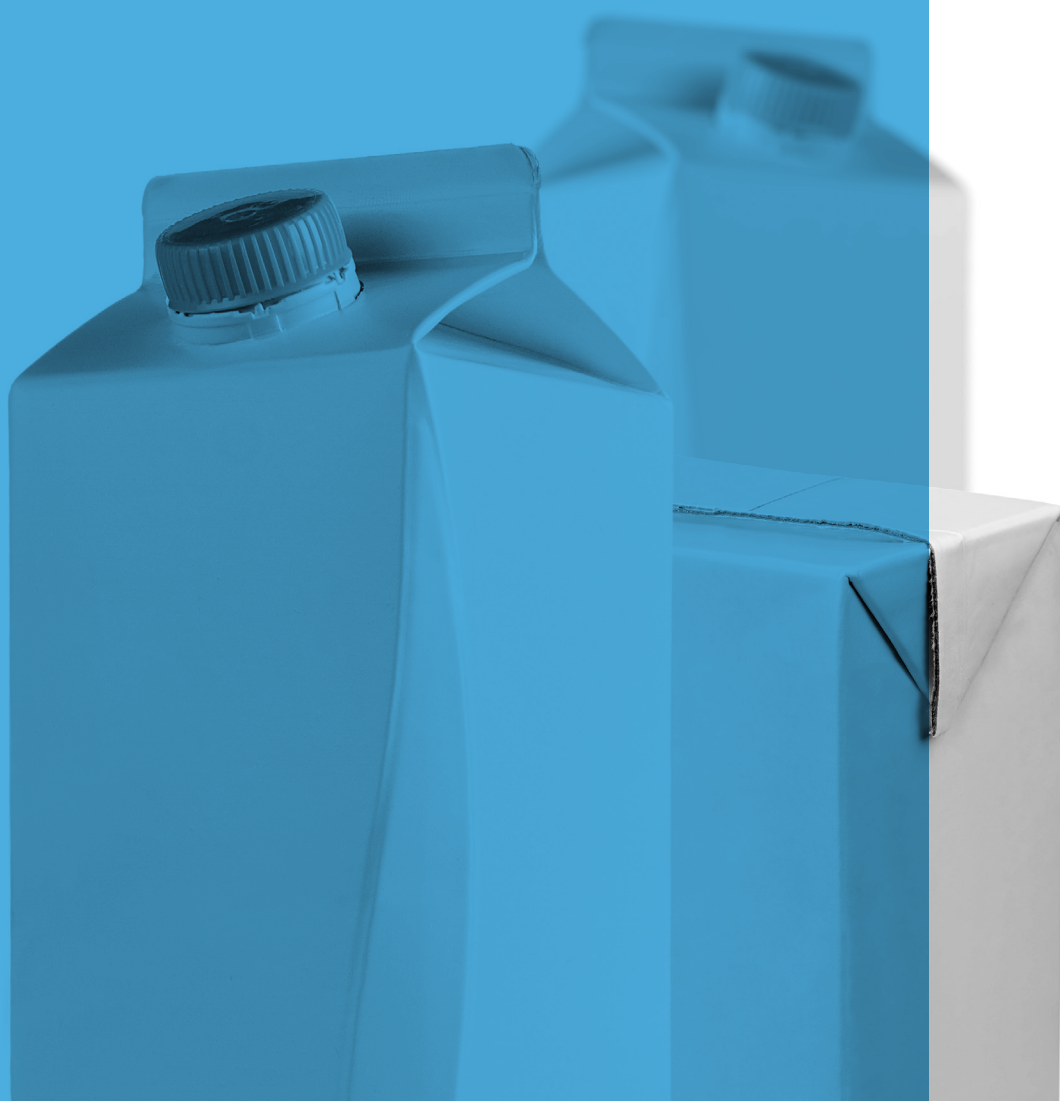


PROJET PILOTE

Évaluer la valeur ajoutée
et le coût de trier séparément
les contenants multicouches
en centre de tri

Octobre 2017



RECYC-QUÉBEC tient à remercier  pour la recherche et la rédaction du présent document.

Équipe de réalisation

Arnaud Budka – Chef d'équipe – Valorisation des matières résiduelles

Samuel Launay – Ingénieur junior de projet

Laurent Gazaille – Ingénieur junior de projet

Marion Cordier – Ingénieur junior de projet

SOMMAIRE EXÉCUTIF

À la suite d'un sondage lancé en mai 2014 par RECYC-QUÉBEC auprès de tous les gestionnaires de centres de tri du Québec, ceux-ci ont identifié, pour leurs opérations, les matières problématiques suivantes :

- les contenants multicouches (aseptiques et à pignon);
- le papier mixte;
- les sacs et pellicules d'emballage en plastique.

Les contenants multicouches (CMC) comprennent deux types d'emballages pour aliments et boissons : les contenants aseptiques pour longue conservation et les contenants à pignon pour réfrigération. Ils sont constitués de papier cartonné auquel est ajouté du polyéthylène. De l'aluminium est aussi ajouté dans le cas des contenants aseptiques. Puisqu'ils sont constitués d'un assemblage de différents matériaux, leur recyclage n'est pas optimal lorsque mélangés avec d'autres matières¹. De plus, on observe une augmentation des exigences des recycleurs quant à la qualité des matières revendues.

Dans ce contexte et afin d'améliorer la commercialisation des contenants multicouches, l'étude technico-économique du tri séparé des contenants multicouches est apparue nécessaire pour assurer une valorisation pérenne de ces matières. Le Groupe de travail Développement des marchés de RECYC-QUÉBEC a ainsi décidé de mettre en place un projet pilote pour évaluer la valeur ajoutée et le coût de trier séparément les contenants multicouches en centre de tri.

Les deux principaux objectifs du projet pilote étaient :

- d'évaluer et documenter la faisabilité technique et économique de trier séparément les contenants multicouches sur la ligne des contenants des centres de tri afin d'estimer la pertinence de cette pratique dans des centres de tri de tailles différentes :
 - d'évaluer les coûts d'opération pour différentes configurations de tri incluant des variations et combinaisons des méthodes manuelles et optiques;
 - d'évaluer l'efficacité de chacune des approches investiguées (taux de capture et taux de pureté);
 - d'établir un seuil de rentabilité des différentes configurations en fonction de critères tels que le tonnage traité, la capacité du centre de tri, les retombées positives notamment en fonction de la qualité des ballots des autres matières, de la valeur des autres débouchés possibles, les coûts d'élimination, etc.;
- de définir et documenter les conditions optimales permettant le tri des contenants multicouches :

¹ La séparation des contenants multicouches des autres contenants et des matières fibreuses en vue de leur valorisation est l'option à privilégier puisque ceci optimise le rendement de la fibre. Certaines composantes des contenants multicouches nuisent au procédé de remise en pâte des autres matières fibreuses et réduisent le rendement de la fibre de certaines applications de la pâte à papier.

- de déterminer les paramètres nécessaires pour optimiser le tri tels que la capacité de captage d'un trieur, le débit du flux total en relation avec la teneur en contenants multicouches ou la configuration d'un séparateur optique tout en respectant les exigences du grade PSI-52.

Pour la mise en œuvre de ce projet pilote, deux centres de tri de taille et de procédé différents ont été identifiés afin de permettre une évaluation de la pertinence technico-économique d'effectuer le tri séparé des contenants multicouches dans différents contextes. Les deux centres concernés par cette étude sont :

→ Centre de tri de la ville de Québec : 54 000 t/an (Société VIA)

Ce centre de tri, géré par la Société V.I.A., a en effet conçu et mis en œuvre un procédé de tri automatisé des contenants incluant le tri des contenants multicouches via un double tri optique en 2016. Ce centre de tri dispose donc d'information récente relative à la conception et au coût d'un tri manuel et automatisé des contenants multicouches.

→ Centre de tri Récupération Frontenac : 29 000 t/an

Ce centre de tri, situé à Thetford Mines, dispose déjà d'un tri automatisé (tri optique) des contenants. Les contenants multicouches sont séparés des contenants à l'aide d'un tri optique en mélange avec les fibres. La configuration actuelle du centre de tri permet d'envisager des configurations de tri différentes pour les CMC.

La méthodologie de travail retenue a consisté en :

1. La collecte de l'ensemble des informations disponibles concernant le tri séparé des contenants multicouches et la réalisation d'audit technique de ces centres de tri pour permettre de documenter :
 - la configuration de tri actuelle et les configurations de tri envisageables;
 - les performances techniques observées dans la configuration de tri actuelle;
 - les pistes d'optimisation de ces configurations.
2. La caractérisation des matières pour permettre :
 - la détermination de la composition des arrivages : caractérisation des matières reçues par le centre;
 - la détermination de la composition des ballots dans la configuration de tri actuelle du centre.
3. Le lancement et la réalisation des essais de tri des CMC dans les configurations de tri optimisées identifiées précédemment pour le centre de tri de Récupération Frontenac.
4. La caractérisation des matières à l'issue des essais au centre de tri de Récupération Frontenac. Cette caractérisation a inclus :
 - la détermination de la composition des arrivages;
 - la détermination de la composition des ballots pour les deux configurations de tri les plus pertinentes suite aux essais.

En parallèle de ces activités, des analyses des données collectées ont été effectuées :

- analyse du passage du tri manuel au tri optique, en s'appuyant sur l'expérience du centre de la Ville de Québec;
- analyse de la faisabilité technique du tri des contenants multicouches;

- analyse économique du tri des contenants multicouches;

Les caractérisations effectuées de même que les observations effectuées sur la chaîne de tri indiquent que 10 à 30 % des contenants multicouches entrant dans les centres de tri se retrouvent sur la ligne des fibres contre 70 à 90 % sur la ligne des contenants. Ce constat confirme le bien-fondé de cette étude concentrée sur le tri des contenants multicouches sur la ligne des contenants.

De plus, les analyses réalisées à partir des informations disponibles concernant la performance du tri des contenants multicouches (CMC) au centre de tri de Québec, complétées d'essais de configurations complémentaires au centre de tri de Thetford Mines ont permis de confirmer la faisabilité technique de trier séparément les contenants multicouches et de respecter les exigences du grade PSI-52.

Le choix de la configuration de tri optimale est fonction de la configuration initiale du centre de tri considéré. Les configurations de tri des CMC envisageables pour les deux centres de tri qui font l'objet de cette étude peuvent se résumer par la figure suivante.

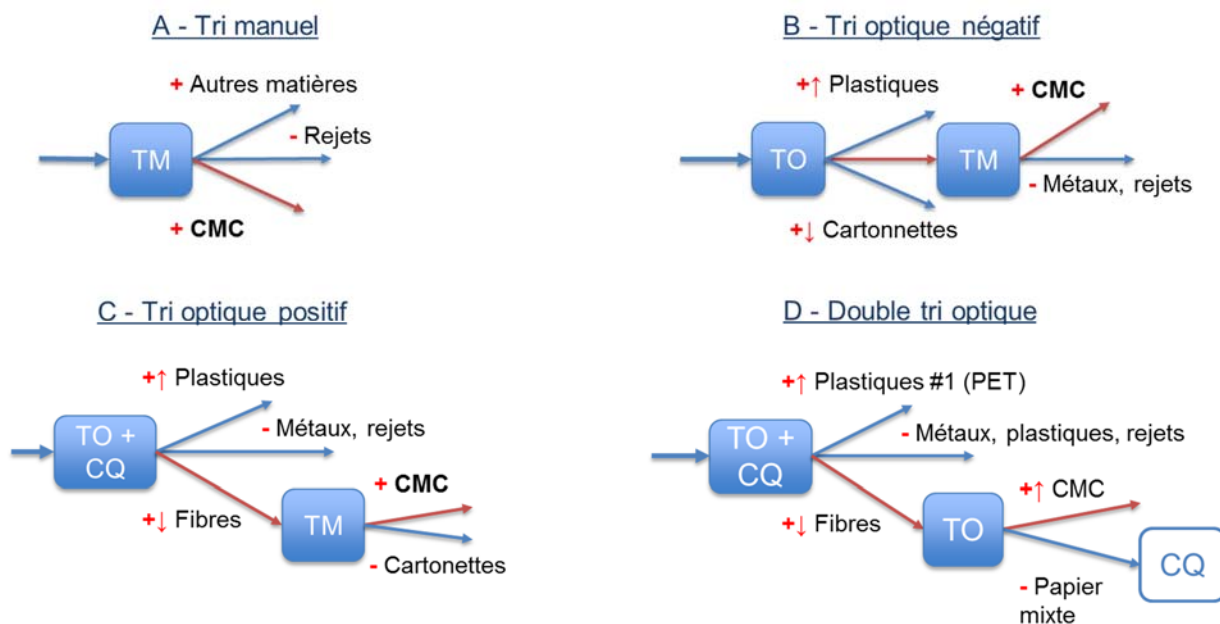


Figure 1 Schéma des configurations de tri des contenants multicouches

Le tri manuel assure une pureté optimale au flux de CMC généré, proche de 100 %. L'efficacité du trieur est variable en fonction des configurations, mais est comprise entre 35 pics/min et 55 pics/min (valeur optimale).

Le premier tri optique (TO) assure une efficacité de tri de 85 %. Dans le cas des configurations B, C et D, cela signifie que 15 % du gisement de CMC de la ligne des contenants sont dirigés vers les deux autres voies de tri (erreurs de tri). L'ajout d'un trieur contrôle qualité (CQ) pour rediriger les CMC ayant fait l'objet d'une erreur de tri permet d'atteindre une efficacité de tri, après cette première étape de tri, de 96 %.

L'analyse économique du coût et de la valeur ajoutée de trier séparément les contenants multicouches a été effectuée sur la base des configurations de tri précédentes. Six scénarios ont ainsi été comparés en fonction de la situation de départ du centre de tri considéré (niveau d'automatisation de la ligne des

contenants). Ces scénarios sont illustrés par la figure suivante. Pour les deux situations initiales modélisées, il a été considéré que le centre de tri se trouve :

- soit dans une configuration de tri manuel (TM) de la ligne des contenants avec tri des contenants multicouches;
- soit dans une configuration de tri optique (TO) de la ligne des contenants, mais dans laquelle les CMC ne sont pas triés, mais intégrés à un autre flux (cartons, cartonnnette ou papiers mixtes) et donc valorisés au prix de vente associé.

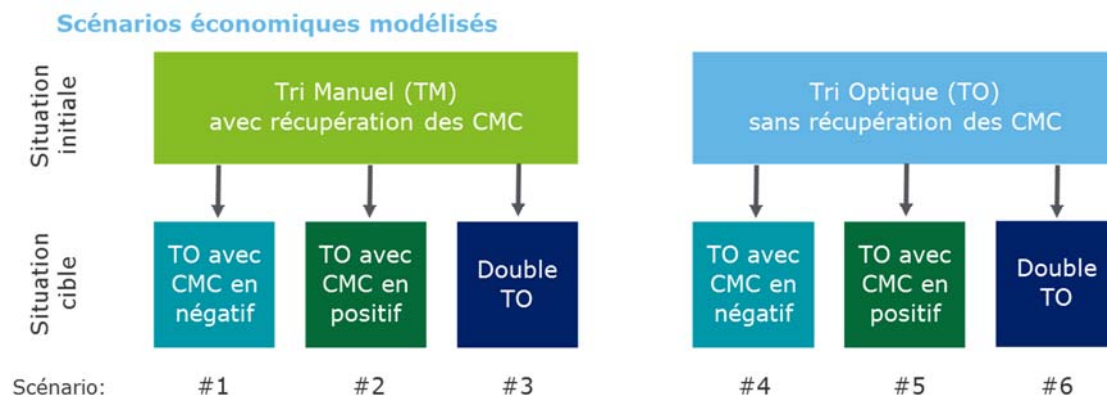


Figure 2 Scénarios de mise en place d'un tri des contenants multicouches

Cette analyse montre que la décision de trier les CMC sur la ligne des contenants doit ainsi être intégrée à la stratégie de tri globale des centres concernés. Elle est dépendante de la configuration initiale des centres de tri (procédé), du contexte contractuel de ces derniers, des conditions de marché (valeur commerciale des CMC et exigences de pureté sur les différents flux de contenants).

L'analyse économique permet en premier lieu de conclure que l'évolution d'un centre triant manuellement sa ligne de contenants vers un système automatisé par trieur optique est rentable financièrement dans les conditions qui prévalent actuellement en terme de prix de revente des matières, et ce, quels que soient les scénarios cibles considérés (séparateur optique avec tri des CMC en négatif, en positif ou double trieur optique). Cette évolution est en outre pertinente pour des centres de tri de taille moyenne (25 000 t/an de capacité totale) que de taille importante (50 000 t/an). Pour le passage à un double tri optique de la ligne des contenants, il est même particulièrement rentable par rapport aux autres scénarios, même sur des lignes de 2 000 kg/h (soit 25 000 t/an sur 2 quarts).

Pour les centres de tri ayant déjà investi dans des trieurs optiques, la conclusion est moins catégorique d'un point de vue financier. Présentement vendus en grande partie dans les ballots de papiers mixtes (où ils sont valorisés comme tels), leur tri spécifique n'implique pas d'investissement en immobilisation spécifiques, mais nécessite des opérateurs additionnels, créant un déséquilibre entre les revenus générés et les frais de fonctionnement récurrents. Dès lors, il est plus délicat de trouver des conditions financières favorables au tri des CMC dans le contexte actuel de prix des matières. Cela est particulièrement vrai pour les scénarios #4 et #5 (séparateur optique simple, configurés respectivement en tri négatif ou positif pour les CMC), que l'on soit sur des flux moyens (2 000 kg/h sur 2 quarts) ou plus importants (4 000 kg/h sur 2 quarts). Ainsi, la valeur de revente actuelle des CMC par rapport à celle du papier mixte ne parvient pas à compenser l'augmentation des dépenses pour l'ajout du salaire d'un

opérateur de tri supplémentaire; pour rendre ce scénario attrayant, les CMC devraient se vendre au moins 150 \$/t de plus, ce qui ne risque pas d'arriver à court ou moyen terme.

Dans le cas d'un double séparateur optique (scénario #6), un écart de prix de 80 \$/t entre les CMC et les papiers mixtes permet d'atteindre l'équilibre (dans le cas d'un centre de taille moyenne ou 25 000 t/an). Avec les mêmes conditions économiques, cette configuration offre un retour sur investissement à relativement brève échéance (un peu plus d'un an) dans le cas d'un flux plus important sur la ligne des contenants (4 000 kg/h sur 2 quarts).

Tableau 1-1 Synthèse de l'analyse économique des scénarios

	Scénario #1	Scénario #2	Scénario #3	Scénario #4	Scénario #5	Scénario #6
Flux matière	2000kg/h, 6% de CMC (soit 120kg CMC par heure), 2 quarts de travail					
Détail situation initiale	Tri manuel 1 trieur dédié CMC Efficacité trieur: 36 pics/min		Tri optique sans tri spécifique des CMC			
Détail situation cible	Tri optique négatif 1 trieur CMC	Tri optique positif 1 trieur CMC 0,18 CQ CMC (6% de 3 ETP)	Double tri optique Aucun trieur CMC 0,68 CQ CMC (0,18 + 0,5 après le 2nd TO)	Tri optique négatif 1 trieur CMC	Tri optique positif 1 trieur CMC 0,18 CQ CMC (6% de 3 ETP)	Double tri optique Aucun trieur CMC 0,68 CQ CMC (0,18 + 0,5 après le 2nd TO)
Variation revenus annuels	14 352 \$	23 678 \$	24 066 \$	26 775 \$	36 101 \$	36 489 \$
Dotation aux amortissements, sur 15 ans (\$/an)						
Minimum	1 871 \$	1 871 \$	3 742 \$	0 \$	0 \$	1 871 \$
Maximum	2 218 \$	2 218 \$	4 435 \$	0 \$	0 \$	2 218 \$
Frais de fonctionnement annuels (OPEX - \$/an)						
Minimum	252 \$	10 008 \$	-16 841 \$	44 446 \$	54 203 \$	27 353 \$
Maximum	396 \$	13 874 \$	-23 170 \$	61 402 \$	74 880 \$	37 836 \$
Bénéfices annuels (\$/an)						
Bénéfices avant impôts (min)	12 229 \$	11 798 \$	37 165 \$	-17 671 \$	-18 102 \$	7 264 \$
Bénéfices avant impôts (max)	11 739 \$	7 586 \$	42 801 \$	-34 627 \$	-38 779 \$	-3 565 \$
Bénéfices après impôts (min)	7 338 \$	7 079 \$	22 299 \$	-17 671 \$	-18 102 \$	4 359 \$
Bénéfices après impôts (max)	7 043 \$	4 552 \$	25 680 \$	-34 627 \$	-38 779 \$	-3 565 \$

L'impact de l'allocation des trieurs dédiés aux CMC a également été étudié. En effet, dans la modélisation de base, il a été considéré que les trieurs des CMC étaient alloués à 100 % aux CMC. Cependant, si on considère que leur rôle n'est pas seulement de trier les CMC, mais également d'augmenter la pureté des autres matières (métaux/aluminium dans la configuration tri optique négatif ; papier mixte dans la configuration tri optique positif), on peut alors considérer une allocation de 50 % du coût du trieur aux CMC, le reste devant être alloué à la matière qui bénéficie d'une plus grande pureté. Cette allocation différente permet de réduire les coûts opérationnels, du point de vue des CMC, des scénarios #1, #2, #4 et #5 (dans le cas des double trieurs optiques, il n'y a pas d'opérateur de tri, uniquement des contrôles qualité). Les scénarios #4 et #5 atteignent alors l'équilibre économique voire le dépassent légèrement.

Si la seule analyse financière justifie difficilement le tri séparé pour les CMC dans les cas des scénarios #4 et #5, d'autres raisons sont à prendre en considération, et ce, quel que soit le scénario. La demande de pureté accrue pour les fibres est un argument important qui peut être de nature cruciale pour un centre de tri, tant en termes de protection de la valeur de revente de ses autres matières (ex. lots de papiers mixtes moins contaminés), de sécurisation des contrats de gré à gré déjà conclus ou d'accès à de nouveaux marchés ayant de hautes exigences en termes de pureté des matières.

TABLE DES MATIÈRES

1	MISE EN CONTEXTE ET PRÉSENTATION DU PROJET	1
1.1	CONTEXTE DU PROJET	1
1.2	OBJECTIFS DU MANDAT	2
1.3	DESCRIPTION DU MANDAT	2
2	PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES CENTRES	5
2.1	RÉCUPÉRATION FRONTENAC	5
2.1.1	INFORMATIONS GÉNÉRALES.....	5
2.1.2	DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE TRI.....	6
2.1.3	ÉTAT DE LA SITUATION DES CONTENANTS MULTICOUCHES	7
2.2	CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	9
2.2.1	INFORMATIONS GÉNÉRALES.....	9
2.2.2	DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE TRI.....	10
2.2.3	ÉTAT DE SITUATION DES CONTENANTS MULTICOUCHES.....	10
2.3	COMPARAISON DES CONFIGURATIONS DES SÉPARATEURS OPTIQUES	12
3	MÉTHODE DE TRAVAIL ET PRÉPARATION DES ACTIVITÉS SUR SITE	13
3.1	DÉFINITIONS	13
3.2	PHASAGE DU PROJET	13
3.3	CARACTÉRISATIONS DES MATIÈRES	14
3.3.1	CARACTÉRISATION DES ARRIVAGES.....	14
3.3.1.1	RÉCUPÉRATION FRONTENAC	15
3.3.1.2	CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC.....	15
3.3.2	CARACTÉRISATION DES MATIÈRES TRIÉES	15
3.3.2.1	RÉCUPÉRATION FRONTENAC	16
3.3.2.2	CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC.....	17
3.4	CONFIGURATIONS DE TRI DES CONTENANTS MULTICOUCHES ANALYSÉES.....	17
3.4.1	TRI MANUEL DES CONTENANTS MULTICOUCHES	18
3.4.2	TRI OPTIQUE NÉGATIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES	19
3.4.3	TRI OPTIQUE POSITIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES	19

3.4.4	DOUBLE TRI OPTIQUE DES CONTENANTS MULTICOUCHES	20
3.5	MÉTHODE DE TRAVAIL	20
3.5.1	DONNÉES NÉCESSAIRES	20
3.5.2	ACQUISITION DE DONNÉES	21
3.5.2.1	DONNÉES POUR LES CONFIGURATIONS DE TRI OPTIQUES DES CONTENANTS MULTICOUCHES EN NÉGATIF ET POSITIF	21
3.5.2.1.1	1 ^{RE} SÉRIE D'ESSAIS – 4 CONFIGURATIONS TESTÉES	21
3.5.2.1.1	2 ^E SÉRIE D'ESSAIS – 2 CONFIGURATIONS RETENUES	21
3.5.2.2	DONNÉES POUR LA CONFIGURATION DE TRI MANUEL DES CONTENANTS MULTICOUCHES	22
3.5.2.3	DONNÉES POUR LA CONFIGURATION DOUBLE TRI OPTIQUE DES CONTENANTS MULTICOUCHES	22
3.5.3	LISTE DES DONNÉES	23
4	RÉSULTATS DES CARACTÉRISATIONS	25
4.1	ARRIVAGES	25
4.1.1	RÉCUPÉRATION FRONTENAC	25
4.1.2	CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC - SOCIÉTÉ V.I.A.	25
4.2	MATIÈRES TRIÉES – RÉCUPÉRATION FRONTENAC	26
4.2.1	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES DANS LA CONFIGURATION ACTUELLE DE TRI	26
4.2.2	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC – TRI OPTIQUE NÉGATIF	27
4.2.3	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC – TRI OPTIQUE POSITIF	28
4.3	MATIÈRES TRIÉES – CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	29
5	RÉSULTATS DES ESSAIS	31
5.1	1^{RE} SÉRIE D'ESSAIS	31
5.1.1	DESCRIPTION DE LA DÉMARCHE ANALYTIQUE	31
5.1.2	PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	31
5.1.2.1	TRI OPTIQUE NÉGATIF DES CMC	31
5.1.2.2	TRI OPTIQUE POSITIF DES CMC	33
5.1.3	SYNTHÈSE ET CONFIGURATIONS RETENUES	35
5.2	2^E SÉRIE D'ESSAIS	37
5.2.1	TRI OPTIQUE NÉGATIF	37
5.2.2	TRI OPTIQUE POSITIF	38
5.3	CONFIGURATIONS ANALYSÉES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	40
5.3.1	TRI MANUEL	40

5.3.2	DOUBLE TRI OPTIQUE.....	41
6	ANALYSE DE LA FAISABILITÉ TECHNIQUE DU TRI DES CONTENANTS MULTICOUCHES.....	45
6.1	SYNTHÈSE DES CONFIGURATIONS DE TRI DES CMC	45
6.1.1	EFFICACITÉ DU TRIEUR DÉDIÉ AUX CONTENANTS MULTICOUCHES	46
6.1.2	EFFICACITÉ DU TRI OPTIQUE ET CONTRÔLE QUALITÉ.....	47
6.2	ANALYSE DU PASSAGE DU TRI MANUEL AU TRI OPTIQUE AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	48
6.2.1	CONFIGURATION EN TRI MANUEL DES CONTENANTS MULTICOUCHES.....	49
6.2.2	CONFIGURATION EN DOUBLE TRI OPTIQUE DES CONTENANTS MULTICOUCHES	50
6.2.3	CONTEXTE DU PASSAGE DU TRI MANUEL AU TRI OPTIQUE	52
6.2.4	COMPARAISON AVANT-APRÈS INSTALLATION DES TRIS OPTIQUES.....	52
6.2.4.1	REJETS DE FIN DE LIGNE DES CONTENANTS	52
6.2.4.2	JOURNAL #7, FIN DE LIGNE DES FIBRES.....	53
6.3	ANALYSE DES CONTENANTS MULTICOUCHES SUR LA LIGNE DES FIBRES	54
6.3.1	ANALYSE DES DONNÉES DU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC POUR DÉFINIR LA PART DE CONTENANTS MULTICOUCHES DANS LES FIBRES	56
7	ANALYSE ÉCONOMIQUE DU TRI DES CONTENANTS MULTICOUCHES.....	59
7.1	PRÉSENTATION DES 6 SCÉNARIOS RETENUS	59
7.2	HYPOTHÈSES ET PRINCIPAUX PARAMÈTRES RETENUS	60
7.3	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ÉCONOMIQUES	62
7.3.1	RÉSULTATS PRINCIPAUX	62
7.3.2	ANALYSE DE SENSIBILITÉ	65
7.3.2.1	IMPACT DE LA VARIATION DU FLUX SUR LA LIGNE DE CONTENANTS	65
7.3.2.2	IMPACT DE LA VARIATION DU PRIX DES CMC	67
7.3.2.3	ALLOCATION DIFFÉRENTE DES OPÉRATEURS DE TRI DES CMC	69
7.3.2.4	AUTRES ANALYSES DE SENSIBILITÉ ÉTUDIÉES	70
8	CONCLUSION	73

TABLEAUX

TABEAU 1-1	SYNTHÈSE DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE DES SCÉNARIOS.....	IX
TABEAU 3-1	LISTE DES MATIÈRES TRIÉES CARACTÉRISÉES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC	16
TABEAU 3-2	LISTE DES MATIÈRES TRIÉES CARACTÉRISÉES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	17
TABEAU 3-3	CONFIGURATIONS DE TRI DES CONTENANTS MULTICOUCHES ÉTUDIÉES.....	18
TABEAU 3-4	LISTE DES DOCUMENTS ET DONNÉES COLLIGÉS	23
TABEAU 4-1	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC DANS LA CONFIGURATION ACTUELLE DE TRI.....	27
TABEAU 4-2	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC EN TRI OPTIQUE NÉGATIF	28
TABEAU 4-3	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC EN TRI OPTIQUE POSITIF	29
TABEAU 4-4	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC DANS LA CONFIGURATION ACTUELLE DE TRI	30
TABEAU 5-1	COMPARAISON DES RÉSULTATS DES ESSAIS	36
TABEAU 5-2	CARACTÉRISATIONS DES FLUX, TRI OPTIQUE NÉGATIF	38
TABEAU 5-3	CARACTÉRISATIONS DES FLUX, TRI OPTIQUE POSITIF	40
TABEAU 5-4	CARACTÉRISATIONS DES FLUX, DOUBLE TRI OPTIQUE	43
TABEAU 6-1	SYNTHÈSE DES PERFORMANCES TECHNIQUES PAR CONFIGURATION	46
TABEAU 6-2	HISTORIQUE DES MATIÈRES PRODUITES, CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC.....	48
TABEAU 6-3	ANALYSE DES CMC SUR LA LIGNE DES FIBRES	55
TABEAU 6-4	RÉPARTITION DES CONTENANTS MULTICOUCHES PAR FLUX ENTRE MAI ET JUIN 2016.....	56
TABEAU 7-1	REVENUS ET INVESTISSEMENTS PAR SCÉNARIO	63
TABEAU 7-2	ÉVALUATION FINANCIÈRE DES SCÉNARIOS	64
TABEAU 7-3	REVENUS ET INVESTISSEMENTS PAR SCÉNARIO – FLUX DE 4 000 KG/H ; 2 QUARTS DE TRAVAIL.....	66
TABEAU 7-4	ÉVALUATION FINANCIÈRE DES SCÉNARIOS – FLUX DE 4 000 KG/ H ; 2 QUARTS DE TRAVAIL.....	66
TABEAU 7-5	IMPACT DE L'ALLOCATION À 50% DU SALAIRE DES OPÉRATEURS DE TRI POUR LES CMC (FLUX À 2000KG/H, 2 QUARTS DE TRAVAIL)	70

