Innofibre
Centre d'innovation
des produits cellulosiques

Recyclage des contenants multicouches en produits de pâte moulée

Rapport présenté au
Conseil canadien des manufacturiers de contenants multicouches

Réalisé par
Innofibre – Centre d'innovation de produits cellulosiques

Trois-Rivières, le 19 septembre 2024 (version 1.1)
Version initiale : 13 mai 2024

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES

3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Innofibre
Centre d'innovation
des produits cellulosiques

Recyclage des contenants multicouches en produits de pâte moulée

640 01 423

Préparé par :

Eric Desnoes

eric desnoes

_____
Chercheur

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES

3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Table des matières

1. Introduction 5
2. Méthodologie 7
   2.1 Production de pâte à papier 7
   2.2 Analyse de la pâte à papier 13
   2.3 Produits en pâte moulée 13
   2.4 Analyse des pièces de pâte moulée 15
   2.5 Évaluation de la repulpabilité des pièces 17
3. Résultats 18
   3.1 Rendement 18
   3.2 Analyse de la pâte à papier 20
   3.3 Produits en pâte moulée 21
   3.4 Analyse des pièces de pâte moulée 22
   3.5 Évaluation de la repulpabilité des pièces 26
   3.6 Poly-alu 28
4. Principales conclusions 29
Annexe A : Note sur la compatibilité des produits en pâte moulée faits de CMC recyclés avec une application au contact alimentaire 31
Annexe B : Rapport d'analyse de Coalia relatif au poly-alu 32

Tableau 1. Paramètres du triturateur à haute consistance 8
Tableau 2. Épuration à haute densité 10
Tableau 3. Tamisage grossier 11
Tableau 4. Hydrocyclones de contaminants légers 11
Tableau 5. Tamisage fin 12
Tableau 6. Épaississeur à tambour 13
Tableau 7. Méthodes d'analyse des propriétés physiques et mécaniques des pièces 16
Tableau 8. Analyse de la norme de repulpabilité 17

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 9. Calcul du rendement de la fibre 19

Tableau 10. Calcul du pourcentage total de matières non fibreuses 20

Tableau 11. Propriétés physiques des fibres de la pâte à papier, selon leur provenance 21

Tableau 12. Paramètres de moulage de la TF-45 21

Tableau 13. Analyse des propriétés physiques et mécaniques des pièces de pâte moulée faites de CMC 22

Tableau 14. Comparatif des propriétés mécaniques et physiques des produits thermoformés en pâte kraft vierge et ceux en pâte de CMC recyclés 24

Tableau 15. Concentration en métaux lourds des échantillons 25

Tableau 16. Propriétés de repulpabilité des produits de pâte moulée 26

Figure 1. Schéma de production de pâte dans le cadre du projet de recherche appliquée 7

Figure 2. Ballot de CMC expédié chez Innofibre par Récupéraction Centre-du-Québec et préparation du ballot en vue de son transfert dans le triturateur à haute consistance 8

Figure 3. Barquette de saucisses thermoformée (produit moulé de type III) et barquette d'œufs (produit moulé de type II) 14

Figure 4. Processus de moulage et de thermoformage de la pâte recyclée issue de CMC (adapté de Katherine E. Semple *et coll.* (2022)) 15

Figure 5. Étapes du calcul du rendement de la fibre des CMC 18

Figure 6. Débris de Somerville : D1-1 : pulpeur à haute consistance, D1-3 : hydrocyclone à haute densité, D1-15 : rejets du tamis fin 20

Figure 7. Pièces produites par Coalia à partir du poly-alu 29

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES

3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

1. Introduction

Les contenants multicouches (CMC) sont un type d'emballage pour les aliments et les boissons offerts en deux types : les contenants à longue conservation (aussi connus sous le nom de contenants aseptiques) et les contenants réfrigérés (contenants à pignon). Les CMC sont principalement constitués de papier cartonné auquel on ajoute de fines couches de polyéthylène. Dans le cas des contenants de longue conservation, on trouve aussi une mince couche d'aluminium.

Les contenants aseptiques sont constitués en moyenne de 74% de fibres, 22% de polyéthylène et 4% d'aluminium. Les produits offerts en contenant aseptique comprennent le jus, le lait, le lait végétal, le lait de céréales, les soupes et bouillons, ainsi que le vin. Pour leur part, les contenants à pignon contiennent environ 80% de fibres et 20% de polyéthylène. Les produits offerts dans les contenants à pignon sont notamment le lait, le jus, la crème, les substituts d'œuf, le lait végétal et le lait de céréales.

La matière fibreuse utilisée dans les CMC en Amérique du Nord est la pâte kraft pour les contenants à pignon et, pour les contenants aseptiques, un mélange constitué en majorité de pâte kraft et en minorité de pâte CTMP (*chemi-thermomechanical pulp*)[1].

Le Conseil canadien des manufacturiers de contenants multicouches (CCMCM) est une coalition d'entreprises manufacturières de CMC[2] qui travaillent ensemble afin d'apporter des solutions pour faire croitre la récupération et le recyclage des CMC au Canada de façon durable. Ce travail comprend d'appuyer le développement de nouveaux débouchés pour les contenants multicouches en fin de vie.

Le CCMCM a mandaté Innofibre, le centre d'innovation en produits cellulosiques basé à Trois-Rivières, pour la réalisation d'un projet de recherche appliquée concernant le recyclage des contenants multicouches en produits de pâte moulée, lequel s'inscrit dans le contexte suivant.

D'une part, les fabricants d'emballages et de contenants à base de fibres recyclées font face à une pénurie de matière première provoquée par le déclin des volumes de papier journal et de papier de

[1] Références : Yilgor et al. (2014). "Composites from Tetra Pak®," BioResources 9(3), 4784-4807. Ahmed H. Hassanin et al. (2016). "Novel Bio-based Composites Panels from TetraPak Waste". In Key Engineering Materials (Vol. 689, pp. 138–142). Jan Zawadiak et al. (2017). "Tetra Pak Recycling – Current Trends and New Developments," American Journal of Chemical Engineering; 5(3): 37-42.
[2] Les membres sont Tetra Pak, Elopak, Pactiv Evergreen, et SIG Combibloc.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

bureau et l'augmentation de la demande pour les boîtes de carton ondulé[3]. D'autre part, les CMC contiennent certaines des fibres de plus grande qualité de la chaîne d'approvisionnement du recyclage (fibres longues et blanchies).

À l'heure actuelle, quatre papetières en Amérique du Nord transforment les CMC en de nouveaux produits cellulosiques, tels que les papiers tissus et le papier d'écriture[4,5]. Bien que la transformation des CMC en produits de pâte moulée soit une réalité ailleurs dans le monde[6], ce n'est pas le cas à l'heure actuelle au Canada.

Dans le cadre du projet de recherche, les activités suivantes ont été réalisées à l'usine pilote d'Innofibre, située sur le campus de l'Université du Québec à Trois-Rivières :

- Remise en pâte de CMC post-consommation, caractérisation et analyse de la pâte récupérée;
- Production de deux types de produits moulés à partir de la pâte de fibres des CMC : des produits de type II, sous forme de barquettes d'œufs, et des produits de type III, sous forme de barquettes de saucisses thermoformées, et évaluation des propriétés physiques et mécaniques de chaque type de produits;
- Repulpage des pièces en pâte moulée en vue de leur analyse selon la norme volontaire pour la mise en pâte et le recyclage de la Fibre Box Association.

De plus, des échantillons de la matière non fibreuse (polyéthylène-aluminium) obtenue lors de la séparation des fibres ont été acheminés au centre de recherche Coalia, à Thetford Mines, où ils ont été densifiés et extrudés.

