

**Fabrication des produits d'emballages thermoformés
recyclables et biodégradables à partir des plantes
bio-industrielles**

Rédaction du rapport : Tarik Jabrane, Ph.D. Chargé de projet, CÉGEP Trois-Rivières

Réalisation du projet : Benoît Bideau, Ph.D. Chercheur, Innofibre
Nathalie Boudreau, M.Sc. Chercheuse, Innofibre

Collaboratrice : Snizhana Olishevskaya, Ph.D. Coordinatrice du Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec (RPBQ), Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc.

Personnes contact :

Innofibre Benoît Bideau, Ph.D. 3351, boulevard des Forges, C.P. 97
Trois-Rivières, Québec, G9A 5E6
Téléphone : (819) 376-5011 ext 4545
Courriel : benoit.bideau@cegeptr.qc.ca

Centre de recherche sur les grains (CÉROM) Snizhana Olishevskaya, Ph.D. 740, chemin Trudeau
Saint-Mathieu-de-Beloeil,
QC, J3G 0E2
Téléphone : (450) 464-2715 ext. 236
Courriel : snizhana.olishevskaya@cerom.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Bideau B., Boudreau N., Jabrane T., Olishevskaya S. 2021. Fabrication des produits d'emballages thermoformés recyclables et biodégradables à partir des plantes bio-industrielles. Rapport. CÉGEP Trois-Rivières (Trois-Rivières, QC), Centre de recherche sur les grains CÉROM (Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC) : 18 pages

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	4
Objectif	4
Méthodologie	5
Mise en pâte et caractérisation des fibres	6
Thermoformage de produits cellulosiques	12
Résultats	13
Mise en pâte et caractérisation des fibres	13
Thermoformage de produits cellulosiques	16
Conclusion	18

Introduction

Les entreprises d'emballage alimentaire s'intéressent de plus en plus à la production de produits thermoformés recyclables et/ou biodégradables pouvant substituer les emballages de plastique ou de polystyrène conventionnels. Il a été démontré que certaines plantes lignocellulosiques peuvent potentiellement être utilisées dans la fabrication de bioproduits d'emballages 3D comme des barquettes, ou pour la fabrication de papiers.

Les plantes bio-industrielles telles que le panic érigé (PÉ), le miscanthus géant (MG) et le saule à croissance rapide (SCR), en tant que matière première, présentent un avantage certain en raison de leur longévité de production (10-25 ans), de leur rendement élevé (10-25 tonne ha⁻¹ an⁻¹) et de leur capacité de séquestrer le carbone dans la biomasse racinaire et aérienne ainsi que dans le sol (5-12 Mg C ha⁻¹).

Depuis 2010, le Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc. coordonne le Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec (RPBQ) qui dans le cadre de sa mission en collaboration avec ses partenaires travaille activement sur le déploiement de modèles de chaîne de valeur de ces plantes.

Le développement de plantes dédiées à la bio-industrie constitue donc un secteur prometteur, puisque leur culture permet à la fois de soutenir une agriculture durable, de diversifier les marchés, mais également de faire partie des solutions pour une diminution des gaz à effet de serre.

Objectif

Ce projet collaboratif entre Innofibre et le CÉROM vise à valoriser la biomasse du panic érigé (PÉ), du miscanthus géant (MG) et du saule à croissance rapide (SCR) afin d'offrir une solution innovante en remplaçant les produits d'emballages de plastique ou de polystyrène conventionnels, réduisant du même coup les émissions de gaz à effet de serre.

Méthodologie

Le présent projet s'articule en deux étapes :

- 1) La mise en pâte et caractérisation des fibres;
- 2) Le thermoformage de barquettes.

La figure 1 montre le cheminement suivi lors de ce projet.