TABEAU 7-6	ANALYSE DE SENSIBILITÉ DE L'EFFICACITÉ DES OPÉRATEURS DE TRI (FLUX À 2 000 KG/H ET 2 QUARTS DE TRAVAIL)	71
TABEAU 7-7	ANALYSE DE SENSIBILITÉ D'UNE SUPPRESSION DU CONTRÔLE QUALITÉ (FLUX À 4 000 KG/H SUR 2 QUARTS DE TRAVAIL)	71

FIGURES

FIGURE 1-1	VISUALISATION DES ACTIVITÉS À RÉALISER À RÉCUPÉRATION FRONTENAC	4
FIGURE 2-1	RÉPARTITION DES MATIÈRES PRODUITES POUR L'ANNÉE 2015-2016 À RÉCUPÉRATION FRONTENAC	6
FIGURE 2-2	SCHÉMA SOMMAIRE DU FLUX DES CONTENANTS MULTICOUCHES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC.....	8
FIGURE 2-3	RÉPARTITION DES MATIÈRES PRODUITES POUR L'ANNÉE 2015-2016 AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	9
FIGURE 2-4	SCHÉMA SOMMAIRE DU FLUX DES CONTENANTS MULTICOUCHES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	11
FIGURE 2-5	SCHÉMA COMPARATIF DES CONFIGURATIONS DE TRI OPTIQUE	12
FIGURE 3-1	DIAGRAMME DE GANTT ILLUSTRANT LES ACTIVITÉS RÉALISÉES	14
FIGURE 4-1	CARACTÉRISATION DES ARRIVAGES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC	25
FIGURE 4-2	CARACTÉRISATION DES ARRIVAGES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC.....	26
FIGURE 4-3	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC DANS LA CONFIGURATION ACTUELLE DE TRI.....	27
FIGURE 4-4	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC EN TRI OPTIQUE NÉGATIF	28
FIGURE 4-5	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI RÉCUPÉRATION FRONTENAC DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC EN TRI OPTIQUE POSITIF	29
FIGURE 4-6	CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC DANS LA CONFIGURATION ACTUELLE DE TRI	30
FIGURE 5-1	TRI OPTIQUE NÉGATIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES, TRIEUR AVANT LE COURANT DE FOUCAULT	32
FIGURE 5-2	TRI OPTIQUE NÉGATIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES, TRIEUR APRÈS LE COURANT DE FOUCAULT.....	33
FIGURE 5-3	TRI OPTIQUE POSITIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES, ÉJECTION VERS LE BAS	34

FIGURE 5-4	TRI OPTIQUE POSITIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES, ÉJECTION VERS LE HAUT	35
FIGURE 5-5	TRI OPTIQUE NÉGATIF, TRIEUR AVANT LE COURANT DE FOUCAULT	37
FIGURE 5-6	CARACTÉRISATIONS DES FLUX, TRI OPTIQUE NÉGATIF	38
FIGURE 5-7	TRI OPTIQUE POSITIF, ÉJECTION VERS LE BAS	39
FIGURE 5-8	CARACTÉRISATIONS DES FLUX, TRI OPTIQUE POSITIF	40
FIGURE 5-9	TRI MANUEL, SCHÉMA DES FLUX.....	41
FIGURE 5-10	DOUBLE TRI OPTIQUE.....	42
FIGURE 5-11	CARACTÉRISATIONS DES FLUX, DOUBLE TRI OPTIQUE	43
FIGURE 6-1	SCHÉMA DES CONFIGURATIONS DE TRI DES CMC RETENUES.....	45
FIGURE 6-2	PHOTOGRAPHIE DE LA SORTIE DU SECOND TRI OPTIQUE AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	47
FIGURE 6-3	CONFIGURATION DE TRI MANUEL DE LA LIGNE DES CONTENANTS AU CENTRE DE LA VILLE DE QUÉBEC	49
FIGURE 6-4	SCHÉMA DE LA CONFIGURATION DES TRIS OPTIQUES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	50
FIGURE 6-5	PHOTO DE L'UN DES DEUX SÉPARATEURS OPTIQUES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC	51
FIGURE 6-6	CARACTÉRISATION DES MATIÈRES SORTANTES ENTRE MAI ET AOÛT 2016	51
FIGURE 6-7	CARACTÉRISATION DES REJETS AVANT ET APRÈS L'INSTALLATION DES TRIS OPTIQUES	53
FIGURE 6-8	CARACTÉRISATION DU JOURNAL #7 AVANT ET APRÈS L'INSTALLATION DES TRIS OPTIQUES.....	54
FIGURE 7-1	PRÉSENTATION DES SIX SCÉNARIOS POUR L'ANALYSE ÉCONOMIQUE.....	60
FIGURE 7-2	PRINCIPE DES REVENUS ET COÛTS ADDITIONNELS (DONNÉES FICTIVES)	61
FIGURE 7-3	IMPACT DE L'ÉCART DE PRIX PAPIER MIXTE VS CMC SUR LA VAN MOYENNE (FLUX À 2 000 KG/H ; 2 QUARTS DE TRAVAIL)	68
FIGURE 7-4	IMPACT DE L'ÉCART DE PRIX PAPIER MIXTE VS CMC SUR LA VAN MOYENNE (FLUX À 4 000 KG/H ; 2 QUARTS DE TRAVAIL)	69
FIGURE 8-1	SCHÉMA DES CONFIGURATIONS DE TRI DES CMC	73
FIGURE 8-2	SCÉNARIOS DE MISE EN PLACE D'UN TRI DES CMC	74

ANNEXES

ANNEXE 1	DÉFINITION DU GRADE PSI-52
ANNEXE 2	DIAGRAMME DE FLUX DU PROCÉDÉ DU CENTRE DE RÉCUPÉRATION FRONTENAC
ANNEXE 3	DIFFÉRENCE ENTRE LES CONTENANTS MULTICOUCHES À PIGNON ET ASEPTIQUES
ANNEXE 4	PROTOCOLE D'ESSAIS – RÉCUPÉRATION FRONTENAC
ANNEXE 5	TABLEAUX DE CARACTÉRISATION
	ANNEXE 5.1 TABLEAU – CARACTÉRISATION ARRIVAGES
	ANNEXE 5.2 TABLEAU – CARACTÉRISATION DES BALLOTS
ANNEXE 6	PROTOCOLE D'ESSAIS 2 ^E SÉRIE D'ESSAIS
ANNEXE 7	PRIX DE REVENTE DES MATIÈRES RECYC-QUÉBEC

LISTE DES ACRONYMES

CCMCM	Conseil Canadien des Manufacturiers de Cartons Multicouches
CF	Courant de Foucault
CMC	Contenant multicouches
CQ	Contrôle qualité
ETP	Équivalent Temps Plein
FMA	Fond mouvant alternatif
HDPE	Polyéthylène haute densité
ICI	Industries, commerces et institutions
OCC	Emballages de carton ondulé
PET	Polytéréphtalate d'éthylène
PSI	Paper Stock Industries
TM	Tri manuel
TO	Tri optique

1 MISE EN CONTEXTE ET PRÉSENTATION DU PROJET

1.1 CONTEXTE DU PROJET

À la suite d'un sondage lancé en mai 2014 par RECYC-QUÉBEC auprès de tous les gestionnaires de centres de tri du Québec, ceux-ci ont identifié, pour leurs opérations, les matières « problématiques » suivantes:

- les contenants multicouches (aseptiques et à pignon);
- le papier mixte;
- les sacs et pellicules d'emballage en plastique.

Les contenants multicouches comprennent deux types d'emballages pour aliments et boissons, les contenants aseptiques pour longue conservation et les contenants à pignon pour réfrigération. Ils sont constitués de papier cartonné auquel est ajouté du polyéthylène. De l'aluminium est aussi ajouté dans le cas des contenants aseptiques. Puisqu'ils sont constitués d'un assemblage de différents matériaux, leur recyclage n'est pas optimal lorsque mélangés avec d'autres matières². De plus, on observe une augmentation des exigences des recycleurs quant à la qualité des matières revendues.

Dans ce contexte et afin d'améliorer la commercialisation des contenants multicouches, l'étude technico-économique du tri séparé des contenants multicouches est nécessaire pour assurer une valorisation pérenne de ces matières.

En 2012-2013, la quantité de contenants multicouches générée au Québec s'élevait environ à 21 000 t dont 62,9 % ont été récupérés, soit 12 900 t (Rapport de synthèse - *Caractérisation des matières résiduelles du secteur résidentiel 2012-2013*, août 2015, ÉEQ et RECYC-QUÉBEC).

De plus, un état des lieux réalisé en 2012 montre que :

- 15 % des contenants multicouches récupérés dans le secteur résidentiel ont été vendus au grade PSI-52;
- 80 % des contenants multicouches transitant par les centres de tri ont été vendus dans des ballots de fibres;
- la proportion de contenants multicouches serait de 4 % dans les ballots de papier mixte et de 2,5 % dans les ballots de journal #6.

² La séparation des contenants multicouches des autres contenants et des matières fibreuses en vue de leur valorisation est l'option à privilégier puisque ceci optimise le rendement de la fibre. Certaines composantes des contenants multicouches nuisent au procédé de remise en pâte des autres matières fibreuses et réduisent le rendement de la fibre de certaines applications de la pâte à papier.

À la suite de ces observations, le Groupe de travail Développement des marchés de RECYC-QUÉBEC a décidé de mettre en place un projet pilote pour évaluer la valeur ajoutée et le coût de trier séparément les contenants multicouches en centre de tri.

1.2 OBJECTIFS DU MANDAT

Les deux principaux objectifs du projet pilote sont :

- d'évaluer et documenter la faisabilité technique et économique de trier séparément les contenants multicouches afin d'aider à estimer la pertinence de cette pratique dans des centres de tri de tailles différentes :
 - d'évaluer les coûts d'opération pour différentes configurations de tri incluant des variations et combinaisons des méthodes manuelles et optiques;
 - d'évaluer l'efficacité de chacune des approches investiguées (taux de capture et taux de pureté);
 - d'établir un seuil de rentabilité des différentes configurations en fonction de critères tels que le tonnage traité, la capacité du centre de tri, les retombées positives notamment en fonction de la qualité des ballots des autres matières, de la valeur des autres débouchées possibles, les coûts d'élimination, etc.;
- de définir et documenter les conditions optimales permettant le tri des contenants multicouches :
 - de déterminer les paramètres nécessaires pour optimiser le tri tels que la capacité de captage d'un trieur, le débit du flux total en relation avec la teneur en contenants multicouches ou la configuration d'un séparateur optique tout en respectant les exigences du grade PSI-52 (annexe 1).

1.3 DESCRIPTION DU MANDAT

Le projet pilote concerne deux centres de tri de taille et de procédé différents afin de permettre une évaluation de la pertinence technico-économique d'effectuer le tri séparé des contenants multicouches dans différents contextes. Les deux centres concernés par cette étude sont :

- Centre de tri de la ville de Québec : 54 000 t/an;
- Récupération Frontenac : 29 000 t/an.

Le projet pilote comporte plusieurs activités sur site qui ont été planifiées, coordonnées et réalisées par WSP en collaboration avec ses sous-traitants et les gestionnaires des centres de tri :

1. La préparation des activités sur site comprend :
 - l'établissement des guides d'entrevue pour la collecte de données;
 - l'audit opérationnel des centres de tri (deux visites par centre);
 - la préparation et validation des protocoles et procédures pour les activités sur site.
2. Les caractérisations des matières, à réaliser avant les essais à Récupération Frontenac, mais également au centre de tri de la ville de Québec, intègrent :
 - la détermination de la composition des arrivages : caractérisation des matières reçues par le centre;

- la détermination de la composition des ballots dans la configuration de tri actuelle du centre.
3. Le lancement et la réalisation des essais à Récupération Frontenac comprennent :
- la période de rodage et ajustement de la procédure d'essais;
 - la procédure d'essais : tester l'efficacité de différentes configurations de tri des contenants multicouches, tout en respectant les contraintes techniques et économiques du centre. Les explications sur les actions menées en lien avec cette activité se trouvent dans la section 3.
4. La caractérisation des matières, à réaliser à la fin des essais à Récupération Frontenac, comprend :
- la détermination de la composition des arrivages;
 - la détermination de la composition des ballots pour les deux configurations de tri les plus pertinentes suite aux essais.

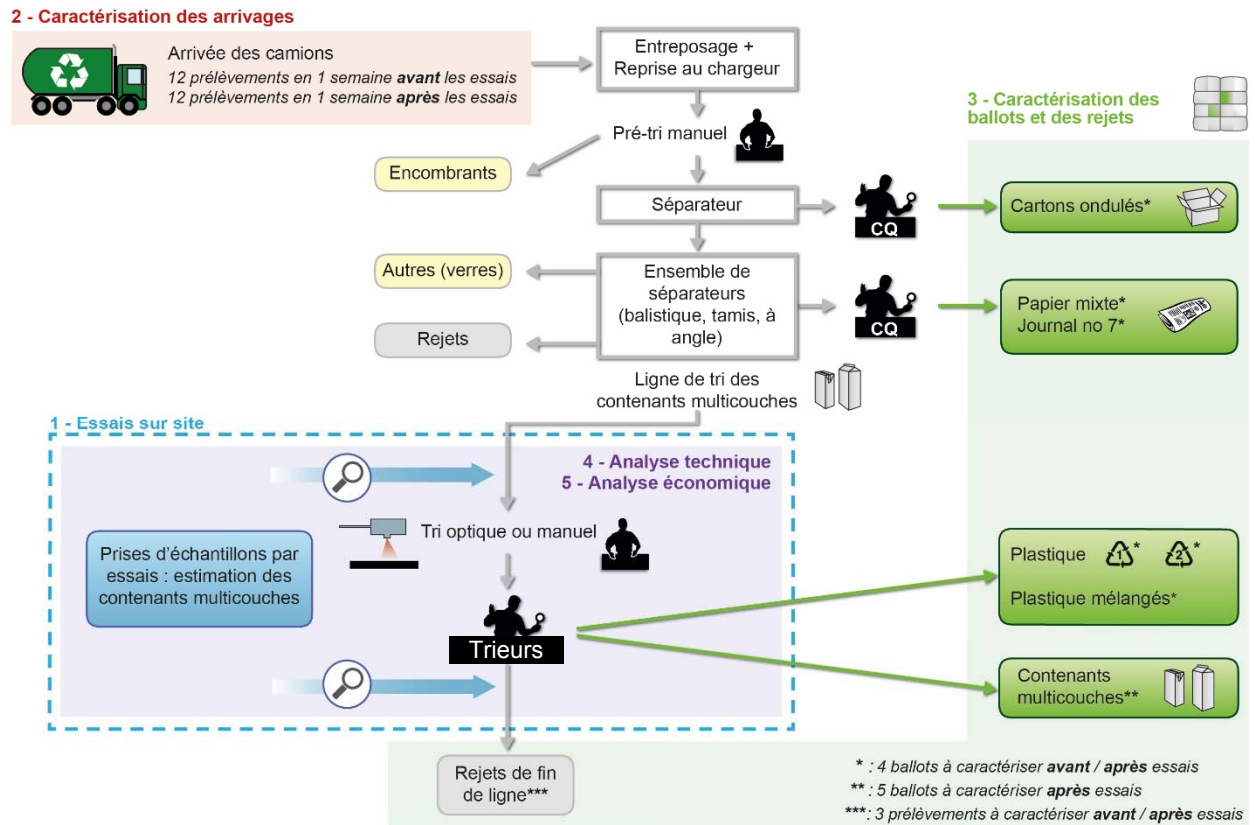
En parallèle de ces activités, des analyses de données collectées ont été effectuées :

- analyse du passage du tri manuel au tri optique, en s'appuyant sur l'expérience du centre de la Ville de Québec;
- analyse de la faisabilité technique du tri des contenants multicouches;
- analyse économique du tri des contenants multicouches.

Ainsi, le plan de travail n'a pas été identique pour les deux centres de tri. En effet, la réflexion pour l'optimisation du procédé du tri optique des contenants multicouches a déjà été réalisée pour le centre de tri de la Ville de Québec. Une seule campagne de caractérisation a donc ainsi été requise pour le site de Québec.

Afin de clarifier le programme de travail effectué à Récupération Frontenac, le schéma de procédés ci-après illustre les différents flux et traitements de la matière du centre de tri et positionne les activités réalisées. Ce schéma a pour but de visualiser les différentes activités de terrain du projet et non présenter les chaînes de traitement des centres.

Figure 1-1 Visualisation des activités à réaliser à Récupération Frontenac



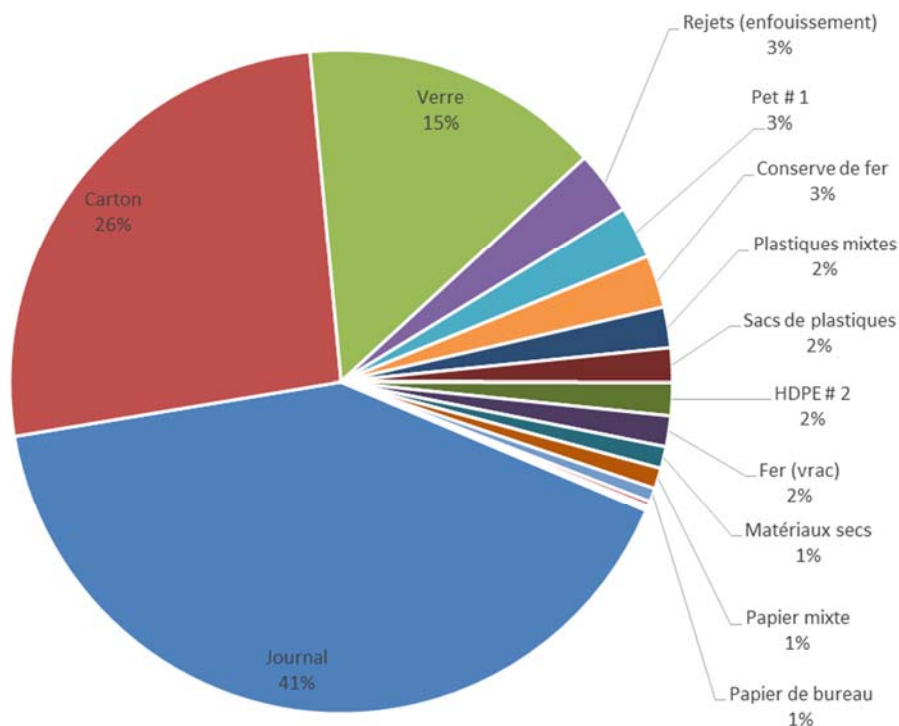
2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES CENTRES

2.1 RÉCUPÉRATION FRONTENAC

2.1.1 INFORMATIONS GÉNÉRALES

Récupération Frontenac	
Adresse du site	217, Monfette Ouest Thetford Mines, Québec G6G 7Y3
Propriétaire	Récupération Frontenac Inc.
Statut du propriétaire	O.B.N.L.
Quantité approximative de matière reçue et traitée	29 000 t/an
Provenance des matières	Collecte municipale

Figure 2-1 Répartition des matières produites pour l'année 2015-2016 à Récupération Frontenac



2.1.2 DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE TRI

Après le retrait des encombrants lors du pré-tri, les cartons de plus de 12" sont retirés du flux par un séparateur à disques. Le séparateur à carton divise le flux en deux : 0 à 5" et 0 à 9,75". Ces flux sont alors traités par deux séparateurs balistiques. Deux lignes principales de tri sont alors créées, celle des fibres et celle des contenants.

Le flux de la ligne des fibres est constitué des matières légères et de forme plane, issues des séparateurs balistiques. Celles-ci sont composées principalement de journaux et de sacs plastiques. Le flux de la ligne des contenants est composé de matières plastiques autres que les sacs, de cartons de petite taille (<12"), de contenants multicouches, de matières métalliques (acier et aluminium) et de rejets.

Le flux des fibres est dirigé vers un séparateur optique qui éjecte les sacs plastiques vers le haut. Dans le cas où un CMC est sur la ligne des fibres, il se retrouve avec le journal, soit la fin de ligne de tri de la voie au négatif du tri optique des fibres.

Le flux des contenants est également envoyé vers un séparateur optique 3 voies (Machinex Ternaire 1600 mm, vitesse 600 pi/min) séparant :

- les plastiques mixtes et #1 (PET) vers le haut;
- les cartons, CMC et #2 (HDPE) vers le bas;

→ l'aluminium, l'acier et les rejets passent au négatif.

Un aimant puis un courant de Foucault permettent de retirer l'acier et l'aluminium du flux de rejets (négatif du tri optique des contenants).

Les informations au sujet des flux et méthodes de tri à Récupération Frontenac sont présentées dans la figure 2-2 ci-après. Ce schéma est centré autour du flux des contenants multicouches et présente les débouchés du centre.

Le diagramme de flux du procédé du centre de Récupération Frontenac est présenté en annexe 2 du présent rapport.

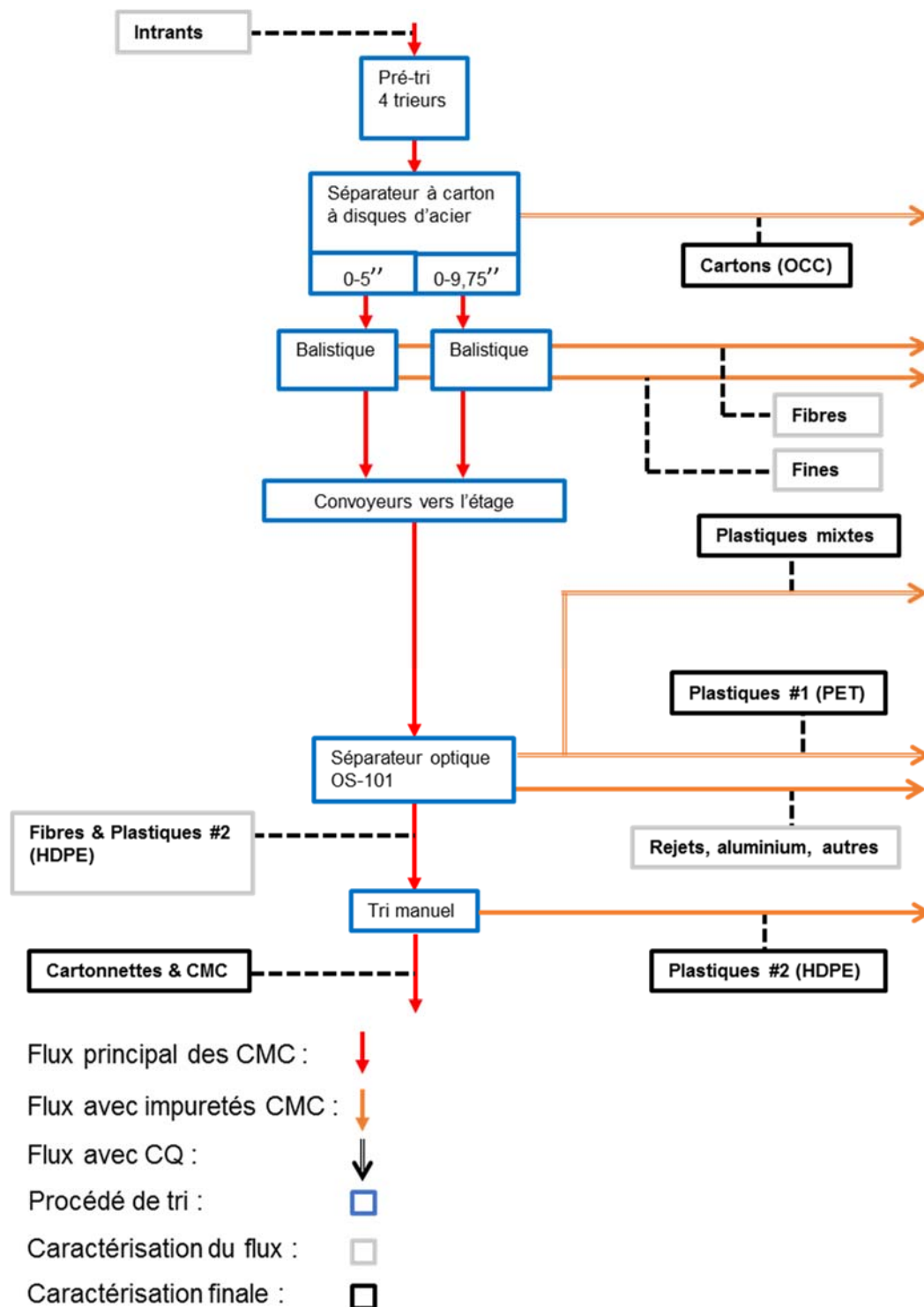
2.1.3 ÉTAT DE LA SITUATION DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Actuellement, le centre de tri Récupération Frontenac ne trie pas séparément les CMC. Ils sont triés par un séparateur optique avec les cartonnettes (cartons plats) et dirigés dans une réserve, puis mis en ballot avec les gros cartons (OCC) du premier séparateur.

Cette décision de trier les CMC et les cartons ensemble a été prise en 2012 lors de l'agrandissement du centre. En effet, les CMC étaient triés manuellement jusque-là et représentaient entre 1,8 et 2,1 % de la quantité des intrants. L'arrêt du tri des CMC était justifié par des raisons économiques : la différence de prix de rachat entre le carton et les CMC ne permettait pas de compenser le coût du tri des CMC. Il était plus économiquement intéressant de garder les CMC en mélange dans les ballots de cartons (économie d'une étape de tri).

Le centre de tri de Récupération Frontenac a cependant reçu quelques réclamations pour réduire la quantité de CMC dans les cartons de la part de ses acheteurs (recycleurs). Le centre a alors entamé une réflexion pour valider l'intérêt de trier les CMC séparément.

Figure 2-2 Schéma sommaire du flux des contenants multicouches au centre de tri Récupération Frontenac

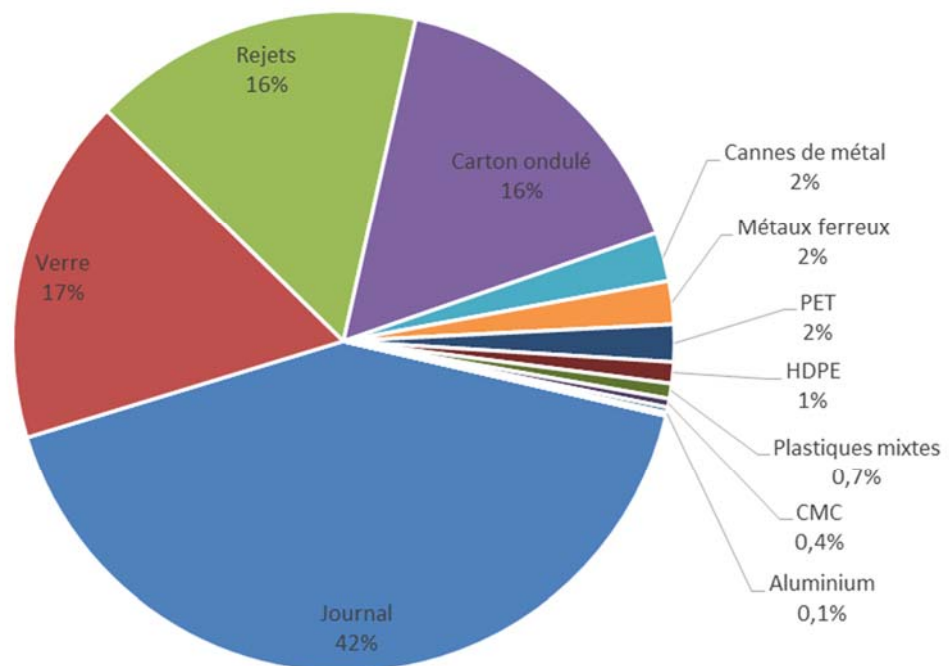


2.2 CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC

2.2.1 INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de tri de Québec (Société V.I.A.)	
Adresse du site	1780, rue Provinciale Québec, Québec G1N 4A2
Propriétaire	Ville de Québec
Statut du propriétaire	Organisation publique (municipalité)
Opérateur	Société V.I.A.
Quantité approximative de matière reçue et traitée	54 000 t/an
Provenance des matières	Collecte municipale

Figure 2-3 Répartition des matières produites pour l'année 2015-2016 au centre de tri de la Ville de Québec



2.2.2 DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE TRI

Après une première étape de prétri, les gros cartons sont retirés par un séparateur. Le flux de cartons est dirigé vers un poste de contrôle qualité (CQ) puis mis en ballot.

Le flux principal est ensuite dirigé vers une succession de deux tamis puis vers un séparateur balistique : le premier tamis génère un flux de fibres qui est dirigé vers des séparateurs à fibres, le second permet de retirer les particules fines et le tri balistique finit la séparation des fibres et des contenants.

Ainsi, trois flux de fibres sont générés et orientés vers 3 lignes de tri manuel distinctes. La qualité des fibres sur chaque ligne varie de manière décroissante de la ligne 1 vers la ligne 3. La ligne 1 est composée des matières provenant de deux séparateurs à fibres en série, le second traitant les matières expulsées à l'arrière du premier. La ligne 2 est composée des matières provenant d'un troisième séparateur à fibre traitant les matières se retrouvant à l'arrière du dernier des deux séparateurs en série. Les matières se retrouvant à l'arrière de ce troisième séparateur sont envoyées vers le séparateur balistique avec la matière issue des tamis sur la ligne de tri principale. La matière dirigée vers le haut de ce séparateur balistique forme la ligne 3 de tri des fibres. La figure 2-4 permet de visualiser le procédé décrit ci-haut.

Concernant les contenants, un premier séparateur optique sépare positivement les fibres et les plastiques #1 (PET) des autres contenants (rejets, aluminium et autres plastiques). Le second séparateur optique possède deux voies d'entrée. D'une part, les plastiques #1 (PET) et mixtes sont triés positivement, laissant un flux de rejets et d'aluminium passer. D'autre part, les contenants multicouches sont triés positivement du flux de fibres, laissant passer le papier et le carton.

Les informations au sujet des flux et méthodes de tri du centre de tri de la Ville de Québec résumées ci-dessus sont présentées graphiquement dans la figure 2-4. Ce schéma est centré autour du flux des contenants multicouches et présente aussi les flux de matières produits par le centre et dans lesquels ils sont susceptibles de se retrouver.