Le présent rapport fait état de ces activités. Il s'adresse principalement aux acteurs de l'industrie des pâtes et papiers qui sont à la recherche d'une nouvelle source de fibres de qualité pour leurs produits faits de fibres recyclées.

Des échantillons des pièces en pâte moulée ainsi qu'en polyéthylène-aluminium sont disponibles sur demande[7].

---

[3] Bien que les boîtes de carton ondulé faites de contenu recyclé soient principalement constituées de boîtes usées, une petite quantité de papiers mixtes, qui peuvent contenir du papier journal et du papier de bureau, peuvent aussi être utilisés comme intrants.
[4] Il s'agit de Sustana (usine de Lévis au Québec et usine de De Pere, au Wisconsin), de l'usine de Kimberly-Clark à Ecatepec, au Mexique, et de l'usine d'Essity en Alabama.
[5] Les CMC sont aussi recyclés en matériaux de construction (principalement en panneaux de toit) par les entreprises Continuus Materials à Des Moines en Iowa ainsi que par Kelly Green Products au Connecticut.
[6] Voir, par exemple, l'entreprise Proplanet en Colombie.
[7] Veuillez contacter la directrice générale du CCMCM, Isabelle Faucher, au ifaucher@recyclonslescmc.ca.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

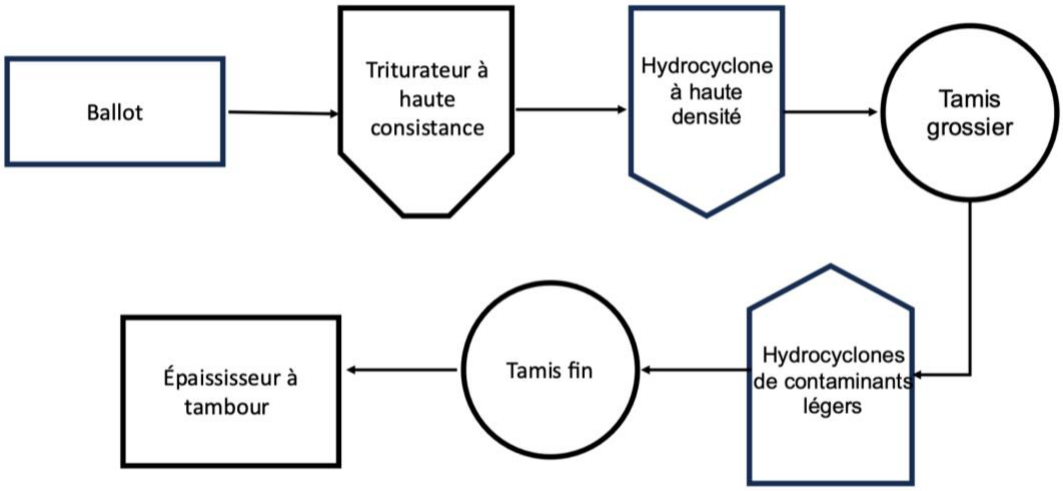
2. Méthodologie

Un ballot de CMC post-consommation pesant environ 500 kg (masse humide)[8] a été expédié à l'usine pilote d'Innofibre par le centre de tri Récupéraction Centre-du-Québec à Drummondville (figure 2) dans les semaines précédant sa remise en pâte, laquelle a eu lieu le 28 novembre 2023.

2.1 Production de pâte à papier

Les étapes de production de la pâte à papier à partir de CMC recyclés sont présentées à la figure 1.

Figure 1. Schéma de production de pâte dans le cadre du projet de recherche appliquée



Dans un premier temps, le ballot a été placé sur le convoyeur de chargement et a été défait grossièrement de façon manuelle (figure 2).

[8] La masse sèche du ballot a par la suite été établie à 432 kg.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Figure 2. Ballot de CMC expédié chez Innofibre par Récupéraction Centre-du-Québec (à gauche) et préparation du ballot en vue de son transfert dans le triturateur à haute consistance (à droite)

Pendant ce temps, le triturateur à haute consistance a été rempli d'eau. Les CMC ont ensuite été déversés dans le triturateur où ils ont été agités pendant 30 minutes. Les paramètres sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Paramètres du triturateur à haute consistance

Équipement	Triturateur
Manufacturier	Hymac
Modèle	4,2 HC 43
Type de rotor	Haute consistance
Vitesse du rotor	232 t/min
Diamètre des trous de la plaque d'extraction	16 mm
Consistance	14-15%
Temps	30 min
Température	19-28 °C
Masse du ballot de CMC	500 kg humides 432 kg secs

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Après la trituration, la pâte a été diluée avec de l'eau à la température de la pièce et transférée dans le réservoir de décharge. Deux rondes d'échantillonnage ont été effectuées durant l'opération du procédé. Celles-ci ont eu lieu entre 12:00:00 et 12:24:19.

Les matières non triturables se sont retrouvées sur la plaque d'extraction du triturateur. Ces matières étaient essentiellement composées de pellicules de polyéthylène, de pellicules d'aluminium et de bouchons et goulots de plastique. Elles ont été rincées avec de l'eau à deux reprises dans le triturateur pour simuler un système de nettoyage des rejets. Ces rejets de trituration ont été évacués par la sortie de 200 mm et accumulés dans un bac de drainage. Au total, près de 330 kg humides de matières non triturables ont été recueillis. Ceci représente environ 101,4 kg secs de matières non triturables. La quantité de fibres restantes parmi les rejets a été estimée en laboratoire. Celle-ci serait approximativement de 13,9% (14,1 kg secs). Vraisemblablement, un bon système de lavage des rejets permettrait de récupérer en partie ces fibres dans un procédé industriel[9].

La consistance de la pâte dans le réservoir de décharge était de 3,6% (331 kg secs/9201 L). La température moyenne de cette pâte a été de 26 °C durant la durée de l'essai. À partir du réservoir de décharge, la pâte a été traitée dans un procédé continu.

La séquence d'équipements utilisée a été la suivante :

1) hydrocyclone à haute densité,
2) tamis grossier,
3) hydrocyclones de contaminants légers,
4) tamis fin (comportant 2 paniers à fentes),
5) épaississeur à tambour.

La pâte a été épurée avec un hydrocyclone à haute densité dont les caractéristiques et les conditions d'opération sont présentées au tableau 2.

[9] Voir p. 18 pour des informations additionnelles sur le rendement de la fibre.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 2. Épuration à haute densité

Équipement	Hydrocyclone HD
Manufacturier	Hymac
Modèle	HY-300HD 2.5
Diamètre	300 mm
Température	25-30 °C
Consistance	2,85%
Débit d'alimentation	1099 L/min
Débit accepté vers le tamis grossier	183 L/min
Pression d'alimentation	268 kPag

Avant l'opération d'épuration, le réservoir de décharge de l'hydrocyclone à haute densité a été rempli d'eau. Celui-ci a été alimenté avec de l'eau d'élutriation durant une partie de l'opération, avec l'objectif de diluer le réservoir de décharge et d'aider à nettoyer la pâte dans le système Hydrocyclone HD.

L'alimentation du réservoir de décharge a été interrompue après un certain temps, car elle ne semblait pas nécessaire et aussi pour éviter de diluer la pâte inutilement. À sa sortie de l'hydrocyclone à haute densité, la pâte a été en partie recirculée vers le réservoir de décharge et en partie dirigée vers le réservoir d'alimentation du tamis grossier où la consistance a été réduite continuellement avec de l'eau de dilution.

