement en peuplier de qualité à prix compétitif pourrait très bien devenir ce leader en partenariat avec les intervenants du milieu. Parmi les nombreux exemples, mentionnons Cascade à Cabano qui vient d'investir dans l'établissement d'une plantation de peuplier hybride à croissance rapide en vue de faire la promotion de ce type de culture auprès de leurs fournisseurs de bois, particulièrement auprès des producteurs de forêts privées. Dans la région de La Tuque, Carton St-Laurent a présenté un projet de plantation d'une autre espèce à croissance rapide, le mélèze, pour les propriétaires de lots boisés locaux. En Ontario, un partenariat existe entre le Ministère des Ressources naturelles, Domtar Cornwall et les propriétaires de lots boisés de cet arrondissement où 100 ha de plantations de peupliers hybrides sont établies par an.

Finalement, la populiculture intensive comme source de bois et de développement économique et social dans les zones limitrophes des usines de transformation peut se révéler, à long terme, non seulement rentable pour une industrie, mais aussi pour la région qui s'implique. Elle s'inscrit tout à fait dans le mouvement de la certification des pratiques forestières et dans les mouvements de conservation de la forêt naturelle.

6. CONCLUSION

La croissance rapide des peupliers hybrides et les rendements ligneux possibles de 60 à 100 tma/ha, en 10 à 15 ans, sont exceptionnels pour le Québec et rendent cette culture particulièrement intéressante pour l'industrie des pâtes et papiers. Au cours de cette recherche, nous avons mesuré les propriétés papetières des peupliers hybrides à croissance rapide développés pour le sud du Québec par le MRNQ. Nous avons également comparé ces hybrides avec le tremble pour les caractéristiques physico-chimiques et les pâtes de deux procédés à haut rendement : le CTMP et le NSSC.

Les peupliers hybrides sont supérieurs au tremble pour de nombreuses caractéristiques dont :

- Croissance et rendement ligneux deux fois supérieures en 4 fois moins de temps.
- Énergie de raffinage moindre pour un niveau de CSF donné.
- Meilleures résistances pour la longueur de rupture, l'indice d'éclatement, l'énergie en tension et l'allongement.
- Pour les pâtes CTMP, meilleures propriétés optiques : coefficient d'absorption et de diffusion et l'opacité.
- Pour les pâtes NSSC, meilleure blancheur et moindre consommation de peroxyde d'oxygène.

Par contre, les pâtes CTMP du tremble ont une blancheur supérieure et les pâtes NSSC de tremble ont un meilleur indice de déchirure, et de meilleures propriétés optiques (coefficients de diffusion et d'absorption et opacité). La supériorité en résistance mécaniques des pâtes des hybrides comparées à celles des peupliers indigènes a également été mesurée par quelques chercheurs.

Nous avons pu percevoir des différences significatives entre les propriétés papetières et les caractères physico-chimiques des hybrides choisis, avec un intervalle de confiance de 95%. Au niveau de la caractérisation du bois, la longueur des fibres, le taux de ma-

tières fines et la masse linéique se révèlent de bons critères de différenciation des clones. Le taux de pentosanes, la solubilité à l'eau chaude et au NaOH sont les tests chimiques qui ont permis de mesurer des différences significantes entre les cinq clones.

Parmi les cinq clones étudiés, le peuplier hybride français 3308 (*Populus euramerica-na*) est de loin le meilleur pour tous les procédés étudiés. Il est suivi du clone 3226 (*Populus trichocarpa x P. deltoides cultivar Beaupré*) dont les propriétés papetières moyennes sont compensées par les meilleures performances de croissance. Le clone 131 du Québec (*Populus euramericana*) vient après le clone 3308 si l'on considère ses propriétés papetières seulement. Cependant, sa faible croissance le rend moins intéressant pour des cultures sur courte rotation. Une grande variation interclonale peut exister; à noter les différences de résultats entre les clones 3225-3226-3230, de la même famille mais de cultivars différents.

À la lumière de ces dernières constatations, nous croyons que la sélection des hybrides à des fins papetières demeure possible et souhaitable. On pourrait, par exemple, intégrer un index des qualités papetières désirées (longueur des fibres, densité du bois, etc.) à un programme de recherche génétique et de culture intensive du peuplier.

Les intérêts papetiers sont conciliaires avec les opportunités économiques et forestières que permettent les espèces à croissance rapide comme les peupliers hybrides. Le coût de la matière première étant en augmentation, les avantages comparatifs des CICR limitrophes aux usines prennent une importance économique croissante. Afin de rester dans la course mondiale, l'industrie et les producteurs de la forêt privée du Québec, dans un partenariat renouvelé, doivent s'intéresser à ces nouvelles cultures pour pouvoir passer à l'action des pratiques forestières « certifiables ».

7. BIBLIOGRAPHIE

1. Anonyme, Pulp and Paper 1996 North American Factbook, 252-261 (1996).
2. Anonyme, Ressource et industrie forestières - Portrait statistique. Québec. Ministère des Ressources naturelles, 115 p. (1994).
3. Anonyme, L'état des forêts au Canada, 1995-1996. Ottawa. Ressources naturelles Canada, 112 p. (1996).
4. Anonyme, Management and Utilization of Northern Mixedwoods. J.K. Samoil, editor, Northern Forestry Center, Information Report Nor-X-296, 163 p. (1988).
5. Arnold, R.B., Investment in Fast-Growing Trees Offers Future Wood Procurement Advantages, Pulp & Paper (USA), 135-137, (April 1995).
6. Aziz, S., Wyckoff G.W., Wood and Pulp Properties of Aspen and its Hybrids, 1996 Pulping Conference (Nashville, Tennessee), 437-443, (Octobre 1996).
7. Bailly, A., Chaunis, S., de Choudens, C., Étude papetière de deux clones de peuplier issus de taillis à courte rotation. Ann. Rech. Sylvicoles AFOCEL: 189-218 (1991)
8. Barbe, M.C., Future of Aspen [Populus] BTCMP. EUCEPA 24th Conf. Proc. (Stockholm), Print: 342-365 (May 8-11, 1990).
9. Beaudoin, M., Hernandez, R.E., Koubaa, A., Poliquin J., Interclonal, Intraclonal and within-tree Variation in Wood Density of Poplar Hybrid Clones. Wood and Fiber Science, 24(2) : 147-153 (1992).

- 10.Boulter, D., Darr, D., North American Timber Trends Study. Timber and Forest Study Papers No. 9. United Nations, Geneva. 40p. (1996).
- 11.Brundtland, G.H., Notre avenir à tous, rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement. Québec. Éditions du Fleuve, 454 p. (1988).
- 12.Chantre, G., Janin, G., Chaunis, S., Dilem, A., Comparison of Two Methods of Estimating Clonal Variability of Paper Properties in Poplar [Populus], Can. J. For. Res. Vol 24 (7): 1419-1425 (July 1994).
- 13.Chardenon, Jean, Le peuplier aujourd'hui et demain. Institut pour le développement forestier, Limoges, France, 279 p. (1982).
- 14.Christiansen, L., Maintaining the Chips: Mixes Farming and Forestry at its Lower Columbia River Cottonwood Fiber Farm in the Northwest. Timber Harv. Vol 40 (2): 22-23 (Februrary 1992).
- 15.Cisneros H.A., Bélanger L., Gee W.Y., Watson P.A., Hatton J.V., Wood and Fiber Properties of Hybrid Poplars from Southern British Colombia, 1996 Pulping Conference Proc. (Nashville, Tennessee) : 675-685 (October 1996).
- 16.Conseil du peuplier du Canada, Comptes rendus de la troisième réunion annuelle. Édité par J. Ménétrier et G. Vallée, 232 p. (1982).
- 17.DeGarmo, E.P., Sullivan, W.G., Bontadelli, J.A., Engineering Economy, 9th ed. Macmillan Publ. Co. : 730 p. (1993).
- 18.De Guth, E.B., Piussan, C.M., Evaluation of the Papermaking Potential of Ten Eastern Cottonwood [*Populus deltoides*] Clones in Tests Conducted by the Delta Agricultural

- Experimental Station of the Parana (Argentina). ATIPCA 25th Tech. Congress on Pulp & Paper (Buenos Aires): 263, 265-277 (Nov. 6-11, 1989).
- 19.Dix, B., Roffael, E., Becker, G., Gruss, K.; Properties of Chemical Pulps from the Wood of Poplars [*Populus*] of Different Clones, Sites and Ages. Papier Vol 46 (10) : 583-592 (1992).
- 20.Einspahr, D. W., Production and Utilization of Triploid Hybrid Aspen. Iowa State J. Res. Vol 58 (4): 401-409 (May 1984).
- 21.FAO, Peupliers et saules dans la production du bois et l'utilisation de terres. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome collection FAO: Forêts no. 10, 343 p. (1980).
- 22.Farrar, J.L., Les Arbres du Canada, 2^e éd. Fides et Service Canadien des Forêts : 335-351 (1996).
- 23.Frère Marie-Victorin, La Flore Laurentienne, 2^e éd. Presse de l'Université de Montréal : 161-164 (1964).
- 24.Gobeil, J., Potentiel de la populiculture intensive comme source nouvelle de bois et de développement social et économique. Compte-rendu de la réunion annuelle du Conseil du peuplier du Canada, Chicoutimi, : 115-122 (septembre 1995).
- 25.Ingruber O.V., Kocurek, M.J., Wong A. (Ed) Pulp and Paper Manufacture (Vol. 4, 3^e éd.) Joint Textbook Committee of the Paper Industry, 353 p. (1985).
- 26.Karl, W., Aspen: Quickly Becoming Today's Preferred Wood Species for Pulp. Pulp Paper J. Vol 41 (7): 23 (July/August 1988).