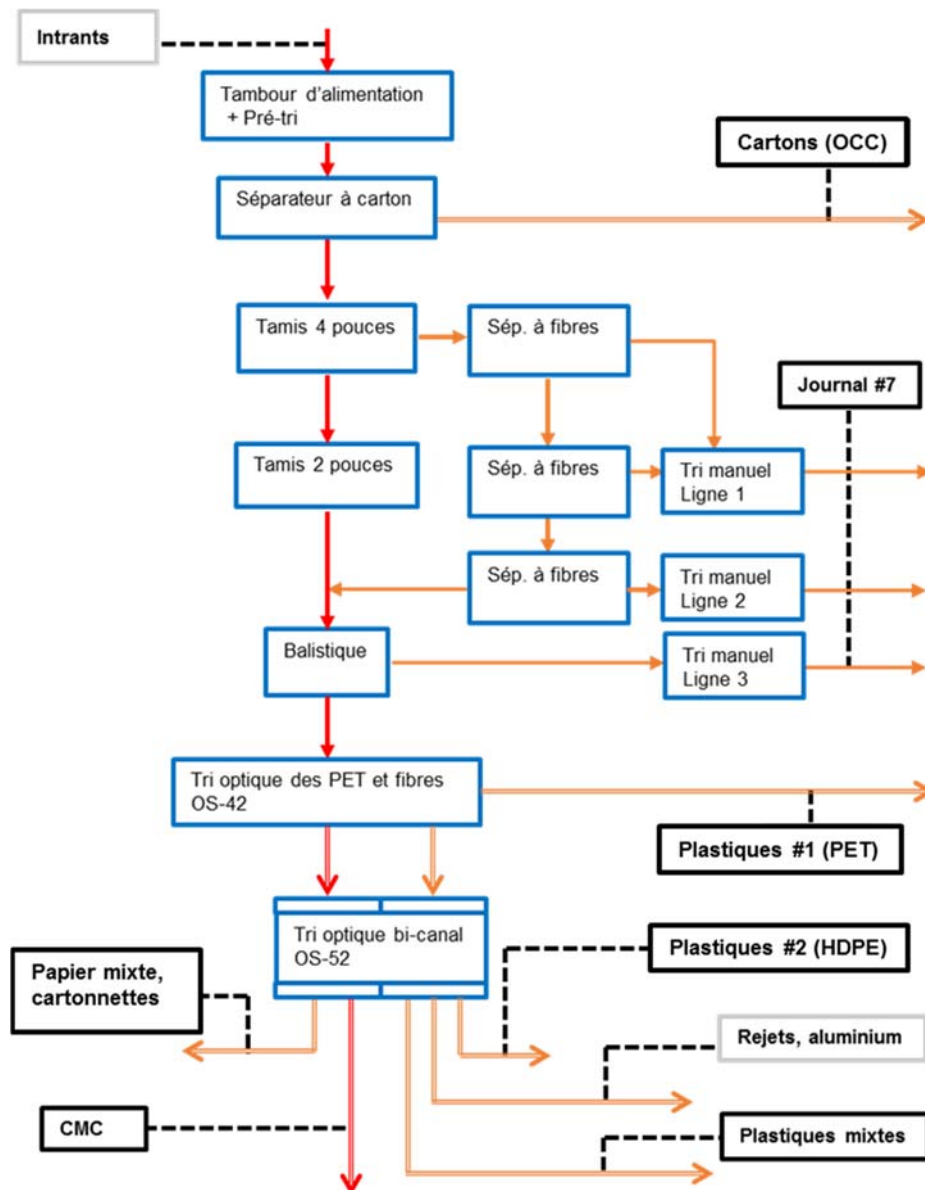
2.2.3 ÉTAT DE SITUATION DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Avant 2016, la ligne des contenants était triée manuellement au centre de tri de la Ville de Québec via 17 à 18 trieurs. Les CMC étaient triés par 2 trieurs consacrés à 75 % pour le tri des CMC, soit l'équivalent d'un trieur et demi.

Depuis avril 2016, la mise en service de la nouvelle ligne de tri des contenants a permis de substituer les 18 trieurs par 2 séparateurs optiques et 9 trieurs en contrôle qualité.

L'optimisation de ce procédé a été effectuée antérieurement à la présente étude par l'opérateur du centre de tri. Néanmoins, une analyse du passage du tri manuel au tri optique a été effectuée et est présentée dans le rapport.

Figure 2-4 Schéma sommaire du flux des contenants multicouches au centre de tri de la Ville de Québec



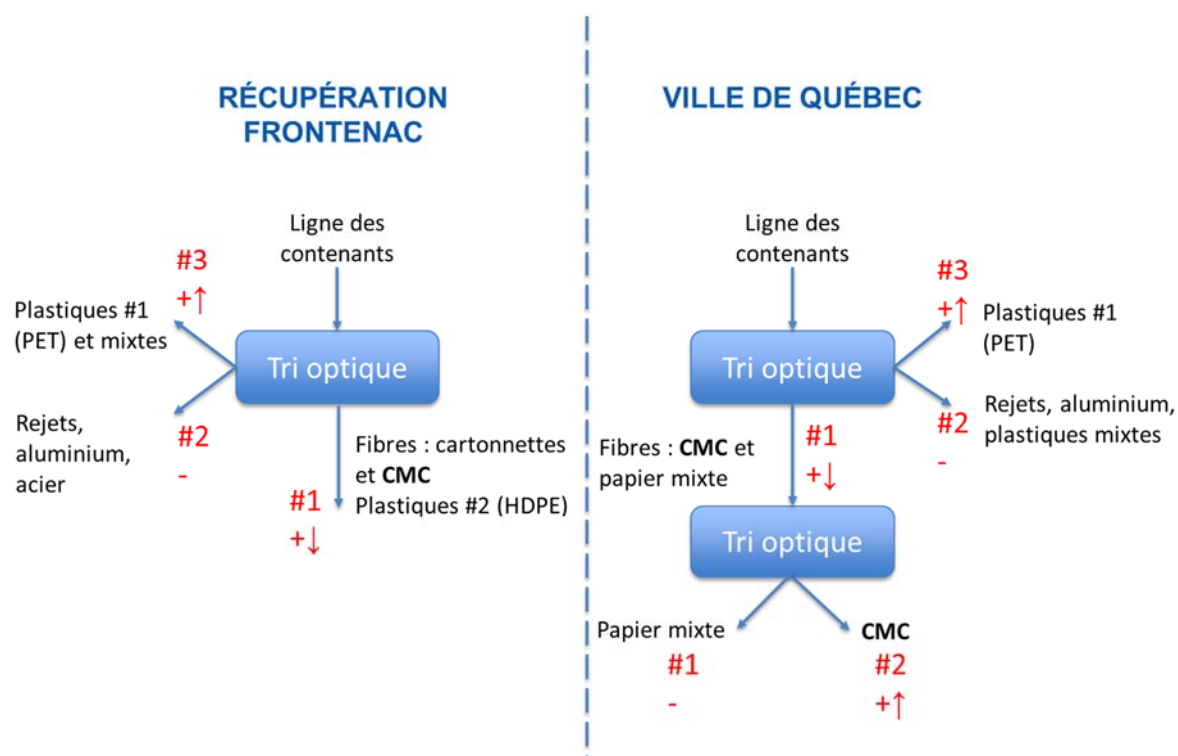
Flux principal des CMC : ↓
 Flux avec impuretés CMC : ↓
 Flux avec CQ : ↓
 Procédé de tri : □
 Caractérisation du flux : □
 Caractérisation finale : □

2.3 COMPARAISON DES CONFIGURATIONS DES SÉPARATEURS OPTIQUES

La figure 2-5 ci-dessous permet de comparer visuellement les configurations de tri optique en place dans les deux centres de tri participants. Chez Récupération Frontenac, un seul séparateur optique est en place sur la ligne des contenants, tandis que deux sont installés au centre de tri de la Ville de Québec. La configuration du premier séparateur optique est similaire dans les deux cas, à la différence des voies d'éjection des plastiques mixtes et #2 (HDPE). Dans les deux cas, les CMC sont triés avec des fibres restantes. En effet, cela répond à une logique « matière » et économique. La contamination ou la vente des CMC avec des fibres est moins contraignante qu'avec des plastiques. L'effet d'une contamination des ballots avec des CMC est beaucoup plus négatif dans le cas des plastiques que dans le cas des fibres, rendant plus logique l'éjection des CMC avec ces dernières. En effet, les recycleurs peuvent accepter une contamination de CMC dans les ballots de fibres, tel le papier mixte, la cartonnnette (cartons plats) ou les OCC. Ainsi, certains centres de tri font le choix de valoriser les CMC avec des fibres afin de simplifier leurs opérations de tri.

L'envoi des fibres et donc des CMC vers le bas s'explique par ailleurs par la facilité pour le séparateur optique d'éjecter les matières souples et lourdes vers le bas. L'éjection de matières souples, comme la cartonnnette ou le papier mixte, est plus efficace vers le bas que vers le haut en raison de l'imprévisibilité de la trajectoire d'un corps souple dans les airs. De plus, le jet d'air de l'éjection arrête facilement la course de la fibre qui est généralement légère (faible énergie cinétique). À l'inverse, l'éjection de corps rigides, comme les plastiques #1 (PET), sera comparativement plus efficace vers le haut.

Figure 2-5 Schéma comparatif des configurations de tri optique



3 MÉTHODE DE TRAVAIL ET PRÉPARATION DES ACTIVITÉS SUR SITE

3.1 DÉFINITIONS

Afin de préciser la méthodologie de travail et d'éviter toute ambiguïté dans les sections à venir, les termes suivants sont définis :

- Essai : test mené afin d'obtenir les données nécessaires à l'évaluation de la performance d'une configuration de tri.
- Protocole d'essais : l'ensemble des différentes variations des procédures d'essais, de caractérisation et d'échantillonnages propres à chaque configuration de tri sujette à des essais.
- Procédure d'essai : l'ensemble des étapes définies et des spécifications propres à chaque configuration de tri afin de s'assurer de la coordination efficace du personnel et des équipements impliqués.
- Procédure d'échantillonnage : l'ensemble des étapes définies pour le prélèvement des échantillons lors des essais et des activités de caractérisation.
- Procédure de caractérisation : l'ensemble des étapes définies pour permettre le suivi, l'enregistrement des données et les mesures de la détermination de la composition des flux de matières.

3.2 PHASAGE DU PROJET

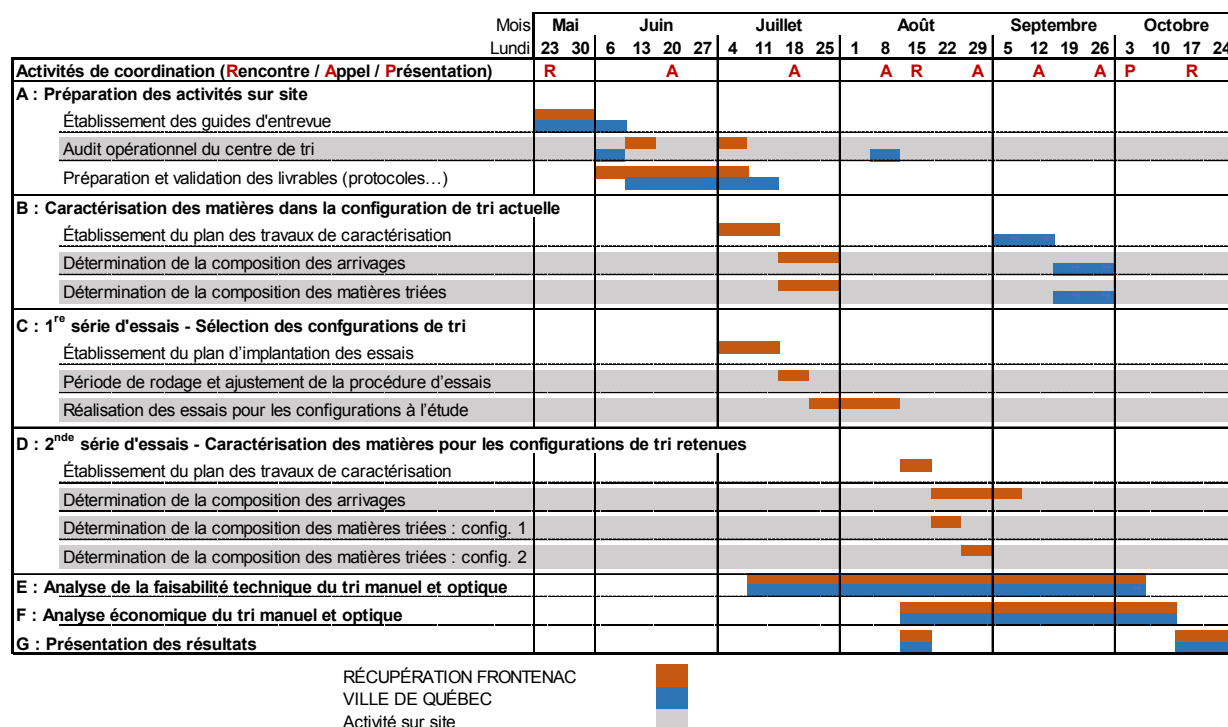
Le projet s'est déroulé sur 5 mois et demi et est composé de plusieurs phases décrites succinctement ci-après :

1. Préparation des activités sur site : deux visites ont été effectuées par centre pour rencontrer les gestionnaires afin d'organiser les futures activités sur site (mise en place de protocoles pour les essais et les caractérisations). Ces rencontres ont également permis d'échanger avec les gestionnaires sur leur retour d'expérience et de collecter des données pour l'analyse technique et économique.
2. Caractérisations des matières dans la configuration de tri actuelle des centres : des caractérisations au niveau des arrivages et des matières triées ont été réalisées pour les deux centres dans leur configuration actuelle de tri des contenants.
3. 1^{re} série d'essais - Sélection des configurations de tri : une première série d'essais a été réalisée au centre de tri de Récupération Frontenac afin de définir les deux configurations de tri des CMC les plus pertinentes à partir des quatre configurations testées.
4. 2^e série d'essais - Caractérisations des matières pour les configurations de tri retenues : une seconde série d'essais reprenant les deux configurations retenues a été effectuée afin de refaire des caractérisations des matières comparables à celles faites initialement (étape 2).

5. Analyse technique, analyse économique et présentation des résultats : les résultats des caractérisations, des séries d'essais et les données collectées ont été analysés afin de produire un modèle technico-économique pour le tri des CMC à destination des gestionnaires de centres.

Le diagramme de Gantt présenté ci-dessous montre l'agencement entre ces phases.

Figure 3-1 Diagramme de Gantt illustrant les activités réalisées



3.3 CARACTÉRISATIONS DES MATIÈRES

Tel que présenté précédemment en figure 3-1, trois caractérisations des matières (arrivages et matières triées) ont été effectuées : deux à Récupération Frontenac (dans la configuration de tri initiale et lors de la 2^e série d'essais), une au centre de tri de la Ville de Québec.

3.3.1 CARACTÉRISATION DES ARRIVAGES

La méthode retenue pour la caractérisation des arrivages est celle du quadrillage en 16 parts. Les camions arrivant sur le site sont sélectionnés aléatoirement et leur contenu est vidé en inclinant la benne et en avançant lentement. Seuls les camions transportant principalement des matières issues de la collecte sélective résidentielle sont sélectionnés. Les camions transportant une forte proportion de matière issue des industries, commerces et institutions (ICI) n'ont pas été sélectionnés, car ils sont moins représentatifs du flux traité dans les centres de tri et moins susceptibles de contenir des CMC. Les informations sur l'origine du contenu des camions ont été collectées auprès des chauffeurs.

Le contenu des camions sélectionnés a ensuite été séparé en 16 parts numérotées. Une de celles-ci a été sélectionnée aléatoirement et un échantillon de 2 x 360 litres (environ 40 kg) y a été prélevé.

Les matières prélevées sont caractérisées en **cinq catégories** :

- les contenants multicouches à pignon;
- les contenants multicouches aseptiques;
- les papiers et cartons;
- les plastiques;
- les autres matières.

Afin d'obtenir un portrait représentatif des arrivages, 12 camions ont été échantillonnés, et ce, à un rythme de 4 par jour sur 3 jours. Une fiche de collecte d'information a été utilisée et est présentée en annexe 5.1.

L'annexe 3 présente la distinction entre les contenants multicouches à pignon et aseptiques (source CCMCM).

3.3.1.1 RÉCUPÉRATION FRONTENAC

Au centre de tri Récupération Frontenac, les échantillons des arrivages ont été prélevés directement dans la zone de réception des matières. Les prélèvements ont été faits au cours des matinées lors des journées de caractérisation pour avoir plus d'espace de manœuvre dans la zone de réception qui se remplit progressivement en cours de journée. Les échantillons prélevés ont été caractérisés sur site dans le stationnement. Un camion cube a été utilisé comme aire de travail sur place.

Seuls les camions benne ont été sélectionnés pour l'échantillonnage des matières entrantes, car l'échantillonnage sur les camions à fond mouvant alternatif (FMA) n'était pas sécuritaire.

3.3.1.2 CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC

Au centre de tri de la Ville de Québec, les échantillons ont été prélevés dans des camions à chargement latéral seulement. Ce type de camion représente entre 50 et 60 % des arrivages et leur tonnage varie entre 4 et 8 t. Ce choix s'explique par la forte proportion de matières issues de la collecte résidentielle dans ces camions, surtout en comparaison avec ceux à chargement arrière ou avant.

La caractérisation des arrivages a été réalisée en parallèle des caractérisations des réserves. La même zone de travail sera utilisée pour effectuer le travail de caractérisation.

3.3.2 CARACTÉRISATION DES MATIÈRES TRIÉES

Pour obtenir une quantité de matière à caractériser représentative du gisement reçu, une méthodologie a été développée dans laquelle 4 échantillons de 100 kg sont prélevés pour chaque type de matière à raison d'un échantillon par jour. Dépendamment de la densité de chaque matière, le volume prélevé était donc différent. Par exemple, pour la pellicule plastique, plus de 10 bacs de 360 L ont été nécessaires pour obtenir 100 kg de matière, alors que pour les cartonnettes, seuls 2 bacs étaient nécessaires.

Les échantillons ont ensuite été triés en 10 catégories :

- contenants multicouches à pignon;
- contenants multicouches aseptiques;
- tout imprimé à base de papier journal;

- tout contenant et emballage à base de carton;
- papier de bureau (office mixte);
- autres fibres;
- plastiques #1 (PET);
- plastiques #2 (HDPE);
- autres Plastiques;
- autres matières.

Les catégories de matières ont été définies pour chaque centre afin de caractériser les flux dans lesquelles des CMC pourraient potentiellement être présents. Ainsi, les matières triées manuellement en positif n'ont pas été retenues. En effet, les probabilités de retrouver des contenants multicouches dans leurs réserves sont faibles, étant limitées à l'erreur du trieur.

Une fiche de collecte d'information a été utilisée et est présentée en annexe 5.2.

3.3.2.1 RÉCUPÉRATION FRONTENAC

Le tableau 3-1 présente les catégories de matières caractérisées sur le site de Récupération Frontenac.

Tableau 3-1 Liste des matières triées caractérisées au centre de tri Récupération Frontenac

	Catégorie	Emplacement
Fibres	CMC (lors de la seconde série d'essais)	Dans la réserve
	Gros cartons	Sortie du séparateur à fibres
	Journal #8	Fin de ligne des fibres
	Cartonnettes (cartons plats)	Sortie du séparateur optique des contenants, éjection vers le bas
	Papier mixte	Fin de ligne des contenants
Plastiques	Plastiques #1 (PET)	Sortie du séparateur optique des contenants, éjection vers le haut
	Pellicules plastiques	Sortie du séparateur optique des fibres, éjection vers le haut

Les catégories plastiques #2 (HDPE) et mixtes n'ont pas été échantillonnées puisque ces matières sont triées manuellement (en positif).

La catégorie des cartons a été séparée en deux, d'un côté les gros cartons (OCC, >12") issus d'un séparateur à disques et d'un autre les cartonnettes issues du séparateur optique sur la ligne des contenants. Cela a permis d'améliorer la qualité des données relatives à la répartition des contenants multicouches dans les ballots de carton.

Les sacs plastiques sont triés manuellement en positif sur la ligne des fibres aplaties (2-D) et des contenants multicouches y ont été observés. Puisque les sacs plastiques sont souvent en amas, de tailles variables et difficiles à manier, les trieurs ont tendance à intercepter d'autres matières en les captant. Il a donc été décidé de caractériser les matières dans la réserve de sacs plastiques.

3.3.2.2 CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC

Le tableau 3-2 présente les catégories de matières caractérisées au centre de tri de la Ville de Québec:

Tableau 3-2 Liste des matières triées caractérisées au centre de tri de la Ville de Québec

	Catégorie	Emplacement
Fibres	CMC	Avant la chute dans la réserve
	Papiers mixtes	Dans la réserve
	Journal #7	Fonctionnement inversé du convoyeur commun des 3 lignes de tri des fibres
Plastiques	Plastiques mixtes	Chute du convoyeur avant la réserve
	Plastiques #1 (PET)	Dans la réserve
	Plastiques #2 (HDPE)	Dans la réserve
Autres	Rejets de fin de ligne	Boîte du compacteur

Des bacs dédiés aux CMC ont été installés à côté des trieurs à la sortie du courant de Foucault et au contrôle qualité sur les cartons (gros cartons ou OCC). Cela a permis de quantifier le flux de CMC passant par ces voies, en évitant d'ajouter des catégories supplémentaires à caractériser. Cette décision fut prise suite à la contre-visite et après observation des deux postes en question.

Les matières triées manuellement en positif sur la ligne des contenants n'ont pas été échantillonnées. Il est présumé que l'erreur dans le tri manuel positif est minime.

3.4 CONFIGURATIONS DE TRI DES CONTENANTS MULTICOUCHES ANALYSÉES

Un des objectifs du mandat était d'évaluer et de comparer la faisabilité technique de trier séparément les contenants multicouches à l'aide de deux méthodes, le tri manuel et le tri optique automatisé. D'un premier abord, cela impliquerait de comparer deux configurations: le tri positif des contenants multicouches du flux des contenants à l'aide de trieurs (tri manuel) et à l'aide d'un séparateur optique. Cependant, la situation actuelle du centre de tri, Récupération Frontenac, ne permet pas de tester ces configurations en tant que tel. En effet, la configuration initiale du centre de tri au niveau du séparateur optique des contenants est d'éjecter les contenants multicouches, cartons (cartonnettes) et plastiques #2 (HDPE) vers le bas. Un trieur est ensuite chargé de retirer les plastiques #2 (HDPE) en positif. Les CMC et cartonnettes sont dirigés dans la même réserve.

Dans le cas du tri manuel, le centre de tri de Récupération Frontenac n'a pas les infrastructures nécessaires pour traiter la totalité du flux de contenant manuellement. Le nombre de postes sur la ligne de tri des contenants est trop restreint et le flux total trop élevé pour le convoyeur principal de la ligne des contenants (convoyeur C-13, annexe A3), résultant en un étalement peu propice à un tri manuel efficace des matières. Le flux des contenants doit donc être séparé par un séparateur optique afin de réduire le flux et de permettre aux trieurs de retirer les matières efficacement.

Le centre de tri Récupération Frontenac ne disposant que d'un tri optique sur la ligne des contenants, il n'était pas envisageable économiquement et techniquement de tester une configuration où les contenants multicouches auraient complètement accaparé une voie du séparateur optique et une

réserve. En effet, considérant les revenus associés aux CMC, une telle configuration aurait été extrêmement contraignante pour le centre de tri.

Cependant, plusieurs configurations associant le tri manuel et le tri optique sont envisageables et plus réalistes pour permettre le tri des contenants multicouches. Des essais sont nécessaires pour comparer leurs performances respectives.

Ces configurations ont été élaborées en collaboration avec le personnel du centre de tri et le fournisseur du séparateur optique dans le but de dresser un portrait des configurations envisageables et réalistes (reproductibles) pour le tri des CMC dans le contexte technico-économique des centres de tri québécois. Le tableau 3-3 présente les différentes configurations de tri envisagées dans l'étude comparative ainsi que l'origine des données. Chacune des configurations est expliquée plus en détail dans les sections 3.4.1 à 3.4.4. Les données de caractérisation pour les configurations 1, « tout manuel » et 6,7, « tout optique » sont issues du centre de tri de la Ville de Québec.

Tableau 3-3 Configurations de tri des contenants multicouches étudiées

	Conf.	Tri optique en amont	Tri des CMC	Origine des données
Tri manuel des CMC	1		Manuel positif du flux des contenants	Caractérisations antérieures, Société V.I.A.
Tri optique négatif des CMC	2	Retrait des cartons et plastiques	Manuel positif du flux de rejets, papier mixte, acier et aluminium	Essais à Récupération Frontenac
	3	Retrait des cartons et plastiques Retrait des métaux	Manuel positif du flux de rejets, papier mixte	Essais à Récupération Frontenac
Tri optique positif des CMC	4	Tri positif des cartons et CMC	Manuel positif du flux des cartons et CMC	Essais à Récupération Frontenac
	5	Tri positif des plastiques #1 (PET) et mixtes et des CMC	Manuel positif du flux des plastiques #1 (PET) et mixtes et CMC	Essais à Récupération Frontenac
Double tri optique des CMC	6	Tri positif des papiers mixtes et CMC	Optique positif du flux des cartons et CMC	Caractérisations antérieures, Société V.I.A.
	7	Tri positif des papiers mixtes et CMC	Optique positif du flux des cartons et CMC, avec CQ	Caractérisations des flux, Société V.I.A. (configuration courante)

Origine des données :

- Configurations antérieures et courantes du centre de tri de la Ville de Québec
- Configurations testées au centre de tri Récupération Frontenac

3.4.1 TRI MANUEL DES CONTENANTS MULTICOUCHES

La première configuration (**configuration 1**) correspond au tri manuel positif des contenants multicouches de la ligne des contenants; une configuration « tout manuel ». Les contenants multicouches sont retirés du flux des contenants sans aucun tri préalable. Des essais sur cette configuration n'étaient pas envisageables, car comme mentionné préalablement, le débit du flux de la ligne des contenants est trop élevé et dense pour être trié uniquement manuellement chez Récupération Frontenac. Toutefois,

cette configuration était auparavant en place au centre de tri de la Ville de Québec et des données de caractérisations des flux, intrants et extrants permettent d'analyser cette configuration dans l'étude comparative.

3.4.2 TRI OPTIQUE NÉGATIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Deux configurations de tri optique négatif des CMC ont été testées. Le tri optique négatif sous-entend que les CMC ne sont pas éjectés par le séparateur optique, c'est-à-dire triés ni vers le haut ni vers le bas.

La première configuration de tri optique négatif (**configuration 2**) est le cas où les cartons (cartonnettes) et plastiques (#1 (PET), #2 (HDPE) et mixtes) sont retirés du flux par le séparateur optique préalablement au tri des CMC. Les CMC sont ensuite retirés manuellement du flux restant, composé d'acier, d'aluminium, de papier mixte et de rejets.

La deuxième configuration de tri optique négatif (**configuration 3**) correspond au cas où les cartons (cartonnettes), les plastiques (#1 (PET), #2 (HDPE) et mixtes), l'aluminium et l'acier sont retirés du flux préalablement au tri manuel des contenants multicouches. L'acier est retiré par un électro-aimant et l'aluminium par un courant de Foucault. Les CMC sont ensuite retirés manuellement du flux restant, composé principalement de rejets. Il est à préciser que les rejets de la ligne des contenants sont composés principalement de papier mixte. Ils sont mis en ballots et vendus comme tel. De plus, il est intéressant d'observer l'effet du courant de Foucault sur les CMC aseptiques, car ils sont composés en partie d'aluminium.

3.4.3 TRI OPTIQUE POSITIF DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Deux configurations avec un tri optique positif des CMC suivi par un tri manuel ont été testées. Les configurations en tri optique positif impliquent que les contenants multicouches soient éjectés par le séparateur optique. Il est à noter que dans aucun cas, les CMC ne sont pas triés directement du flux des contenants par une voie dédiée du séparateur optique. Tel qu'expliqué ci-dessus dans la section 2.1.3, il est peu envisageable qu'une telle configuration soit techniquement et économiquement viable pour un centre de tri en raison du coût de l'équipement et de la valeur de vente peu élevée des contenants multicouches.

La première configuration de tri optique positif (**configuration 4**) est celle où les cartons (cartonnettes) et contenants multicouches sont triés vers le bas. Les contenants multicouches sont ensuite triés manuellement du flux. Cette configuration est proche de la configuration actuelle du centre de tri Récupération Frontenac et permet de comparer l'efficacité d'un second séparateur optique avec celle d'un trieur puisqu'au centre de tri de la Ville de Québec les contenants multicouches sont séparés des papiers mixtes par un second tri optique.

La seconde configuration de tri optique positif (**configuration 5**) est celle où les contenants multicouches sont éjectés vers le haut avec les plastiques #1 (PET) et mixtes. Cela permet de comparer l'efficacité du séparateur optique lorsque les contenants multicouches sont éjectés vers le haut versus le bas. Cette configuration présente la difficulté de devoir retirer tous les contenants multicouches du flux des plastiques pour éviter la contamination de cette matière à haute valeur marchande. Un contrôleur qualité a été ajouté lors des essais afin d'éviter cette éventualité.

3.4.4 DOUBLE TRI OPTIQUE DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Deux configurations de double tri optique des CMC sont analysées. Les données utilisées proviennent du centre de tri de la Ville de Québec où deux tris optiques ont été installés sur la ligne de tri des contenants lors de l'automatisation de ligne au début de l'année 2016.

La première configuration de double tri optique des CMC (**configuration 6**) correspond au tri des CMC avec les fibres par un premier séparateur optique. Ensuite, un second séparateur optique trie les CMC et les papiers mixtes. Il est à noter que des trieurs effectuent le contrôle qualité sur les voies en sortie du premier séparateur optique, ainsi que sur les papiers mixtes en sortie du second. Cette configuration permet l'analyse du tri «tout optique» des CMC.

La deuxième configuration de double tri optique des CMC (**configuration 7**) diffère de la précédente par l'ajout d'un contrôleur qualité sur le flux des CMC suite au second séparateur optique. Des données sont disponibles pour cette configuration, car le centre de tri de la Ville de Québec l'utilise depuis juin 2016. La nécessité du contrôleur qualité sur le flux des CMC est ainsi évaluée, particulièrement dans l'atteinte du grade PSI-52.

3.5 MÉTHODE DE TRAVAIL

3.5.1 DONNÉES NÉCESSAIRES

Des données ont été collectées afin de procéder à l'étude comparative des configurations de tri présentées précédemment dans la section 3.4. Dans le cas des configurations 2, 3, 4 et 5, des essais ont été menés au centre de tri Récupération Frontenac, permettant d'obtenir les données nécessaires. Pour les configurations 1 et 7, des données ont été obtenues de la part du centre de tri de la Ville de Québec. La configuration 6 a été mise en place lors des caractérisations des matières au centre de tri de la Ville de Québec.

Bien qu'il ait été idéal de tester toutes les configurations dans le même centre de tri afin de travailler avec des données obtenues dans des situations avec moins de variabilités, la réalité du projet et des centres de tri participant limitait le nombre d'essais pouvant être menés sur les configurations proposées.

Afin d'étudier les performances des différentes configurations de tri, plusieurs données doivent être utilisées pour calculer des paramètres comparatifs. Les principaux paramètres utilisés dans cette étude sont les suivants :

- taux de capture;
- taux de pureté;
- coût d'implantation;
- coût d'exploitation et de maintenance.

Les paramètres relatifs aux coûts seront présentés dans l'analyse économique. Les paramètres relatifs à la partie technique de l'étude sont calculés en utilisant des données de caractérisation. Les données à acquérir, soit par la réalisation d'essais ou l'obtention de caractérisations antérieures, sont principalement les suivantes :

- flux massique brut;
- flux massique des CMC.

La méthodologie utilisée pour l'obtention des données nécessaires au calcul des paramètres comparatifs est présentée dans la section 3.5.2 ci-dessous.