La pâte a ensuite été tamisée pour enlever les contaminants grossiers selon les conditions d'opération présentées au tableau 3. La fibre issue du tamis grossier a été acheminée au réservoir d'alimentation des hydrocyclones de contaminants légers où la pâte a été diluée continuellement. Les rejets ont été accumulés dans le réservoir adjacent au réservoir d'alimentation du tamis grossier. Lorsque le réservoir d'alimentation était vide, les rejets étaient utilisés pour alimenter le tamis. Ainsi, une seconde étape de tamisage grossier a été simulée dans le but de diminuer la perte de fibres.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 3. Tamisage grossier

Équipement	Tamis
Manufacturier	Beloit-Jones
Modèle	S-18
Type de rotor	Fermé (Rotor T)
Panier à fentes	0,33 mm
Température	25-30 °C
Consistance d'alimentation	1,35%
Débit d'alimentation	272 L/min
Vitesse tangentielle du rotor	21 m/s

La consistance a été mesurée tout au long du processus et était généralement inférieure aux attentes. Il n'a pas été nécessaire d'utiliser de l'eau de dilution dans le réservoir d'alimentation du tamis grossier.

Puis, la pâte a été épurée des contaminants légers qui s'y trouvaient à l'aide de deux hydrocyclones de contaminants légers. Le tableau 4 présente les conditions d'opération de cette étape. La fibre issue des hydrocyclones de contaminants légers a été dirigée vers le réservoir d'alimentation du tamis fin. Les rejets ont été envoyés vers la fosse de rejets des fibres.

Tableau 4. Hydrocyclones de contaminants légers

Équipement	Hydrocyclone
Manufacturier	Kadant Black Clawson
Modèle	X-clone
Diamètre	80 mm
Température	25-30 °C
Consistance d'alimentation	0,78%
Débit d'alimentation	354 L/min
Pression d'alimentation	180 kPa
Pression de l'accepté	70 kPa
Pression des rejets	0 kPag

La pâte a été tamisée avec un système de tamis fin à deux étages en cascade selon les conditions d'essais qui sont présentées au tableau 5. La fibre issue du tamis fin a été dirigée vers le réservoir

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

d'alimentation de l'épaississeur à tambour. Les rejets du deuxième étage ont été dirigés vers un tamis incliné.

Tableau 5. Tamisage fin

Étage	1	2
Équipement	Tamis	Tamis
Manufacturier	Kadant Black Clawson	Kadant Black Clawson
Modèle	Selectifier 8P	Mini-Screen MS50
Type de rotor	Ouvert à 2 ailettes	Ouvert à 2 ailettes
Paniers à fentes	0,15 mm	0,15 mm
Température	26-30 °C	26-30 °C
Débit d'alimentation	562,5 L/min	288 L/min
Consistance d'alimentation	0,37%	0,25%
Vitesse de passage dans les fentes	1 m/s	0,9 m/s
Vitesse tangentielle du rotor	20,6 m/s	25,3 m/s
Taux de rejets volumétrique	20,1%	26,7%

Finalement, la pâte a été lavée avec un épaississeur à tambour selon les conditions d'opération du tableau 6. La pâte lavée s'est accumulée dans un réservoir. Un total de 1851 L de pâte à une consistance de 3,96% ont été obtenus (73 kg secs). Le filtrat de l'épaississeur a été purgé en totalité. Il n'a pas été réutilisé pour faire les dilutions en amont du procédé, car il n'était pas possible de travailler dans un système en continu afin de diminuer la consommation en eau.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 6. Épaississeur à tambour

Équipement	Épaississeur à tambour
Manufacturier	Hymac
Modèle	48 X 48
Toiles	Inférieure : 10 mailles/po Supérieure : 40 mailles/po
Température	26-30 °C
Débit d'alimentation	451,7 L/min
Consistance d'alimentation	0,23%
Niveau de la cuve	80%
Vitesse du tambour	65%

De la mousse grise a été observée à la surface de certaines cuves et à la surface de l'épaississeur à tambour. Cela pourrait être attribué aux encres et aux particules d'aluminium.

2.2 Analyse de la pâte à papier

À l'issue de ces cinq étapes d'épuration, la pâte a été récupérée et analysée avec un Valmet FS5. Le drainage de la pâte (CSF, temps d'égouttage de la pâte) a été analysé conformément à la norme TAPPI T-221. Les résultats sont présentés au tableau 11 (section 3).

2.3 Produits en pâte moulée

La production de pièces à partir de la pâte issue des CMC a eu lieu du 29 novembre au 1er décembre 2023.

Deux types de produits moulés à partir de la pâte de fibres des CMC ont été produits : des produits de type II, sous forme de barquettes d'œufs, et des produits de type III, sous forme de barquettes de saucisses thermoformées. Le type II correspond généralement aux emballages de protection où la certification contact alimentaire n'est pas requise. Pour le type III, le moule disponible chez Innofibre correspond au besoin de l'industrie[10]. Les pièces produites sont présentées à la figure 3.

[10] Les analyses disponibles à Innofibre ne certifient cependant pas les pâtes pour le contact alimentaire.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

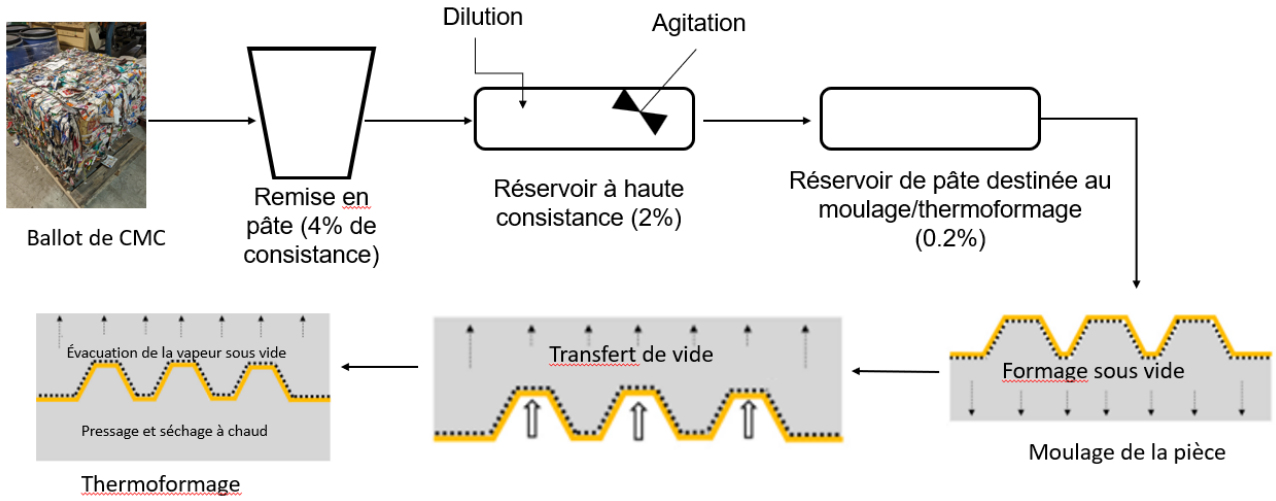
Figure 3. Barquette de saucisses thermoformée (produit moulé de type III) (à gauche) et barquette d'œufs (produit moulé de type II) (à droite)

Les produits moulés de type II (moulage par transfert) ont des parois de 3 à 5 mm. Ils sont fabriqués à l'aide d'un moule de formage et d'un moule de transfert. Le résultat est un produit dont les surfaces sont relativement lisses des deux côtés. Le produit formé est séché dans un four chauffé. La matière première couramment utilisée à l'heure actuelle pour ces produits est le papier journal recyclé. Les exemples typiques sont les barquettes d'œufs et les emballages d'équipements électroniques**.**