- 27.Kopitovic, S., Klasnja, B., Koralija, Z., Changes in the Properties of Clonal Eastern Cottonwood [*Populus deltoides*] and White Willow [*Salix alba*] Wood During Storage and the Resulting Effect on the Properties and Yield of Semicchemical Pulp. Papir vol 17 (2): 36-44 (July 1989).
- 28.Labosky, P., Jr.; Bowersox, T. W.; Blankenhorn, P.R., Kraft Pulp Yields and Paper Properties Obtained from First and Second Rotations of Three Hybrid Poplar Clones. Wood Fiber Sci. Vol. 15 (1): 81-89 (January 1983).
- 29.Lehto, J., Various Poplar Species as Raw Material for Paper Grade Mechanical Pulps, Intl Mech. Pulp. Conf. Proc. : 9-20, Ottawa, (12-15 June 1995).
- 30.Ménétrier, J., Recherche et développement sur le peuplier dans la région de l'Est-du-Québec. XI-Production de matière ligneuse en plantation dense. Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts : 35 p. (1978).
- 31.Ménétrier, J., Potentiel de la populiculture intensive comme nouvelle source de bois et comme outil de développement social et économique, Compte-rendu de la réunion annuelle du Conseil du peuplier du Canada, Chicoutimi , 107-114 (Septembre 1995) .
- 32.Ministry of Natural Resources, New Forests in Eastern Ontario, Hybrid Poplar., Science and Technology Series, Vol 1, 336 p. (1983).
- 33.Ministry of Natural Ressources of Ontario, A Grower's Guide to Hybrid Poplar, Ontario Governement, 150 p. (1991).
- 34.Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Rapport sur l'état des forêts québécoises 1990-1995, Gouvernement du Québec, 160 p. (1996).

35. Ministère des Forêts du Québec, Ressource et industrie forestière, portrait statistique édition 1990. Ministère des Forêts du Québec, Publication 91-3009, 79 p. (1991).
36. Morley, Peter, Management and Use of Aspen Poplar in North America, Forestry Chronicle, 104 à 107 (April, 1986).
37. Mortha, G., Sarkanen, K., Gustafson, R., Alkaline Pulping Kinetics of Short-Rotation, Intensively Cultured Hybrid Poplar [Populus], Tappi J. vol 75 (11): 99-104 (November 1992).
38. Musnier, A., Recherche et développement sur le peuplier dans la région de l'Est-du-Québec. VII- Étude financière et de gestion prévisionnelle des plantations et des fermes populicoles. Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche, Mémoire no 31, 368 p. 1976.
39. Musnier, A., La maturité financière des peuplements forestiers au Québec. II- Peuplements de certaines espèces feuillues: Peuplier faux-tremble et bouleau blanc. Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts, 95 p. (1979).
40. Nepenin, Yu. N., Bolshakov, N.N., Lasheva, V., Litovski, Z., Kraft Pulping of Fast-Growing Aspen [Populus] from Plantations in the USSR and Bulgaria. Tselul. Khartiya vol 20 (6): 21-23 (1990).
41. Oosten C., Industrial Short Rotation Hybrid Poplar Plantations in British Columbia and the Pacific Northwest, Compte-rendu de la réunion annuelle du Conseil du peuplier du Canada, Chicoutimi : pp. 123-125 (Septembre 1995).
42. Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie, Les Presses de l'Université Laval : pp. 939-942 (1996).

- 43.Paillé, G.G., D'hier vers demain dans le secteur forestier au Québec. Texte de Conférence, Congrès de l'Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec (septembre 1996).
- 44.Panshin, A.J., de Zeeuw, C., Textbook of Wood Technology, Structure, Identification Properties and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada. 4^e ed. McGraw-Hill Inc. : pp. 270-281 (1995).
- 45.Petit-Conil, M., de Choudens, C., Chantre, G., Selection of poplar [*Populus*] Clones for Thermomechanical Pulping. Intl Mech. Pulp. Conf. Proc., pp. 1-8, CPPA Technical section, Ottawa (June 1995).
- 46.Peszlen, I., Influence of Site, Clone, Age and Growth Rate on Wood Properties of Three Poplar [*Populus X euramericana*] Clones. Virginia Polytechnic Inst. & State Univ., Ph.D. thesis, 186 p. (1993).
- 47.Phelps, J.E., Einspahr, D.W., Isebrands, J.G., Crist, J.B., Sturos, J.A., Wood and Paper Properties of Vacuum Airlift-Segregated Juvenile Poplar Whole-Tree Chips. Wood Fiber Sci. Vol. 17 (4): 529-539 (October 1985).
- 48.Plante, M., La ressource naturelle en peuplier au Québec: productions totales, utilisées et disponibles pour les développements industriels par région. Compte rendu de la réunion annuelle du Conseil du Peuplier du Canada, Chicoutimi, pp. 1-10 (Septembre 1995)
- 49.Poplar Council of the United States and Canada, Poplar Culture to the Year 2000, Poplar Council of the United States and Canada Joint Meeting, 153 p. (1987).
- 50.Shields, W.J. Jr., Huddy, M.D., Somers, S.G., Pulp Mill Sludge Application to a Cottonwood Plantation. Forest Alternative for Treatment and Utilization of Municipal and Industrial Waste (Cole, Henry, & Nutter, eds.) : 533-548 (June 25-28, 1985; 1986).

51. Smook, G.A., Manuel du Technicien et de la Technicienne en pâtes et papiers, Cégep de Trois-Rivières, 395 p. (1989).
52. Snook, S.K., Labosky, P., Jr, Bowersox, T.W., Blankenhorn, P.R., 1986. Pulp and Papermaking Properties of a Hybrid Poplar Clone Grown under Four Management Strategies and Two Soil Sites. *Wood Fiber Sci.* Vol.18 (1): 157-167 (Jan. 1986).
53. Vaikhanskii, S.S., Lyaskovskii, V.V., Poplar [*Populus*] Plantations for a Pulp and Paper Mill. *Lesn. Promst.* no. 8: 12-13 (1991).
54. Valade, J.L., Utilisation de la fibre de tremble : produits actuels et perspectives, Compte-rendu de la réunion annuelle du Conseil du peuplier du Canada, Chicoutimi, pp. 11-23 (septembre 1995).
55. Vallée, G., Roche, H. et La Barre, C., Recherche et développement sur le peuplier dans la région de l'Est-du-Québec. V- Rentabilité de 13 options d'aménagement de plantations, Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts, 115p. (1975).
56. Vallée, G., Liste des clones recommandés selon les régions écologiques forestières du Québec et exemples de production ligneuses obtenues avec ces clones. Notice d'information Ministère des ressources naturelles du Québec, direction de la recherche forestière (Juin 1995, version provisoire),
57. Vallée, G., Description et résultats du test NOR85489 de 134 clones de peuplier hybride situé dans le canton de Normandin. Notice d'information Ministère des ressources naturelles du Québec, direction de la recherche forestière (Juillet 1995).
58. Vallée, G., Description et résultats du test précoce NOR90690 comparant 596 clones. Notice d'information Ministère des ressources naturelles du Québec, direction de la recherche forestière (Août 1995).

59. Vallée, G., Description et résultats du test NOR05892 et SHP05792 pour une sélection précoce parmi un grand nombre de clones. Notice d'information Ministère des ressources naturelles du Québec, direction de la recherche forestière (Août 1995).
60. Vallée, G., Population d'hybride de peuplier obtenue de croisements dirigés effectués avec des arbres de la région du Saguenay-Lac-St-Jean. Notice d'information Ministère des ressources naturelles du Québec, direction de la recherche forestière (Août 1995).
61. Vallée, G., Projet du MRNQ sur l'amélioration génétique des peupliers dans la région du Saguenay - Lac-St-Jean, Compte rendu de la réunion annuelle du Conseil du peuplier du Canada, Chicoutimi pp. 89-106(Septembre 1995).
62. Zsuffa, L., Anderson, H.W., Jaciw, P., Trends and Prospects in Ontario's Poplar Plantation Management. Forestry Chron. Vol 53 (4): 195-200 (August 1977).
63. Dayhaw, L.T., Manuel de statistique, 5^e éd., Éditions de l'Université d'Ottawa, pp. 405-505 (1979).
64. Schmidt, S.R., Launsby, R.G., Understanding Industrial Designed Experiments, 4^e ed., Air Academy Press , pp. 4.1 à 4.68 (1994).
65. Jozsa, L.A., Richards, J.E., Johnson, S.G., Calibration of Forintek's Direct Reading X-ray Densitometer. Forintek Canada Corp., 16 p. (1987).
66. Daneault, C., Leduc, C., Valade, J. L., Peroxide and Sodium Hydrosulfite Bleaching of Birch/Hardwood and Birch/Softwood Mixtures, Appita, 46(6) :429-434, November 1993.