3.5.2 ACQUISITION DE DONNÉES

3.5.2.1 DONNÉES POUR LES CONFIGURATIONS DE TRI OPTIQUES DES CONTENANTS MULTICOUCHES EN NÉGATIF ET POSITIF

3.5.2.1.1 1^{RE} SÉRIE D'ESSAIS – 4 CONFIGURATIONS TESTÉES

La première série d'essais qui a eu lieu à Récupération Frontenac a permis de tester les configurations de tri optique des CMC en positif et en négatif (configurations 2 à 5 présentées précédemment dans la section 3.4). Un protocole d'essais a été établi afin de standardiser la méthode d'acquisition des données de caractérisation des flux de matière durant les essais. Le protocole intègre les procédures de caractérisation et d'échantillonnage afin que les essais se déroulent de façon efficace.

La principale difficulté pour la réalisation de ces essais était d'obtenir des échantillons représentatifs de la configuration. Il a donc été décidé de prélever 4 échantillons de 360 litres en amont et en aval du point de tri des contenants multicouches par quart de jour. Cela a permis de déterminer le débit du flux duquel étaient captés les contenants multicouches et la proportion de CMC dans le flux. Chaque configuration a été opérée pendant 2 quarts de jour. Ainsi, un total de 16 échantillons prélevés a été obtenu pour chaque configuration de tri testée.

Afin de compléter les informations obtenues par le prélèvement d'échantillons du flux, des données sur la répartition des contenants multicouches sur la ligne de tri des contenants ont été colligées. Des bacs de collecte dédiés aux CMC ont été installés à des postes de tri stratégiques. Les trieurs travaillant à ces postes ont reçu comme consigne de saisir les contenants multicouches passant devant eux et de les déposer dans ces bacs. Cela a permis de déterminer le débit de contenants multicouches sur les lignes du flux n'étant pas caractérisées par les échantillons amont et aval. Ces données sont importantes, car elles permettent d'améliorer la qualité de la comparaison entre les différentes configurations, surtout au niveau du taux de capture des contenants multicouches.

Chaque configuration présentait des défis au niveau logistique, les précisions concernant les étapes suivies afin d'assurer le bon déroulement des activités sont expliquées dans le protocole d'essais présenté en annexe 4.

3.5.2.1.1 2^E SÉRIE D'ESSAIS – 2 CONFIGURATIONS RETENUES

Suite à la première série d'essais, deux des quatre configurations testées ont été retenues pour une seconde série. D'une durée de deux semaines, cette seconde série d'essais a permis d'obtenir des données sur une durée de quatre quarts de travail pour chaque configuration. L'augmentation de la durée a augmenté la représentativité des données par rapport à la première série. Durant ces essais, les arrivages et réserves ont été caractérisés, la production de ballots (masse et quantité) a été notée et les CMC ont été interceptés et pesés en fin de ligne des contenants.

Les précisions concernant les étapes suivies afin d'assurer le bon déroulement des activités sont expliquées dans le protocole d'essais présenté en annexe 6.

3.5.2.2 DONNÉES POUR LA CONFIGURATION DE TRI MANUEL DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Trois sources de données ont été fournies par le centre de tri de la Ville de Québec afin de calculer les paramètres comparatifs pour la configuration 1, tri « tout manuel ». Les bilans de matières vendues ont permis de calculer les quantités de matières captées. Des caractérisations des rejets de fin de ligne ont permis de déterminer la matière non captée par les trieurs. Finalement, des caractérisations de la ligne des fibres étaient disponibles et ont permis d'avoir une meilleure idée de la quantité de CMC non captés ne se retrouvant pas sur la ligne des contenants. Des caractérisations au niveau des ballots des autres matières de la ligne des contenants auraient pu augmenter la qualité des données, mais n'étaient pas nécessaires puisque toutes les matières étaient triées manuellement. Comme mentionné précédemment dans la section 3.3.2.2, l'erreur associée au tri manuel positif est considérée comme minime.

3.5.2.3 DONNÉES POUR LA CONFIGURATION DOUBLE TRI OPTIQUE DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Quatre sources de données ont été utilisées afin de calculer les paramètres comparatifs pour les configurations 6 et 7, tri « tout optique ». Premièrement, deux sources provenaient de données collectées antérieurement par le centre de tri de la Ville de Québec. D'une part, un bilan des matières vendues pour la période d'avril à juin 2016 a été fourni. Il est à noter que le centre a fonctionné à 60 % de sa capacité pour une période de rodage d'un mois à partir de la mise en service le 11 avril 2016. D'une autre, des données de caractérisations des matières triées entre mai et août 2016 ont été fournies. Les catégories de matières pour lesquelles des caractérisations ont été fournies sont :

- les plastiques #1 (PET);
- les plastiques #2 (HDPE);
- les plastiques mixtes;
- le journal #7;
- les cannettes d'aluminium;
- les rejets de fin de ligne;
- les CMC;
- les papiers mixtes.

Deuxièmement, deux autres sources de données ont été obtenues durant la campagne de caractérisation. La composition des réserves a été déterminée par les analyses de NI Corporation. Les productions de ballots et rejets ont aussi été obtenues à partir du système d'acquisition de données du centre de tri.

3.5.3 LISTE DES DONNÉES

Le tableau suivant résume les données colligées et traitées au cours de l'étude.

Tableau 3-4 Liste des documents et données colligés

	Récupération Frontenac	Société V.I.A.
Interne	Bilan des ventes 2015-2016	Bilan annuel des ventes 2014-2015 & 2015-2016
	Production de ballots durant essais	Bilan des ventes 2015-2016 & 2016-2017 (avril-juin)
	Quantité de CMC en fin de ligne des contenants durant les essais	Caractérisation des réserves, après l'installation de la nouvelle ligne de TO
		Caractérisation des intrants et rejets, avant la nouvelle ligne de TO – CRIQ et Société V.I.A.
		Production de ballots pendant les caractérisations
NI	Caractérisation des arrivages, avant essais	Caractérisation des arrivages
	Caractérisation des arrivages, après essais	Caractérisation des réserves
	Caractérisation des réserves, avant essais	
	Caractérisation des réserves, après essais	
	Caractérisation des flux, durant essais	

4 RÉSULTATS DES CARACTÉRISATIONS

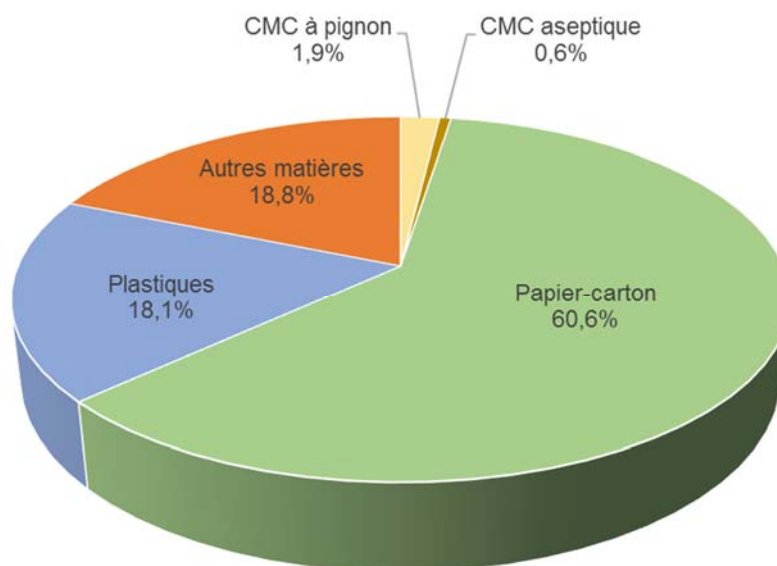
Cette section du rapport est une synthèse des résultats présentés dans le rapport de caractérisation réalisé par NI Corporation. Ces résultats ont été utilisés pour l'analyse des configurations de tri présentée dans les sections 5 et 6 du rapport.

4.1 ARRIVAGES

4.1.1 RÉCUPÉRATION FRONTENAC

Deux périodes de caractérisation des arrivages ont été effectuées lors du projet. Le graphique ci-dessous présente une moyenne de ces deux caractérisations.

Figure 4-1 Caractérisation des arrivages au centre de tri Récupération Frontenac

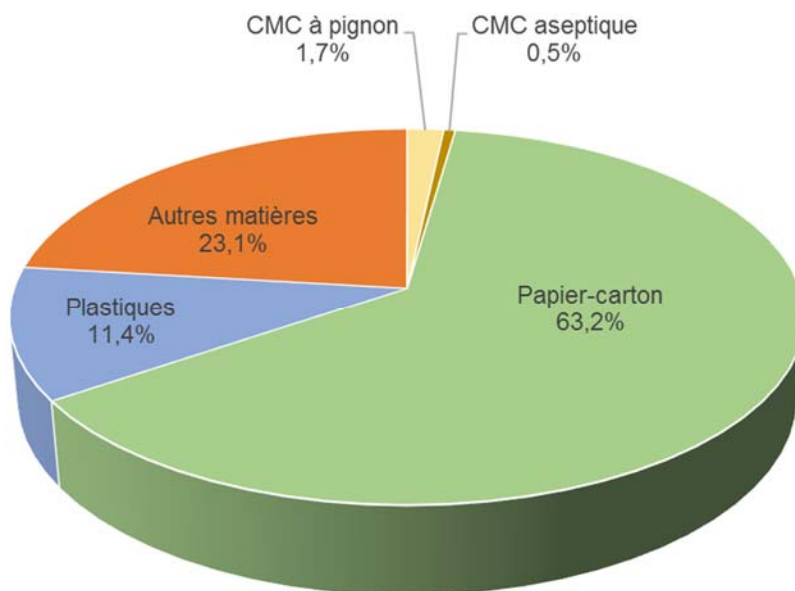


On en déduit que la part de CMC dans la collecte sélective résidentielle à Thetford Mines et ses environs est de 2,5 %. Le centre de tri Récupération Frontenac a reçu, au cours de l'année 2015-2016, 28 500 t de matière. Le potentiel de tri des CMC est donc estimé à environ 700 t par an.

4.1.2 CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC - SOCIÉTÉ V.I.A.

Une campagne de prise d'échantillon sur une semaine a été effectuée pour réaliser la caractérisation des arrivages au centre de Société V.I.A.

Figure 4-2 Caractérisation des arrivages au centre de tri de la Ville de Québec



La part de CMC dans la collecte sélective résidentielle est d'environ 2,2 %. Le centre de tri de la Ville de Québec traite environ 54 000 t de matières par an. Le potentiel de tri des CMC est donc estimé à environ 1 188 t par an.

4.2 MATIÈRES TRIÉES – RÉCUPÉRATION FRONTENAC

Les figures suivantes et les tableaux associés présentent les résultats des caractérisations réalisées au centre de tri Récupération Frontenac.

4.2.1 CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES DANS LA CONFIGURATION ACTUELLE DE TRI

Le carton (OCC) et la cartonnette ont été caractérisés séparément bien qu'ils soient mis en ballots ensemble. La proportion moyenne entre le gros carton et la cartonnette est respectivement de 70 % et de 30 %.

On remarque que la proportion de CMC est, comme attendu, la plus élevée dans la cartonnette (sortie vers le bas du tri optique des contenants). La proportion de CMC dans le papier mixte (flux non éjecté) est supérieure à 3 %. Cela met en évidence les erreurs du séparateur optique.

Figure 4-3 Caractérisations des réserves au centre de tri Récupération Frontenac dans la configuration actuelle de tri

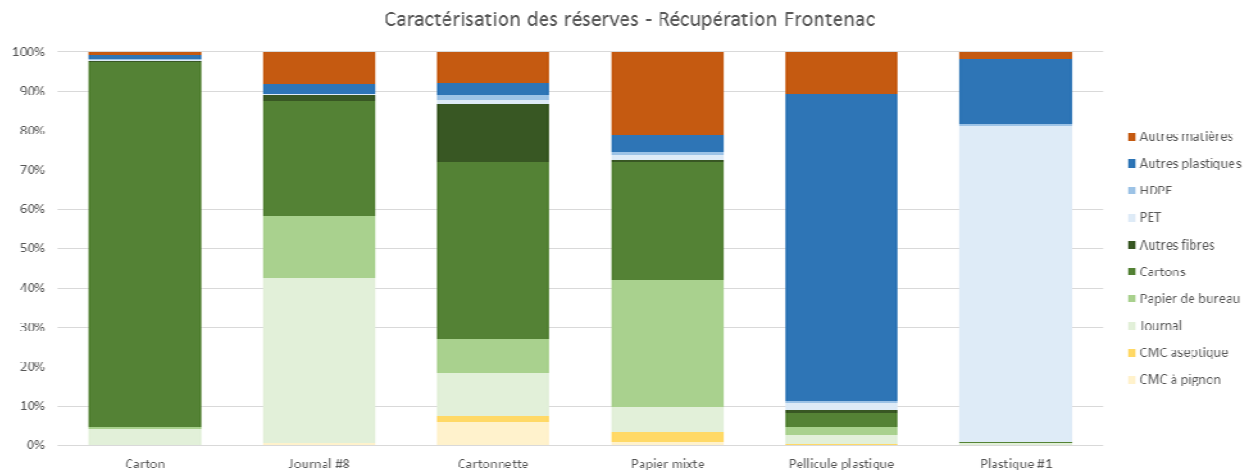


Tableau 4-1 Caractérisations des réserves au centre de tri Récupération Frontenac dans la configuration actuelle de tri

	Carton	Journal #8	Cartonnette	Papier mixte	Pellicule plastique	Plastique #1
CMC à pignon	0,01%	0,51%	5,87%	0,99%	0,12%	0,06%
CMC aseptique	0,06%	0,30%	1,53%	2,22%	0,17%	0,04%
Journal	3,95%	41,62%	10,87%	6,69%	2,24%	0,50%
Papier de bureau	0,60%	15,81%	8,74%	32,05%	2,10%	0,05%
Cartons	92,64%	29,30%	44,96%	30,04%	3,53%	0,28%
Autres fibres	0,29%	1,37%	14,75%	0,54%	0,67%	0,08%
PET	0,29%	0,48%	0,93%	1,25%	1,96%	80,19%
HDPE	0,36%	0,08%	1,43%	0,86%	0,42%	0,38%
Autres plastiques	1,04%	2,36%	2,91%	3,98%	78,31%	16,41%
Autres matières	0,76%	8,15%	8,00%	21,38%	10,47%	2,02%

4.2.2 CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC – TRI OPTIQUE NÉGATIF

La configuration de tri appliquée lors de ces caractérisations est présentée en détail dans la section 5.2 ainsi que les résultats de celle-ci.

Figure 4-4 Caractérisations des réserves au centre de tri Récupération Frontenac dans la configuration de tri des CMC en tri optique négatif

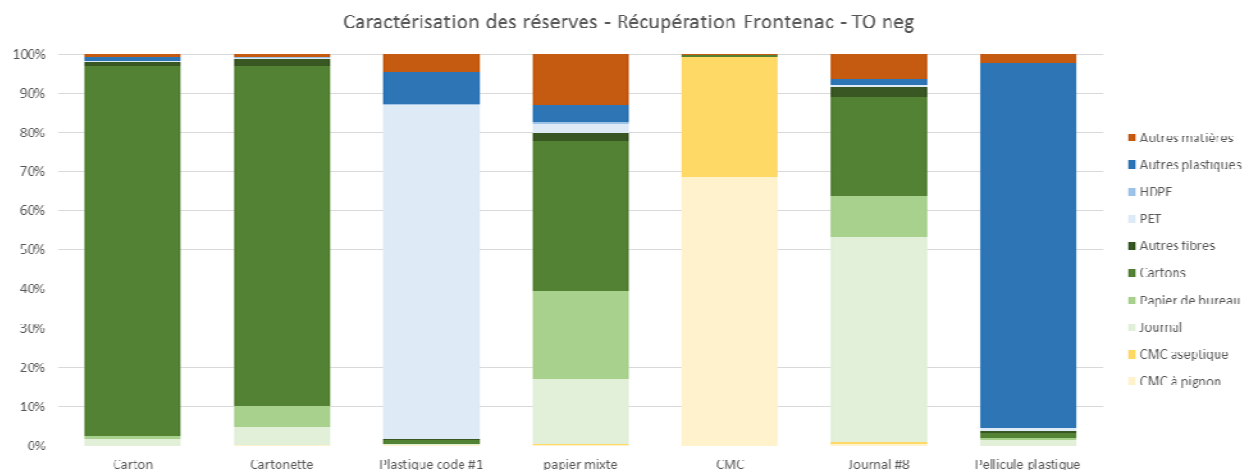


Tableau 4-2 Caractérisations des réserves au centre de tri Récupération Frontenac dans la configuration de tri des CMC en tri optique négatif

	Carton	Cartonnette	Plastique code #1	papier mixte	CMC	Journal #8	Pellicule plastique
CMC à pignon	0,07%	0,33%	0,25%	0,35%	68,84%	0,70%	0,05%
CMC aseptique	0,00%	0,08%	0,17%	0,29%	30,51%	0,34%	0,06%
Journal	1,65%	4,26%	0,17%	16,55%	0,00%	52,42%	1,38%
Papier de bureau	0,80%	5,33%	0,10%	22,33%	0,01%	10,25%	0,56%
Cartons	94,30%	86,84%	0,96%	38,10%	0,43%	25,30%	1,17%
Autres fibres	1,08%	2,02%	0,22%	2,43%	0,03%	2,49%	0,44%
PET	0,20%	0,10%	85,02%	1,86%	0,00%	0,52%	0,91%
HDPE	0,16%	0,21%	0,29%	0,58%	0,03%	0,07%	0,04%
Autres plastiques	1,06%	0,28%	8,36%	4,42%	0,07%	1,65%	92,98%
Autres matières	0,68%	0,54%	4,47%	13,09%	0,07%	6,26%	2,41%

4.2.3 CARACTÉRISATIONS DES RÉSERVES DANS LA CONFIGURATION DE TRI DES CMC – TRI OPTIQUE POSITIF

La configuration de tri appliquée lors de ces caractérisations est présentée en détail dans la section 5.2 ainsi que les résultats de celle-ci.

Figure 4-5 Caractérisations des réserves au centre de tri Récupération Frontenac dans la configuration de tri des CMC en tri optique positif

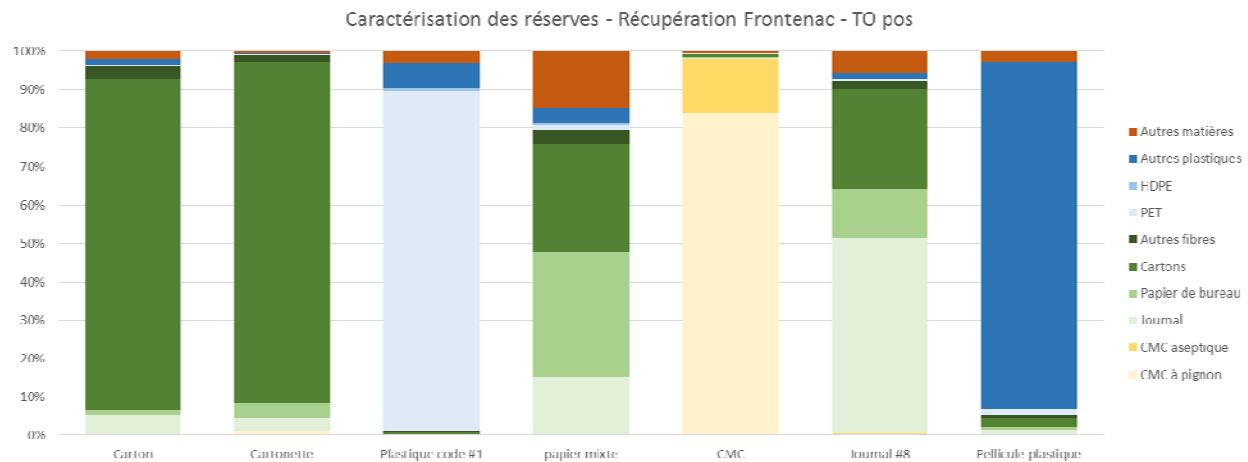


Tableau 4-3 Caractérisations des réserves au centre de tri Récupération Frontenac dans la configuration de tri des CMC en tri optique positif

	Carton	Cartonnette	Plastique code #1	papier mixte	CMC	Journal #8	Pellicule plastique
CMC à pignon	0,45%	1,04%	0,02%	0,25%	83,88%	0,49%	0,08%
CMC aseptique	0,02%	0,22%	0,02%	0,12%	14,19%	0,27%	0,16%
Journal	4,92%	3,23%	0,12%	14,98%	0,29%	50,68%	1,20%
Papier de bureau	1,11%	3,89%	0,06%	32,20%	0,12%	12,87%	0,77%
Cartons	86,47%	89,01%	0,73%	28,22%	0,78%	25,85%	2,36%
Autres fibres	3,34%	1,75%	0,09%	3,81%	0,13%	2,17%	0,61%
PET	0,18%	0,13%	88,80%	1,21%	0,08%	0,40%	1,66%
HDPE	0,15%	0,11%	0,44%	0,61%	0,05%	0,05%	0,09%
Autres plastiques	1,28%	0,21%	6,62%	3,79%	0,05%	1,66%	90,51%
Autres matières	2,06%	0,42%	3,10%	14,79%	0,42%	5,56%	2,56%

4.3 MATIÈRES TRIÉES – CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC

Les figures suivantes et les tableaux associés présentent les résultats des caractérisations réalisées au centre de tri de la Ville de Québec dans la configuration de tri actuelle.

La configuration de tri appliquée lors de ces caractérisations est présentée en détail dans la section 5.3.2 ainsi que les résultats de celle-ci.

Figure 4-6 Caractérisations des réserves au centre de tri de la Ville de Québec dans la configuration actuelle de tri

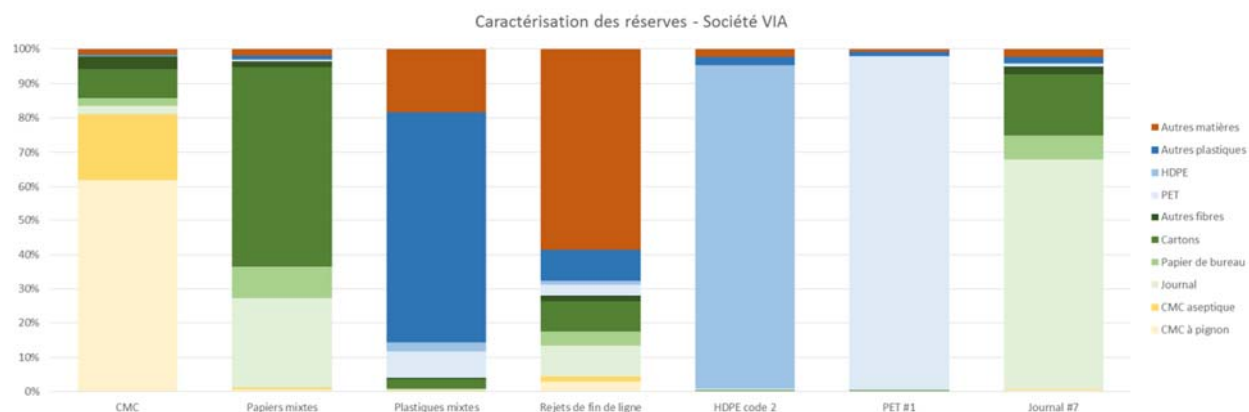


Tableau 4-4 Caractérisations des réserves au centre de tri de la Ville de Québec dans la configuration actuelle de tri

	CMC	Papiers mixtes	Plastiques mixtes	Rejets de fin de ligne	HDPE code 2	PET #1	Journal #7
CMC à pignon	61,94%	0,77%	0,13%	2,89%	0,06%	0,05%	0,47%
CMC aseptique	19,19%	0,41%	0,15%	1,50%	0,02%	0,02%	0,24%
Journal	2,37%	26,02%	0,33%	8,98%	0,03%	0,08%	67,15%
Papier de bureau	2,20%	9,19%	0,31%	4,26%	0,12%	0,10%	6,92%
Cartons	8,47%	58,38%	2,71%	8,67%	0,23%	0,22%	17,91%
Autres fibres	3,75%	1,70%	0,50%	1,83%	0,04%	0,02%	2,21%
PET	0,13%	0,35%	7,63%	3,12%	0,33%	97,34%	0,75%
HDPE	0,08%	0,20%	2,56%	1,05%	94,44%	0,13%	0,11%
Autres plastiques	0,39%	0,97%	67,33%	8,96%	2,38%	1,28%	1,96%
Autres matières	1,48%	1,99%	18,36%	58,75%	2,35%	0,74%	2,26%

5 RÉSULTATS DES ESSAIS

5.1 1^{RE} SÉRIE D'ESSAIS

5.1.1 DESCRIPTION DE LA DÉMARCHE ANALYTIQUE

Cinq sources de données provenant des essais ont été utilisées pour calculer les paramètres analytiques présentés dans les schémas de la section 5.1.2 : les caractérisations en amont, les caractérisations en aval, les données d'interception des CMC sur les flux secondaires, la masse totale de CMC captés et finalement la masse unitaire des CMC. Les caractérisations en amont ont permis de calculer le flux moyen total (kg/h) et le flux de CMC (kg/h) arrivant sur la ligne de tri des contenants. Les caractérisations en aval ont permis de calculer le flux traité par les trieurs des CMC ainsi que leur efficacité. La masse totale de CMC captés et les données d'interception des CMC sur les flux secondaires ont permis de calculer la dispersion des CMC sur la ligne de tri, ainsi que de confirmer les données de flux issues des caractérisations amont et aval. Finalement, la masse unitaire des CMC a permis de convertir les données sur la performance des trieurs en unités de gestes par minute (pics/min).

5.1.2 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Des diagrammes de flux ont été utilisés pour présenter les résultats des tests au centre de tri Récupération Frontenac. Les flux de masses sont représentés par des flèches; oranges pour le flux principal des CMC et bleues pour les autres flux sur la ligne des contenants. Les valeurs relatives (en orange) exprimées en pourcentages représentent le taux de capture des CMC par rapport à l'ensemble des CMC présents en entrée de la ligne des contenants. Les données de caractérisation du flux en amont du séparateur optique incluent le flux total sur la ligne des contenants (kg/h) et le taux massique moyen de CMC dans le flux des contenants. Aussi, les données de caractérisation du flux principal des CMC à la sortie du séparateur optique sont présentées dans l'encadré, incluant le flux massique moyen, la teneur moyenne en CMC et également l'efficacité du trieur des CMC (taux de capture du trieur et nombre de gestes effectuées par minute).

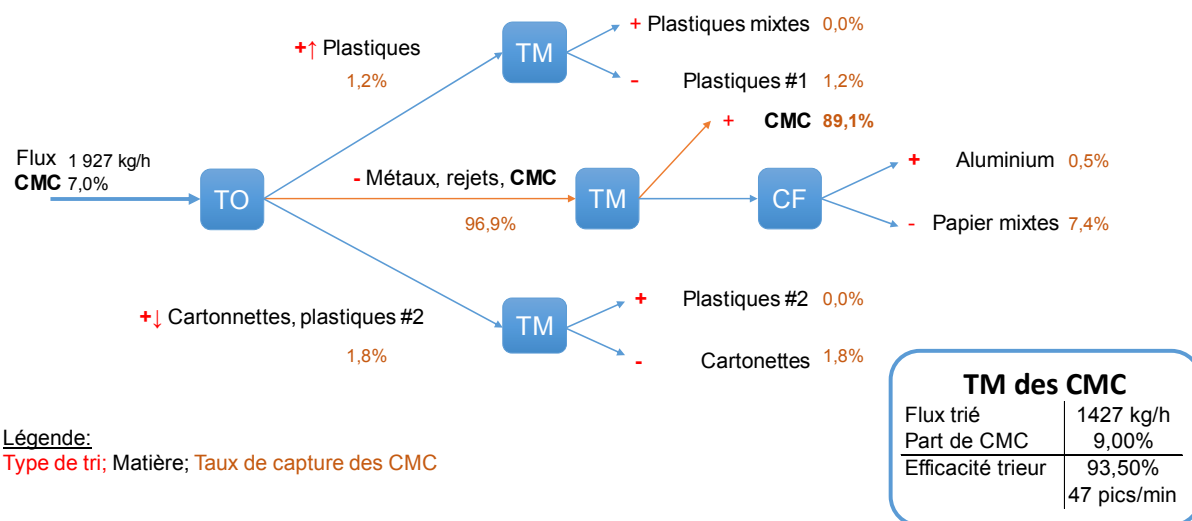
Un tableau comparatif des schémas de chaque configuration de tri testée est présenté dans la section 5.1.3.

5.1.2.1 TRI OPTIQUE NÉGATIF DES CMC

La figure 5-1 ci-dessous présente les résultats de l'essai sur la **configuration 2** : passage des CMC en négatif du séparateur optique puis tri manuel **avant** le courant de Foucault. Les principales observations à retirer de cette configuration sont les suivantes :

- le séparateur optique a démontré une efficacité de 96,9 % dans le tri négatif des CMC; ou un taux d'erreur de seulement 3,1 %;
- le taux de capture des CMC sur la ligne des contenants s'élève à 89,1 %;
- le trieur a atteint une efficacité de 93,5 % (taux de capture du trieur entre la quantité de CMC captée et la quantité captable) en triant un flux de 1427 kg/h composé de 9 % de CMC.

Figure 5-1 Tri optique négatif des contenants multicouches, trieur avant le courant de Foucault



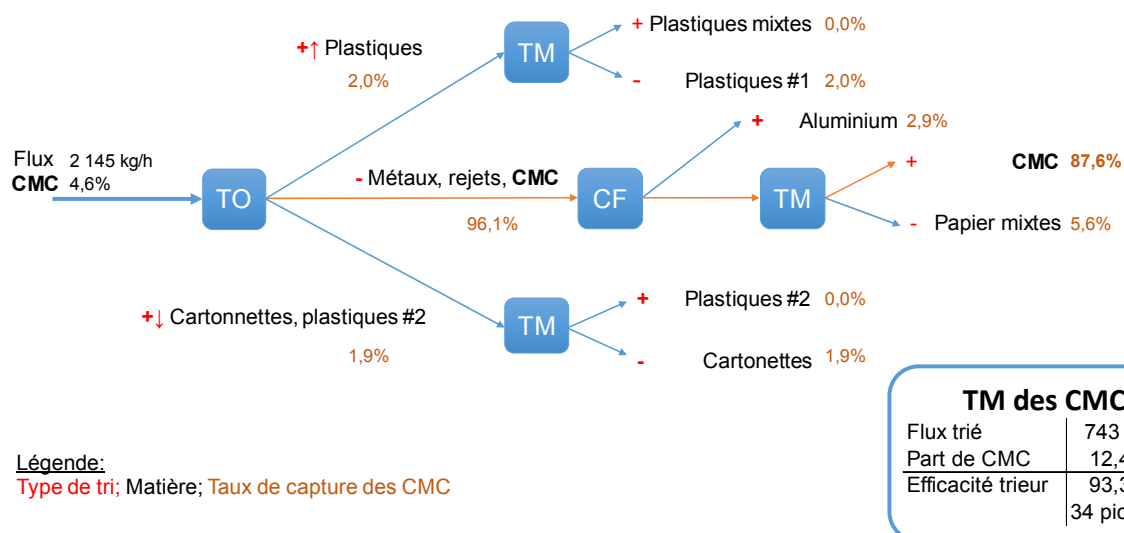
Remarques concernant l'essai :

- difficultés lors des essais à stabiliser le flux à traiter par le centre;
- forte proportion de CMC à l'entrée de la ligne des contenants (7 % avant le tri optique et 9 % après, soit 9 % au niveau du tri manuel des CMC);
- mauvaise ergonomie du poste de tri des CMC;
- deux trieurs ont dû se relayer pour maintenir l'efficacité de tri.