Quant aux produits moulés de type III (paroi mince thermoformée), le produit initial, partiellement formé, est placé dans un moule chauffé où il est pressé, densifié et séché. Aucune cuisson au four n'est nécessaire. Ce procédé permet de produire des pièces de haute qualité à parois plus minces (de 1 à 2 mm), avec une bonne précision dimensionnelle et des surfaces lisses et rigides. Le résultat ressemble à l'aspect de pièces en plastique thermoformé. Le thermoformage est l'approche de fabrication la plus récente dans le domaine du moulage de la pâte à papier. Les étapes suivies sont présentées à la figure 4.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Figure 4. Processus de moulage et de thermoformage de la pâte recyclée issue de CMC (adapté de Katherine E. Semple *et coll.* (2022))



Les pièces ont ensuite été conditionnées dans une pièce à humidité et température contrôlées, conformément à la méthode standard TAPPI T-220. La siccité des échantillons a été mesurée en conséquence, trois échantillons homogènes ont été pesés et séchés dans un four à 105 °C pendant une nuit. La masse sèche a été pesée directement après le séchage pour éviter l'absorption d'humidité.

La teneur en humidité et la siccité ont été indiquées comme suit :

$$\text{Humidité (\%)} = [(W_1 - W_2)/W_1] \times 100$$

$$\text{Siccité(\%)} = [100 - \text{Humidité}]$$

2.4 Analyse des pièces de pâte moulée

Les propriétés physiques et mécaniques des pièces ont été analysées selon les méthodes standardisées indiquées dans le tableau 7.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 7. Méthodes d'analyse des propriétés physiques et mécaniques des pièces

Analyse		Barquette de saucisses	Barquette d'œufs
Siccité de l'échantillon après moulage (%)		TAPPI T-402	TAPPI T-402
Poids moyen de l'échantillon (g)		TAPPI T-256	TAPPI T-256
Épaisseur (µm)		TAPPI T-411	Sans objet
Grammage séché à l'air (g.m^2)		TAPPI T-256	
Siccité (%)		TAPPI T-402	
Brillance (mesurée à longueur d'onde λ=457nm)		TAPPI T-452	
Couleur LAB	Blancheur CIE	TAPPI T-524	
	L*		
	A*		
	B*		
	ERIC (ppm)	TAPPI T-567	
Perméabilité à l'air (mL.min $^{-1}$)		TAPPI T-460	
Indice d'éclatement (kPa.m^2/g)		TAPPI T-810	
Module de traction		TAPPI T-494	
Élongation à la rupture			
Tensile Energy Absorption (TEA)			
Indice de traction			
Cobb $_{60}$ à l'eau (g.m^2)		TAPPI T-441	
Cobb $_{60}$ à l'huile (g.m^2)			
Compression 10%		Sans objet	Méthode interne
Rétrécissement			Méthode interne

En outre, les échantillons de pâte moulée ont fait l'objet d'une analyse des métaux lourds par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

2.5 Évaluation de la repulpabilité des pièces

Les matériaux (produits en pâte moulée) ont été découpés en bandes de 31,8 x 102 mm pour produire des échantillons de 25 g. Les échantillons ont été dispersés dans 1500 ml d'eau chaude à 52 ± 5 °C, puis mélangés et désintégrés dans un mélangeur Waring (15 000 rpm/min) pendant 4 min et un désintégrateur British (3000 rpm/min) pendant 5 min. La pulpe a ensuite été criblée à l'aide d'un tamis Somerville avec une plaque de 0,010".

Le rendement en pulpe a été calculé comme suit :

$$\boldsymbol{\eta}(\%) = \frac{\boldsymbol{m}_{\text{acceptée}} \times \mathbf{100}}{\boldsymbol{m}_{\text{acceptée}} + \boldsymbol{m}_{\text{rejetée}}}$$

La pâte acceptée a été mélangée à 80% de pâte provenant de contenants de carton ondulé usés (*old corrugated cardboard, OCC*)[11] pour produire des feuilles de 150 g.m $^{-2}$. Enfin, les feuilles produites ont été analysées selon le tableau 8 ci-dessous.

Tableau 8. Analyse de la norme de repulpabilité

Analyse	Méthode TAPPI
Grammage	T-220
Compression STFI	T-826
Résistance à l'éclatement	T-403
Coefficient de frottement statique (angle de glissement)	T-815
Absorption d'eau	T-831
Teneur en macros stickies dans la pâte	T-277

[11] Le carton ondulé usé (*old corrugated cardboard, OCC*) correspond à la pâte contrôle dans la norme volontaire de recyclabilité de la Fibre Box Association.

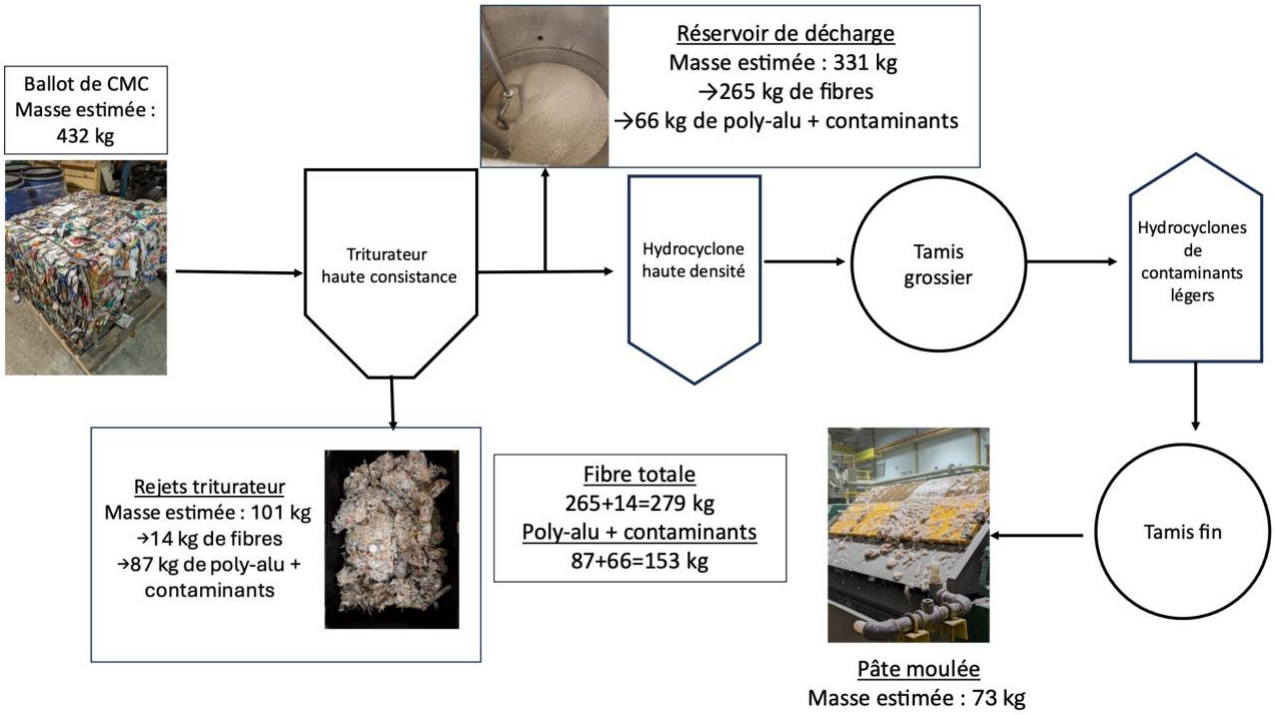
CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

3. Résultats

3.1 Rendement

Le rendement de la fibre des CMC a été calculé selon les étapes présentées au schéma de la figure 5.