- 67.Aravamuthan, R. G., Valade, J. L., Law, K. N., Lanouette, R., Organosolv TMP, CTMP, and CMP from Aspen (*Populus*), TAPPI Pulping Conf. (Atlanta) Proc. (Book 1) : pp. 193-204 (November 1-3, 1993).
- 68.Johal, S. S., Hatton, J. V., Chemithermomechanical and Thermomechanical Pulps from Trembling Aspen/White Spruce (*Populus tremuloides/Picea glauca*) Chip Mixtures, Pulp Pap. Can. Vol 93 (12) : 112-117 (December 1992).
- 69.Dollar, P.J., Market Barriers for Aspen Bleached Chemithermomechanical Pulp Products in the United States, International Symposium on the Pollution Prevention in the Manufacture of Pulp and Paper, pp.298-300, Washington, D.C., (August 1992).
- 70.Law, K.N., Lapointe, M., Valade, J. L., Production of CTMP from Aspen, Pulp Paper Can. Vol. 86, (3) : 101-102, 104, 106 (T77-80) (March 1985).
- 71.Kokta, B.V., Daneault, C., Bleaching of Chemithermomechanical Aspen and Birch Pulps, TAPPI Pulping Conf. (Houston) Proc. (Book 2) : pp. 657-664 (October 24-26, 1983).
- 72.Cossette, C., Bonin, J., Lapointe, M., Valade, J. L., Newsprint from Aspen-Based CTMP. Semi-Industrial Tests. CPPA Conf. Technol. Estivale (Ste-Anne Beaupré, PQ) : Prétiré pp. 81-87 (June 2-3, 1983).
- 73.Lo, A., Liard A., Velema, G., Use of Primary Sludge as a Mulch in the Forest Plantations. Pulp & Paper Can. Vol. 97 (12) : 161-164 (December 1996).

8. ANNEXES

ANNEXE 1 : OPÉRATIONS DE RÉCOLTE

Descriptions des photographies :

- 1-2 : Dimensions exceptionnelles des peupliers hybrides de 15 ans
- 3 : Façonnage des billots à la scie à chaînes
- 4 : Transport des billes avec un tracteur de ferme
- 5 : Écorçage manuel des billes
- 6 : Billes de déroulage (V), de sciage et de pâtes

ANNEXE 2 : OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES

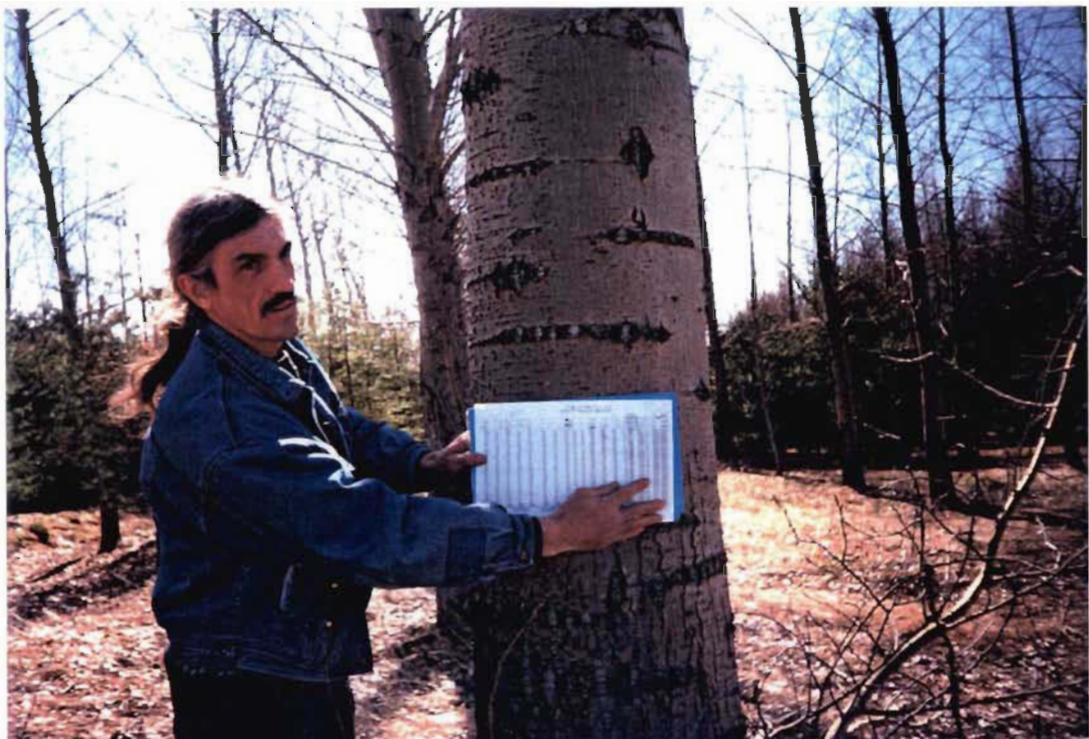
Descriptions des photographies :

1. Clone 3308, éléments fibreux: fibres (a), vaisseaux (b), cellules de parenchymes (c) (agrandi 33X).
2. Clone 3225, fibres et vaisseaux (agrandi 104X).
3. Clone 131 : Coupe transversale dans l'aubier, pores diffus (agrandi 33X).
4. Clone 3226 : Coupe transversale dans l'aubier, zone poreuse où les vaisseaux sont alignés (agrandi 33X).
5. Clone 3225 : Coupe transversale dans l'aubier, présence de carie brune entre deux anneaux de croissance (agrandi 33X).
6. Clone 3226 : Coupe transversale dans l'aubier, les rayons (a), (agrandi 104X).

ANNEXE 3 : LA DENSITOMÉTRIE

ANNEXE 4 : CONDITIONS DE RAFFINAGE

ANNEXE 5 : PÂTES CTMP AUX DIFFÉRENTS INDICES D'ÉGOUTTAGE



108

photo 1



photo 2

ANNEXE 1

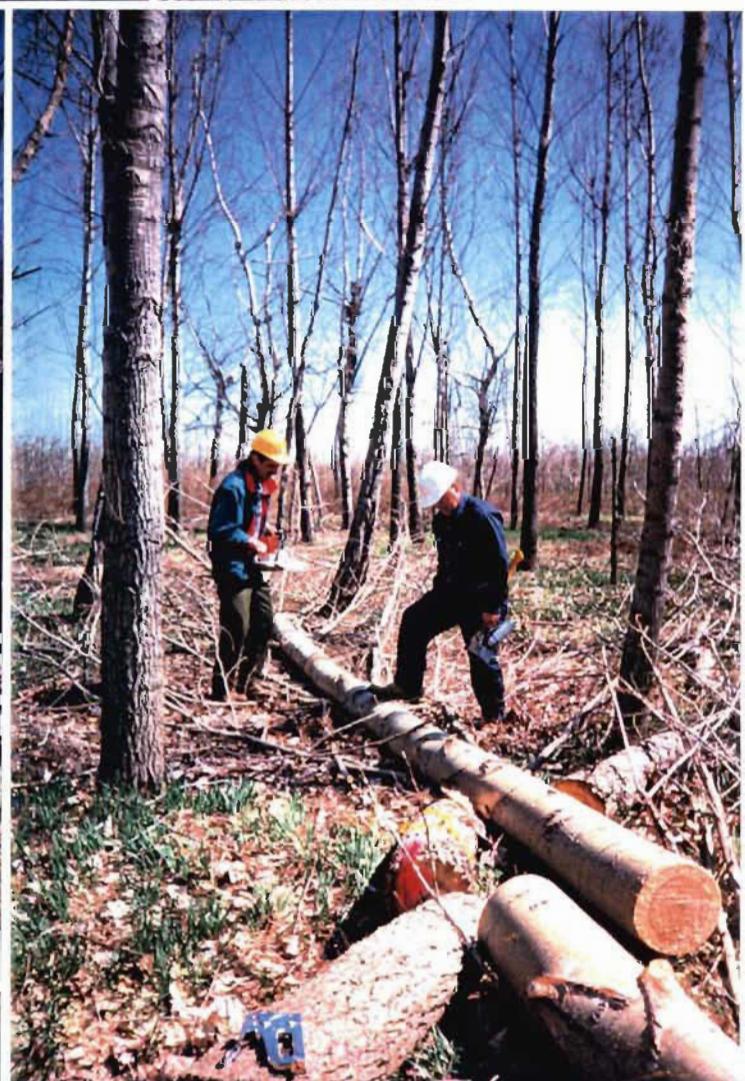


photo 3



109

photo 4:



photo 5

ANNexe 1



photo 6

Annexe 2 :