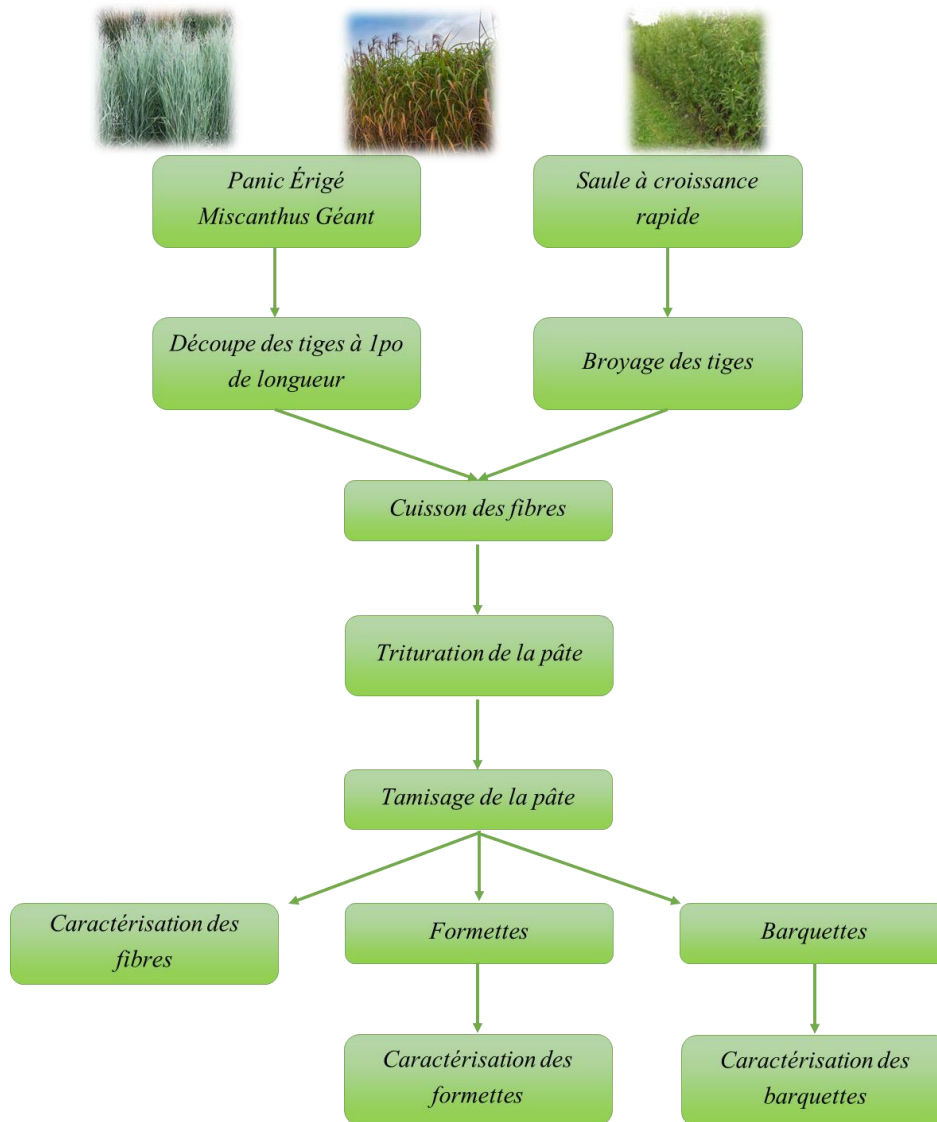


Figure 1 : Schéma de cheminement du projet

Mise en pâte et caractérisation des fibres

Plusieurs kilogrammes de chacune des matières premières à tester ont été reçus. Celles-ci sont arrivées partiellement sèches et non traitées (pas de traitement mécanique), tel qu'illustré sur la Figure 2.



Figure 2 : Panic érigé après récolte

Les tiges étant trop grandes pour être utilisées en l'état, un traitement mécanique a été nécessaire afin de les conditionner à une dimension raisonnable pour le procédé de cuisson. Dans le cas du PÉ et du MG, deux plantes vivaces, un simple processus de découpe à l'aide d'une guillotine a été suffisant pour réduire la longueur des tiges à environ 1 po (Figure 3). Dans le cas du SCR, les tiges étant trop grosses et résistantes pour ce procédé, il fut donc nécessaire de réaliser une étape de broyage à l'aide d'un broyeur lent Weima WLK4 (90 RPM, 17 couteaux). Deux passes ont été nécessaires pour conditionner la biomasse à l'aide d'une grille 30 mm (Figure 4).