Figure 5. Étapes du calcul du rendement de la fibre des CMC (toutes les valeurs sont en masse sèche)



Afin de calculer le rendement de la fibre, les données du tableau 9 ont été utilisées.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 9. Calcul du rendement de la fibre (toutes les valeurs sont en masse sèche)

Quantité de fibre présente dans les rejets du triturateur	14,1 kg
Quantité de fibre présente dans le réservoir de décharge	265 kg (~80% de la matière totale dans le réservoir de décharge)
Quantité totale de fibre	279 kg (14 kg + 265 kg)
Quantité de fibre obtenue après toutes les étapes de lavage	73 kg
Rendement de la fibre	~26% (73 kg divisé par 279 kg)

Notes concernant le rendement de la fibre

- Le rendement est calculé à partir de la consistance (teneur en masse solide après séchage au four à 105 °C, cela afin d'éliminer l'eau). Il s'agit donc d'un rendement calculé.
- Le très bas rendement de la fibre (26%) est attribuable à l'impossibilité, dans le cadre du projet, de capter toute la fibre issue de la trituration initiale des CMC et de recirculer dans le système les rejets issus des étapes subséquentes de nettoyage de la pâte auxquels de la fibre se serait agglomérée afin de récupérer cette fibre.
- Lors du nettoyage de la pâte, les fibres ont été principalement perdues aux étapes du tamisage fin et du tamisage grossier.
- Le rendement obtenu dans le cadre du projet n'est pas représentatif de ce qui pourrait être obtenu avec un procédé industriel.

Afin de calculer le pourcentage total de matières non fibreuses, les données du tableau 10 ont été utilisées.

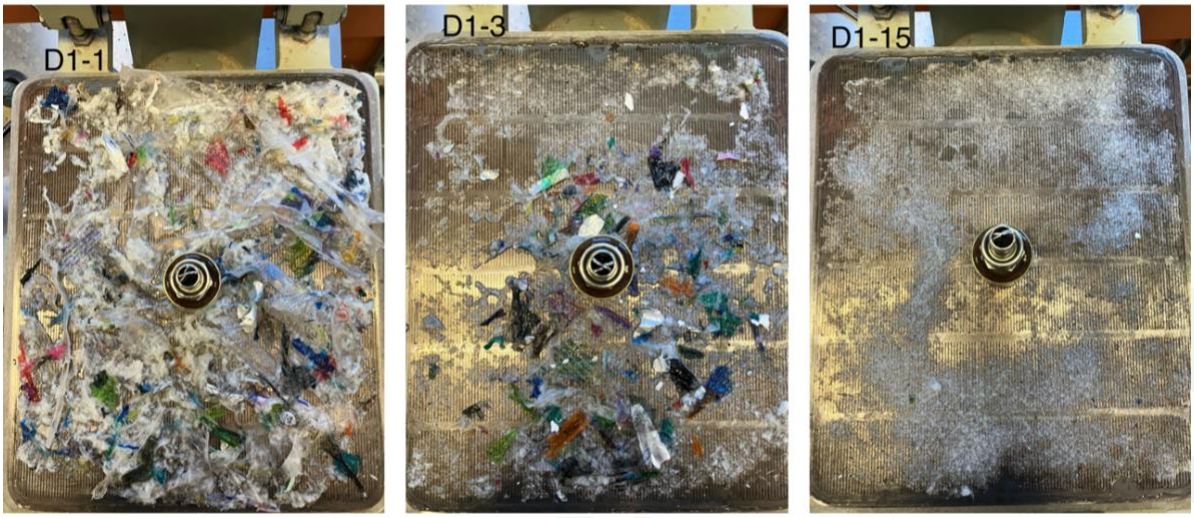
CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 10. Calcul du pourcentage total de matières non fibreuses (toutes les valeurs sont en masse sèche)

Masse du ballot de CMC	432 kg
Masse de la matière non fibreuse (poly-alu[12], bouchons et goulots de plastique, et contaminants)	153 kg Quantité totale de fibre (279 kg) – masse du ballot
Pourcentage de matière non fibreuse (poly-alu, bouchons et goulots de plastique et contaminants)	35%

Comme exemple de contaminants, des billes de polystyrène ont été observées dans les rejets du tamis grossier et de l'hydrocyclone à contaminants légers. Le polystyrène a vraisemblablement été acheminé au ballot de CMC par erreur au centre de tri. De plus, une grande quantité de plastique (certains ne provenant pas des CMC) a été rejetée par le tamis grossier (figure 6).

Figure 6. Débris de Somerville : D1-1 : pulpeur à haute consistance, D1-3 : hydrocyclone à haute densité, D1-15 : rejets du tamis fin



3.2 Analyse de la pâte à papier

L'indice d'égouttage de la pâte récupérée a été mesuré à 595 mL ± 10 mL. Habituellement, la pâte kraft blanchie de résineux vierge (BSKP) présente un indice d'égouttage d'environ 690-675 mL.

[12] On utilise le terme "poly-alu" pour désigner les composantes polyéthylène et aluminium des CMC.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Ainsi, les produits moulés à base de pâte CMC récupérée présentent des propriétés mécaniques et physiques qui se situent entre une pâte BSKP non raffinée et une pâte BSKP légèrement raffinée (CSF ≈500 mL). Les caractéristiques des fibres des pâtes CMC, BSKP ainsi que celles issues des fibres de la pâte kraft blanchie de feuillus (BHKP) et de la pâte OCC sont indiquées dans le tableau 11.

Tableau 11. Propriétés physiques des fibres de la pâte à papier, selon leur provenance

Provenance des fibres	Longueur moyenne (mm)	Largeur moyenne (µm)	Teneur en fines (%)	CSF (mL)
CMC	2,11 ± 0,02	24,1 ± 0,2	18,6	595 ± 10
BSKP	2,29 ± 0,02	28,1 ± 0,1	17,6	675 ± 25
BHKP	0,93 ± 0,04	19,7 ± 0,1	14,0	600 ± 25
OCC	1,83 ± 0,01	23,9 ± 0,1	51,1	350 ± 25

La pâte BHKP présente généralement des fibres plus courtes que son homologue BSKP. Ainsi, la composition des fibres de pâte kraft CMC pourrait être un mélange de BHKP et de BSKP.

L'OCC est principalement utilisé dans la production de produits faits de pâte recyclée. La pâte OCC présente généralement une teneur élevée en fibres fines (environ 50%) corrélée à de faibles propriétés d'égouttage (faible CSF). En outre, les pâtes avec une longueur de fibre plus faible produisent généralement un papier avec une résistance mécanique plus faible.

3.3 Produits en pâte moulée

Les paramètres de moulage de la pâte pour les deux types de produits (Type II et Type III) sont indiqués dans le tableau 12 ci-dessous. L'appareil utilisé se nomme TF-45.

Tableau 12. Paramètres de moulage de la TF-45

Paramètres	Barquette de saucisses Type III – Thermoformage	Barquette d'œufs Type II – Moulage par transfert
Vide ("Hg)	-27	-27
CSF (mL)	595	595
Consistance de la pâte (%)	0,2	0,2
Temps de formation (s)	12,5	15
Temps de drainage (s)	0	0

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Paramètres	Barquette de saucisses Type III – Thermoformage	Barquette d'œufs Type II – Moulage par transfert
Pression de thermoformage (t)	2	Sans objet
Température de thermoformage (°C)	185	
Temps de thermoformage (s)	70	

La pâte CMC récupérée a montré un temps de production relativement faible ou un débit de production élevé (temps de formation, d'égouttage et de thermoformage, tableau 12). Cette caractéristique a été attribuée à la longueur des fibres et aux propriétés de drainage. Ainsi, la pâte CMC a démontré un bon potentiel pour la fabrication de produits en pâte moulée.