110

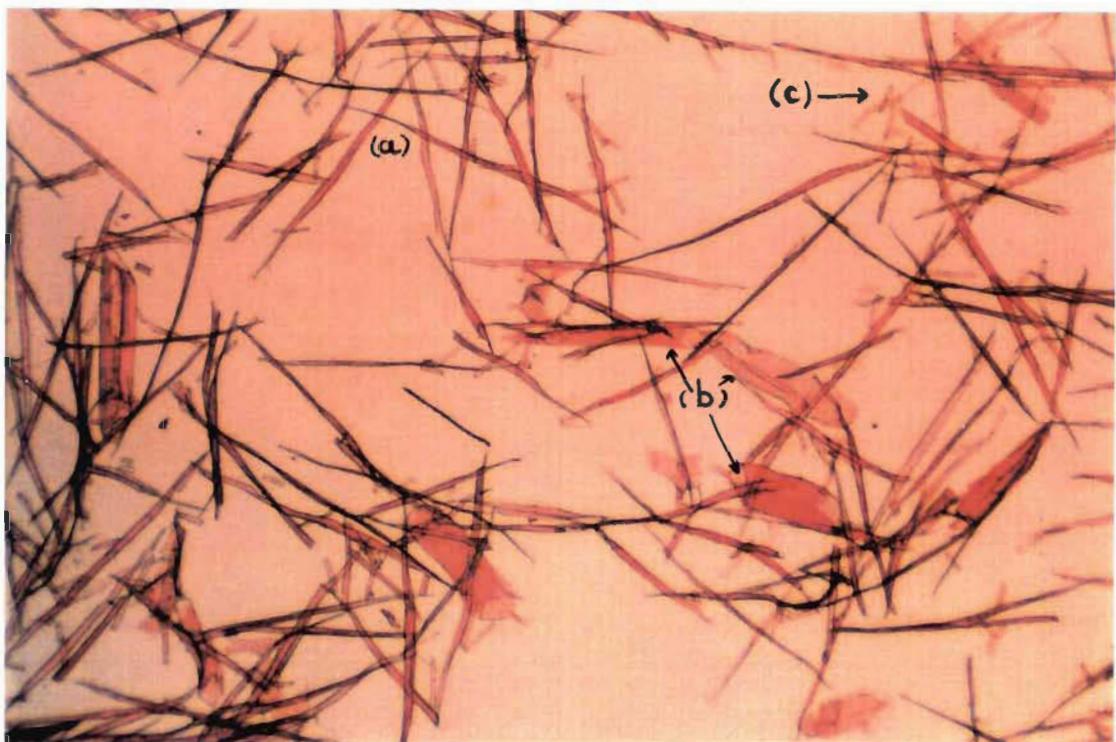


photo 1

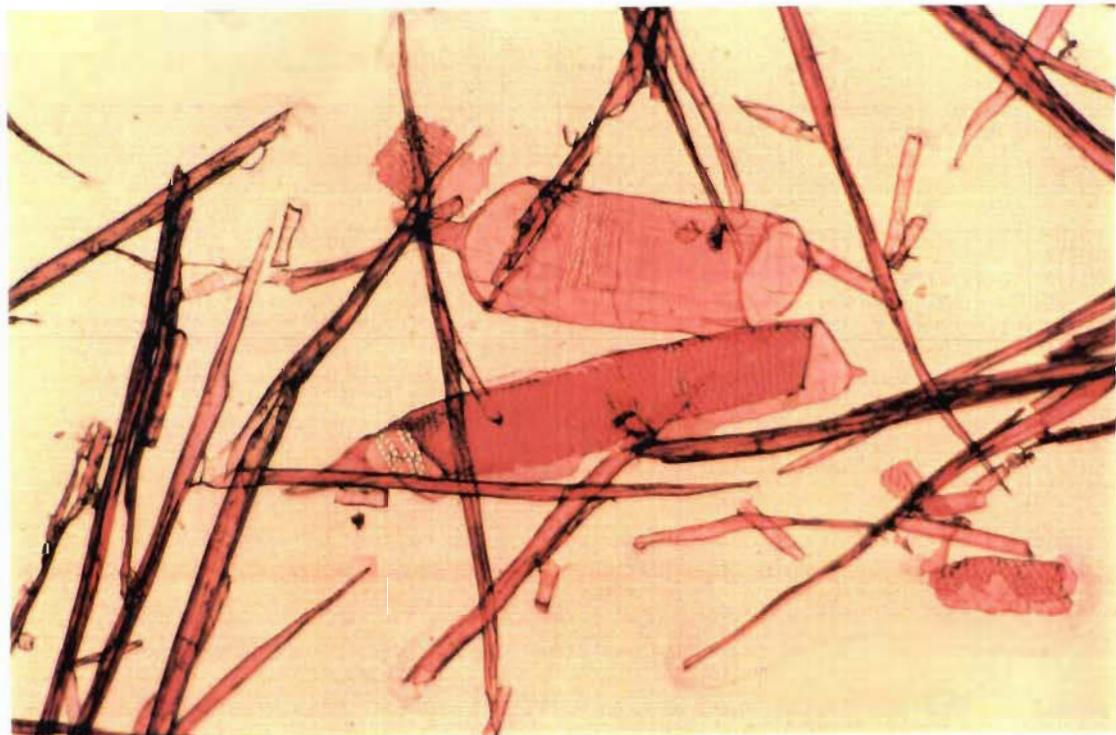


photo 2

Anneexe 2:

III

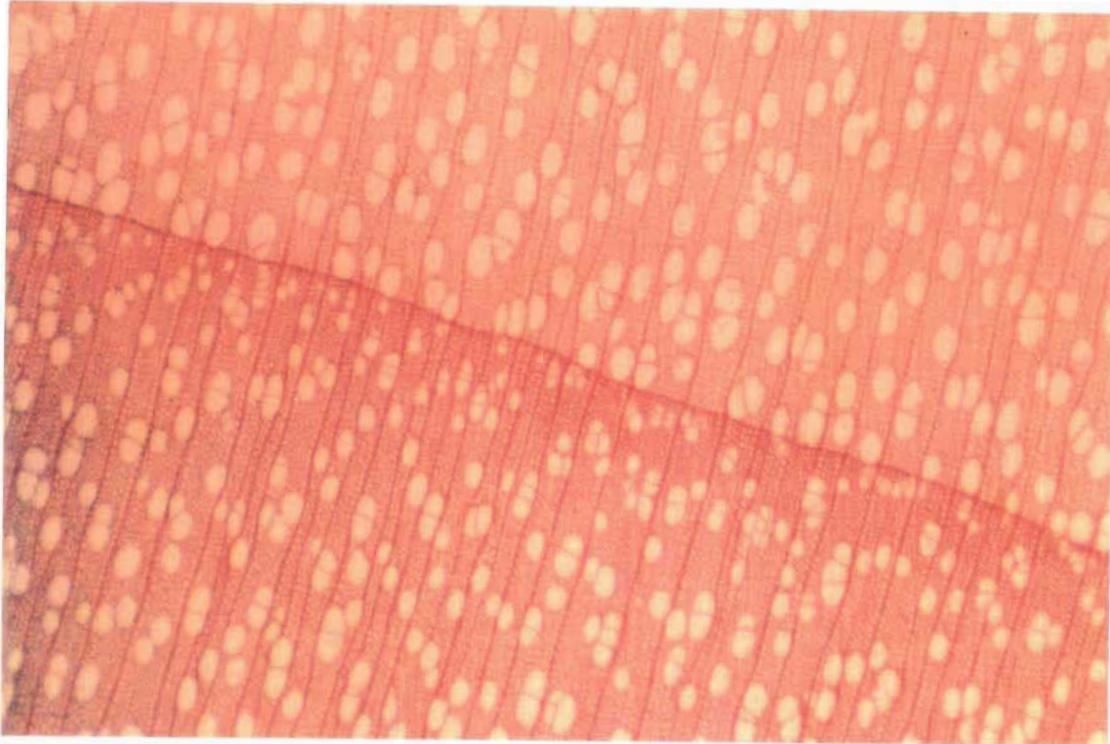


photo 3

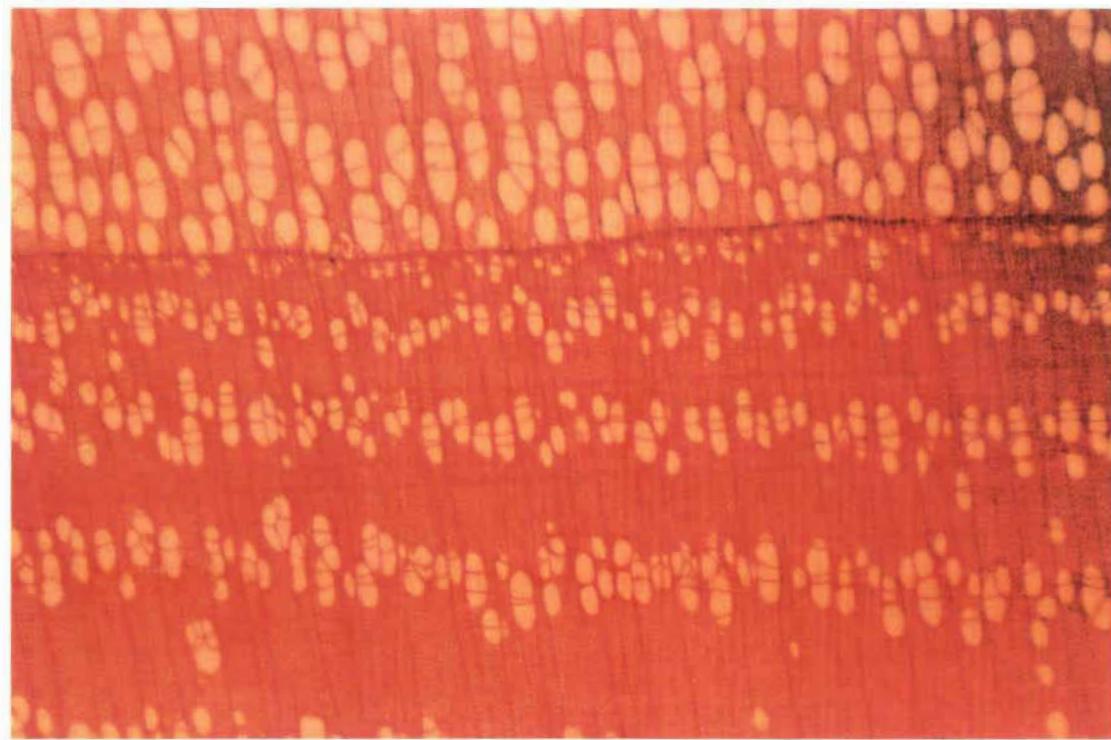


photo 4

Annexe 2:

112

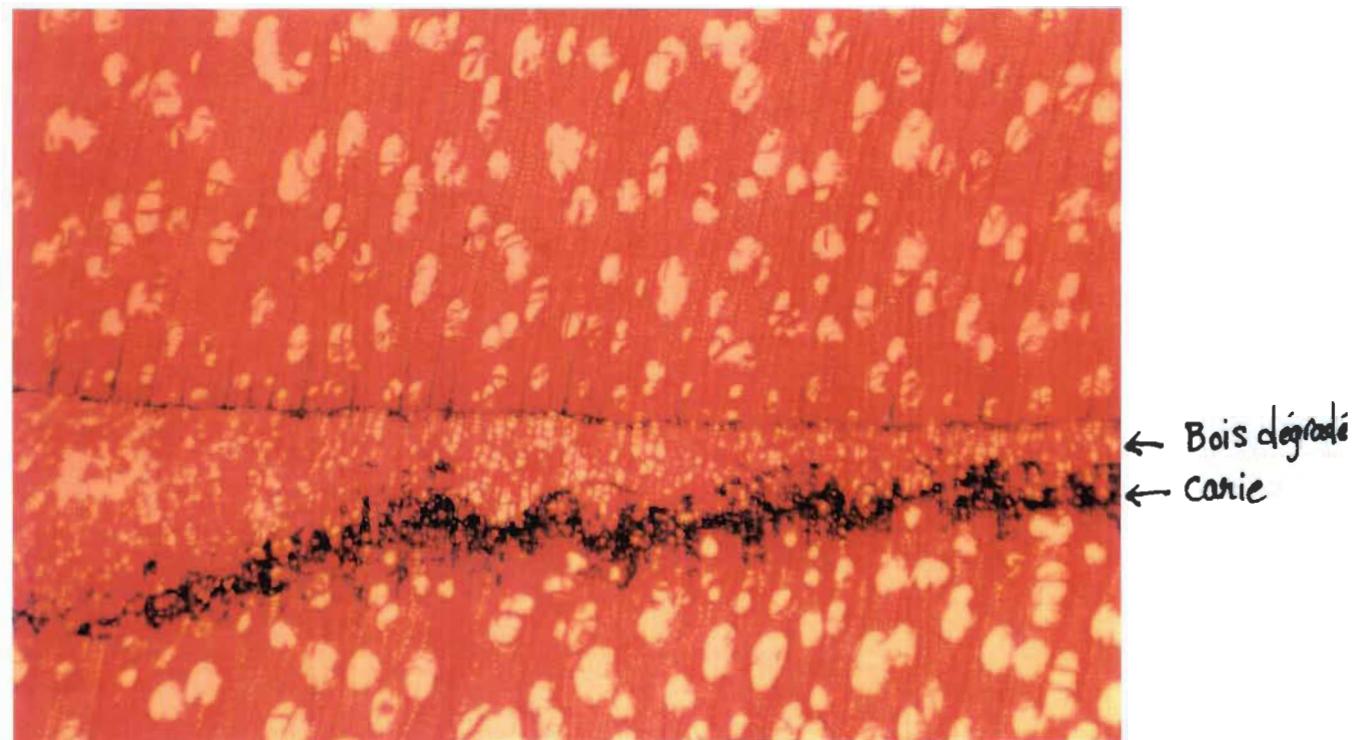


photo 5

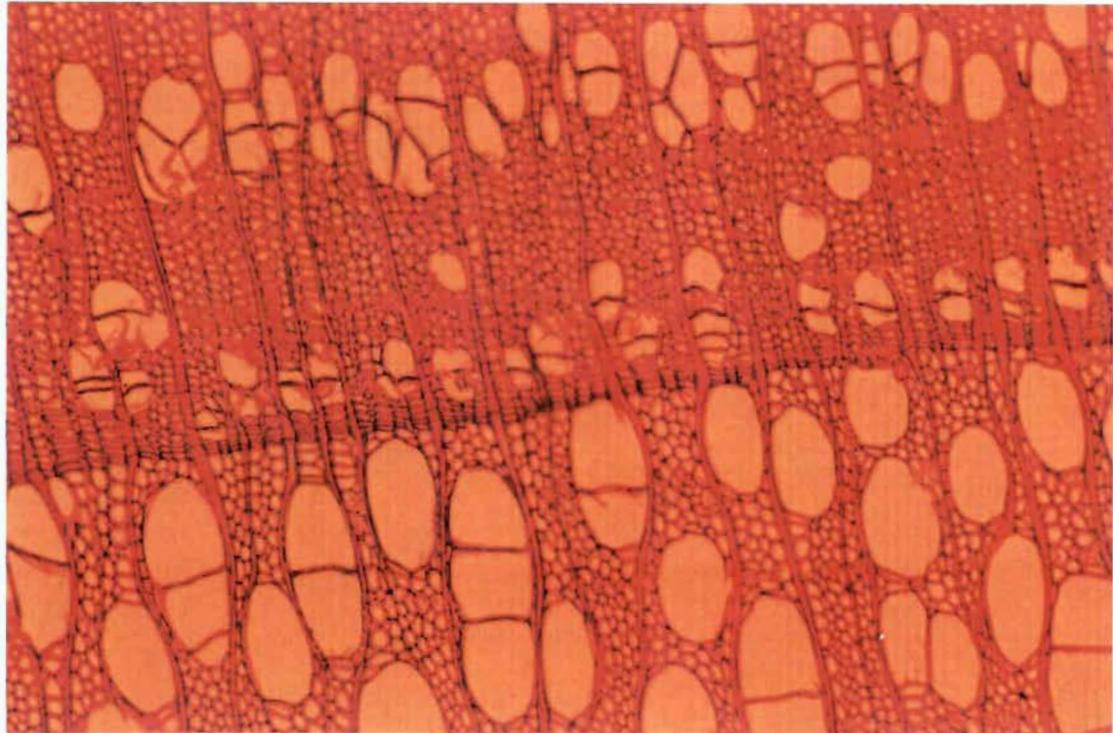
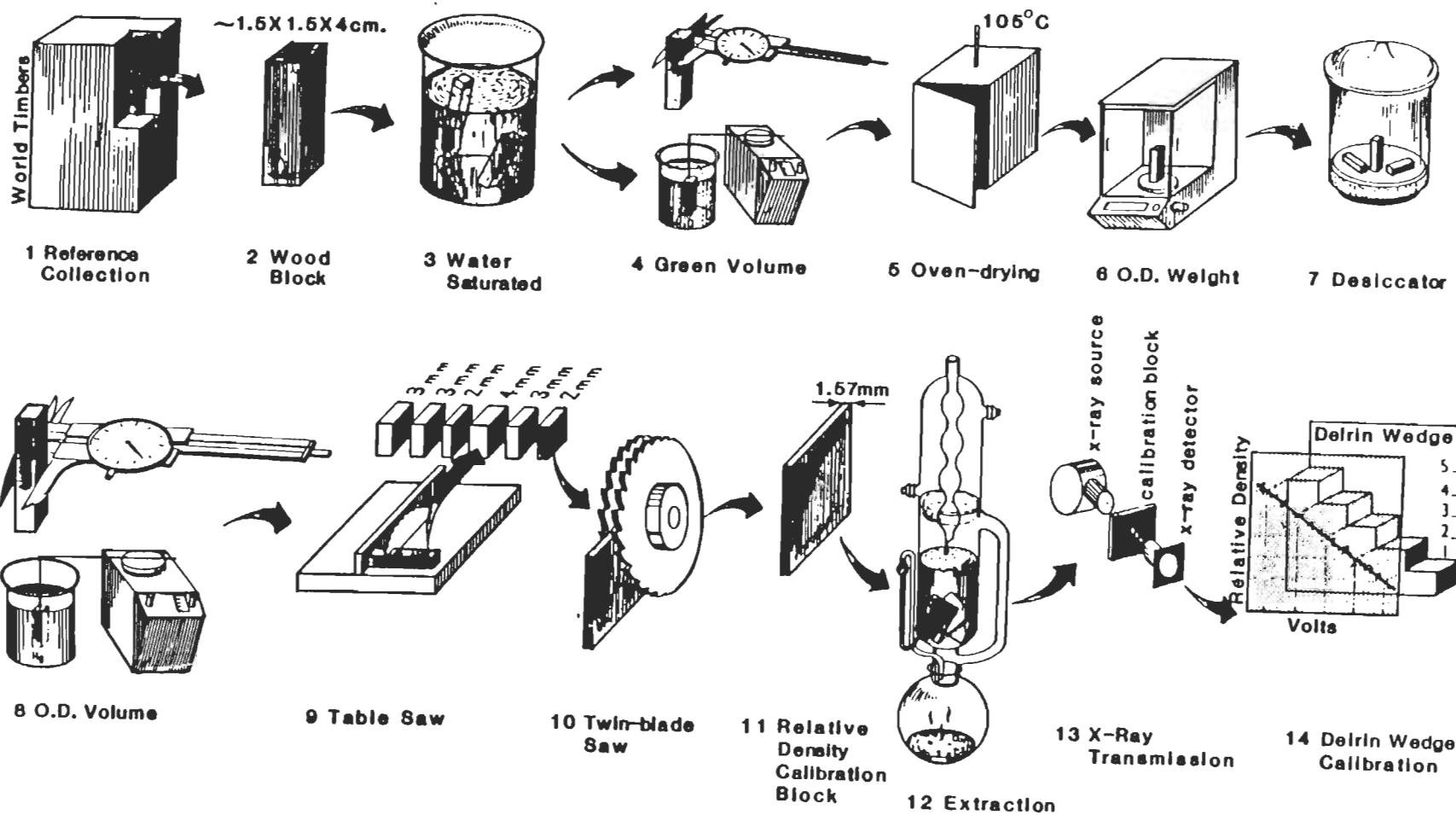


photo 6

ANNEXE 3 : La Densitométrie : Étapes de préparation pour l'analyse d'un échantillon de bois (réf. Forintek Corp.)