La figure 5-2 ci-dessous présente les résultats de l'essai sur la **configuration 3** : passage des CMC au négatif du séparateur optique puis tri manuel **après** le courant de Foucault. Les principales observations à retirer du schéma sont les suivantes :

- le séparateur optique a démontré une efficacité de 96,1 % dans le tri négatif des CMC; ou une marge d'erreur de seulement 3,9 %;
- le taux de capture des CMC sur la ligne des contenants s'est élevé à 87,6 %;
- le trieur a atteint une efficacité de 93,3 % (taux de capture du trieur entre la quantité de CMC captée et la quantité captable) en triant un flux de 743 kg/h composé de 12,4 % de CMC.

Figure 5-2 Tri optique négatif des contenants multicouches, trieur après le courant de Foucault



Remarques concernant l'essai :

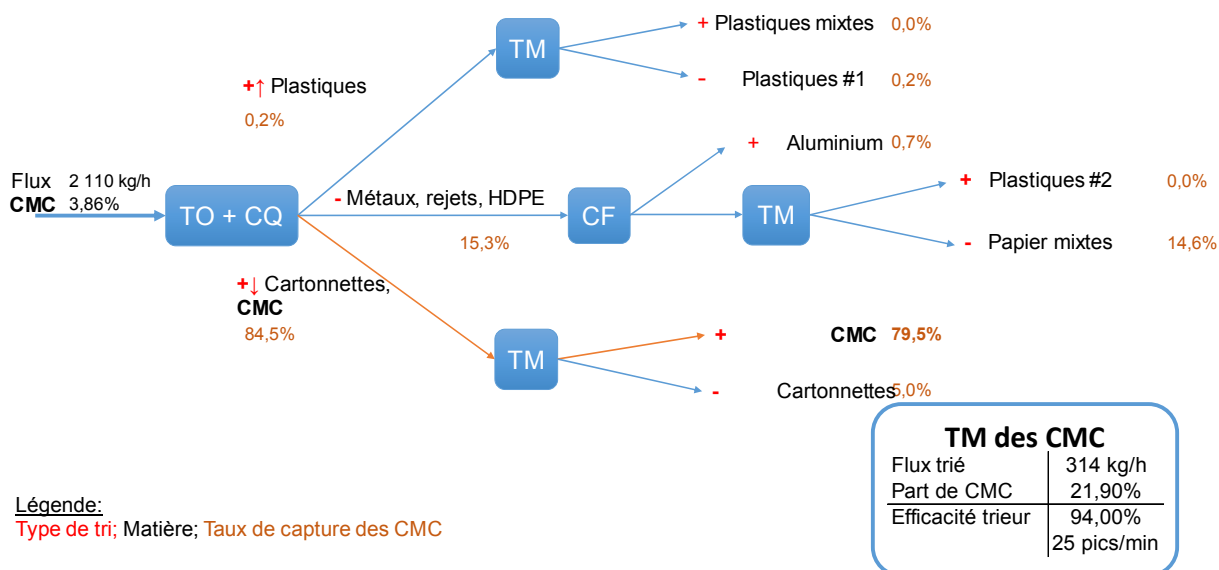
- bonne ergonomie du poste de tri des CMC;
- le courant de Foucault éjecte une part importante des CMC aseptiques (marque Oasis semble plus sensible).

5.1.2.2 TRI OPTIQUE POSITIF DES CMC

La figure 5-3 ci-dessous présente les résultats de l'essai sur la **configuration 4** : tri optique positif des CMC **vers le bas** puis tri manuel. Les principales observations à retirer du schéma sont les suivantes :

- le séparateur optique a démontré une efficacité de 84,5 % dans le tri positif des CMC; ou une marge d'erreur de 15,5 %. Il est à préciser que cette performance ne prend pas en compte l'action des contrôleurs qualité;
- le taux de capture des CMC sur la ligne des contenants s'est élevé à 79,5 %;
- le trieur a atteint une efficacité de 94,0 % en triant un flux de 314 kg/h composé de 21,9 % de CMC.

Figure 5-3 Tri optique positif des contenants multicouches, éjection vers le bas



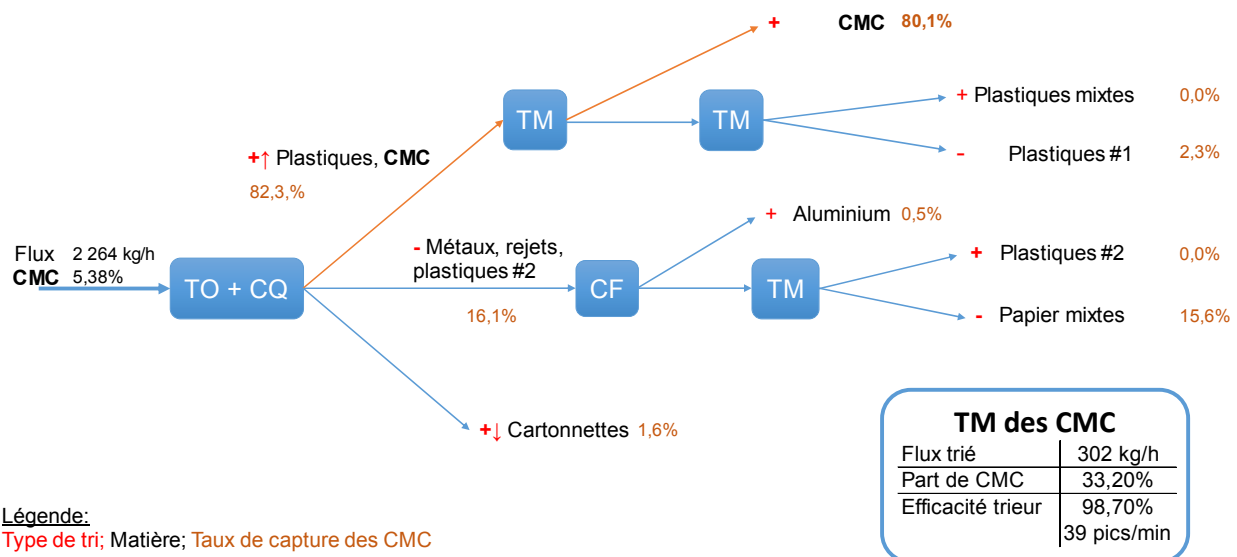
Remarques concernant l'essai :

- la contamination des cartons par les CMC ou inversement, est peu contraignante;
- bonne ergonomie du poste de tri des CMC.

La figure 5-4 ci-dessous présente les résultats de l'essai sur la **configuration 5** : tri optique positif des CMC **vers le haut** puis tri manuel. Les principales observations à retirer du schéma sont les suivantes :

- le séparateur optique a démontré une efficacité de 82,3 % dans le tri positif des CMC; ou une marge d'erreur de 17,7 %;
- le taux de capture des CMC sur la ligne des contenants s'est élevé à 80,1 %;
- le trieur a atteint une efficacité de 98,7 % en triant un flux de 302 kg/h composé de 33,2 % de CMC.

Figure 5-4 Tri optique positif des contenants multicouches, éjection vers le haut



Remarques concernant l'essai :

- risque de contamination des plastiques #1 (PET) : un CQ a été ajouté après le trieur pour assurer leur qualité;
- bonne ergonomie du poste de tri des CMC.

5.1.3 SYNTHÈSE ET CONFIGURATIONS RETENUES

Le tableau 5-1 présente un condensé des informations schématisées dans la section 5.1.2. L'analyse des données est présentée ensuite, ainsi que les recommandations pour la suite du projet.

Tableau 5-1 Comparaison des résultats des essais

	2	3	4	5
	Tri optique négatif des CMC		Tri optique positif des CMC	
	avant CF	après CF	envoi vers le bas	envoi vers le haut
Flux moyen en amont	1 927 kg/h	2 145 kg/h	2 110 kg/h	2 264 kg/h
Part de CMC en amont	7,0%	4,6%	3,9%	5,4%
Ratio de CMC en sortie du TO	96,9%	96,1%	84,5%	82,3%
Nombre de trieurs CMC	1 trieur	1 trieur	1 trieur	1 trieur + 1 CQ
Efficacité trieur CMC	93,5%	93,3%	94,0%	98,7%
Débit du flux trié manuellement	1 427 kg/h	743 kg/h	314 kg/h	302 kg/h
Part de CMC dans le flux trié	9,0%	12,4%	21,9%	33,2%
Gestes effectués	47 pics/min	34 pics/min	25 pics/min	39 pics/min
Taux de capture global	89,1%	87,6%	79,5%	80,1%

Le séparateur optique présente une efficacité supérieure en tri négatif qu'en tri positif. Le tri optique a démontré des performances variant de 96,1 à 96,9 % pour les configurations en négatif, versus 82,3 à 84,5 % pour le tri positif. Cette différence est la principale source d'écart entre les performances des tris positifs et négatifs. Cependant il est à noter que la performance en tri positif est cohérente avec les efficacités communiquées par les fournisseurs. De plus, ces performances ont été obtenues sans l'action des contrôleurs qualité.

Pour les configurations de tri optique en négatif, le positionnement du poste de tri avant ou après le courant de Foucault a été la principale cause de l'écart de performance entre les deux configurations. Le taux de capture pour la configuration 2 diffère de celui de la configuration 3 par 1,5 %. Cet écart est dû principalement à l'effet du courant de Foucault, qui a intercepté une partie des CMC aseptiques, ceux-ci étant constitués d'environ 4 % d'aluminium (source CCMCM). Il est donc préférable de capter les CMC avant le courant de Foucault afin de limiter les opérations de tri des CMC.

Concernant les configurations de tri optique en positif, le taux de capture global est similaire pour les deux configurations. Cependant, le tri des CMC avec les fibres (cartonnettes) présente une logique matière plus pertinente : la contamination des cartons par les CMC ou inversement, est peu contraignante.

Ainsi, les configurations retenues pour la 2^e série d'essais sont les configurations 2 (tri optique négatif des CMC avant le courant de Foucault, voir tableau 3-3) et 4 (tri optique positif des CMC avec éjection vers le bas, voir tableau 3-3). La configuration 2 est un choix logique, car elle présentait le plus haut taux de capture global des CMC. De plus, comme mentionné précédemment, il est souhaitable de positionner le poste de tri en amont du courant de Foucault. Les tests additionnels sur cette configuration permettront de quantifier les performances de cette configuration dans des conditions moins variables que lors de la première série d'essais, durant laquelle une grande variabilité avait été observée au niveau du flux total et du flux de CMC. L'ergonomie du poste de tri sera aussi améliorée, notamment en nivelant le plancher qui était irrégulier lors de l'essai, entraînant un inconfort pour le trieur.

La 2^e série d'essais s'effectuera sur une période deux fois plus longue donnant l'opportunité de valider les observations faites lors de la première série.

5.2 2^E SÉRIE D'ESSAIS

Lors de la seconde série d'essais, le protocole a été modifié. Deux configurations ont été testées, chacune sur quatre quarts de jour. Les caractérisations des matières triées et arrivages ont eu lieu comme lors de la première série. Des caractérisations en amont et aval n'ont pas été utilisées. Puisque chaque essai se déroulait sur une semaine presque complète, la production de ballots a été comptabilisée afin de connaître le rythme de production des différentes matières. Les CMC ont aussi été interceptés en fin de ligne afin de mieux estimer la quantité de CMC se retrouvant en fin de ligne des contenants.

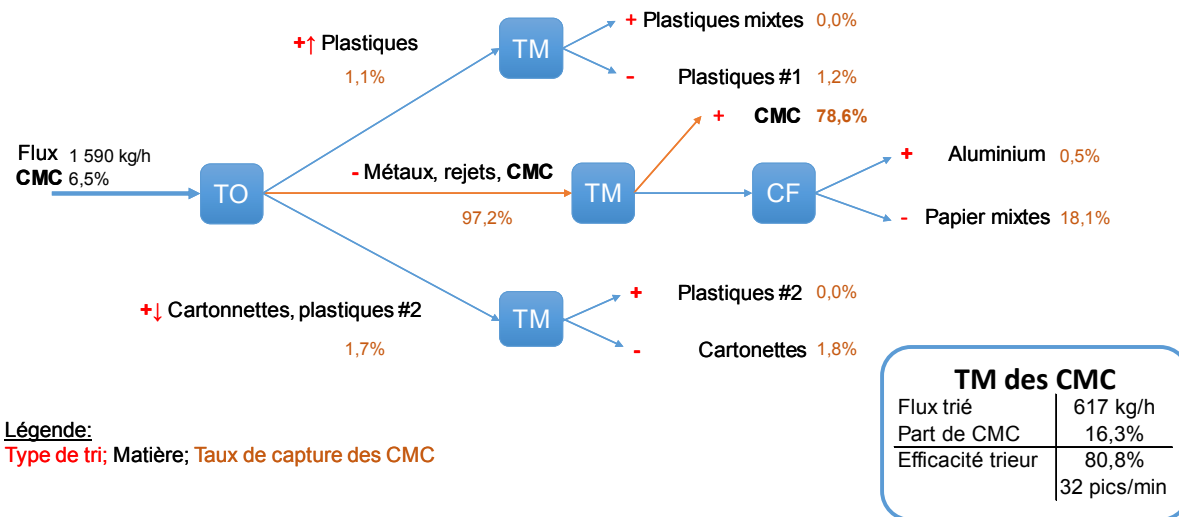
Les résultats sont présentés ci-dessous avec le même format que pour les résultats de la première série.

5.2.1 TRI OPTIQUE NÉGATIF

La figure 5-5 ci-dessous présente les résultats de la seconde série d'essais sur la **configuration 2** : passage des CMC en négatif du séparateur optique puis tri manuel **avant** le courant de Foucault. Les principales observations à retirer de cette configuration sont les suivantes :

- le séparateur optique a démontré une efficacité de 97,2 % dans le tri négatif des CMC; confirmant les résultats de la première série durant laquelle une efficacité de 96,9 % avait été observée;
- le taux de capture des CMC sur la ligne des contenants s'élève à 78,6 %;
- le trieur a atteint une efficacité de 80,8 % en triant un flux de 617 kg/h composé de 16,3 % de CMC.

Figure 5-5 Tri optique négatif, trieur avant le courant de Foucault



Remarques concernant l'essai :

- flux plus stable et moins élevé que durant la 1^{re} série;
- proportion moyenne de CMC dans les contenants (6,5 %);
- ergonomie du poste de tri des CMC améliorée par rapport à la 1^{re} série;

- efficacité du trieur moins élevée que durant la 1^{re} série; 80,5 % vs 93,5 % : trieur moins expérimenté, essai réalisé sur une durée plus longue;
- l'efficacité du trieur manuel est relativement faible. Ce poste nécessite un trieur expérimenté pour avoir une bonne efficacité.

La figure 5-6 ci-dessous présente les flux de matières triées issues de la ligne des contenants qui ont été caractérisés. On remarque que le plastique #1, les CMC et la cartonnette présentent des taux de pureté élevés.

Figure 5-6 Caractérisations des flux, tri optique négatif

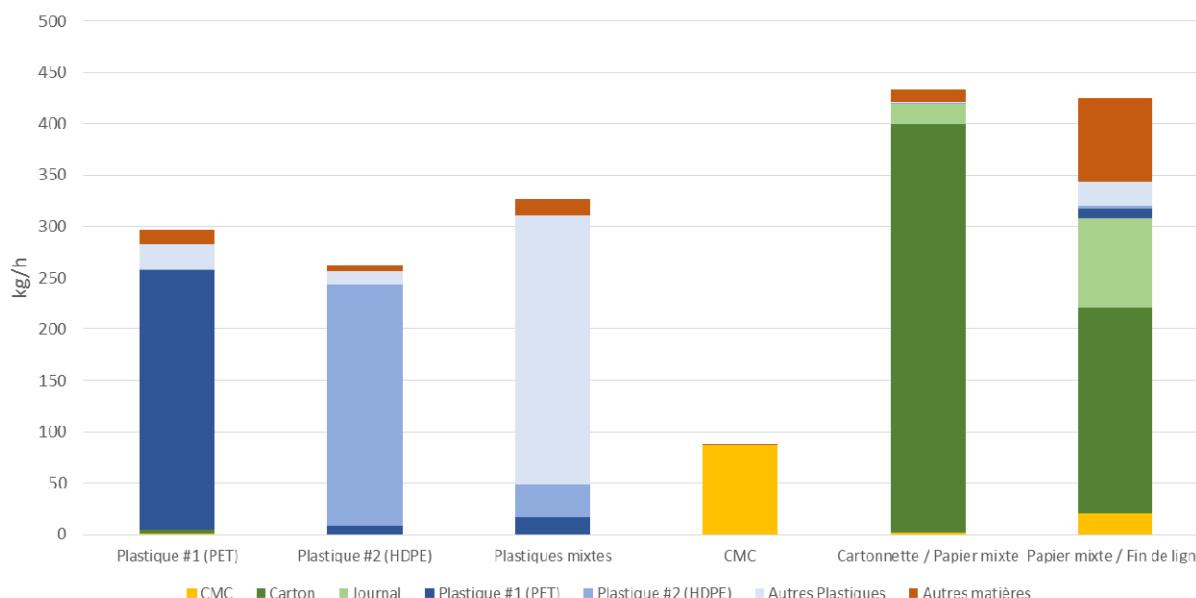


Tableau 5-2 Caractérisations des flux, tri optique négatif

↓ Matières / Flux →	Plastique #1 (PET)	Plastique #2 (HDPE)	Plastiques mixtes	CMC	Cartonnette / Papier mixte	Papier mixte / Fin de ligne
CMC	1,2 kg/h	0,0 kg/h	0,0 kg/h	86,7 kg/h	1,9 kg/h	20,0 kg/h
Carton	2,9 kg/h	0,0 kg/h	0,0 kg/h	0,4 kg/h	397,5 kg/h	200,3 kg/h
Journal	0,5 kg/h	0,0 kg/h	0,0 kg/h	0,0 kg/h	19,5 kg/h	87,0 kg/h
Plastique #1 (PET)	252,5 kg/h	7,8 kg/h	16,3 kg/h	0,0 kg/h	0,4 kg/h	9,8 kg/h
Plastique #2 (HDPE)	0,9 kg/h	235,3 kg/h	32,6 kg/h	0,0 kg/h	1,0 kg/h	3,1 kg/h
Autres Plastiques	24,8 kg/h	13,1 kg/h	261,1 kg/h	0,1 kg/h	1,3 kg/h	23,2 kg/h
Autres matières	13,9 kg/h	5,2 kg/h	16,3 kg/h	0,1 kg/h	11,7 kg/h	81,6 kg/h

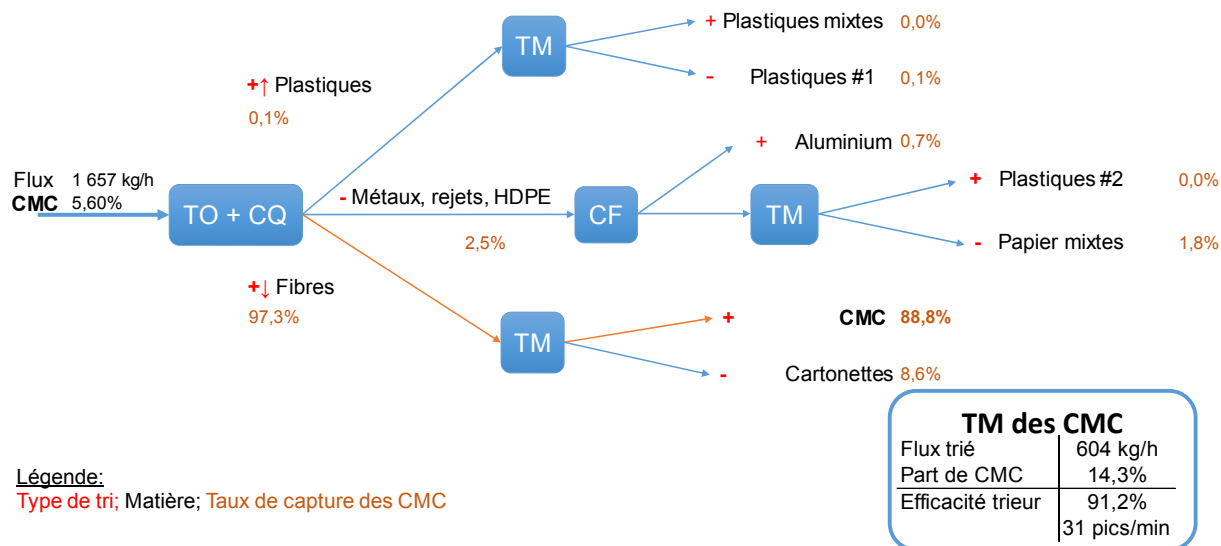
5.2.2 TRI OPTIQUE POSITIF

La figure 5-7 ci-dessous présente les résultats de l'essai sur la **configuration 4** : tri optique positif des CMC **vers le bas** puis tri manuel. Les principales observations à retirer du schéma sont les suivantes :

- ➔ le séparateur optique a démontré une efficacité de 97,3 % dans le tri positif des CMC, en incluant l'apport de contrôleurs qualités aux trois voies d'éjection du séparateur optique;

- le taux de capture des CMC sur la ligne des contenants s'est élevé à 88,8 %, présentant une augmentation comparativement au 79,5 % observé lors de la 1^{re} série d'essais. Cette différence est principalement due à l'ajout des contrôleurs qualité;
- le trieur a atteint une efficacité de 91,2 % en triant un flux de 604 kg/h composé à 14,3 % de CMC.

Figure 5-7 Tri optique positif, éjection vers le bas



Remarques concernant l'essai :

- la contamination des cartons par les CMC ou inversement, est peu contraignante;
- bonne ergonomie du poste de tri des CMC;
- des contrôleurs qualité étaient présents aux trois voies d'éjection du séparateur optique;
- trieur peu performant utilisé.

La figure 5-8 ci-dessous présente les flux de matières triées issues de la ligne des contenants qui ont été caractérisés. On y remarque que le plastique #1, les CMC et la cartonnette présentent des taux de pureté respectifs élevés. Le papier mixte est aussi de qualité assez élevée, étant constitué en majorité de cartonnette, journal et autres fibres.

Figure 5-8 Caractérisations des flux, tri optique positif

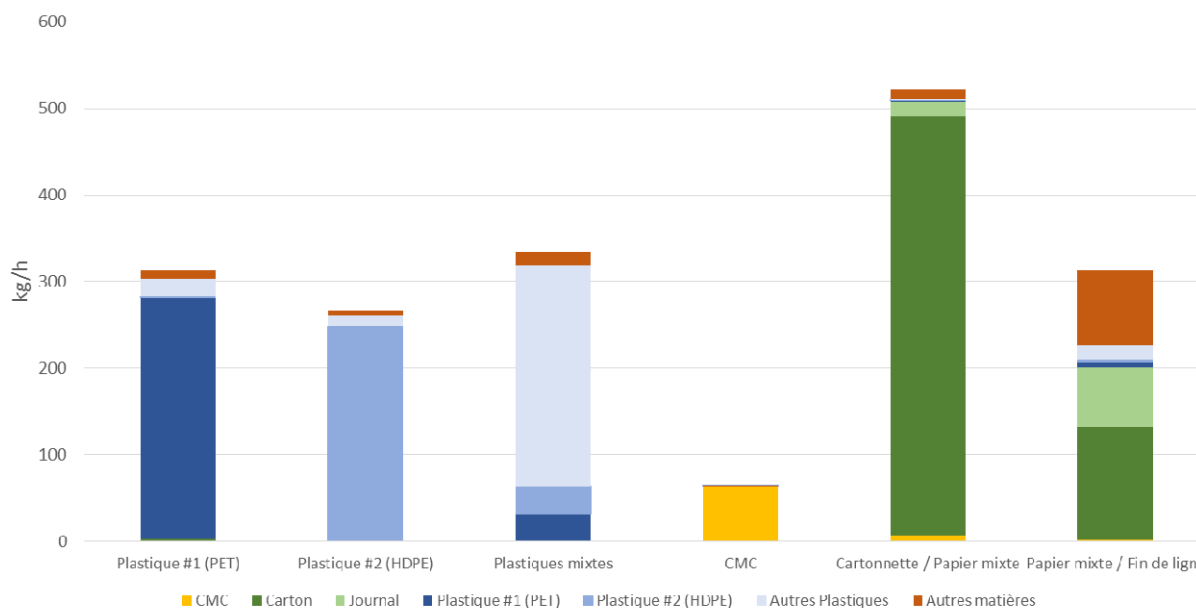


Tableau 5-3 Caractérisations des flux, tri optique positif

↓ Matières / Flux →	Plastique #1 (PET)	Plastique #2 (HDPE)	Plastiques mixtes	CMC	Cartonnette / Papier mixte	Papier mixte / Fin de ligne
CMC	0,1 kg/h	0,0 kg/h	0,0 kg/h	63,0 kg/h	6,9 kg/h	1,7 kg/h
Carton	2,3 kg/h	0,0 kg/h	0,0 kg/h	0,5 kg/h	483,5 kg/h	130,5 kg/h
Journal	0,4 kg/h	0,0 kg/h	0,0 kg/h	0,2 kg/h	17,6 kg/h	69,3 kg/h
Plastique #1 (PET)	278,6 kg/h	0,0 kg/h	31,8 kg/h	0,1 kg/h	0,7 kg/h	5,6 kg/h
Plastique #2 (HDPE)	1,4 kg/h	248,4 kg/h	31,8 kg/h	0,0 kg/h	0,6 kg/h	2,8 kg/h
Autres Plastiques	20,8 kg/h	13,1 kg/h	254,6 kg/h	0,0 kg/h	1,2 kg/h	17,5 kg/h
Autres matières	10,0 kg/h	5,2 kg/h	15,9 kg/h	0,4 kg/h	11,8 kg/h	86,0 kg/h

5.3 CONFIGURATIONS ANALYSÉES AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC

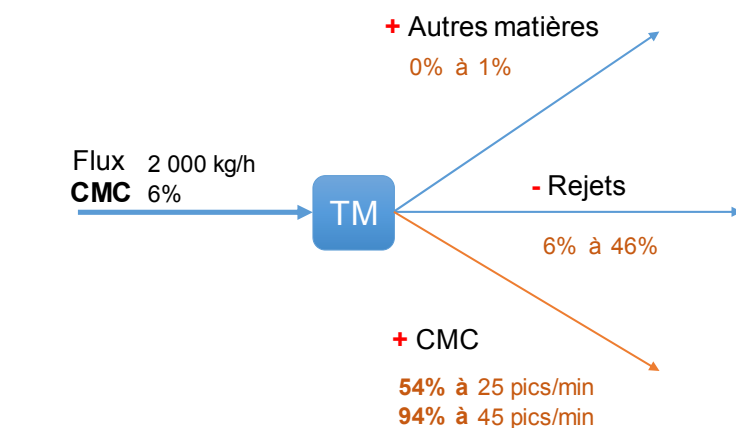
5.3.1 TRI MANUEL

La figure 5-9 ci-dessous présente les résultats de l'analyse sur la **configuration 1** : tri manuel des CMC. Cette configuration était utilisée précédemment au réaménagement de la ligne des contenants au centre de tri de la Ville de Québec. Des informations obtenues des gestionnaires du site ainsi que durant les essais chez Récupération Frontenac ont permis de modéliser l'efficacité du tri manuel.

Les principales observations à retirer du schéma sont les suivantes :

- le flux sur la ligne des contenants a été modélisé à 2 000 kg/h et 6 % de CMC;
- une performance de 25 pics/min du trieur permet d'atteindre un taux de capture des CMC de 54 % sur la ligne des contenants;
- une performance de 45 pics/min du trieur permet d'atteindre un taux de capture des CMC de 94 % sur la ligne des contenants.

Figure 5-9 **Tri manuel, schéma des flux**



Légende:

Type de tri; Matière; Taux de capture des CMC

Remarques concernant la configuration :

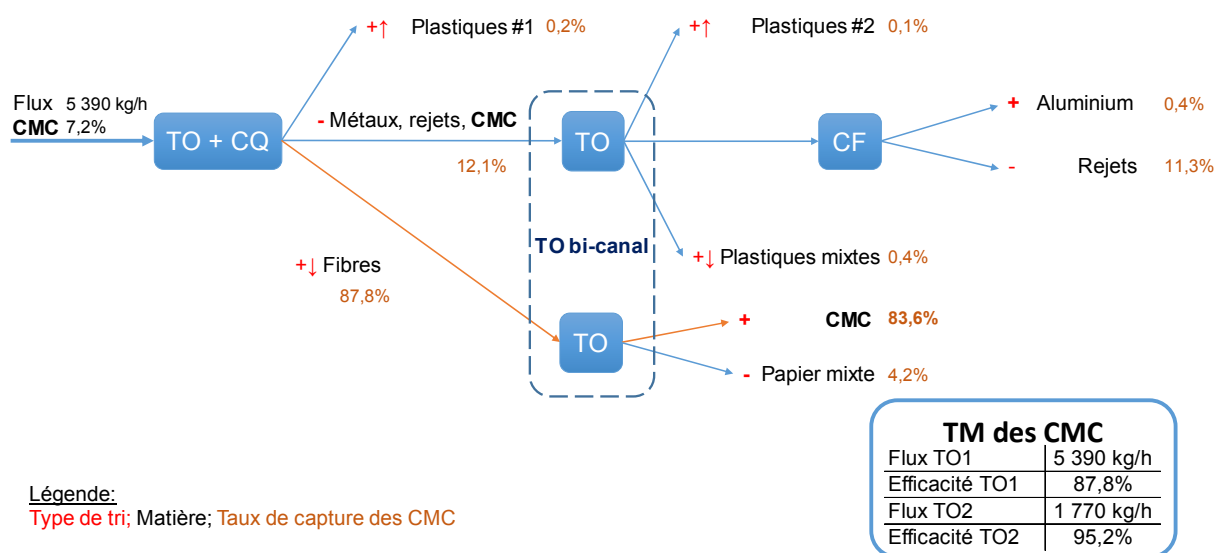
- la charge de travail des trieurs peut être séparée entre différentes matières pour maximiser les taux de captures respectifs;
- comme mentionné précédemment, les CMC sont faciles à apercevoir et saisir en raison de leur taille et forme, en faisant une matière pouvant être séparée aisément par tri manuel.

5.3.2 DOUBLE TRI OPTIQUE

La figure 5-10 ci-dessous présente les résultats de l'analyse technique sur les données de la **configuration 6** : double tri optique des CMC. Les principales observations à retirer du schéma sont les suivantes :

- le premier séparateur optique a démontré une efficacité de 87,8 %. Des contrôleurs qualité étaient positionnés aux trois voies d'éjection;
- le second séparateur optique a démontré une efficacité de 95,2 %. Un contrôleur qualité était positionné sur la voie de sortie en négatif, redirigeant les CMC dans la bonne voie. Il n'y avait pas de contrôleur qualité sur la voie d'éjection des CMC;
- le taux de capture des CMC sur la ligne des contenants s'est élevé à 83,6 %.

Figure 5-10 Double tri optique



Remarques concernant l'essai :

- la contamination du papier mixte par les CMC ou inversement, est peu contraignante;
- des contrôleurs qualité étaient présents aux trois voies d'éjection du premier séparateur optique;
- un contrôleur qualité était positionné sur la voie d'éjection en négatif du second séparateur optique.