3.4 Analyse des pièces de pâte moulée

3.4.1 Propriétés physiques et mécaniques des pièces

Les propriétés physiques et mécaniques des pièces sont indiquées dans le tableau 13.

Tableau 13. Analyse des propriétés physiques et mécaniques des pièces de pâte moulée faites de CMC

Analyse		Barquette de saucisses	Barquette d'œufs
Siccité de l'échantillon après moulage (%)		28,5	33,3
Poids moyen de l'échantillon (g)		30,81	50,31
Épaisseur (µm)		1044	Sans objet
Grammage séché à l'air (g/m^2)		706,9	
Siccité (%)		93,5	
Couleur LAB	Blancheur CIE	19-20	Sans objet
	Brillance R457	60	
	L*	86,11	
	A*	0,71	
	B*	9,79	
	ERIC (ppm)	67,9	
Perméabilité à l'air (mL.min $^{-1}$)		313	Sans objet

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Analyse	Barquette de saucisses	Barquette d'œufs
Indice d'éclatement (kPa*m^2/g)	1,99	
Module de traction (MPa)	2122	
Élongation à la rupture (%)	2,73	
TEA (J/m^2)	316,2	
Indice de traction (N*m/g)	28,65	
Cobb $_{60}$ à l'eau (g/m^2)	896,2	
Cobb $_{60}$ à l'huile (g/m^2)	123,8	
Compression 10% (N)	Sans objet	2214,9
Rétrécissement (%)		3,5

En ce qui concerne l'espace colorimétrique CIELAB (Couleur LAB), les pièces présentent une valeur L* élevée. En outre, la valeur positive de B* démontre que les parties sont jaunes. Cette caractéristique peut être attribuée à la pâte CTMP. La blancheur du papier quantifie la capacité d'un papier à refléter de manière égale toutes les longueurs d'onde de la lumière dans le spectre visible. La blancheur CIE (Commission internationale de l'éclairage) mesurée est de 19-20 et la brillance R457 (aussi appelée indice de blancheur) est de 60. Cette blancheur relativement faible peut être attribuée à la valeur B*. Comme les pièces présentent une couleur jaunâtre (B*), la lumière visible peut être absorbée, ce qui réduit la luminosité des pièces.

De plus, la concentration d'encre résiduelle (ERIC) a été mesurée par réflectance infrarouge, méthode qui permet de déterminer la concentration effective d'encre résiduelle dans les pâtes et papiers désancrés fabriqués à partir de matières premières recyclées. Les produits moulés en CMC ont démontré une valeur ERIC inférieure à 100 ppm. Des valeurs ERIC inférieures à 100 ppm indiquent que l'emballage est susceptible d'être compatible avec le contact alimentaire.

3.4.2 Comparaison des propriétés des pièces de pâte moulée faites de CMC avec celles faites de pâte vierge

Pour comparer les propriétés physiques et mécaniques des pièces de pâte moulée faites de CMC avec celles faites de pâte vierge, les propriétés de la pâte moulée kraft vierge non raffinée et raffinée sont présentées dans le tableau 14 ci-dessous.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Tableau 14. Comparatif des propriétés mécaniques et physiques des produits thermoformés en pâte kraft vierge et ceux en pâte de CMC recyclés

Analyse	Pâte kraft vierge non raffinée	Pâte de CMC recyclée (barquette de saucisses)	Pâte kraft vierge raffinée
CSF (mL)	675	595	500
Épaisseur (µm)	1117	1044	1104
Grammage séché à l'air (g/m2)	666,9	706,9	654,2
Siccité (%)	89,8	93,5	89
Perméabilité à l'air (mL.min -1)	485	313	260
Indice d'éclatement (kPa*m2/g)	1,95	1,99	2,78
TEA (J/m2)	440,2	316,2	794,1
Indice de traction (N*m/g)	28,8	28,65	44,6

Les produits thermoformés en CMC présentaient des propriétés mécaniques similaires à celles des produits en pâte kraft vierge non raffinée. En outre, la pâte CMC présentait un degré CSF élevé. La pâte CMC pourrait donc être raffinée davantage pour améliorer les propriétés mécaniques des pièces[13].

En ce qui concerne la résistance mécanique des barquettes d'œufs en pâte moulée à base de CMC (tableau 13), celles-ci présentent une résistance supérieure à celle des barquettes d'œufs conventionnelles, c'est-à-dire faites de vieux papier journal (*old newspaper*, ONP). En général, les barquettes d'œufs en papier journal présentent une résistance à la compression d'environ 1800-1900 N (comparativement à 2214,9 N pour les barquettes d'œufs faites de CMC). Cette caractéristique peut être attribuée à la composition de la pâte à papier. Les CMC sont principalement fabriqués à partir de pâte kraft qui présente une résistance mécanique plus élevée que l'ONP, le CTMP ou d'autres pâtes mécaniques. En outre, le rétrécissement des barquettes d'œufs en fibres de CMC a été signalé à 3,5%, ce qui est similaire aux barquettes d'œufs ONP habituellement

[13] Un CSF élevé traduit une pâte qui draine bien. Le raffinage diminue le CSF, mais augmente les propriétés mécaniques et physiques.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

produites. Par conséquent, la pâte CMC pourrait être mise en œuvre dans une fabrication industrielle de moulage de pâte sans problème d'emboîtement.

3.4.3 Présence de métaux lourds

Les échantillons ont montré une faible teneur en métaux lourds (tableau 15). Toutefois, dans une perspective de contact alimentaire, la mesure du chrome (Cr) doit être effectuée par chromatographie ionique pour confirmer que le Cr(VI) est inférieur à 1 ppm[14]. Pour les mesures de plomb (Pb), une analyse ICP doit être effectuée pour confirmer que la limite de détection est inférieure à la norme (0,4 ppm)[15]. Innofibre ne dispose pas des équipements nécessaires à la réalisation de ces deux tests[16]. Les résultats complets sont présentés au tableau 15.

Tableau 15. Concentration en métaux lourds des échantillons

Métaux	Barquette de saucisses	Barquette d'œufs
Al (ppm)	188	216
Ba (ppm)	2	2
Ca (ppm)	1586	1624
Cd (ppm)	<1	<1
Co (ppm)	<1	<1
Cr (ppm)	4	3
Cu (ppm)	3	<3
Fe (ppm)	92	65
K (ppm)	<15	15
Mg (ppm)	74	75
Mn (ppm)	3	3
Mo (ppm)	4	3
Na (ppm)	45	49
Ni (ppm)	2	2
P (ppm)	<1	3
Pb (ppm)	<3	<3

[14] La forme toxique du Cr est le Cr(VI). Innofibre est seulement en mesure d'effectuer la mesure du Cr total. Dans une perspective de contact alimentaire, il faut mesurer la valeur du Cr(VI).
[15] Standard solutions for limit tests, EUROPEAN PHARMACOPOEIA 7.0.
[16] Voir annexe A pour des informations additionnelles quant aux exigences en matière de contact alimentaire.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Métaux	Barquette de saucisses	Barquette d'œufs
Si (ppm)	64	54
V (ppm)	<1	<1
As (ppm)	0,05	0,017
Hg (ppm)	0,06	0,07
Zn (ppm)	52	52