ANNEXE 4 : CONDITIONS DE RAFFINAGE DES PÂTES

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO 131

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISSANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	34	34	30	35	32	38	38	38	38	40
CHARGE ZERO (kw)	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13
CHARGE EFFECTIVE (kw)	22	22	17	22	19	25	25	25	25	27
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,3	0,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	0,4
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	0,14
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3247	3313	4431	4865	4881	4915	4491	4738	4369	3873
TEMPS D'ECHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	200	200	350	350	350	350	350	350	350	350
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,448	0,444	0,518	0,517	0,545	0,533	0,524	0,536	0,55	0,466
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	15,68	15,54	10,36	10,34	10,90	10,86	10,48	10,72	11,00	9,32
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,509	0,515	0,459	0,503	0,532	0,524	0,471	0,508	0,481	0,361
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	720	712	716	716	716	716	716	716	716	716
2ème STAGE			617	729	595	795	885	820	867	1247
TOTAL (KWH/tmsa)			1333	1445	1311	1511	1601	1536	1583	1963
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	487	467	368	325	321	319	281	278	257	148

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO R131

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISSANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	33	34	32	34	34	34	38	38	38	40
CHARGE ZERO (kw)	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13
CHARGE EFFECTIVE (kw)	21	22	19	21	21	21	25	25	25	27
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,3	0,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	0,4
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	0,14
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3054	3766	4547	4273	4193	4229	4409	4142	4021	4166
TEMPS D'ÉCHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	300	300	350	350	350	350	350	350	350	350
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,711	0,665	0,527	0,592	0,579	0,57	0,551	0,529	0,568	0,593
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	16,59	15,52	10,54	11,84	11,58	11,40	11,02	10,58	11,36	11,86
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,507	0,584	0,479	0,506	0,486	0,482	0,486	0,438	0,457	0,494
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	691	627	659	659	659	659	659	659	659	659
2ème STAGE			681	692	721	726	858	951	912	911
TOTAL (KWH/tmsa)			1320	1351	1380	1385	1517	1610	1571	1570
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	493	483	329	276	264	261	233	195	191	142

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO 3225

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	39	38	30	34	34	36	36	38	38	40
CHARGE ZERO (kw)	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13
CHARGE EFFECTIVE (kw)	27	26	17	21	21	23	23	25	25	27
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,3	0,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	0,4
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	0,14
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	55	55	54	54	54	54	54	54	54	54
DÉBIT DE LA POMPE (/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3139	3061	4478	4690	4436	4833	4113	4397	4216	4231
TEMPS D'ECHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	250	250	350	350	350	350	350	350	350	350
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,662	0,677	0,524	0,571	0,57	0,578	0,603	0,608	0,582	0,626
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	18,54	18,96	10,48	11,42	11,40	11,56	12,06	12,16	11,64	12,52
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,582	0,580	0,469	0,536	0,506	0,559	0,496	0,535	0,491	0,530
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	773	747	760	760	760	760	760	760	760	760
2ème STAGE			604	653	692	686	773	779	849	850
TOTAL (KWH/tmsa)			1364	1413	1452	1446	1533	1539	1609	1610
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)										
	467	471	361	320	310	306	290	266	224	164

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO 3226

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	37	34	30	32	32	34	36	38	38	40
CHARGE ZERO (kw)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
CHARGE EFFECTIVE (kw)	24	21	17	19	19	21	23	25	25	27
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,3	0,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	0,4
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	0,14
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	55	55	54	54	54	54	54	54	54	54
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3496	3392	3594	4366	4331	4400	4351	4047	4052	3711
TEMPS D'ECHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	300	300	350	350	350	350	350	350	350	350
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,785	0,729	0,532	0,569	0,543	0,573	0,581	0,562	0,593	0,582
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	18,32	17,01	10,64	11,38	10,86	11,46	11,62	11,24	11,86	11,64
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,640	0,577	0,382	0,497	0,470	0,504	0,506	0,455	0,481	0,432
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	625	607	616	616	616	616	616	616	616	616
2ème STAGE			741	637	673	694	758	916	867	1042
TOTAL (KWH/tmsa)			1357	1253	1289	1310	1374	1532	1483	1658
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	492	504	320	296	296	287	265	242	215	145

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO R3226

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISSANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	42	38	26	30	32	33	34	35	36	38
CHARGE ZERO (kw)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
CHARGE EFFECTIVE (kw)	29	25	13	17	19	20	21	22	23	25
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,3	0,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,5	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	2,4	1,5	1,2	1,05	0,9	0,75	0,6	0,4
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,80	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,14
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	55	55	54	54	54	54	54	54	54	54
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3192	2988	4546	4968	5088	4791	4922	4698	4915	4761
TEMPS D'ECHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	250	250	350	350	350	350	350	350	350	350
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,702	0,647	0,514	0,528	0,556	0,55	0,556	0,57	0,563	0,556
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	19,66	18,12	10,28	10,56	11,12	11,00	11,12	11,40	11,26	11,12
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,627	0,541	0,467	0,525	0,566	0,527	0,547	0,536	0,553	0,529
ENERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770
2ème STAGE			464	540	580	632	639	685	693	787
TOTAL (KWH/tmsa)			1234	1310	1330	1402	1409	1455	1463	1557
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	444	457	358	329	319	296	290	267	250	246

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO 3230

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISSANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	34	34	30	32	34	35	36	40	40	
CHARGE ZERO (kw)	13	13	12	12	12	12	12	12	12	
CHARGE EFFECTIVE (kw)	21	21	18	20	22	23	24	28	28	
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,3	0,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	
PRESSION:										
PRESSION (lb/po ²)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po ²)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	55	55	54	54	54	54	54	54	54	
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3039	2958	4031	4136	4048	3803	4176	3986	3986	
TEMPS D'ÉCHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	250	250	350	350	350	350	350	350	350	
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,650	0,626	0,6	0,63	0,645	0,673	0,615	0,686	0,72	
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	18,20	17,53	12,00	12,60	12,90	13,46	12,30	13,72	14,40	
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,553	0,518	0,484	0,521	0,522	0,512	0,514	0,547	0,574	
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	633	675	654	654	654	654	654	654	654	
2ème STAGE			620	640	702	749	779	853	813	
TOTAL (KWH/tmsa)			1274,19	1293,63	1356,17	1402,87	1432,74	1507,33	1467,03	
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	500	526	343	308	279	235	176	48	22	

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO R3230

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISSANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	36	39	30	33	35	37	38	40	40	40
CHARGE ZERO (kw)	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12
CHARGE EFFECTIVE (kw)	23	26	18	21	23	25	26	28	28	28
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,3	0,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	0,4
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	0,14
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	55	55	54	54	54	54	54	54	54	54
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3104	2785	4312	4318	4254	4465	4558	4621	4336	3726
TEMPS D'ÉCHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	250	250	350	350	350	350	350	350	350	350
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,631	0,701	0,525	0,566	0,578	0,601	0,59	0,57	0,594	0,55
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	17,67	19,63	10,50	11,32	11,56	12,02	11,80	11,40	11,88	11,00
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,548	0,547	0,453	0,489	0,492	0,537	0,538	0,527	0,515	0,410
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	699	793	746	746	746	746	746	746	746	746
2ème STAGE			663	716	780	776	806	886	906	1139
TOTAL (KWH/tmsa)			1408,6	1462,04	1525,51	1522,36	1551,69	1631,86	1651,94	1884,6
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	500	504	300	290	290	266	242	215	188	105

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO 3308

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISSANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	43	42	32	34	35	36	38	32	30	
CHARGE ZERO (kw)	12	12	13	13	13	13	13	13	13	
CHARGE EFFECTIVE (kw)	31	30	19	21	22	23	25	19	17	
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,25	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	55	55	54	54	54	54	54	54	54	
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	2293	2947	4207	3873	3615	3600	3703	3974	3110	
TEMPS D'ÉCHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	250	250	350	350	350	350	350	350	350	
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,699	0,763	0,62	0,686	0,667	0,689	0,667	0,615	0,606	
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	19,57	21,36	12,40	13,72	13,34	13,78	13,34	12,30	12,12	
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,449	0,630	0,522	0,531	0,482	0,496	0,494	0,489	0,377	
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	1151	794	972,5	972,5	972,5	972,5	972,5	972,5	972,5	
2ème STAGE			607	659	760	773	843	648	752	
TOTAL (KWH/tmsa)			1579,53	1631,17	1732,84	1745,22	1815,99	1620,34	1724,18	
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	500	459	343	304	265	249	131	52	24	