La figure 5-11 ci-dessous présente les flux de matières triées issues de la ligne des contenants qui ont été caractérisés. On y remarque que les CMC et les plastiques #1, #2 et mixtes présentent des taux de pureté respectifs élevés. Le papier mixte est aussi de qualité assez élevée, étant constitué en majorité de cartonnnette, journal et autres fibres. On observe de plus que les rejets sont constitués en majorité de matières catégorisées comme « autres matières » et généralement non valorisables.

Figure 5-11 Caractérisations des flux, double tri optique

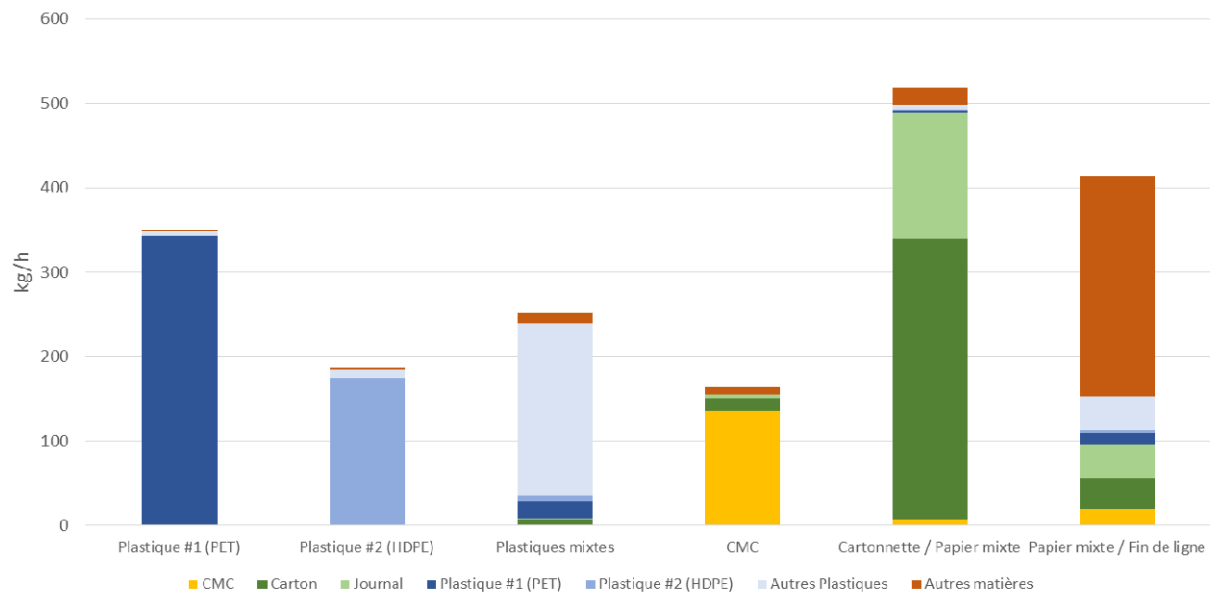


Tableau 5-4 Caractérisations des flux, double tri optique

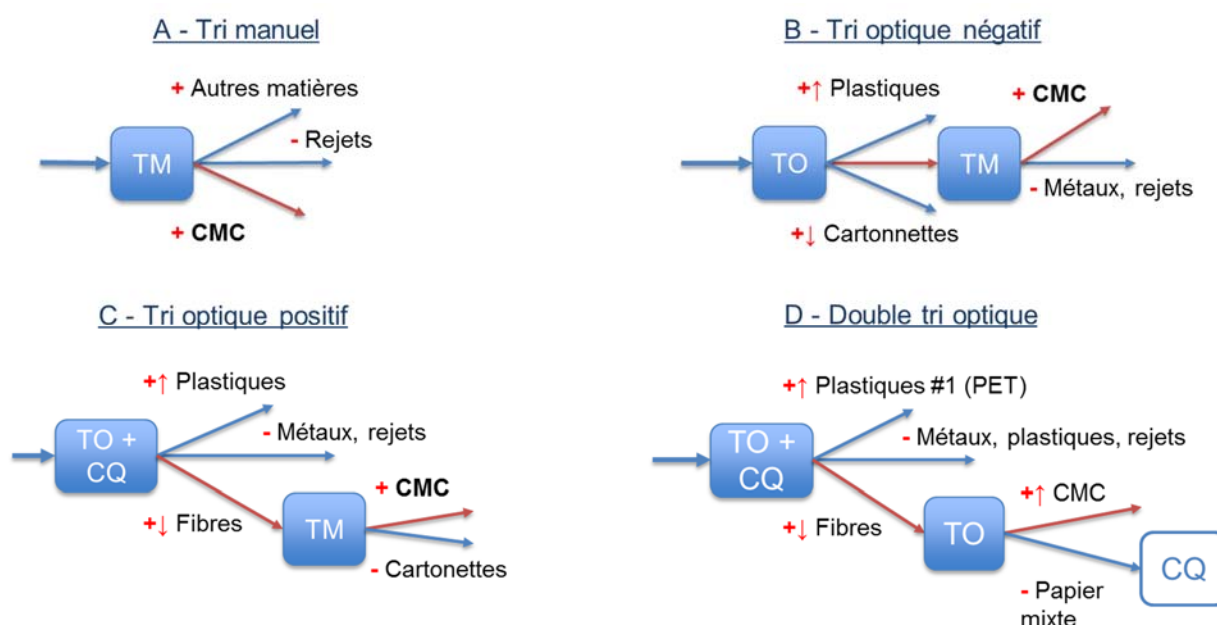
↓ Matières / Flux →	Plastique #1 (PET)	Plastique #2 (HDPE)	Plastiques mixtes	CMC	Cartonnette / Papier mixte	Papier mixte / Fin de ligne
CMC	0,2 kg/h	0,2 kg/h	0,7 kg/h	135,8 kg/h	6,8 kg/h	19,0 kg/h
Carton	0,8 kg/h	0,4 kg/h	6,9 kg/h	14,2 kg/h	333,4 kg/h	37,5 kg/h
Journal	0,3 kg/h	0,1 kg/h	0,8 kg/h	4,0 kg/h	148,6 kg/h	38,8 kg/h
Plastique #1 (PET)	341,6 kg/h	0,6 kg/h	19,5 kg/h	0,2 kg/h	2,0 kg/h	13,5 kg/h
Plastique #2 (HDPE)	0,4 kg/h	173,3 kg/h	6,6 kg/h	0,1 kg/h	1,1 kg/h	4,5 kg/h
Autres Plastiques	4,5 kg/h	9,2 kg/h	204,6 kg/h	0,7 kg/h	5,6 kg/h	38,7 kg/h
Autres matières	2,7 kg/h	3,7 kg/h	12,8 kg/h	8,8 kg/h	21,1 kg/h	261,8 kg/h

6 ANALYSE DE LA FAISABILITÉ TECHNIQUE DU TRI DES CONTENANTS MULTICOUCHES

6.1 SYNTHÈSE DES CONFIGURATIONS DE TRI DES CMC

Suite aux essais et aux caractérisations, l'analyse des résultats nous a amené à conserver quatre configurations de tri schématisées dans la figure suivante et dont les résultats ont été présentés dans la section 5.

Figure 6-1 Schéma des configurations de tri des CMC retenues



Ces configurations ont été modélisées afin de réaliser une étude technico-économique permettant de comparer des configurations entre elles et d'identifier les principaux paramètres du projet. Un des facteurs clés à prendre en compte dans les configurations est l'action du contrôle qualité. Cet aspect sera détaillé dans la section 6.1.2.

Le tableau suivant résume les performances considérées pour chaque configuration. Les valeurs indiquées ainsi que les variations ont été définies à partir des résultats présentés en section 5. Ces paramètres techniques sont utilisés pour la modélisation technico-économique présentée dans la section 7.

Tableau 6-1 Synthèse des performances techniques par configuration

	A	B	C	D
	Tri manuel	TO négatif	TO positif	TO double
Taux de capture TO 1	N/A	96 % ± 2 %	96 % ± 2 %	96 % ± 2 %
CQ CMC - TO 1		0 %	18 %	18 %
Taux de capture TO 2	N/A	N/A	N/A	94 % ± 1 %
CQ CMC - TO 2				50 %
Efficacité Trieur	74 % ± 20 %	88 %	93 %	N/A
Pics/min	35 ± 10	40 ± 3	43 ± 2	
Taux de capture global	74 % ± 20 %	84 % ± 2 %	89 % ± 2 %	90 % ± 4 %
Taux de pureté	98 % ± 1 %	98 % ± 1 %	98 % ± 1 %	83 % ± 1 %

Le grade PSI 52 (taux de pureté des CMC de 95 %) est atteint dans les configurations intégrant du tri manuel. Dans le cas de la configuration en double tri optique, un CQ sur le flux de CMC est nécessaire pour augmenter la pureté.

Le taux de capture global des CMC sur la ligne des contenants varie pour chaque configuration. Celui-ci est le plus faible en tri manuel et est optimisé en double tri optique. Pour les configurations avec un tri optique (B et C), le taux de capture est plus élevé pour le tri en positif grâce à l'action du contrôle qualité (ce point est détaillé ci-après).

6.1.1 EFFICACITÉ DU TRIEUR DÉDIÉ AUX CONTENANTS MULTICOUCHES

En fonction du débit de la ligne des contenants et de la quantité de CMC à capter, le nombre de trieur est à ajuster. Pour une ligne de contenants fonctionnant à 2 000 kg/h avec 6 % de CMC, on considère qu'un trieur est nécessaire dans le cas des configurations A, B et C.

Configuration A – Tri manuel : l'efficacité d'un trieur a été définie à 74 % (taux de capture) à 35 pics/min, performances intermédiaires issues de l'analyse des données du centre de tri de la Ville de Québec. Le tri manuel est la solution la plus simple à mettre en place dans un centre de tri, mais ne permet pas d'avoir une efficacité élevée pour des débits importants.

Configuration B – Tri optique négatif : dans cette configuration, le trieur travaille sur un flux plus dense et complexe. Son efficacité en est impactée, taux de capture de 88 %. On considère que le trieur mis à ce poste est expérimenté et que le poste de travail est parfaitement adapté au tri.

Configuration C – Tri optique positif : les CMC sont dans un flux constitué principalement de fibres. Le tri est alors facilité. L'efficacité du trieur est bonne et estimé à 93 %.

6.1.2 EFFICACITÉ DU TRI OPTIQUE ET CONTRÔLE QUALITÉ

Le rôle d'un contrôleur qualité est de corriger les erreurs de tri occasionnées par un équipement en réorientant la matière vers le flux souhaité.

Les sorties d'un tri optique sont généralement associées à des contrôles qualité (un par voie). Dans le cadre du tri des CMC, l'action du CQ est importante pour les configurations triant en positif les CMC (C et D). En effet, le taux de capture en sortie du premier tri optique évolue de 84-85 % à 95-96 %. Cette nette amélioration s'explique par le fait que les CMC sont des matières faciles à trier manuellement du fait de leur bonne visibilité et leur préhension aisée.

Dans le cas de la configuration D, double tri optique, deux possibilités ont été étudiées concernant le contrôle qualité :

- un contrôleur qualité sur la ligne des papiers mixtes;
- un contrôleur qualité sur la ligne des papiers mixtes + un contrôleur qualité sur la ligne des CMC.

Le contrôleur qualité sur la ligne des papiers mixtes permet d'améliorer le taux de capture des CMC en les redirigeant dans le flux désiré. Ainsi, le taux de capture des CMC au niveau du second tri optique est optimisé à 94 %. Du point de vue des CMC, le contrôleur qualité sur la ligne des CMC permet d'améliorer le taux de pureté du flux. Son impact a pu être observé, le taux de pureté est de 83 % sans CQ contre 93 % avec CQ sur la ligne des CMC.

Il est donc nécessaire d'avoir un CQ sur la ligne des CMC pour atteindre une qualité de matière proche du grade PSI 52. Malgré cela, le centre de tri de la Ville de Québec évalue présentement l'intérêt de conserver le CQ sur la ligne des CMC. En effet, la contamination par des papiers mixtes dans le flux de CMC n'est pas contraignant pour le recycleur des CMC.

La photographie ci-dessous montre la sortie du second tri optique au centre de tri de la Ville de Québec, à gauche la ligne des CMC et à droite la ligne des papiers mixtes.

Figure 6-2 Photographie de la sortie du second tri optique au centre de tri de la Ville de Québec



Dans le cadre de l'étude technico-économique portant sur les CMC, une allocation des CQ au CMC a été définie pour chaque configuration et tri optique. Au niveau du premier tri optique (TO1), si on considère que les CMC représentent 6 % du tonnage, l'allocation des 3 CQ pour les CMC est donc équivalent à 18 % d'un trieur. Dans le cas de la configuration B, tri optique négatif, le taux de capture des CMC est atteint sans l'intervention des CQ, l'allocation est donc nulle.

Pour le second tri optique, configuration D, on considère seulement le cas où un contrôleur qualité est positionné sur la ligne du papier mixte. Ainsi, son allocation est de 50 % pour les CMC et de 50 % pour le papier mixte.

6.2 ANALYSE DU PASSAGE DU TRI MANUEL AU TRI OPTIQUE AU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC

Dans le cadre du projet, WSP a recueilli les données disponibles sur les deux configurations de tri :

→ Tri manuel des CMC :

- dossier CRIQ, caractérisation automne 2014 : arrivage, fin de ligne #1 des fibres, fin de ligne des contenants;
- caractérisations de fin de ligne des contenants entre 2014 et 2016;
- caractérisations du journal 7 (fin de ligne des fibres) entre 2014 et 2016;
- bilans annuels des ventes de matières : 2014-2015 et 2015-2016.

→ Double tri optique des CMC :

- caractérisations des matières effectuées entre mai et début août 2016;
- bilan des ventes de matières : avril, mai, juin 2016.

Le tableau 6-2 suivant présente les quantités de matière traitées par le centre, traitées par la ligne des contenants, la production de CMC et de rejets pour chaque année.

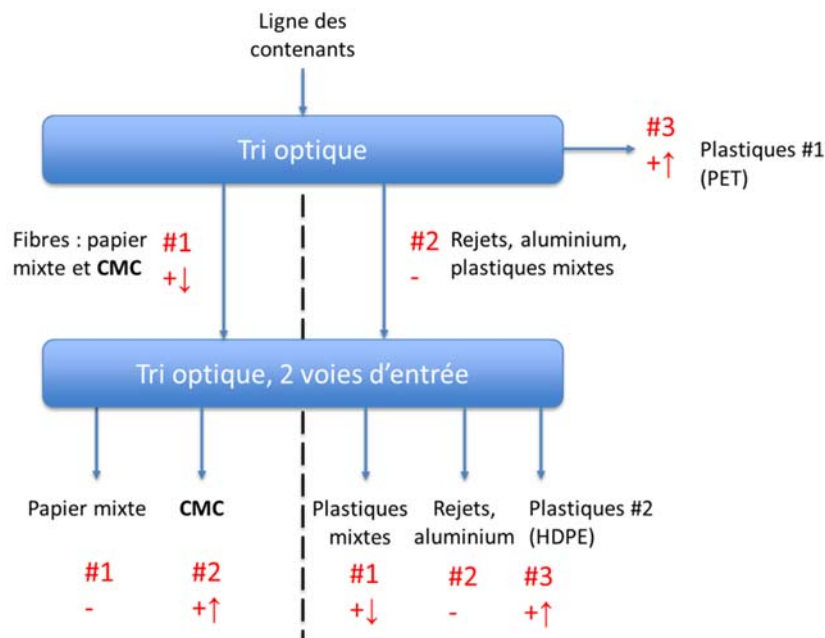
Tableau 6-2 Historique des matières produites, Centre de tri de la Ville de Québec

Année (avril à mars)	Tri manuel		Tri optique
	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Quantité totale traitée	52 582 t	55 330 t	49 220 t
Quantité estimée sur la ligne des contenants	8 466 t	9 365 t	8 287 t
- dont rejets	4 342 t	4 479 t	1 763 t
- dont CMC	158 t	232 t	500 t
Taux de rejet sur les contenants	51,3 %	47,8 %	21,3 %
Taux de CMC triés au centre	0,3 %	0,4 %	1,0 %

6.2.2 CONFIGURATION EN DOUBLE TRI OPTIQUE DES CONTENANTS MULTICOUCHES

Le centre de tri opère une nouvelle ligne de tri des contenants depuis le 11 avril 2016. Cette ligne se compose de deux séparateurs optiques en série. La figure 6-4 présente cette configuration et la figure 6-5 montre une photo de l'un des séparateurs optiques. Des contrôleurs qualité sont positionnés sur chaque voie et peuvent réorienter une matière dans le flux approprié.

Figure 6-4 Schéma de la configuration des tris optiques au centre de tri de la Ville de Québec



Les deux séparateurs optiques ont la même largeur (2 800 mm). Le convoyeur du second séparateur optique est actuellement divisé en deux (également) permettant d'effectuer le tri des CMC et du papier/carton d'une part et le tri du plastique mixte, plastique #2 (HDPE) et aluminium/rejets d'autre part.

Il est envisagé de modifier la séparation du convoyeur pour augmenter la largeur (1 600 mm) accordée au flux de plastique/aluminium/rejets et pour ramener cette largeur à 1 200 mm pour le flux de CMC et de papier/carton. L'objectif de ce changement serait de réduire les rebonds des contenants plastiques contre les parois, ce qui favorise la concentration des objets sur le centre du convoyeur.

Figure 6-5 Photo de l'un des deux séparateurs optiques au centre de tri de la Ville de Québec

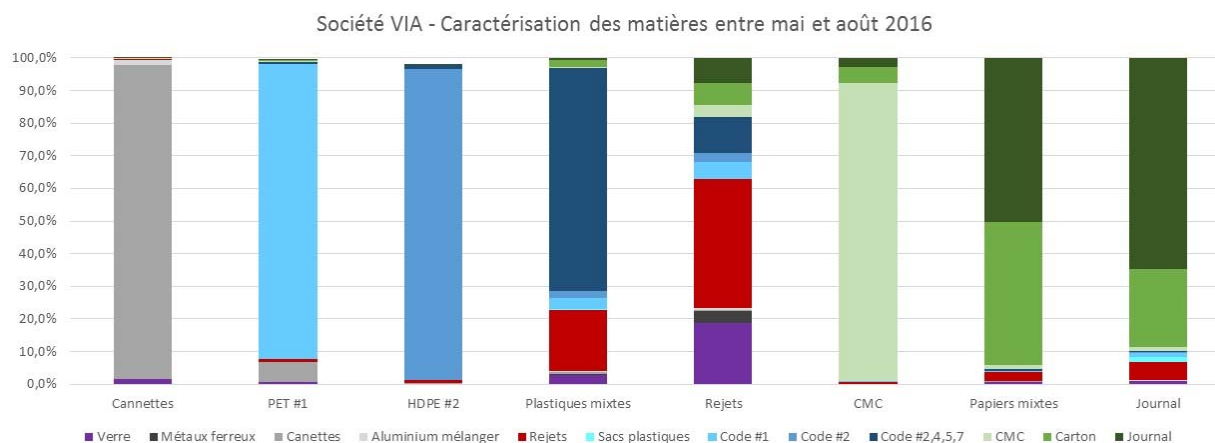


Le CQ effectué sur les CMC est le premier poste à être supprimé au besoin. En effet, la contamination des CMC par du carton n'est pas un élément de refus par les acheteurs. Une amélioration significative de la pureté du flux est notée lors de la présence d'un CQ :

- sans CQ, 75-80 % de CMC;
- avec CQ, 85-95 % de CMC.

Le centre de tri de la Ville de Québec effectue régulièrement des caractérisations de ses matières produites. Ces caractérisations, faites entre mai et juin 2016, ont permis de produire le graphique suivant. Afin de faciliter la lecture, un code couleur a été défini : bleu pour les plastiques, vert pour les fibres, gris pour l'aluminium, rouge pour les rejets et violet pour le verre.

Figure 6-6 Caractérisation des matières sortantes entre mai et août 2016



La figure 6-6 montre, entre autres, la répartition des CMC et des rejets dans les différents flux. On note que le taux réel de CMC dans le flux de CMC est de 87 % et que les contaminants sont principalement des fibres. De plus, on observe que les CMC non captés se retrouvent généralement dans les rejets (taux de CMC dans les rejets, 4 %).

6.2.3 CONTEXTE DU PASSAGE DU TRI MANUEL AU TRI OPTIQUE

Au cours des dernières années, le centre de tri de la Ville de Québec connaissait une saturation de sa ligne de tri manuel des contenants. Cette saturation entraînait une forte proportion de rejets et dégradait le tri des fibres. Ces observations ont entraîné la décision d'investir dans une mise à niveau des procédés et équipement de tri du centre, notamment par l'automatisation à l'aide de séparateurs optiques. Cela a permis, comme il sera expliqué dans la section ci-dessous, de significativement améliorer la capacité de traitement du centre et de réduire sa proportion de rejets.

Lors de l'automatisation de la ligne de tri des contenants, le centre de tri a souhaité conserver le tri des CMC du fait de l'entente avec la Ville de Québec de maximiser le tri et de l'opportunité d'avoir un second séparateur optique permettant de le faire. De plus, le débouché pour la vente de cette matière était existant et le prix de vente stable depuis un an et demi (autour de 150 \$/t, variation entre 130 et 155 \$/t).

La mise en service de la nouvelle ligne a nécessité une période de rodage d'un mois pendant laquelle la ligne a fonctionné à 60 % de sa capacité.

6.2.4 COMPARAISON AVANT-APRÈS INSTALLATION DES TRIS OPTIQUES

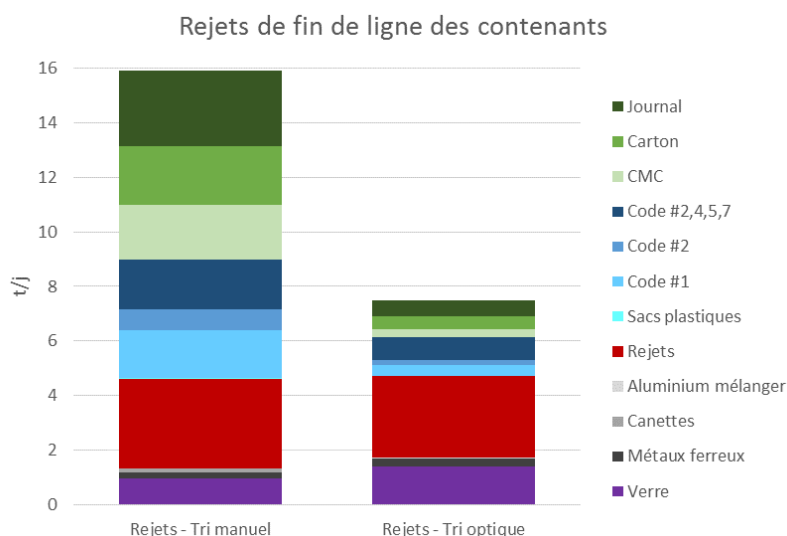
6.2.4.1 REJETS DE FIN DE LIGNE DES CONTENANTS

La mise en place de la nouvelle ligne de tri des contenants a permis de réduire considérablement la proportion de rejets du site :

- avec la ligne de tri manuel : 32 t/j de rejets dont 16 t/j sur la ligne des contenants;
- avec la ligne de tri optique : 25 t/j de rejets, dont 7,5 t/j sur la ligne des contenants.

La figure 6-7 met en évidence l'amélioration de l'efficacité de tri obtenue. La proportion de plastiques et de fibres dans les rejets a été divisée par deux expliquant la réduction de la quantité de rejets produits.

Figure 6-7 Caractérisation des rejets avant et après l'installation des tris optiques



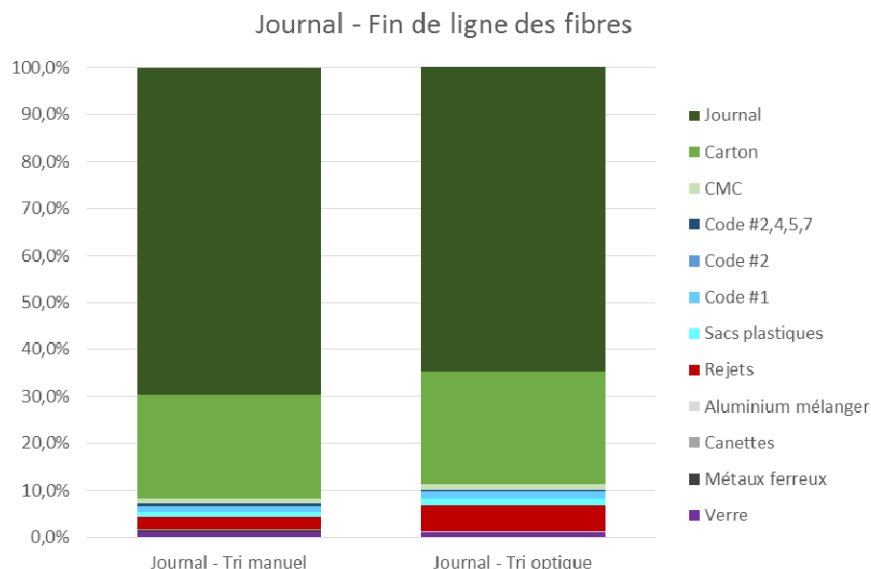
6.2.4.2 JOURNAL #7, FIN DE LIGNE DES FIBRES

Bien que la ligne de tri manuel des fibres n'ait pas changé, la mise en service de la nouvelle ligne des contenants a eu un impact sur la qualité des fibres. En effet, des ajustements sur le séparateur balistique et d'autres séparateurs en amont ont permis d'améliorer la qualité des fibres envoyées vers la ligne des fibres, car les fibres résiduelles dirigées vers la ligne des contenants sont depuis traitées par les tris optiques.

Cependant, le retour d'expérience n'est pas suffisant pour documenter cet impact. De plus, les caractérisations du journal sont à prendre avec précaution, car les prises d'échantillons ont été faites soit sur une ligne en particulier soit sur le convoyeur connectant les trois lignes de tri.

La figure 6-8 présente le résultat des caractérisations faites par le centre avant et après l'installation de la nouvelle ligne. Les écarts observés ne sont pas significatifs.

Figure 6-8 Caractérisation du journal #7 avant et après l'installation des tris optiques



6.3 ANALYSE DES CONTENANTS MULTICOUCHES SUR LA LIGNE DES FIBRES

Les données collectées lors du projet permettent d'estimer la quantité de CMC dirigée vers la ligne des fibres. Pour les deux centres de tri participant au projet, les journaux #7 et #8 sont les fins de ligne des fibres. Ainsi, un CMC orienté vers la ligne des fibres lors de l'étape de séparation des contenants et des fibres finira normalement dans le flux des journaux. Les caractérisations des journaux combinées avec la production de ballots de journaux sur la même période permettent d'avoir une estimation relativement précise de la quantité de CMC sur la ligne des fibres.

- Pour le centre de tri Récupération Frontenac, la production horaire de journal #8 a été de 3 489 kg/h sur deux semaines d'étude. Le centre fonctionnant sur deux quarts de travail, la quantité annuelle de journal est estimée à 12 789 t/an.
- Pour le centre de tri de la Ville de Québec – Société V.I.A., la production horaire de journal #7 a été de 11 573 kg/h sur deux semaines d'étude. Le centre fonctionnant sur un quart de travail, la quantité annuelle de journal est estimée à 22 568 t/an.

Le tableau suivant présente les résultats de l'analyse sur la ligne des fibres. La proportion de CMC se retrouvant sur la ligne des fibres peut être définie de deux façons :

- soit en comparant avec la quantité de CMC estimée au niveau de l'arrivage des centres;
- soit en comparant avec la quantité de CMC estimée dans les matières produites.

Tableau 6-3 Analyse des CMC sur la ligne des fibres

	Récupération Frontenac	Société V.I.A.
Matières vendues →	Journal #8	Journal #7
Nombre de quarts par jour	2	1
Journal		
Production horaire	3489 kg/h	11572 kg/h
Production annuelle	12 789 t/an	22 566 t/an
Taux de CMC	0,87%	0,71%
CMC dans journal		
Quantité horaire de CMC	30,4 kg/h	82,7 kg/h
Quantité annuelle de CMC	111 t/an	161 t/an
CMC à l'arrivage		
Matières reçues par le centre	29 000 t/an	54 000 t/an
Taux de CMC intrant	2,50%	2,26%
Quantité annuelle de CMC	725 t/an	1 222 t/an
Part des CMC dans les fibres	15,4%	13,2%
CMC dans les matières triées		
Quantité horaire de CMC	126 kg/h	473 kg/h
Quantité annuelle de CMC	464 t/an	921 t/an
Part des CMC dans les fibres	24,0%	17,5%

On observe un décalage important entre l'estimation de CMC faite au niveau de l'arrivage par rapport à celle issue des matières triées, 64 % pour Récupération Frontenac et 75 % pour Société V.I.A. Cet écart est lié aux imprécisions de l'exercice. Plusieurs effets viennent se cumuler et entraînent ces écarts : les incertitudes des caractérisations, les prises d'échantillons, la quantité approximative de matières reçues annuellement, les erreurs sur le tonnage produit de matières, les approximations sur la densité des ballots, etc.

Néanmoins, cette analyse sur les fibres montre qu'une part non négligeable de CMC est dirigée vers la ligne des fibres. On estime ainsi que la part des CMC dans les fibres varie entre 10 et 30 % en prenant en compte la variabilité de cette proportion et les incertitudes du calcul.

La valeur inférieure de cette plage a été observée lors de la première série d'essais. Des observations sur la ligne des fibres avaient été effectuées sur des périodes courtes et donnaient une proportion de CMC dirigés vers la ligne des fibres proche de 6 %. Cependant, la fiabilité de ces observations (les CMC peuvent facilement être masqués par des journaux) n'est pas suffisante pour certifier cette valeur, mais donne une idée de la variation.

La valeur supérieure est quant à elle présentée ci-après.

6.3.1 ANALYSE DES DONNÉES DU CENTRE DE TRI DE LA VILLE DE QUÉBEC POUR DÉFINIR LA PART DE CONTENANTS MULTICOUCHES DANS LES FIBRES

Le tableau 6-4 présente la quantité de matières vendues pour chaque flux au centre de tri de la Ville de Québec entre mai et juin 2016 et la proportion de CMC présente dans chacun d'eux. La proportion de CMC a été déterminée à partir des caractérisations de juin à août 2016, la période de rodage étant exclue de l'analyse. Concernant le flux de CMC, la configuration avec contrôle qualité était utilisée, soit la configuration 7 de notre analyse (voir tableau 3-3).

Tableau 6-4 Répartition des contenants multicouches par flux entre mai et juin 2016

	Quantité totale de mai à juin 2016	Taux de CMC – Après rodage	Quantité de CMC
Cannettes	29 t/an	0,2 %	0,0 t/an
Plastiques #1 (PET)	261 t/an	0,1 %	0,3 t/an
Plastiques #2 (HDPE)	140 t/an	0,1 %	0,1 t/an
Plastiques mixtes	178 t/an	0,4 %	0,8 t/an
Rejets ligne des contenants	441 t/an	3,8 %	16,6 t/an
CMC (avec contrôle qualité)	125 t/an	91,3 %	114,0 t/an
Papiers mixtes	374 t/an	1,3 %	4,9 t/an
Sous-total - ligne des contenants	1 547 t/an		136,7 t/an
Journal	5 030 t/an	1,3 %	64,1 t/an
Verres	2 179 t/an	0 %	0,0 t/an
Autres rejets	1 028 t/an	0 %	0,0 t/an
Autres matières	2 520 t/an	0 %	0,0 t/an
Sous-total – Autres matières	10 758 t/an		64,1 t/an
TOTAL	12 305 t/an	1,6 %	200,8 t/an

Les taux de CMC dans le verre, les autres rejets et les autres matières ont été estimés comme négligeables.