3.5 Évaluation de la repulpabilité des pièces

Les propriétés de repulpabilité des produits en pâte moulée sont indiquées dans le tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16. Propriétés de repulpabilité des produits de pâte moulée

	Échantillons		
Propriétés	**Contrôle OCC**	**80% OCC / 20% barquette d'œufs**	**80% OCC / 20% barquette de saucisses**
Rendement de repulpabilité (0,010") (%)	Sans objet	99,9	99,9
Grammage (g/m^2)	150,9	149,4	154,9
Siccité (%)	92,4	92,6	92,9
Cendres (%)	3,2	2,8	2,8
Volume (cm^3/g)	2	1,9	1,9
Épaisseur (um)	295,2	296,9	301,7
Indice d'éclatement (kPa*m2/g)	3,6	3,8	3,8
Résistance à la compression STFI (Nm/g)	325,7	351,5	342,3
Coefficient de frottement statique (angle de glissement)	0,4	0,5	0,5

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Propriétés		Échantillons		
		Contrôle OCC	80% OCC / 20% barquette d'œufs	80% OCC / 20% barquette de saucisses
Absorption d'eau du carton (sec.)	Toile	65	50	51
	Feutre	45	40	31
Matières collantes ≥ 0,4 mm²	Toile	0	3	2
	Feutre	0	2	3

Les deux produits de pâte moulée présentaient des propriétés de repulpabilité similaires entre eux, tel qu'attendu puisqu'il s'agit de la même pâte. Les deux produits ne présentent aucun rejet, avec un rendement de repulpabilité d'environ 100%. Les produits moulés à base de pâte CMC ont montré une réduction de la teneur en cendres. Ceci peut être attribué à la composition de la pâte CMC qui a une faible teneur en charge minérale par rapport à la pâte OCC. L'accumulation de cendres sur les équipements de fabrication de papier peut entraîner des défauts dans le papier recyclé, une baisse du prix de vente du produit et une augmentation des temps d'arrêt avec des coûts de nettoyage plus élevés.

Le coefficient de frottement des matériaux d'emballage indique comment les emballages se comporteront dans de nombreuses applications critiques. Un coefficient élevé d'une surface en papier ou en carton (carton d'emballage) par rapport à lui-même signifie que les emballages dotés de cette surface auront tendance à résister au glissement. Un coefficient faible peut indiquer des problèmes potentiels de glissement de l'emballage par rapport à la charge. Le coefficient de frottement est également affecté de manière significative par la contamination par de très petites quantités de matériaux réduisant le frottement, tels que les cires et autres matériaux huileux. Pour tous les échantillons, aucune variation significative du coefficient de frottement n'a été signalée.

La capacité d'absorption d'eau du papier/carton est mesurée en laissant tomber une goutte d'eau sur la surface d'un échantillon et en déterminant le temps en secondes nécessaire pour que la goutte pénètre dans la feuille et mouille sa face inférieure. Le pouvoir absorbant du carton ondulé doit être contrôlé dans une certaine mesure afin qu'il soit suffisamment réceptif à l'adhésif. Généralement, une suspension aqueuse d'amidon associée à des adhésifs est utilisée pour assurer une bonne adhérence au processus dit « d'ondulation ». Les échantillons ont montré une réduction du temps d'absorption de l'eau par rapport à l'échantillon de contrôle. Ceci pourrait être attribué à une teneur plus faible en additif d'encollage dans la pâte CMC par rapport à la pâte OCC.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

La moyenne des matières collantes par échantillon est indiquée dans le tableau 14. Une légère augmentation des matières collantes a été observée. Cette caractéristique pourrait être attribuée aux produits chimiques appliqués sur le contenant CMC et/ou dans la production de pâte CMC. Toutefois, le nombre de matières collantes signalées est inférieur au seuil d'acceptabilité (15-20 matières collantes ≥ 0,4 mm²) indiqué dans le protocole de repulpabilité fourni par la Fibre Box Association[17].

En ce qui concerne les propriétés mécaniques, les deux échantillons de pâte moulée ont montré des propriétés mécaniques plus élevées que l'échantillon de contrôle OCC. Cela peut être attribué à la composition de la pâte. Comme le montre le tableau 9, la pâte récupérée à base de CMC a montré une longueur de fibre plus élevée et une teneur en fines plus faible que la pâte OCC. Ainsi, l'incorporation de pâte CMC dans la pâte OCC a augmenté la résistance du papier recyclé.

Ainsi, les échantillons repulpés ne présentent aucun rejet, une faible teneur en matières collantes et une résistance mécanique supérieure à celle de l'échantillon de contrôle OCC. En outre, les produits repulpés présentent un angle de glissement, une absorption d'eau et une teneur en cendres similaires à ceux de l'échantillon de contrôle OCC. Par conséquent, la pâte de CMC recyclée a le potentiel pour améliorer la qualité de la pâte à papier recyclée grâce à sa teneur en kraft et en CTMP.

3.6 Poly-alu

Un échantillon de 250 g des rejets du triturateur (poly-alu) a été expédié chez Coalia, un membre du réseau des centres collégiaux de transfert de technologies (CCTT) situé à Thetford Mines.

Là, ils ont été densifiés à l'aide d'un Densificateur FBM DE 45 HP. Par la suite, la matière a été extrudée à l'aide d'un DP-029 Amut. Les granules de poly-alu ont été moulées par injection à l'aide d'une presse à injection Arburg 370A afin de produire des éprouvettes de type ASTM D-638, telles que présentées à la figure 7. Le rapport d'analyse de Coalia est présenté à l'annexe B.

[17] Fibre Box Association, (2013) Voluntary Standard For Repulping and Recycling Corrugated Fiberboard Treated to Improve Its Performance in the Presence of Water Vapor, FBA.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Figure 7. Pièces produites par Coalia à partir du poly-alu (de gauche à droite : éprouvettes de type ASTM D-638; plaque produite à partir de matière densifiée[18]; granules de poly-alu)

4. Principales conclusions

Ce projet de recherche a démontré que les contenants multicouches (CMC) post-consommation offraient un bon potentiel pour la fabrication de produits en pâte moulée de type II (moulage par transfert) et de type III (thermoformage). De tels emballages pourraient servir à contenir ou protéger une grande variété de produits dans les secteurs alimentaire et non alimentaire.

La pâte fabriquée à partir de fibres de CMC récupérées présente des propriétés mécaniques et physiques qui se situent entre celles de pâtes kraft blanchies de résineux vierge (BSKP) non raffinée et légèrement raffinée. En outre, sa résistance mécanique est nettement plus forte que la pâte à base de carton ondulé usé (old corrugated cardboard, OCC). Pour ce qui est du temps de production de la pâte de fibres de CMC (temps de formation, d'égouttage et de thermoformage), celui-ci fut relativement faible (en d'autres mots, la pâte de fibres CMC a exhibé un débit de production élevé).

[18] La plaque a été moulée par compression avec la matière obtenue après l'étape de densification et avant de mettre la matière dans l'extrudeuse. Elle a été produite en déposant la matière dans un moule « picture frame » à 180 °C; celle-ci a ensuite été compressée et refroidie.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Un moule de barquette d'œufs a été employé pour fabriquer les échantillons de produits de type II. Les barquettes à base de fibres de CMC ont présenté une résistance mécanique supérieure à celle des barquettes d'œufs conventionnelles faites de vieux papier journal (old newspaper, ONP). Le taux de rétrécissement des barquettes en fibres de CMC était similaire à celui des barquettes conventionnelles, indiquant que la pâte de CMC pourrait être employée dans une fabrication industrielle de moulage sans problème d'emboîtement.