Figure 3 : Tiges de Panic Érigé coupées à une longueur de 1 po



Figure 4 : Tiges de Saule à croissance rapide broyées

Une fois dimensionnées correctement, les matières premières ont subi une cuisson qui permet de ramollir et libérer les fibres intéressantes pour la production de feuilles ou de produits thermoformés. Selon la matière, les conditions de cuisson ont dû être ajustées afin d'être suffisamment efficace pour extraire les fibres (voir tableau 1). Les cuissons ont été réalisées dans un lessiveur de 20L (Figure 5).

Tableau 1: Conditions de cuisson des 3 matières premières

Condition de cuisson	Panic érigé	Miscanthus géant	Saule à croissance rapide
Temps (min)	60	60	120
Température (°C)	160	160	160
Ratio liqueur bois	16	16	5
Charge alcali effectif (%)	13.1	13.1	14.02
Sulfidité (%)	20	20	25



Figure 5 : Lessiveur utilisé pour la cuisson

La Figure 6 montre le saule à croissance rapide après cuisson. On peut constater que de gros morceaux sont encore présents en grand nombre. Un traitement mécanique a donc été nécessaire pour réduire la taille de ces fragments et ainsi, libérer davantage de fibres. Chaque matière première a donc subi une étape de trituration de 30 minutes. De l'eau chaude (50-55°C) a été utilisée afin de favoriser le procédé.

Bien que ce traitement permette d'uniformiser la qualité de la pâte obtenue (Figure 7), il reste une étape de tamisage nécessaire afin d'obtenir une pâte de première qualité. La pâte a donc été passée au travers du tamis (Figure 8) et nous avons pu obtenir une pâte parfaitement homogène, comme on peut le constater sur la Figure 9. C'est à partir de cette pâte que la caractérisation des fibres a été faite, pour chacune des 3 matières premières, ainsi que les formettes et barquettes.



Figure 6 : Saule à croissance rapide après cuisson



Figure 7 : Saule à croissance rapide après une étape de trituration



Figure 8 : Étape de tamisage de la pâte



Figure 9 : Pâte obtenue après tamisage

La production des feuilles, aussi appelées formettes, s'est faite à l'aide d'une formette semi-automatique (Figure 10). Des formettes de 1,2 g ont été produites, selon la norme TAPPI T 205, puis conditionnées 24h dans une salle d'humidité contrôlée (50% RH) avant leur caractérisation. Les tests de caractérisation menés sur ces pâtes et formettes ont été réalisés selon les normes en vigueur (Tableau 2).



Figure 10 : Formette semi-automatique

Tableau 2 : Liste des tests de caractérisation des pâtes et formettes

Tests de laboratoire	Méthodes
Indice d'égouttage	ATPPC C.1 TAPPI T 200
Dimensions des fibres sur appareil FQA HiRes	ATPPC B.4P TAPPI T 271
Classification de fibres Bauer-McNett	ATPPC C.5u TAPPI T 233
Indice Kappa	ATPPC G.18 TAPPI T 236
Fabrication de formettes de blancheur standard	ATPPC C.5 TAPPI T 272
Grammage	ATPPC D.3 TAPPI T 410
Humidité	ATPPC D.3
Épaisseur	ATPPC D.4 TAPPI T 411
Bouffant	ATPPC D.4
Résistance à l'éclatement (papier)	ATPPC D.8 TAPPI T 403
Résistance au déchirement	ATPPC D.9 TAPPI T 414
Résistance à la traction, allongement, TEA	ATPPC D.34 TAPPI T 494

Thermoformage de produits cellulodiques

La production des barquettes s'est faite sur l'équipement pilote d'Innofibre. Il s'agit d'une machine de thermoformage TF-45 de MSI PME, de taille industrielle (Figure 11). Elle se compose de 2 séries de moules, le premier pour la formation et le transfert de la pièce, le 2e pour le séchage de la pièce. Dans le cas présent, la formation des pièces s'est faite avec un vide de 27inHg et le séchage à 190°C. Étant donné qu'il n'était pas toujours évident d'avoir la formation de belles barquettes et que la quantité de pâte était limitée, nous avons également fait la production de barquettes contenant 50% de fibres de résineux blanchis non raffinés (Figure 12).