Bien que le taux de CMC dans le journal soit de 1,3 %, plus de 30 % des CMC se retrouvent sur la ligne des fibres. À partir de ces données, les taux de capture des CMC peuvent être estimés à :

→ 57 % sur la globalité du centre;

→ 83 % sur la ligne des contenants.

Ces résultats obtenus à partir des données transmises par la société V.I.A. sur la période de mai à juin 2016 confirment l'estimation faite précédemment : la part des CMC dans les fibres peut atteindre 30 %.

7 ANALYSE ÉCONOMIQUE DU TRI DES CONTENANTS MULTICOUCHES

L'étude du contexte actuel et les analyses techniques quant à la faisabilité technique du tri des contenants multicouches ont permis de mieux circonscrire les solutions qui pourraient être déployées dans les centres de tri. Dans cette dernière section du rapport, l'analyse économique de ces scénarios potentiels sera conduite et discutée.

7.1 PRÉSENTATION DES 6 SCÉNARIOS RETENUS

Pour cette analyse économique, six scénarios différents ont été considérés qui représentent autant de situations initiales et potentielles crédibles pour les centres de tri. D'autres situations et configurations du centre de tri peuvent cependant exister. Seules celles en lien avec les configurations de tri observées précédemment seront étudiées.

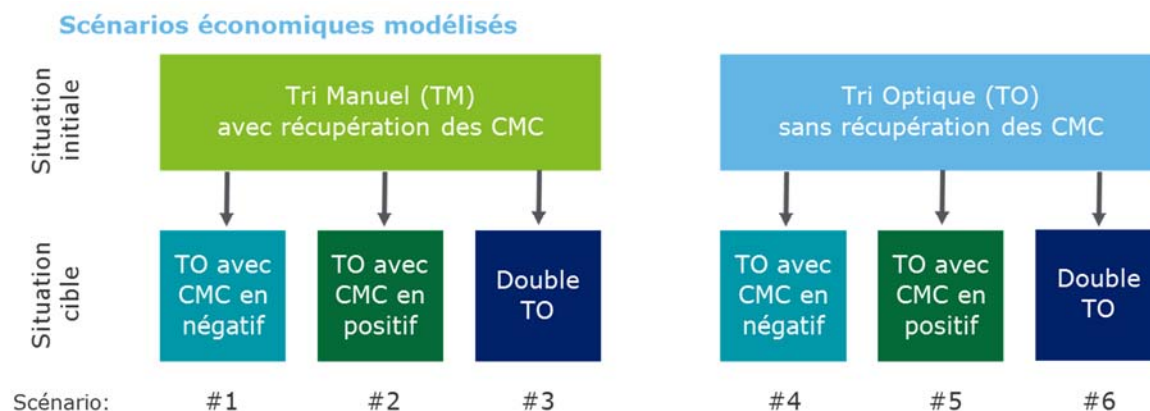
Pour les deux situations initiales modélisées, nous considérons que le centre de tri se trouve :

- soit dans une configuration de tri manuel (TM) de la ligne des contenants avec tri des CMC (il paraît en effet peu probable qu'un centre de tri en configuration manuelle se prive des revenus potentiels des CMC, lesquels sont vendus à un prix supérieur par rapport aux papiers mixtes ou à la cartonnnette);
- soit dans une configuration de tri optique (TO) de la ligne des contenants, mais dans laquelle les CMC ne sont pas triés, mais intégrés à un autre flux (cartons, cartonnnette ou papiers mixtes) et donc valorisés au prix de vente associé.

Pour les situations cibles modélisées, seules des configurations avec trieurs optiques sont modélisées, puisque dans la situation d'un centre de tri « manuel », l'alternative passe nécessairement par l'installation d'une telle machine, tandis que dans la situation d'un centre de tri déjà équipé d'un trieur optique, il n'est pas raisonnable de penser qu'il puisse repasser en mode manuel. Ainsi, pour la récupération des CMC sur la ligne des contenants, les scénarios cibles étudiés sont :

- trieur optique, configuré en négatif pour les CMC;
- trieur optique, configuré en positif pour les CMC;
- double trieur optique, installé en série.

Figure 7-1 Présentation des six scénarios pour l'analyse économique



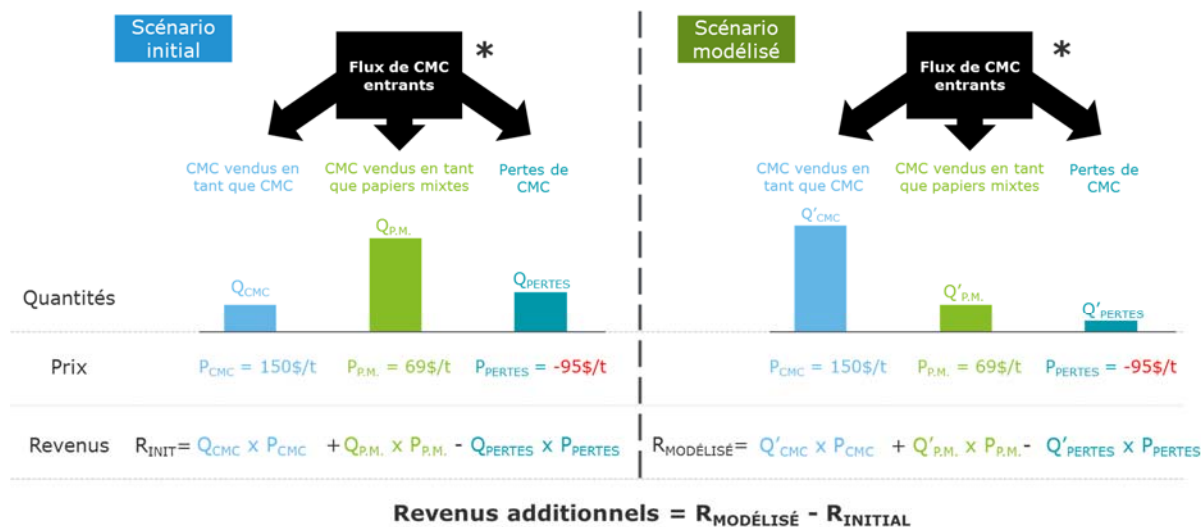
Bien que la situation initiale puisse différer selon chaque centre de tri, ces six scénarios devraient refléter des situations assez proches des situations et des options rencontrées au Québec.

7.2 HYPOTHÈSES ET PRINCIPAUX PARAMÈTRES RETENUS

Le principe directeur de cette étude est que les scénarios sont étudiés en analysant les gains/pertes additionnels par rapport à la situation initiale. Si un centre de tri décide en effet d'investir dans un meilleur tri des matières sur sa ligne des contenants, les investissements en matériel et personnel seront compensés par les revenus additionnels générés par ces matières nouvellement ou mieux triées.

Dans le cas où les CMC sont déjà triés, on ne considère que les volumes supplémentaires que les nouveaux équipements et choix organisationnels permettent de générer. La figure 7-2 illustre ce principe.

Figure 7-2 Principe des revenus et coûts additionnels (données fictives)



* : un autre flux, plus marginal, n'est pas représenté ici et consiste en un flux de CMC mal triés dans les métaux et plastiques. Nous avons alors considéré une valeur de 0\$/t.

Les principaux paramètres retenus ont fait l'objet de discussion avec les parties prenantes et les experts impliqués sur ce projet et sont les suivants :

- Flux de matières sur la ligne des contenants : 2 000 kg/h, dont 6 % de CMC sur deux quarts de travail.
Ce flux correspond à un centre de tri d'une capacité de traitement de l'ordre de 25 000 tonnes par an, toutes matières considérées, soit un centre de tri de taille moyenne pour l'industrie.
- Taux de capture (trieur humain et TO) : alignés sur les mesures de WSP et NI Corporation présentées dans les sections précédentes.
- Prix de revente des matières récupérées: basé sur l'indice des prix de revente des matières compilé par RECYC-QUÉBEC. Le prix retenu est la plus faible valeur des trois moyennes suivantes : moyenne sur 1 an, moyenne cumulée 2 ans et moyenne cumulée 3 ans (voir annexe 8). Le prix de revente des CMC fait cependant exception. Après discussion avec des experts du secteur, il s'avère que celui-ci demeure stable depuis un an et demi à environ 150 \$/t (contre 172 \$/t selon la plus faible des trois moyennes mentionnées ci-dessus). Afin de ne pas surestimer les revenus liés aux CMC dans les différents scénarios de l'analyse et ne pas introduire un biais à l'étude, la valeur des experts est retenue.
Note : le coût du transport, variable d'un centre à l'autre, n'a pas été pris en compte dans le prix de revente.
- Dépenses d'immobilisations¹ :
 - Entre 460 k\$ et 690 k\$ pour l'achat d'un trieur optique (incluant séparateur, autres équipements et installations; la fourchette prend en compte différentes hypothèses de taille et variations de tarifs et provient des sources suivantes : WSP, fournisseurs, retour d'expérience des centres de tri)

- ii. Allocation de l'investissement du trieur optique aux CMC : 6 % (soit la part des CMC dans les volumes de la ligne des contenants)
- e) Dépenses d'exploitation³ :
- i. Salaire pour un opérateur de tri sur la ligne des CMC : entre 27 100 \$ et 37 400 \$/an (la fourchette varie selon un taux horaire entre 11,33 \$/h et 15 \$/h). Ces opérateurs travaillent avec un rendement oscillant entre 35~36 pics/min (tri manuel des CMC) et 40~43 pics/min (pour les opérateurs sur les lignes de tri optique en négatif ou en positif)
 - ii. Entretien annuel du trieur optique et du séparateur : entre 4 200 et 6 600 \$/an (avec une allocation de 6 % pour les CMC)
- f) Durée de l'investissement pour la machinerie (trieur optique, séparateur, etc.) : 15 ans
Pour prendre en compte l'obsolescence du matériel, une maintenance importante lors de la huitième année est prise en compte, notamment pour mettre à jour la partie logicielle (estimée à 60 000 \$). Une revente des machines la seizième année à 10 % de la valeur initiale est également intégrée dans le modèle.
- g) Taux d'actualisation : 6 %
Ce taux reflète le niveau de risque de projets d'investissements dans le secteur des centres de tri ainsi que le coût estimé du capital. Il a été validé avec le comité de pilotage du projet.

Bien que d'autres paramètres aient été intégrés au modèle, ceux présentés ici constituent les principaux et les plus critiques pour les résultats. Pour ceux présentant une forte variabilité, des analyses de sensibilité ont été réalisées pour tester la validité des conclusions dans d'autres conditions.

7.3 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

7.3.1 RÉSULTATS PRINCIPAUX

Les revenus et investissements de chaque scénario sont présentés à la figure 7-1. Celle-ci présente les calculs intermédiaires à l'évaluation financière proprement dite des scénarios, présentés à la figure 7-2. Pour la plupart des indicateurs, des valeurs minimales et maximales sont présentées pour refléter les options disponibles (exemple : salaire à 11 \$/h [valeur minimum] ou salaire à 15 \$/h [valeur maximum]).

³ Source : WSP, fournisseurs, retour d'expérience des centres de tri

Tableau 7-1 Revenus et investissements par scénario

	Scénario #1	Scénario #2	Scénario #3	Scénario #4	Scénario #5	Scénario #6
	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC
Revenus additionnels totaux (\$/an)						
	14 352 \$	23 678 \$	24 066 \$	26 775 \$	36 101 \$	36 489 \$
Investissements / immobilisations (\$)						
Minimum	28 067 \$	28 067 \$	56 133 \$	0 \$	0 \$	28 067 \$
Maximum	33 264 \$	33 264 \$	66 528 \$	0 \$	0 \$	33 264 \$
Dotation aux amortissements (\$/an)						
Minimum	1 871 \$	1 871 \$	3 742 \$	0 \$	0 \$	1 871 \$
Maximum	2 218 \$	2 218 \$	4 435 \$	0 \$	0 \$	2 218 \$
Frais de fonctionnement additionnels (\$/an)						
Minimum	252 \$	10 008 \$	-16 841 \$	44 446 \$	54 203 \$	27 353 \$
Maximum	396 \$	13 874 \$	-23 170 \$	61 402 \$	74 880 \$	37 836 \$

Même si les scénarios #1, #2 et #3 ne se comparent pas aux scénarios #4, #5 et #6 du fait de configurations de centre de tri bien différentes, les revenus additionnels totaux sont supérieurs pour les scénarios #4 à #6, puisque l'on modélise dans ce cas des situations où les CMC n'étaient auparavant pas récupérés. Les scénarios #5 et #6 ont un revenu additionnel plus élevé que le scénario #4 car les taux de capture globaux sont meilleurs (84 % pour le scénario #4 et environ 90 % pour les scénarios #5 et #6, voir Tableau 6-1). Précédemment vendus comme papier mixte à un prix du marché bien inférieur ou rejetés (avec un coût associé à l'enfouissement ou au transport vers un lieu de valorisation énergétique), les CMC génèrent maintenant des revenus en tant que tels.

Pour les trois premiers scénarios, les CMC étant déjà vendus, les revenus additionnels présentés correspondent à la part additionnelle des CMC désormais mieux triés (auparavant rejetés ou valorisés énergétiquement).

Pour les investissements, amortissements et frais de fonctionnements additionnels, des valeurs minimales et maximales sont calculées, pour rendre compte des différents cas de figure possible.

On notera que les scénarios #4 et #5 n'ont pas de dépenses d'immobilisations ni d'amortissements. Cela est dû au fait que l'on part d'une situation initiale où le centre de tri dispose déjà de trieurs optiques et que la récupération des CMC consiste alors en une réorganisation opérationnelle de la ligne des contenants. Cela implique toutefois des frais de fonctionnement additionnels reflétant l'ajout d'opérateurs de tri sur la ligne des CMC.

De manière similaire, les scénarios #1 à #3 présentent des frais de fonctionnement additionnels bien inférieurs aux scénarios #4 à #6. Partant d'un tri manuel, il n'y a en effet pas d'opérateur de tri supplémentaire à prévoir (voire on supprime un poste dans le cas d'un double trieur optique). Seul un ou plusieurs contrôleurs qualité sont ajoutés pour les scénarios #2 et #3.

Rappel important : pour les dépenses en capital (machines), une allocation de 6 % de la valeur totale de l'immobilisation est appliquée, proportionnelle au poids des CMC dans la ligne des contenants.

Note sur les indicateurs financiers utilisés :

- *La valeur actuelle nette (VAN)⁴ est le flux de trésorerie actualisé représentant l'enrichissement supplémentaire d'un investissement par rapport au minimum exigé par les apporteurs de capitaux (soit le taux d'actualisation de 6 %/an retenu).*
- *Le Délai de Récupération du Capital Investi (DRCI, aussi appelé Point Mort ou Break Even en anglais) est le nombre d'années jusqu'à ce que le cumul des flux de trésorerie atteigne le capital investi.*
- *Le taux de rendement ou rentabilité interne (TRI) est un taux d'actualisation qui annule la valeur actuelle nette d'une série de flux financiers. Dans la présente analyse, il correspond donc au taux d'actualisation maximum qui pourrait être retenu pour obtenir une VAN nulle au bout de 15 ans.*

Tableau 7-2 Évaluation financière des scénarios

	Scénario #1	Scénario #2	Scénario #3	Scénario #4	Scénario #5	Scénario #6
	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC
VAN (min)	65 514 \$	62 852 \$	211 908 \$	-184 318 \$	-188 756 \$	34 845 \$
VAN (max)	61 071 \$	35 418 \$	243 893 \$	-358 874 \$	-401 628 \$	-48 140 \$
VAN moyenne	63 293 \$	49 135 \$	227 900 \$	-271 596 \$	-295 192 \$	-6 648 \$
DRCI non actualisé (min)	3,0	3,1	2,2	>20 ans	>20 ans	4,5
DRCI non actualisé (max)	3,6	4,9	2,2	>20 ans	>20 ans	>20 ans
DRCI moyen non actualisé	3,3	4,0	2,2	>20 ans	>20 ans	12,3
Taux de rendement interne (15 ans)	43 %	35 %	84 %	projet non rentable	projet non rentable	projet neutre

Les scénarios #1 à #3 présentent tous une valeur actuelle nette (VAN) positive et un retour sur investissements moyen de 4 ans et moins. En reprenant les données du tableau 7-1, ces résultats s'expliquent par le fait que les CMC mieux triés génèrent des revenus suffisants pour compenser l'investissement en immobilisations initial. Ces scénarios n'ont que de faibles dépenses récurrentes

⁴ Source des trois définitions financières : Wikipédia, consulté le 21 octobre 2016.

d'exploitation car ils ne nécessitent pas ou peu d'opérateurs de tris supplémentaires par rapport à la situation initiale de tri manuel de la ligne des contenants.

- Le scénario #1 génère après 15 ans une VAN moyenne d'un peu moins de 63 300 \$ et se rentabilise dès le début de la troisième année (DRCI moyen).
- Proche, le scénario #2 est cependant un peu moins profitable, car il nécessite un contrôle qualité sur la ligne des contenants en sortie du trieur optique. La VAN dégagée après 15 ans est de 49 100 \$ et la rentabilité atteinte au bout de 4 ans en moyenne.
- Dans le cas du scénario #3, l'ajout d'un double trieur optique représente certes un important investissement initial, et un contrôle qualité est nécessaire sur la ligne, mais cette configuration voit globalement les dépenses d'exploitation récurrentes diminuer du fait de la suppression d'un poste d'opérateur de tri (lequel peut être positionné ailleurs dans le centre de tri).
- Pour les scénarios #4 et #5, on constate que la VAN après 15 ans est largement négative et que la rentabilité n'est jamais atteinte avec les paramètres actuels. Cette situation résulte de dépenses d'exploitation (salaires du ou des opérateurs de tri additionnels nécessaires) supérieures aux revenus additionnels générés par la vente des CMC.
- Pour le scénario #6, la VAN moyenne après 15 ans est quasi nulle (-6 600 \$). À la différence des scénarios #4 et #5, l'utilisation d'un double trieur optique implique certes un investissement initial plus important mais nécessite moins de poste d'opérateur de tri que les scénarios #4 et 5.

7.3.2 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Comme certains paramètres ont une grande incidence sur les résultats financiers, plusieurs analyses de sensibilité ont été menées.

7.3.2.1 IMPACT DE LA VARIATION DU FLUX SUR LA LIGNE DE CONTENANTS

Dans l'analyse initiale, le flux de matières traité sur la ligne des contenants était fixé à 2 000 kg/h sur deux quarts de travail, soit celui correspondant à un centre de tri d'une capacité totale d'environ 25 000 tonnes par an. Pour cette première analyse de sensibilité, ce paramètre de flux des matières est porté à 4 000 kg/h sur deux quarts de travail, pour mieux rendre compte de la situation d'un grand centre de tri (soit une capacité totale d'environ 50 000 t/an, toutes matières confondues). Il est à noter qu'un flux plus important de contenants implique, pour les scénarios manuels et tri optique simple, un doublement du nombre d'opérateurs de tri (initial et cible).

Le tableau 7-3 et le tableau 7-4 présentent les résultats.

Tableau 7-3 Revenus et investissements par scénario – flux de 4 000 kg/h ; 2 quarts de travail

	Scénario #1	Scénario #2	Scénario #3	Scénario #4	Scénario #5	Scénario #6
	Initial : TM avec tri des CMC Cible : TO en négatif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC
Revenus additionnels totaux (\$/an)						
	28 705 \$	47 356 \$	48 132 \$	53 550 \$	72 201 \$	72 977 \$
Investissements / immobilisations (\$)						
Minimum	32 918 \$	32 918 \$	65 835 \$	0 \$	0 \$	32 918 \$
Maximum	41 580 \$	41 580 \$	83 160 \$	0 \$	0 \$	41 580 \$
Dotation aux amortissements (\$/an)						
Minimum	2 195 \$	2 195 \$	4 389 \$	0 \$	0 \$	2 195 \$
Maximum	2 772 \$	2 772 \$	5 544 \$	0 \$	0 \$	2 772 \$
Frais de fonctionnement (\$/an)						
Minimum	252 \$	10 008 \$	-71 044 \$	98 649 \$	108 405 \$	27 353 \$
Maximum	396 \$	13 874 \$	-98 050 \$	136 282 \$	149 760 \$	37 836 \$

Tableau 7-4 Évaluation financière des scénarios – flux de 4 000 kg/ h ; 2 quarts de travail

	Scénario #1	Scénario #2	Scénario #3	Scénario #4	Scénario #5	Scénario #6
	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC
VAN (min)	150 853 \$	205 793 \$	688 740 \$	-466 685 \$	-375 117 \$	256 918 \$
VAN (max)	144 040 \$	175 991 \$	843 710 \$	-854 113 \$	-800 862 \$	186 244 \$
VAN moyenne	147 446 \$	190 892 \$	766 225 \$	-660 399 \$	-587 990 \$	221 581 \$
DRCI non actualisé (min)	1,8	1,4	0	>20 ans	>20 ans	1,2
DRCI non actualisé (max)	2,3	2,0	0	>20 ans	>20 ans	1,9
DRCI moyen non actualisé	2,1	1,7	0	>20 ans	>20 ans	1,5
Taux de rendement interne (15 ans)	98 %	Projet rentable dès la 2 ^e année	projet rentable dès le début	projet non rentable	projet non rentable	Projet rentable dès la 2 ^e année

Un flux plus important de matières sur la ligne des contenants n'entraîne pas simplement un doublement des revenus et des coûts. Un plus grand flux de matière implique une machinerie plus grande (ex. largeur du séparateur de 2 800 mm contre 1 600 mm auparavant), c'est-à-dire des coûts d'immobilisation plus importants.

Il faut également plus d'opérateurs de tri pour pouvoir gérer correctement un flux plus important. Cela entraîne dans certains cas une augmentation des frais de fonctionnement (scénarios #4 et #5) par rapport au scénario initial.

Enfin, les scénarios avec double trieur optique (#3 et #6) sont d'autant plus « avantageux » qu'ils permettent de plus grandes économies dans les frais de fonctionnement (proportionnellement moins d'opérateurs de tri que les autres scénarios).

- Le scénario #1 est toujours rentable et voit son délai moyen de récupération du capital investi (DRCI) diminuer de près d'un an et demi par rapport au scénario #1 de référence.
- Le scénario #2 voit lui aussi son DRCI diminuer, mais dans une plus forte proportion : les revenus étant plus importants que dans le scénario #1 (meilleur taux de capture), ils compensent plus rapidement l'investissement initial de la machinerie. Le DRCI moyen passe de 4 ans à 1,7 année et la VAN à 15 ans est d'un peu plus de 190 000 \$.
- Le scénario #3 devient le plus rentable des scénarios modélisés, avec une VAN moyenne à 15 ans de plus de 760 000 \$ et une rentabilité immédiate (les flux de trésorerie sont toujours positifs). Par rapport à l'analyse à 2 000 kg/h, le doublement des revenus générés par les CMC sans grande augmentation des coûts d'immobilisation et l'économie relative sur les frais de fonctionnement expliquent ces résultats.
- Les scénarios #4 et #5 restent non rentables avec les paramètres actuels. Les raisons sont identiques à celles mentionnées dans l'analyse de référence, avec des revenus qui certes augmentent mais restent inférieurs aux dépenses d'exploitation qui croissent elles aussi.
- Le scénario #6, quasi à l'équilibre dans l'analyse à 2 000 kg/h, devient largement positif, avec une VAN moyenne à 15 ans de plus de 220 000 \$ et un début de rentabilité dès un an et demi. Comme pour le scénario #3, le doublement des revenus sans augmentation proportionnelle des coûts d'immobilisation et des frais de fonctionnement stables par rapport au scénario #6 de référence, expliquent ces résultats.

7.3.2.2 IMPACT DE LA VARIATION DU PRIX DES CMC

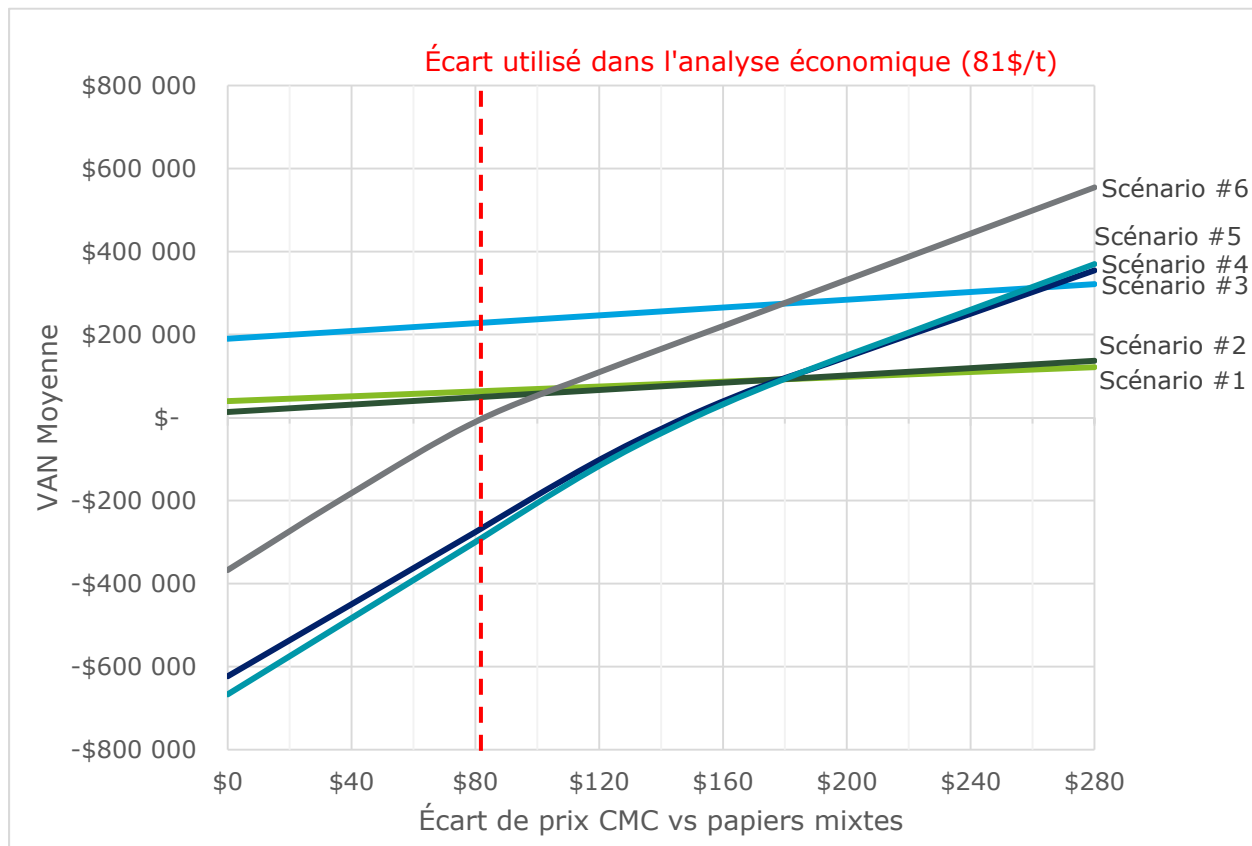
Tel que précisé dans la section 7.2, le prix des matières considéré provient de l'indice colligé mensuellement par RECYC-QUÉBEC. Pour les scénarios dont la situation initiale consistait en un centre de tri avec trieur optique sur la ligne des contenants sans récupération des CMC (scénarios #4 à #6), il a été considéré que ceux-ci se retrouvaient dans les papiers mixtes, soit un prix de revente de 69 \$/t selon notre modèle. Par rapport au prix de revente des CMC de 150 \$ considéré dans notre étude, cela correspondait à un différentiel de prix de 81 \$/t.

Suite à des discussions avec des experts et acteurs du secteur, il est admis que des contrats de gré-à-gré peuvent être conclus entre des centres de tri et des acheteurs, pour un montant plus élevé que celui suivi par RECYC-QUÉBEC. Ces prix négociés sont généralement confidentiels et peuvent varier d'un cas à l'autre.

Aussi, plutôt que de simuler plusieurs variations du prix des papiers mixtes et des CMC, cette analyse de sensibilité porte sur le différentiel de prix nécessaire entre les papiers mixtes et les CMC pour que les

scénarios soient rentables. Cette analyse est présentée à la figure 7-3 (elle est basée sur un flux de 2 000 kg/h sur la ligne des contenants et deux quarts de travail).

Figure 7-3 Impact de l'écart de prix Papier mixte vs CMC sur la VAN moyenne (flux à 2 000 kg/h ; 2 quarts de travail)



Pour les scénarios #1, #2 et #3, la mise en place d'un trieur optique dans un centre triant les contenants manuellement est rentable (ou sans impact financier) quel que soit l'écart de prix entre les papiers mixtes et les CMC.

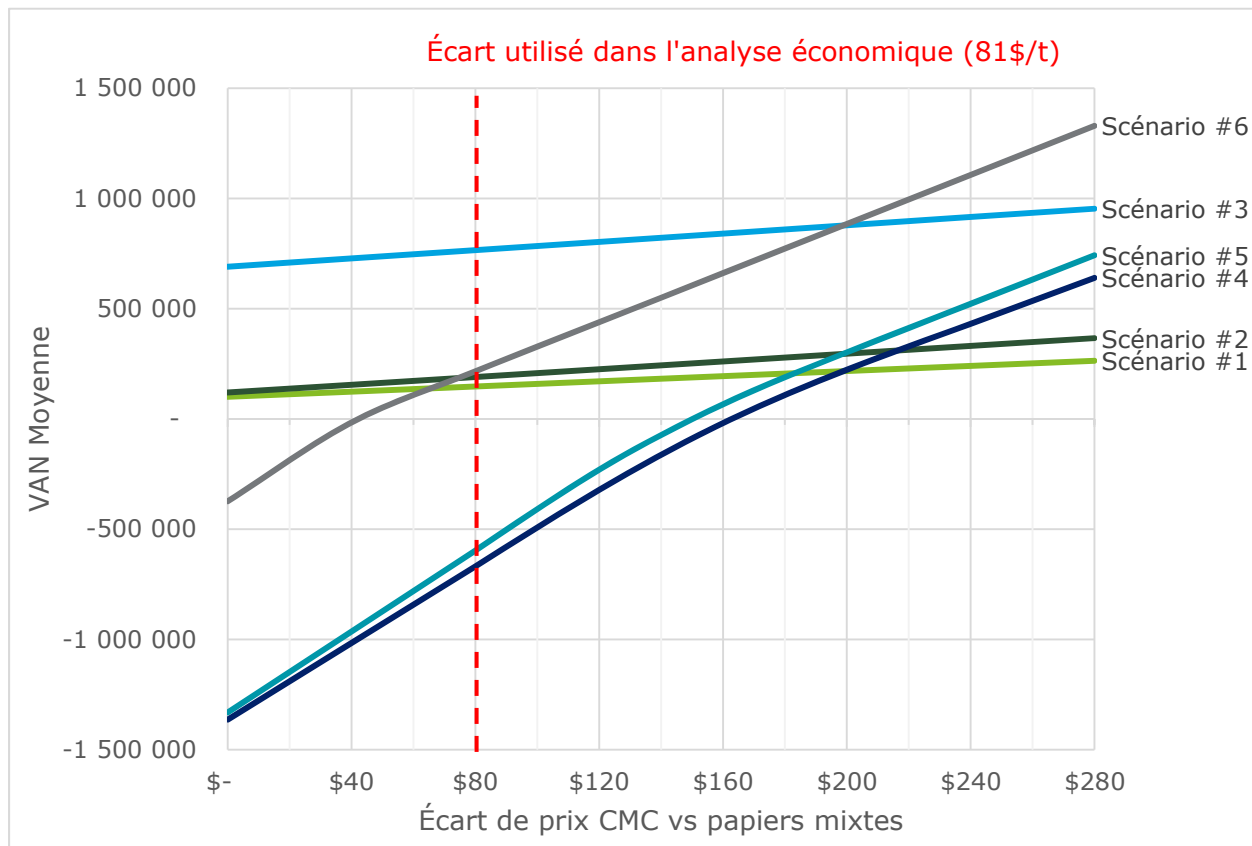
Les scénarios #4 et #5 nécessitent un écart de prix de 155 \$/t de plus pour les CMC par rapport aux papiers mixtes pour afficher une VAN moyenne à 15 ans nulle ou positive. Cette situation s'est déjà produite en quelques occasions si l'on se réfère à l'historique des indices RECYC-QUÉBEC.