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

PATE CTMP HYBRIDE NO R3308

CODE IDENTIFICATION DES PÂTES:	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
CALCUL PUISSANCE ÉLECTRIQUE:										
CHARGE TOTALE (kw)	42	44	28	34	37	38	41	42	42	44
CHARGE ZERO (kw)	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13
CHARGE EFFECTIVE (kw)	30	32	15	21	24	25	28	29	29	31
DILUTION:										
DISQUES PLATS (galUS/min)	0,25	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DISQUES CONIQUES (galUS/min)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DISTANCE DE PLAQUES:										
DISQUES PLATS (mm)(mesuré)	0,40	0,40	0,8	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15
DISQUES CONIQUES(mm)(mesuré)	1,20	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,6	0,4	0,4
DISTANCE RÉELLE (mm)	0,40	0,40	0,50	0,40	0,39	0,38	0,36	0,20	0,15	0,14
PRESSION:										
PRESSION (lb/po2)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
POSITION DE SOUFFLAGE (deg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
LESSIVEUR:										
PRESSION (lb/po2)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
TEMPS DE RÉTENTION (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VIS DE DÉCHARGEMENT (%)	55	55	54	54	54	54	54	54	54	54
DÉBIT DE LA POMPE (l/mn)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CALCUL PRODUCTION MOYENNE:										
POIDS ÉCHANTILLON HUMIDE (g)	3071	2767	5063	5168	4700	4852	4939	4797	3966	3773
TEMPS D'ÉCHANTILLONNAGE (sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ÉCHANTILLON DESINT. (g)	250	250	350	350	350	350	350	350	350	350
CONSISTANCE-CHAUDIÈRE (%)	0,685	0,775	0,529	0,568	0,567	0,552	0,614	0,656	0,67	0,675
PRODUCTION MOYENNE (kg/min)										
CONSISTANCE (%)	19,18	21,70	10,58	11,36	11,34	11,04	12,28	13,12	13,40	13,50
PRODUCTION SÈCHE (kg/min)	0,589	0,600	0,536	0,587	0,533	0,536	0,607	0,629	0,531	0,509
ÉNERGIE SPECIFIQUE (kwh/TMSA)										
1er STAGE	849	888	868,5	868,5	868,5	868,5	868,5	868,5	868,5	868,5
2ème STAGE			467	596	750	778	769	768	909	1014
TOTAL (KWH/tmsa)			1335,21	1464,67	1619	1646,36	1637,93	1636,47	1777,97	1882,85
INDICE D'ÉGOUTTAGE (ml)	520	479	394	315	320	291	261	219	191	103

ANNEXE 5 : PÂTES CTMP AUX DIFFÉRENTS INDICES D'ÉGOUTTAGE

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE 131 - CTMP	2-1	2-3	2-5	2-8
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw·h/t)	1333,21	1311,21	1601,29	1962,66
HDP/TMSA	74,49	73,26	89,47	109,67
Mj/kg	4,80	4,72	5,76	7,07
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	361	341	331	213
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0,7	0,2	0,1	0,2
14/28	4,2	3,1	2,8	1,5
28/48	37,6	35,3	36,2	30,5
48/100	39,7	41,8	41,1	41,3
100/200	9,2	0,9	10,2	1,6
P 200	8,6	18,7	9,6	24,9
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,54	0,53	0,54	0,49
Pondérée en longueur , mm	0,74	0,70	0,72	0,68
Pondérée en poids , mm	0,91	0,83	0,86	0,82
Matières fines pondérées en poids, %	4,78	5,10	5,00	6,11
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	60,16	59,75	60,54	61,84
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,66	2,71	2,63	2,44
DENSITÉ (g/cm ³)	0,38	0,37	0,38	0,41
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,31	3,46	3,56	4,00
ALLONGEMENT (%)	1,26	1,36	1,39	1,53
TEA (g/cm)	16	18	19	25
IND. ÉCLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,49	1,52	1,55	2,03
INDICE DÉCHIRURE (mN·m ² /g)	4,53	4,66	4,89	5,60
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	53,5	53,5	52,9	52,5
OPACITE (%)	91,6	92,0	92,2	93,2
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	43	45	44	46
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,7	2,8	2,8	3,1
L*	87,09	87,17	87,02	86,75
a*	-0,19	-0,24	-0,24	-0,2
b*	16,03	16,24	16,59	16,48

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE R131 - CTMP	2-1	2-2	2-5	2-8
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw-h/t)	1319,75	1350,80	1516,57	1569,77
HDP/TMSA	73,74	75,48	84,74	87,71
Mj/kg	4,75	4,86	5,46	5,65
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	372	337	304	190
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0,3	0,1	0,1	0
14/28	4,1	2,7	2	1,2
28/48	40,6	33	32,6	29,3
48/100	43	49,7	39,6	41,6
100/200	10,3	9	10	11,6
P 200	1,7	5,5	15,7	16,3
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,53	0,53	0,51	0,48
Pondérée en longueur , mm	0,71	0,70	0,68	0,66
Pondérée en poids , mm	0,84	0,85	0,80	0,79
Matières fines pondérées en poids, %	4,98	4,80	5,03	6,50
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	60,58	59,81	60,88	59,03
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,58	2,58	2,41	2,29
DENSITÉ (g/cm ³)	0,39	0,39	0,41	0,44
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,26	3,48	3,86	4,79
ALLONGEMENT (%)	1,27	1,27	1,52	1,72
TEA (g/cm)	16	17	23	33
IND. ÉCLATEMENT (kPa*m ² /g)	1,46	1,64	1,79	2,28
INDICE DÉCHIRURE (mN*m ² /g)	4,84	4,64	4,95	5,00
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	55,8	54,9	54,2	54,2
OPACITE (%)	90,7	91,4	91,6	91,6
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	44	45	44	45
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,3	2,5	2,6	2,7
L*	88,26	87,73	87,48	87,3
a*	-0,54	-0,27	-0,25	-0,55
b*	15,8	15,73	16,09	15,79

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE 3225 - CTMP	2-1	2-4	2-6	2-8
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw-h/t)	1363,74	1446,12	1539,29	1609,50
HPD/TMSA	76,20	80,80	86,01	89,93
Mj/kg	4,91	5,21	5,54	5,79
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	401	346	302	193
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0,2	0,1	0,1	0,1
14/28	3	2,1	1,4	11,9
28/48	29,9	26,9	26,1	10,2
48/100	45,6	42,9	43,8	41,6
100/200	13,2	12,5	13,7	16,6
P 200	8,1	15,5	14,9	19,6
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,50	0,49	0,50	0,45
Pondérée en longueur , mm	0,70	0,69	0,69	0,64
Pondérée en poids , mm	0,85	0,81	0,82	0,76
Matières fines pondérées en poids, %	6,22	6,11	6,34	8,27
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	59,25	60,32	58,19	60,87
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	3,00	2,87	2,78	3,07
DENSITÉ (g/cm ³)	0,33	0,35	0,36	0,33
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	2,28	2,70	3,03	2,90
ALLONGEMENT (%)	0,96	1,12	1,24	1,27
TEA (g/cm)	8,10	11,73	14,15	14,66
IND. ÉCLATEMENT (kPa*m ² /g)	0,96	1,09	1,23	1,23
INDICE DÉCHIRURE (mN*m ² /g)	2,86	3,10	3,27	3,76
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	52,66	51,79	52,23	52,56
OPACITE (%)	91,46	91,86	91,79	93,53
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	43,88	43,43	45,88	47,97
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,70	2,82	2,75	3,12
L*	87,27	87,01	87,34	87,02
a*	-0,75	-0,33	-0,49	-0,46
b*	17,30	17,73	17,86	16,92

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE 3226 - CTMP	2-1	2-3	2-6	2-8
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw·h/t)	1356,93	1289,26	1531,99	1657,76
HPD/TMSA	75,82	72,04	85,60	92,63
Mj/kg	4,88	4,64	5,52	5,97
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	351	321	274	174
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0,4	0,2	0	0,1
14/28	3,5	3	1,9	1
28/48	35,6	33,9	30,8	26
48/100	41,8	42,1	40,7	40,3
100/200	10,8	11	11,3	13,1
P 200	7,9	9,8	15,3	19,5
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,54	0,54	0,51	0,48
Pondérée en longueur , mm	0,73	0,73	0,70	0,66
Pondérée en poids , mm	0,88	0,86	0,83	0,79
Matières fines pondérées en poids, %	5,60	5,34	5,89	7,27
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	59,75	61,34	59,28	62,14
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,78	2,77	2,67	2,33
DENSITÉ (g/cm ³)	0,36	0,36	0,38	0,43
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	2,92	2,81	3,46	3,69
ALLONGEMENT (%)	1,07	1,05	1,29	1,36
TEA (g/cm)	11,62	11,24	17,22	19,87
IND. ÉCLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,24	1,34	1,55	1,85
INDICE DÉCHIRURE (mN·m ² /g)	4,05	3,84	3,97	4,40
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	53,05	51,99	52,13	51,76
OPACITE (%)	91,14	91,86	91,71	92,36
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	42,84	42,55	43,86	42,81
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,68	2,77	2,87	2,90
L*	87,28	86,90	86,98	86,72
a*	-0,15	0,01	-0,03	-0,02
b*	16,88	17,29	17,31	17,23