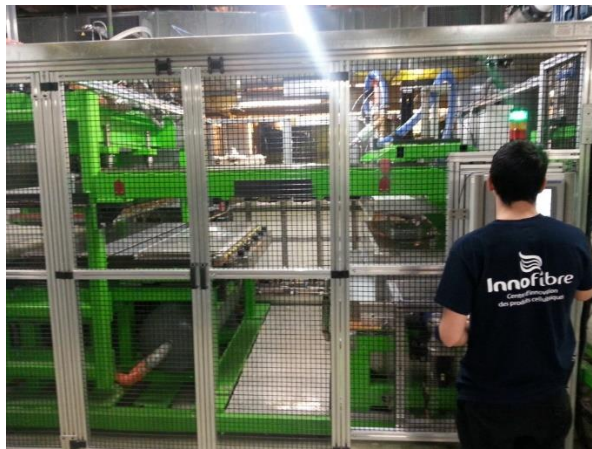


Figure 11 : Équipement de thermoformage



Figure 12 : Fibres des résineux non raffinés

Les tests de caractérisation menés sur ces pâtes et formettes ont été réalisés selon les normes en vigueur (Tableau 3).

Tableau 3: Liste des tests de caractérisation des barquettes

Tests de laboratoire	Méthodes
Temps de drainage	TAPPI T 221
Rigidité – FPI	TAPPI T 556
Résistance à la traction, allongement, TEA	ATPPC D.34 TAPPI T 494

Résultats

Mise en pâte et caractérisation des fibres

Plusieurs cuissons ont été nécessaires afin de produire des quantités de pâte suffisante pour la production de formettes et de barquettes. Bien que non mentionnés dans l'OS-409, les rendements sont donnés à titre informatif (tableau 4). L'idée du projet étant la production de barquettes, nous ne nous sommes pas attardés sur l'optimisation des rendements pour la mise en pâte de ces matières premières.

Tableau 4 : Rendement des cuissons

	Panic érigé	Miscanthus géant	Saule à croissance rapide
Rendement (%)	± 50 %	± 50 %	± 30 %

Les résultats de caractérisation des différentes pâtes sont présentés dans le tableau 5. Comme on peut le constater, l'indice d'égouttage est plus élevé pour le SCR que pour les plantes vivaces. Cela peut s'expliquer par la longueur des fibres et la nature des fibres (la cellulose ou la lignine n'ont pas la même affinité pour l'eau et donc le pourcentage de ces intrants aura un impact sur l'indice d'égouttage). Avec un indice d'égouttage de 560 ml, le saule à croissance rapide présente des caractéristiques similaires aux fibres de feuillus utilisés dans l'industrie papetière.

Tableau 5 : Résultats de la caractérisation des différentes pâtes

	Panic érigé	Miscanthus géant	Saule à croissance rapide
<i>Consistance (%)</i>	4,56	2,9	2,41
<i>Indice d'égouttage, CSF (mL)</i>	299	495	560
<i>Classification de fibres - Baeur McNett (%)</i>	+ 14	1,2	20,57
	+ 28	13	20,45
	+ 48	21,5	16,19
	+ 100	19,2	24,84
	+ 200	23,4	14,67
	- 200	21,7	3,28
<i>Longueur de fibres FQA (mm)</i>	1,23	1,63	1,01
<i>Fines FQA (0,007.0,20 mm) (%)</i>	48,55	39,8	9,87
<i>Largeur moyenne (µm)</i>	15,35	15,8	18,95
<i>Indice Kappa</i>	13,2	9,2	71,4

Étonnamment, le MG présente un CSF élevé pour une plante vivace. Cela peut être intéressant dans certaines configurations et favorisera un drainage rapide. Le PÉ présente un indice d'égouttage beaucoup plus bas (299 ml), caractéristique de fibres plus courtes, le classant au même rang que des pâtes mécaniques comme la BCTMP.