Les produits thermoformés en pâte de CMC (type III) ont présenté quant à eux des propriétés mécaniques similaires à celles de produits thermoformés en pâte kraft vierge non raffinée. L'analyse a indiqué toutefois que la pâte de CMC pouvait être raffinée davantage, ce qui aurait pour résultat d'augmenter ses propriétés mécaniques et physiques au-delà de ce point.

Toutes les pièces produites de type II et de type III ont affiché une couleur jaunâtre, qui peut être attribuée à la pâte CTMP présente en relativement faible quantité dans les ballots de CMC.

Leurs faibles teneurs en encre résiduelle et en métaux lourds laissent présager une compatibilité avec le contact alimentaire, mais des tests exigeant des équipements supplémentaires, notamment pour des mesures plus précises du chrome (spécifiquement CrVI) et du plomb, seraient requis pour le confirmer.

Enfin, en vue de leur propre recyclage, les deux types de pièces ont atteint un rendement de repulpabilité de presque 100 %, tel qu'évalué par la norme de remise en pâte de la Fibre Box Association (FBA). L'analyse des feuilles subséquemment produites avec cette pâte recyclée pour une seconde fois selon la norme de la FBA a démontré qu'elles ne contenaient qu'une faible teneur en matières collantes, que leur résistance mécanique était supérieure à celle de l'échantillon de contrôle à base de carton ondulé usé, et que leur angle de glissement, leur absorption d'eau et leur teneur en cendres étaient similaires à ceux de l'échantillon de contrôle. Par conséquent, on juge que la pâte même doublement recyclée de CMC peut améliorer la qualité de la pâte à papier recyclée.

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Annexe A : Note sur la compatibilité des produits en pâte moulée faits de CMC recyclés avec une application au contact alimentaire

En ce qui concerne l'application au contact alimentaire des produits faits de pâte moulée recyclée, Santé Canada autorise l'utilisation de pâte à papier à partir de fibres récupérées (recyclées) si certaines conditions sont remplies[19]. En particulier, la pâte à papier ne doit pas contenir de « substances toxiques ou nocives » qui migrent vers les aliments, et la source ne doit pas avoir été utilisée pour détenir ou expédier des substances toxiques ou nocives. Ce règlement n'exige toutefois pas que les additifs présents dans la pâte recyclée soient conformes aux réglementations applicables au papier (21 CFR 176.170 et seq.). En d'autres mots, bien que le papier doive être conforme aux exigences, ce n'est pas le cas pour les additifs seuls.

La pâte en contact avec les aliments, y compris la pâte recyclée, doit être suffisamment pure pour l'usage auquel elle est destinée. Il convient donc d'étudier les échantillons de pesticides et de polychlorobiphényles (PCB), les composés organiques volatils et semi-volatils, la teneur en dioxines, et la présence de per et polyfluoroalkylées (plus connus sous leur acronyme anglais « PFAS »). En outre, l'analyse de la charge microbiologique doit être effectuée à l'aide d'un écouvillon ou d'un test de désintégration.

[19] https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/C.R.C.%2C_ch._870/index.html (section B23.001)

CÉGEP TROIS-RIVIÈRES
3351, BOUL. DES FORGES, CASE POSTALE 97
TROIS-RIVIÈRES (QUÉBEC) G9A 5E6
www.innofibre.ca

Annexe B : Rapport d’analyse de Coalia relatif au poly-alu

co:alia
Le savoir de la matière | La maîtrise des procédés

RAPPORT D'ANALYSE

Client :	Innofibre (Cégep de Trois-Rivières) 3351, boul. des Forges - C.P. 97 Trois-Rivières, Québec G9A 5E6	**Date :** 28 février 2024
Attention :	Eric Desnoes	
Commande :	BON232403012	
Identification – Échantillon(s) :	PolyAl, Rejets de triturateur de ballot de CMC (2kg)	
Date de réception – Échantillon(s) :	5 février 2024	
Demande du client:	Essais de valorisation de rejets du triturateur de ballot de CMC.	
Date(s) d'exécution des travaux :	8 au 19 février 2024	

DENSIFICATION

Appareil : Densificateur FBM DE 45HP 15V 220/60 Z9100027

Paramètres	
Temps de chargement (min):	2
Temps de fusion (min):	60
Température (°C)	110
Temps cycle total (min):	65
Quantité (kg):	1,6

Observations: Le temps de fusion a été élevé en raison de la faible quantité de matière pour généré rapidement la chaleur nécessaire à la densification. Un gants en textile et une bouteille en PET ont été observés comme contaminant dans le mélange. Beaucoup de fibres étaient encore présentes dans l'échantillon. Les films d'aluminium n'étaient plus visible après la densification.

Réalisé par: Steeve Lacasse, Tech.

EXTRUSION / FILTRATION

Appareil : DP-029 Amut, Vis 48mm, 28:1
Séchage : Aucun
Filière : Torons 4 x 4mm
Alimentation: Manuel

Formulation	
Matières:	Matière densifiée
Calibre du tamis	20
Température de l'extrudeuse (°C) :	200
Vitesse de rotation (rpm) :	15
Température du fondu (°C) :	160
Pression à la filtration (psi) :	2800
Refroidissement	Bac à eau
Quantité (kg):	0,250

Observations: L'alimentation de la matière était difficile et pas constante au niveau de la gorge de l'extrudeuse. Pour cette raison, nous avons observé une variation de la pression à la filière. Presque tout le matériel a été consommé seulement pour remplir l'extrudeuse, le système de filtration et la filière. Après l'extrusion, nous avons observé de la matière infondue dans le tamis correspondant surement à la bouteille de PET observée initialement.

Réalisé par: Pier-Luc Marcoux, Tech.

COALIA
671, boul. Frontenac Ouest – Porte 7C
Thetford Mines (Québec) G6G 1N1
(418) 338-6410 ◆ www.coalia.ca

Appareil : Presse à injection Arburg 370A (600 kN)
Moule et cavité : ASTM D638 type I
Séchage : Aucun
Profil de température : (Buse) 200 / 295 / 205 / 205 / 205°C

Paramètres	
Temp. moule fixe/mobile (°C)	40
Pression d'injection (bar)	1060
Vitesse d'injection (cm3/s)	15
Temps d'injection (s)	6.5
Point de commutation (cm3)	400
Pression de maintien (bar)	15
Vitesse de maintien (cm3/s)	10
Temps de maintien (s)	20
Temps de refroidissement (s)	100
Vitesse de rotation de la vis (RPM)	50
Contre pression (bar)	3
Volume de décompression (cm3)	27
Volume de dosage (cm^3)	9.41
Temps de dosage (s)	39.2
Temps de cycle total (s)	5.9

Observations: Le procédé d'injection a bien fonctionné. Environ dix éprouvettes de tension ont été moulées.

Réalisé par: Eric Fillion, Tech.

Des photos de chacune des étapes du procédé sont présentés en annexe.

Vérifié par :

Eric Leclair, Ing.

Ce rapport est produit à l'usage exclusif du client auquel il est adressé et ne doit pas être reproduit, en partie ou en entier, sans le consentement écrit préalable de COALIA.
Les présents résultats se réfèrent uniquement aux échantillons soumis et se limitent aux tests ou analyses effectués.
Nous disposerons de tout échantillon après trente (30) jours de la date de publication de ce rapport, sauf demande contraire du client. Les coûts reliés à l'expédition desdits échantillons seront aux frais du client.

COALIA
671, boul. Frontenac Ouest – Porte 7C
Thetford Mines (Québec) G6G 1N1
(418) 338-6410 ◆ www.coalia.ca

ANNEXE

Densification

Extrusion/Filtration

MOULAGE PAR INJECTION