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLOSE R3226 - CTMP	2-1	2-2	2-4	2-7
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw-h/t)	1233,63	1310,07	1402,50	1462,65
HDP/TMSA	68,93	73,20	78,37	81,73
mj/kg	4,44	4,72	5,05	5,27
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	382	367	354	318
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0,1	0,2	0,2	0,2
14/28	4,1	3,8	2,8	1,9
28/48	35,3	34,9	1	0,8
48/100	37,7	38,2	66,1	64,7
100/200	0,8	0,9	13,4	14,1
P 200	22	22	16,5	18,3
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,53	0,53	0,52	0,53
Pondérée en longueur , mm	0,73	0,73	0,71	0,72
Pondérée en poids , mm	0,87	0,87	0,84	0,86
Matières fines pondérées en poids, %	5,91	5,75	6,04	5,60
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	58,91	58,80	61,37	60,13
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,90	3,01	2,84	2,76
DENSITÉ (g/cm ³)	0,34	0,33	0,35	0,36
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,29	2,17	3,00	3,18
ALLONGEMENT (%)	0,96	0,84	1,18	1,19
TEA (g/cm)	8,31	6,49	13,78	14,53
IND. ÉCLATEMENT (kPa*m ² /g)	1,00	1,00	1,25	1,40
INDICE DÉCHIRURE (mN*m ² /g)	3,75	3,37	3,52	3,61
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	53,65	53,23	52,11	52,81
OPACITE (%)	91,20	91,56	92,39	92,43
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	43,97	44,39	43,51	45,24
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,55	2,72	2,93	2,83
L*	87,42	87,20	86,78	87,02
a*	-0,17	-0,18	-0,25	-0,28
b*	16,50	16,54	16,99	16,66

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE 3230 - CTMP	2-1	2-2	2-4	2-5
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw-h/t)	1274,2	1293,6	1402,9	1467,0
HPD/TMSA	71,2	72,3	78,4	82,0
Mj/kg	4,6	4,7	5,1	5,3
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	369	309	275	227
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0,4	0,2	0,1	0,2
14/28	3,2	3,3	2,8	2,9
28/48	34,3	39,3	37,7	37
48/100	32,9	37,7	37,8	37,3
100/200	7,6	19,2	9,6	9,7
P 200	21,6	0,3	12	12,9
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,55	0,53	0,51	0,50
Pondérée en longueur , mm	0,75	0,73	0,71	0,70
Pondérée en poids , mm	0,89	0,87	0,85	0,84
Matières fines pondérées en poids, %	4,86	5,23	5,97	6,18
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	59,97	60,37	58,69	60,56
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,77	2,80	2,64	2,54
DENSITÉ (g/cm ³)	0,36	0,36	0,38	0,39
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	2,98	2,90	3,24	3,83
ALLONGEMENT (%)	1,19	1,16	1,22	1,56
TEA (g/cm)	13,43	12,95	14,55	23,88
IND. ÉCLATEMENT (kPa*m ² /g)	1,36	1,41	1,62	1,84
INDICE DÉCHIRURE (mN*m ² /g)	4,11	4,46	4,05	4,76
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	51,48	50,17	51,20	51,29
OPACITE (%)	91,65	92,65	92,10	92,92
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	42,36	42,90	44,13	44,91
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,83	3,31	3,07	3,14
L*	86,70	86,00	86,55	86,53
a*	-0,18	-0,04	-0,20	-0,18
b*	17,51	17,65	17,54	17,39

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE R3230 - CTMP	2-1	2-4	2-6	2-8
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw·h/t)	1408,6	1522,4	1631,9	1884,6
HPD/TMSA	78,7	85,1	91,2	105,3
Mj/kg	5,1	5,5	5,9	6,8
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	401	324	283	105
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0	0,1	0,1	0,1
14/28	2,9	2,1	1,5	0,5
28/48	32,1	30,8	30,1	21,6
48/100	6,3	6,7	6,7	5,6
100/200	42	43,6	42,4	46,7
P 200	16,7	16,7	19,2	25,5
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,55	0,53	0,53	0,44
Pondérée en longueur , mm	0,74	0,72	0,71	0,63
Pondérée en poids , mm	0,87	0,85	0,84	0,77
Matières fines pondérées en poids, %	4,88	5,21	5,44	8,45
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	59,92	61,65	59,71	61,04
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,67	2,56	2,51	2,21
DENSITÉ (g/cm ³)	0,37	0,39	0,40	0,45
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,55	3,39	4,09	5,13
ALLONGEMENT (%)	1,32	1,25	1,51	1,93
TEA (g/cm)	18,02	16,46	24,10	41,31
IND. ÉCLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,54	1,65	1,87	2,45
INDICE DÉCHIRURE (mN·m ² /g)	4,47	3,85	4,62	4,45
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	51,41	50,59	49,34	50,44
OPACITE (%)	91,58	92,38	93,28	93,22
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	41,39	41,69	43,37	43,90
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	3,00	3,08	3,68	3,28
L*	86,36	86,13	85,30	85,93
a*	-0,46	-0,36	-0,26	-0,46
b*	17,00	17,46	17,33	17,26

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE 3308 - CTMP	2-1	2-2	2-4	2-5
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw·h/t)	1579,5	1631,2	1745,2	1816,0
HPD/TMSA	88,3	91,1	97,5	101,5
Mj/kg	5,7	5,9	6,3	6,5
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	359	338	289	184
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0,1	0,1	0,1	0,4
14/28	4,3	3,2	3,3	3,7
28/48	45,9	43,2	40,6	37,1
48/100	33,5	33,4	33,2	32,8
100/200	8,3	7,7	8,5	9,6
P 200	7,9	12,4	14,3	16,4
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,58	0,57	0,54	0,52
Pondérée en longueur , mm	0,80	0,78	0,75	0,74
Pondérée en poids , mm	0,95	0,91	0,90	0,89
Matières fines pondérées en poids, %	4,59	5,14	5,76	6,19
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	59,96	60,35	59,92	59,79
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,69	2,60	2,60	2,43
DENSITÉ (g/cm ³)	0,37	0,38	0,38	0,41
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	2,67	3,33	3,32	4,20
ALLONGEMENT (%)	1,09	1,56	1,31	1,76
TEA (g/cm)	10,56	20,87	16,54	29,45
IND. ÉCLATEMENT (kPa·m ² /g)	1,51	1,60	1,70	2,21
INDICE DÉCHIRURE (mN·m ² /g)	4,86	4,84	4,65	5,22
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	51,69	51,88	51,35	51,33
OPACITE (%)	91,75	91,78	92,49	92,71
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	42,53	42,59	43,73	44,32
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,84	2,82	3,17	3,18
L*	86,61	86,77	86,35	86,32
a*	0,03	0,07	0,18	0,13
b*	17,12	17,19	17,01	16,99

PROJET SUR LES PROPRIÉTÉS PAPETIÈRES DU PEUPLIER HYBRIDE

CLONE R3308 - CTMP	2-1	2-3	2-5	2-7
PROPRIÉTÉS DES PÂTES				
ENERGIE (kw·h/t)	1335,2	1619,0	1637,9	1778,0
HPD/TMSA	7,5	9,0	9,2	9,9
Mj/kg	4,8	5,8	5,9	6,4
INDICE D'EGOUTTAGE (ml)	432	351	327	263
FRACTIONS BAUER McNETT (%)				
R 14	0	0,2	0,1	0
14/28	4,1	3,1	3,1	3,2
28/48	2,4	2,1	2,4	2,1
48/100	73	70,9	82,2	67,9
100/200	9,8	10,4	10,6	11,3
P 200	10,7	13,3	1,6	15,5
Longueur de fibres F Q A OPTEST				
MOYENNE Arithmétique, mm	0,60	0,59	0,58	0,56
Pondérée en longueur , mm	0,82	0,80	0,80	0,78
Pondérée en poids , mm	0,98	0,94	0,95	0,93
Matières fines pondérées en poids, %	4,51	4,34	4,53	5,23
PROPRIÉTÉS DU PAPIER SEC				
GRAMMAGE (g/m ²)	61,76	60,68	60,97	59,51
VOLUME SPÉCIFIQUE (cm ³ /g)	2,56	2,49	2,43	2,44
DENSITÉ (g/cm ³)	0,39	0,40	0,41	0,41
RÉSISTANCE				
LONGUEUR DE RUPTURE (km)	3,37	3,83	3,78	3,42
ALLONGEMENT (%)	1,40	1,61	1,45	1,32
TEA (g/cm)	18,91	25,03	21,82	16,87
IND. ÉCLATEMENT (kPa*m ² /g)	1,53	1,79	2,04	1,81
INDICE DÉCHIRURE (mN*m ² /g)	4,63	4,92	5,43	5,21
PROPRIÉTÉS OPTIQUES				
BLANCHEUR (8-457nm,%)	52,09	50,70	50,41	51,68
OPACITE (%)	91,50	91,96	92,31	92,77
COEFFICIENT DE DIFFUSION (m ² /kg)	40,96	41,37	41,50	45,21
COEFFICIENT D'ABSORPTION (m ² /kg)	2,75	3,13	3,12	3,19
L*	86,73	86,12	85,95	86,50
a*	-0,55	-0,12	0,00	-0,07
b*	16,92	17,32	17,33	16,96