Le test du Baeur-McNett confirme qu'il y a beaucoup plus de fibres courtes dans les plantes vivaces que pour le SCR (49,3% pour le PE, 45,1% pour MG contre 17,95% pour le SCR). À l'inverse, il y a beaucoup plus de fibres longues pour le SCR (20,57%) que pour le MG (1,2%).

La longueur de fibres a été obtenue par un appareil FQA. Il est important de noter que la valeur indiquée est une moyenne des fibres analysées entre 0,007 et 10 mm (les fibres trop petites ou trop grandes ne sont pas prises en compte, car elles sont en dehors du spectre de l'appareil). Sur cette fraction de fibres, 48,55% et 39,8% font moins de 0,2mm pour les plantes vivaces alors qu'il y en a seulement 9,87% pour le saule. Toutefois, le MG présente des fibres plus longues, ce qui peut expliquer, en partie, la différence d'égouttage avec le PÉ.

La mesure de l'indice Kappa est une indication de la teneur résiduelle en lignine ou de l'aptitude au blanchiment de la pâte à papier. Plus il est important et plus il va indiquer une

teneur en lignine importante. C'est donc logiquement que l'on retrouve un indice élevé pour le SCR dont la croissance du tronc nécessite une quantité importante de lignine pour être suffisamment solide. La couleur très foncée de la pâte confirme la forte présence de lignine. Bien que les plantes vivaces possèdent aussi de la lignine, c'est en quantité très faible comme l'indique l'indice Kappa (13,2 et 9,2 respectivement pour le PÉ et le MG).

Les résultats de caractérisation des différentes formettes sont présentés dans le tableau 6. Les formettes ont été produites à 1,2 g soit un grammage de 60 g/m².

Tableau 6 : Résultats de caractérisation des formettes

	Panic érigé	Miscanthus géant	Saule à croissance rapide
<i>Grammage (g/m²)</i>	61	59	61
<i>Siccité (%)</i>	92	92	92
<i>Blancheur ISO (%)</i>	30,03	34,93	10,52
<i>Couleur Lab (%)</i>	L*	70,88	46,37
	a*	1,8	6,08
	b*	16,2	13,35
<i>Opacité ISO (%)</i>	99,9	99,9	100
<i>Bouffant (cm³/g)</i>	2,15	1,91	2,13
<i>Épaisseur (um)</i>	131,3	113	129,5
<i>Indice de déchirure (mN*m²/g)</i>	6,58	9,78	6,54
<i>Indice d'éclatement (kPa*m²/g)</i>	3,47	5,47	2,47
<i>Longueur de rupture (km)</i>	6,74	8,55	5,11
<i>Élongation (%)</i>	2,14	2,61	1,42
<i>TEA (J/m²)</i>	58,87	84,18	28,05
<i>Module d'élasticité (MPa)</i>	2652	2502	2254

Comme on peut le constater, le grammage visé a été atteint. Le MG, qui a un grammage légèrement plus bas que les deux autres, présente logiquement une épaisseur un peu plus faible. Cela se traduit également sur un bouffant un peu plus faible. Les différences ne sont pas significatives pour conclure à des différences sur ces critères. Tel qu'évoqué précédemment, la blancheur ISO est logiquement la plus faible (10,52%) pour le SCR puisqu'il se compose d'une grande proportion de lignine. Le MG et le PÉ présentent une blancheur plus importante.

Pour ce qui est des propriétés mécaniques, on peut constater que le MG présente les meilleurs résultats que ce soit pour la déchirure, l'éclatement ou la rupture. Cela s'explique par la présence de fibres plus longues qui donnent plus de force à la feuille. De son côté,

le saule, dont les fibres sont plus courtes, présentent logiquement les plus faibles propriétés mécaniques. Encore une fois, la présence de la lignine a un impact sur ces résultats, car ces molécules limitent l'établissement de lien hydrogène entre les fibres de cellulose, qui vont donner la force à la feuille. Un blanchiment de cette pâte pourrait donner de meilleures propriétés mécaniques.

Thermoformage de produits cellulosiques

Une dizaine de barquettes d'environ 27 g ont été produites pour chacune des conditions. Les barquettes sont visibles sur la Figure 13 et les résultats de la caractérisation sont présentés dans le tableau 7. Dans l'ensemble, les barquettes faites à partir de 100% de matière première, présentent des défauts (trous), qui peuvent être dû à plusieurs facteurs (pâtes, procédé) et une étude plus approfondie devrait être faite afin d'optimiser l'utilisation de ces matières seules (100%). Lorsque celles-ci sont mélangées avec une pâte de résineux blanchie (SW) non raffinée (695 ml de CSF), la formation des barquettes est beaucoup plus belle et il n'y a plus de trous visibles (Figure 14). Les fibres SW apportent une qualité à la formation de la barquette de par ces longues fibres.



Figure 13 : Barquettes produites avec les différentes matières premières (de droite à gauche et de haut en bas : PE-SW; MG-SW; SCR-SW; PE; MG; SRC)



Figure 14 : Barquette de Miscanthus géant présentant des trous

Si on compare les barquettes, on remarque que l'ajout de SW (Tableau 7) a aussi une influence sur le temps de drainage, qui est souvent réduit. Cela est un point intéressant, car à une échelle industrielle, la productivité serait améliorée. Dans le même ordre d'idée, un temps de séchage plus court est encouragé. En ce sens, le SCR semble le plus propice des trois.

Le test de rigidité FPI ne démontre aucune différence entre les différentes pâtes et l'ajout des fibres SW n'apporte pas de rigidité supplémentaire, que ce soit pour la longueur ou la largeur de la barquette. Toutefois, on remarque que les fibres de SW ont tendance à diminuer les propriétés mécaniques des barquettes (Élongation, TEA, Module d'élasticité). Les valeurs obtenues restent très intéressantes en présence ou en absence de SW, car les propriétés mécaniques sont supérieures à des barquettes faites à partir de pâtes plus traditionnelles (données d'Innofibre). On remarque aussi que la densification des produits (grammages des barquettes est d'environ 400 g/m²) nivèle les propriétés mécaniques et la différence n'est plus aussi prononcée qu'avec les formettes (60 g/m²). Ces fibres pourraient donc présenter des alternatives très intéressantes, dépendamment des applications, de leur disponibilité et de leur traitement.

Tableau 7 : Résultats de caractérisation des barquettes

	Panic érigé	PE- SW	Miscanthus géant	MG - SW	Saule à croissance rapide	SCR - SW
<i>Pourcentage (%)</i>	100%	50/50	100%	50/50	100%	50/50
<i>Temps Drainage (sec)</i>	5	0	10	10	5	0
<i>Temps de Pressage (sec)</i>	90	60	75	75	60	60
<i>FPI (bord long)</i>	918,7	928,7	915,5	915,3	915,9	915,9
<i>FPI (bord court)</i>	922,2	922,4	915,2	915,2	915,5	915,6
<i>Élongation (%)</i>	3,6	3,3	2,7	3,9	2,9	3,1
<i>TEA (J/m²)</i>	966,5	522,0	571,9	930,6	700,6	530,2
<i>Module d'élasticité (MPa)</i>	13216,3	10362,4	15360,5	12895,3	13819,2	11480,7

Conclusion

Les fibres issues du panic érigé, du miscanthus géant et du saule à croissance rapide présentent un potentiel intéressant et pourraient se positionner comme des fibres alternatives viables si l'approvisionnement est conséquent. Il reste toutefois du développement à effectuer afin d'optimiser la chaîne de procédé et de valider leur utilisation comme fibres alternatives. La question de l'approvisionnement sera le point de départ d'un tel projet, car pour pénétrer le marché des pâtes et papiers, les volumes doivent être importants, à moins que des coopératives se lancent dans de plus petits projets avec des productions locales. Bien que ces trois fibres différentes présentent de bonnes propriétés mécaniques, cela pourrait ne pas être suffisant dépendamment de l'application finale visée et d'autres propriétés (barrières) pourraient être plus importantes. Une étude complémentaire serait nécessaire afin de mieux connaître ces fibres.