Le scénario #6 devient rentable dès lors que les CMC sont revendus 80 \$/t de plus que les papiers mixtes.

La figure 7-4 teste la même sensibilité des prix de revente, mais sur un flux de la ligne des contenants à 4 000 kg/h, toujours sur deux quarts de travail. Les conclusions sont globalement les mêmes, sauf pour le scénario #6 qui est rentable dès un écart de prix entre papiers mixtes et CMC de 40 \$/t environ, et le scénario #4 qui demande un écart de 160 \$/t. Le scénario #5 génère plus tôt des revenus car le taux de capture est légèrement plus élevé (89 % vs 84 %). Comme la VAN (que l'on utilise ici pour l'ordonnée du

graphique) est indexée d'un taux d'actualisation, cela tend à accroître les différences. Par rapport à la figure 7-3, on double ici les revenus, donc on accentue d'autant les différences entre ces 2 scénarios.

Figure 7-4 Impact de l'écart de prix Papier mixte vs CMC sur la VAN moyenne (flux à 4 000 kg/h ; 2 quarts de travail)



[Note : l'échelle utilisée ici pour la VAN est différente de celle utilisée dans la figure 7-3]

7.3.2.3 ALLOCATION DIFFÉRENTE DES OPÉRATEURS DE TRI DES CMC

Dans la modélisation de base, il a été considéré que les opérateurs affectés au tri des CMC dans les scénarios cibles étaient alloués à 100 % aux CMC. Si on considère que leur rôle n'est pas seulement de trier les CMC, mais également d'augmenter la pureté des autres matières (métaux/aluminium dans la configuration tri optique négatif ; papier mixte dans la configuration tri optique positif), on peut alors considérer une allocation de 50 % du coût du trieur aux CMC, le reste devant être alloué à la matière qui bénéficie d'une plus grande pureté. Les résultats sont présentés dans le tableau 7-5 ci-dessous.

Tableau 7-5 Impact de l'allocation à 50 % du salaire des opérateurs de tri pour les CMC (flux à 2000kg/h, 2 quarts de travail)

	Scénario #1	Scénario #2	Scénario #3	Scénario #4	Scénario #5	Scénario #6
	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TM avec tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en négatif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: TO en positif pour les CMC	Initial : TO sans tri des CMC Cible: double TO et tri des CMC
VAN (min)	232 919 \$	230 257 \$	211 908 \$	55 856 \$	53 194 \$	34 845 \$
VAN (max)	292 338 \$	266 685 \$	243 893 \$	14 985 \$	-16 184 \$	-48 140 \$
VAN moyenne	262 628 \$	248 471 \$	227 900 \$	35 420 \$	18 505 \$	-6 648 \$
DRCI non actualisé (min)	1,1	1,1	2,2	0	0	4,5
DRCI non actualisé (max)	1,0	1,1	2,2	0	20	20,0
DRCI moyen non actualisé	1,1	1,1	2,2	0	10	12,3
Taux de rendement interne (15 ans)	Projet rentable dès la 2 ^e année	Projet rentable dès la 2 nd année	84%	Projet rentable	Projet à l'équilibre	

Cette allocation différente permet de réduire les coûts opérationnels, du point de vue des CMC, des scénarios #1, #2, #4 et #5 (dans le cas des doubles trieurs optiques, il n'y a pas d'opérateur de tri, uniquement des contrôles qualité).

Les scénarios #1 et #2 voient leur DRCI moyen passer de 3~4 ans à un peu plus d'un an seulement.

Pour le scénario #4, avec la baisse du coût alloué au trieur, les revenus équivalent voire dépassent un peu les frais de fonctionnement (pour rappel, il n'y a pas d'immobilisation dans ce scénario). Après 15 ans, la VAN moyenne est d'un peu plus de 35 000 \$.

Pour le scénario #5, la situation est là encore meilleure que dans la modélisation de référence (voir tableau 7-2). Les coûts associés aux contrôles qualité restent cependant présents et peuvent générer une VAN négative après 15 ans (hypothèses « max »). On parlera dans ce cas de scénario à l'équilibre.

7.3.2.4 AUTRES ANALYSES DE SENSIBILITÉ ÉTUDIÉES

L'atteinte de la rentabilité économique pour les scénarios #4 et #5 est très dépendante des choix retenus en ce qui concerne les opérateurs, qu'ils soient affectés au tri de la matière ou au contrôle qualité du flux.

Une première analyse de sensibilité à l'efficacité des trieurs a été conduite pour tester l'influence d'un opérateur ayant une capacité de tri d'environ 55 pics/min (c'est-à-dire capable d'identifier et de prélever 55 CMC de la ligne pour les mettre dans le bac de récupération dédié). Ce nombre est considéré comme une très bonne efficacité et s'observe auprès d'employés expérimentés (nous avons cependant conservé le niveau de salaire de 11 \$/h à 15 \$/h). Compte tenu du fait que les CMC ne représentent que 6 % du

flux de la ligne des contenants, il n'y a pas suffisamment de produits à chaque minute pour atteindre l'efficacité maximum de l'opérateur. On peut en revanche considérer que cet opérateur pourra ne consacrer que 80 % de son temps aux CMC et effectuer un travail de contrôle qualité sur la ligne le reste du temps. Dans ces conditions très favorables, et sans la variation du salaire de l'opérateur en question, on ne parvient pas davantage à la rentabilité en conservant inchangés les paramètres de base du modèle. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau 7-6 ci-dessous.

Tableau 7-6 Analyse de sensibilité de l'efficacité des opérateurs de tri (flux à 2 000 kg/h et 2 quarts de travail)

	Opérateur à ~40 pics/min		Opérateur à ~55 pics/min	
	Scénario #4	Scénario #5	Scénario #4	Scénario #5
VAN (min)	-184 318 \$	-188 756 \$	-33 654 \$	-60 412 \$
VAN (max)	-358 874 \$	-401 628 \$	-150 734 \$	-224 324 \$
VAN moyenne	-271 596 \$	-295 192 \$	-92 194 \$	-142 368 \$

L'autre élément étudié consistait à tester si la suppression du contrôle qualité (et donc du salaire de l'opérateur affecté à cette tâche) compensait la diminution du revenu due à la baisse d'efficacité de la ligne (taux de capture passant de 96 % à 85 %). Pour un flux de 2000kg/h sur 2 quarts, il n'y a pas d'incitatif à se priver d'un contrôle qualité autant pour le scénario #5 que #6 (le scénario #4 n'est pas considéré car il ne fait pas appel à un contrôle qualité).

La même analyse a été réalisée pour un flux de 4000kg/h sur deux quarts de travail. Le résultat, présenté dans le tableau 7-7, montre que ce choix peut avoir du sens dans le cas du scénario #5 qui devient beaucoup moins déficitaire. Pour le scénario #6, il n'est pas économiquement rentable de se priver d'un contrôle qualité car les revenus diminuent fortement.

Tableau 7-7 Analyse de sensibilité d'une suppression du contrôle qualité (flux à 4 000 kg/h sur 2 quarts de travail)

	Contrôle qualité		Pas de contrôle qualité	
	Scénario #5	Scénario #6	Scénario #5	Scénario #6
VAN (min)	-375 117 \$	256 918 \$	6 690 \$	116 063 \$
VAN (max)	-800 862 \$	186 244 \$	-161 809 \$	68 379 \$
VAN moyenne	-587 990 \$	221 581 \$	-77 559 \$	92 221 \$

On le voit, l'utilisation de différents paramètres d'efficacité des opérateurs de tri ou de contrôle qualité sont à utiliser de manière spécifique pour chacun des scénarios. La configuration de la ligne des contenants, l'importance du flux de matières, le nombre d'opérateurs, ou encore le prix de revente de ballots vont agir de manière différente sur la rentabilité finale et il convient d'adapter chaque paramètre à la situation particulière des centres de tri.

8 CONCLUSION

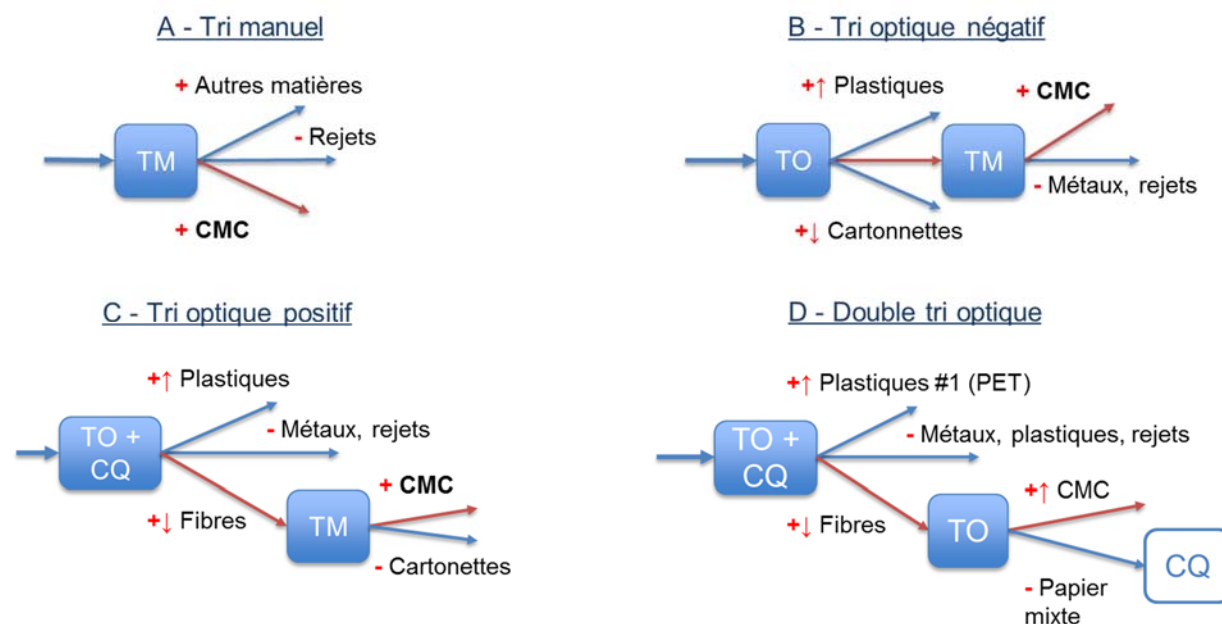
Les analyses réalisées à partir des informations disponibles concernant la performance du tri des contenants multicouches (CMC) aux centres de tri de Québec (société V.I.A.) et de Thetford Mines (Récupération Frontenac), complétées d'essais de configurations complémentaires au centre de Récupération Frontenac, ont permis de confirmer la faisabilité technique de trier séparément les contenants multicouches et de respecter les exigences du grade PSI-52.

Le choix de la configuration de tri optimale est fonction de la configuration initiale du centre de tri considéré. Les configurations de tri des CMC envisageables peuvent se résumer par la figure suivante.

Le tri manuel assure une pureté optimale au flux de CMC généré. L'efficacité du trieur est variable en fonction des configurations, mais est comprise entre 35 pics/min et 55 pics/min (valeur optimale).

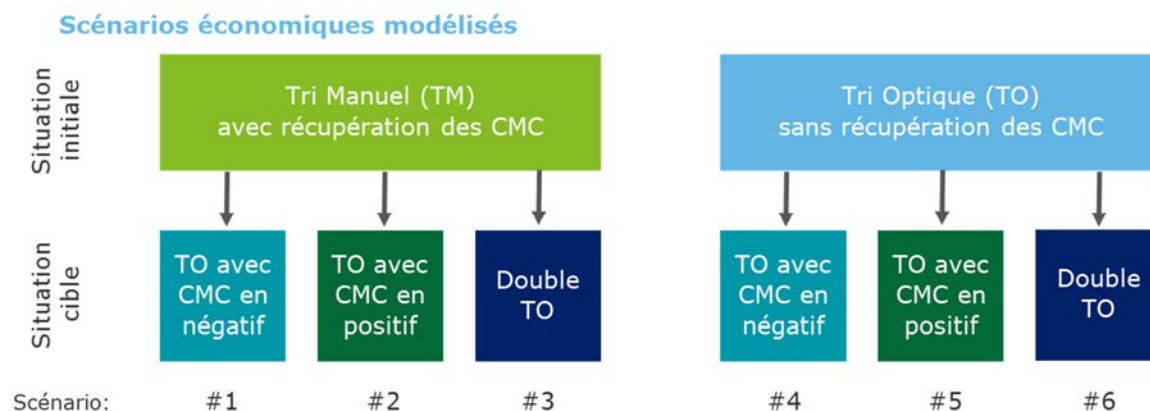
Le premier tri optique (TO) assure une efficacité de tri de 85 %. Dans le cas des configurations B, C et D, cela signifie que 15 % du gisement de CMC de la ligne des contenants sont dirigées vers les deux autres voies de tri (erreurs de tri). L'ajout d'un trieur (contrôle qualité) pour rediriger les CMC ayant fait l'objet d'une erreur de tri permet d'atteindre une efficacité de tri, après cette première étape de tri, de 96 %.

Figure 8-1 Schéma des configurations de tri des CMC



Une analyse économique du coût et de la valeur ajoutée de trier séparément les CMC a été effectuée sur la base des configurations de tri précédentes. Six scénarios ont ainsi été comparés en fonction de la situation de départ du centre de tri considéré (niveau d'automatisation de la ligne des contenants). Ces scénarios sont illustrés par la figure suivante.

Figure 8-2 Scénarios de mise en place d'un tri des CMC



Il convient en premier lieu de rappeler qu'un grand nombre de paramètres, qui correspondent à autant de choix techniques, contextuels, économiques et organisationnels pour un centre de tri donné, ont été considérés pour mener cette analyse. Les gestionnaires de centre de tri sont donc invités à utiliser les conclusions de cette étude pour cibler leurs efforts sur les pistes les plus prometteuses de tri des CMC. Cette étude ne saurait cependant remplacer une simulation spécifique pour un centre de tri donné avec ses paramètres propres.

Cette analyse montre que la décision de trier les CMC sur la ligne des contenants doit ainsi être intégrée à la stratégie de tri globale des centres concernés. Elle est dépendante de la configuration initiale des centres de tri (procédé), du contexte contractuel de ces derniers, des conditions de marché (valeur commerciale des CMC et exigences de pureté sur les différents flux de contenants).

Cette étude économique permet en premier lieu de conclure de manière assez claire que l'évolution d'un centre triant manuellement sa ligne de contenants vers un système automatisé par trieur optique est rentable financièrement dans les conditions qui prévalent actuellement en terme de prix de vente des matières. Et ce, même dans des conditions où les CMC ne seraient pas valorisés aux niveaux actuels, et quels que soient les scénarios cibles considérés (séparateur optique avec tri des CMC en négatif, en positif ou double trieur optique). Cette évolution est en outre pertinente pour des centres de tri tant de taille moyenne (25 000 t/an de capacité totale) que de grande taille (50 000 t/an). Pour le passage à un double tri optique de la ligne des contenants, il est même particulièrement rentable par rapport aux autres scénarios, même sur des lignes de 2 000 kg/h (soit 25 000 t/an de capacité totale).

Pour les centres de tri ayant déjà investi dans des trieurs optiques, la conclusion est moins catégorique d'un point de vue financier. Présentement vendus en grande partie dans les ballots de papiers mixtes (où ils sont valorisés comme tels), leur tri spécifique n'implique pas d'investissements en immobilisation spécifiques, mais nécessite des opérateurs additionnels, créant un déséquilibre entre les revenus générés et les frais de fonctionnement récurrents. Dès lors, il est plus délicat de trouver des conditions financières favorables au tri des CMC dans le contexte actuel de prix des matières. Cela est particulièrement vrai pour les scénarios #4 et #5 (séparateur optique simple, configurés respectivement en tri négatif ou positif pour les CMC), que l'on soit sur des flux moyens (2 000 kg/h sur 2 quarts) ou plus importants (4 000 kg/h sur 2 quarts). Ainsi, la valeur de vente actuelle des CMC par rapport à celle du papier mixte ne parvient pas à compenser l'augmentation des dépenses pour l'ajout du salaire d'un opérateur de tri supplémentaire; pour rendre ce scénario attrayant, les CMC devraient se vendre au moins 150 \$/t de plus, ce qui ne risque pas d'arriver à court ou moyen terme.

Dans le cas d'un double séparateur optique (scénario #6), un écart de prix de 80 \$/t entre les CMC et les papiers mixtes permet d'atteindre l'équilibre (dans le cas d'un centre de taille moyenne ou 25 000 t/an). Cette configuration offre un retour sur investissement à relativement brève échéance (un peu plus d'un an) dans le cas d'un flux plus important sur la ligne des contenants (4 000 kg/h sur 2 quarts).

L'impact de l'allocation des opérateurs de tri dédiés aux CMC a également été étudié. En effet, dans la modélisation de base, il a été considéré que les trieurs des CMC étaient alloués à 100 % aux CMC. Cependant, si on considère que leur rôle n'est pas seulement de trier les CMC, mais également d'augmenter la pureté des autres matières (métaux/aluminium dans la configuration tri optique négatif ; papier mixte dans la configuration tri optique positif), on peut alors considérer une allocation de 50 % du coût du trieur aux CMC, le reste devant être alloué à la matière qui bénéficie d'une plus grande pureté. Cette allocation différente permet de réduire les coûts opérationnels, du point de vue des CMC, des scénarios #1, #2, #4 et #5 (dans le cas des doubles trieurs optiques, il n'y a pas d'opérateur de tri, uniquement des contrôles qualité). Les scénarios #4 et #5 atteignent alors l'équilibre économique voire le dépassent légèrement.

Si la seule analyse financière justifie difficilement le tri séparé pour les CMC dans les cas des scénarios #4 et #5, d'autres raisons sont à prendre en considération, et ce, quel que soit le scénario. La demande de pureté accrue pour les fibres est un argument important qui peut être de nature cruciale pour un centre de tri, tant en termes de protection de la valeur de revente de ses autres matières (ex. lots de papiers mixtes moins contaminés), de sécurisation des contrats de gré à gré déjà conclus ou d'accès à de nouveaux marchés ayant de hautes exigences en termes de pureté des matières.

Enfin, dans le cadre du projet, un des centres participants relève qu'il est aujourd'hui difficile de vendre des ballots de CMC au grade PSI-52 à un prix supérieur à celui des ballots de CMC ayant une pureté plus faible. Néanmoins, le niveau de pureté des ballots de CMC pourrait être demain un facteur distinctif des différentes configurations de tri envisagées. Les exigences des recycleurs concernant la qualité sont donc à suivre de près afin de comprendre l'influence économique des contaminants (fibres ou autres) sur le prix de revente des ballots de CMC par les centres de tri.

Note : Les deux centres partenaires du projet ne trient pas à l'heure actuelle les CMC orientés vers la ligne des fibres. Ils sont ainsi mis en ballots avec les journaux (en fin de ligne de la ligne des fibres). Cette contamination des fibres par les CMC est cependant relativement faible (environ 0,8 %) et n'empêche pas ces centres de produire des ballots de qualité élevée (journal #7 et #8). Épuré le flux de fibres des CMC ne permettrait pas dans ce cas d'avoir un prix supérieur pour les journaux. Néanmoins, certains centres trient les CMC présents dans la ligne des fibres afin d'atteindre une qualité de journal élevée. Dans ce cas, le trieur des CMC sur la ligne des fibres pourrait permettre d'accroître la valeur du journal et pourrait avoir une valeur ajoutée très élevée (volume important et prime par tonne). Ce n'était toutefois pas l'objet de cette étude, qui se positionnait au niveau du tri sur la ligne des contenants.

Annexe 1

DÉFINITION DU GRADE PSI-52

DÉFINITION DU GRADE PSI-52

Vise les contenants pour liquide en carton blanchi, tels que les contenants aseptiques et à pignon post-consommation enduits d'une couche de polyéthylène (PE) et avec impression sur un côté, qui contiennent non moins de 70% de fibres blanchies et peuvent contenir jusqu'à 6% d'aluminium et 24% de film PE.

Les matières prohibées (prohibitive) ne doivent pas excéder 2%. Les matières prohibées et les rejets (outthrows) ne doivent pas excéder 5%.

Matières prohibées

L'ISRI définit les matières prohibées comme suit :

- A. Toute matière qui, de par sa présence dans un chargement de matières fibreuses dans une concentration au-delà du seuil établi, rend le chargement inutilisable pour le grade spécifié.*
- B. Toute matière qui pourrait endommager l'équipement.*
- C. Toute matière fibreuse récupérée doit être libre de résidus alimentaires, ainsi que de déchets médicaux et de substances et liquides toxiques ou autrement nocives.*
- D. La cire est une matière prohibée à moins que ceci ne soit accepté et accepté par l'acheteur au préalable.*

Dans le cas du grade PSI-52, des exemples de matières prohibées incluent les bouteilles de plastique, les cannettes et conserves, le verre, le bois et des pièces de moteur – tout ce qui n'est pas une matière fibreuse ainsi que tout ce qui ne devrait pas se retrouver dans le grade.

Rejets

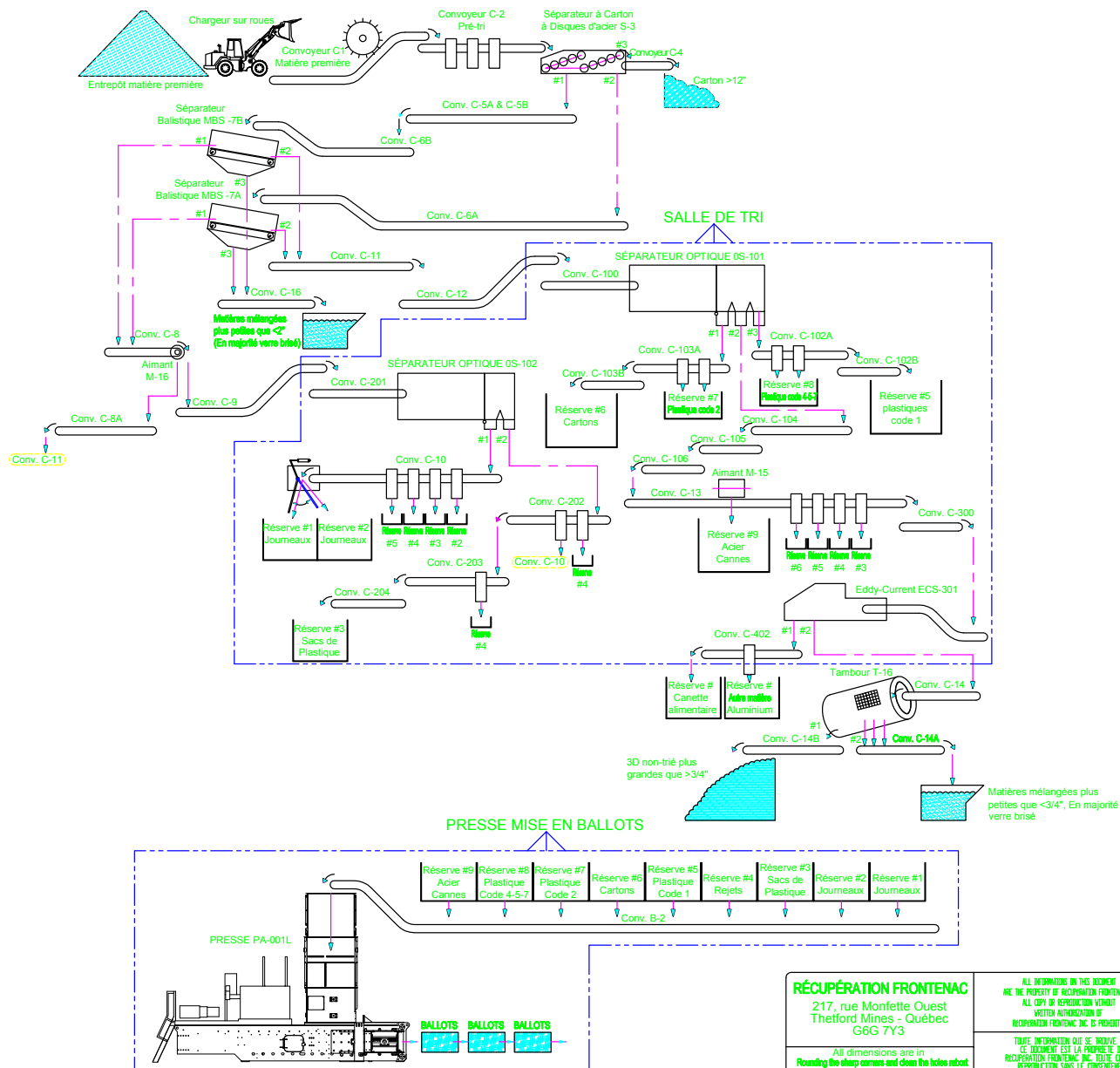
L'ISRI définit les rejets ainsi :

Tout papier qui, de par sa constitution ou le traitement qu'on lui a appliqué, ou de par sa forme, ne convient pas au grade en question.

Dans le cas du grade PSI-52, des exemples de rejets incluent : tasses en papier pour breuvage, contenants de crème glacée, contenants pour mets congelés, carton ondulé, papier journal, magazines – tout ce qui est fibreux mais qui ne rencontre pas les exigences du grade PSI-52.

Annexe 2

**DIAGRAMME DE FLUX DU PROCÉDÉ DU CENTRE DE
RÉCUPÉRATION FRONTENAC**



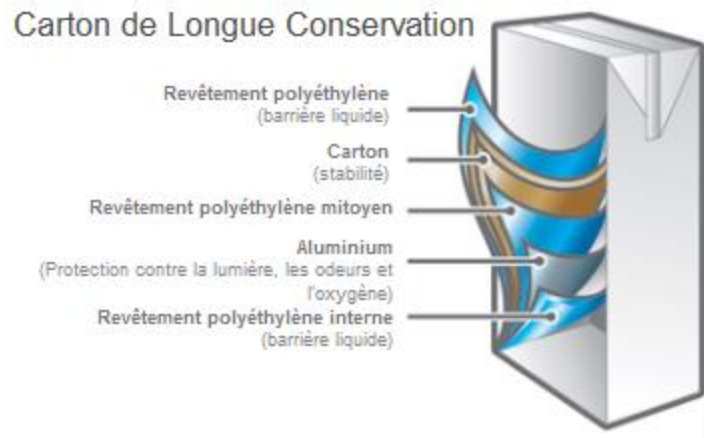
MATIÈRES TRIÉES	
ÉQUIPEMENTS	MATIÈRE TRIÉE
Convoyeur C2, Pré-tri	Grosse pièce métal, Chaudière plastique, Grand plastique, Pièces dangereuses pour les équipements suivantes, Jouets, Ouverture de sac
Séparateur à Carton à Disques d'acier S-3	Sortie #1 Matières mélangées plus petites que <6" Sortie #2 Matières mélangées entre 6" et 12" Sortie #3 Carton plus grand que >12"
Convoyeur C4	Carton plus grand que >12"
Convoyeurs C5A & C5B	Matières mélangées plus petites que <6"
Convoyeurs C-6A	Matières mélangées entre 6" et 12"
Convoyeurs C-6B	Matières mélangées plus petites que <6"
Séparateur Balistique MBS -7A	Sortie #1 Matières fibres (Feuilles de papier, petits cartons, sacs de plastique) Sortie #2 Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, plastiques) Sortie #3 Matières mélangées plus petites que <2" (En majorité verre brisé)
Convoyeurs C-8	Matières fibres (Papier journal, feuilles de papier, petits cartons, sacs de plastique)
Convoyeurs C-8A	Matières Acier, boîte de conserves, Fibres
Convoyeurs C-9	Matières fibres (Papier journal, feuilles de papier, petits cartons, sacs de plastique)
Convoyeurs C-10	Matières fibres (Papier journal, feuilles de papier)
Convoyeurs C-11	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, plastiques)
Convoyeurs C-12	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, plastiques)
Convoyeurs C-13	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, Contenants en aluminium)
Convoyeurs C-14	Matières solides (3D non-trié)
Convoyeurs C-14A	Matières mélangées plus petites que <3/4" (En majorité verre brisé)
Convoyeurs C-14B	Matières solides (3D non-trié plus grandes que >3/4")
Convoyeurs C-16	Matières mélangées plus petites que <2" (En majorité verre brisé)
Convoyeurs C-100	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, plastiques)
Convoyeurs C-102A	Matières plastique (Code 1, 2, 4, 5 & 7)
Convoyeurs C-102B	Matières plastique (Code 1)
Convoyeurs C-103A	Cartons & Matières plastique (Code 2)
Convoyeurs C-103B	Cartons
Convoyeurs C-104	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, Contenants en aluminium)
Convoyeurs C-105	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, Contenants en aluminium)
Convoyeurs C-106	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves, Contenants en aluminium)
SÉPARATEUR OPTIQUE OS-101	Sortie #1 Cartons & Matières plastique (Code 2) Sortie #2 Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, boîte de conserves) Sortie #3 Matières plastique (Code 1-2-4-5)
SÉPARATEUR OPTIQUE OS-102	Sortie #1 Papier journal Sortie #2 Sacs de plastique
Convoyeurs C-201	Matières fibres (Papier journal, feuilles de papier, petits cartons, sacs de plastique)
Convoyeurs C-202	Sacs de plastique
Convoyeurs C-203	Sacs de plastique
Convoyeurs C-204	Sacs de plastique
AIMANT M-15	Matières Acier, boîte de conserves
AIMANT M-16	Matières Acier, boîte de conserves
TAMBOUR T16	Sortie #1 Matières solides (3D non-trié plus grandes que >3/4") Sortie #2 Matières mélangées plus petites que <3/4" (En majorité verre brisé)
Convoyeurs C-300	Matières solides (3D, Boîte de céréals, Carton, Contenants en aluminium)
Eddy-Current ECS-301	Sortie #1 Matières en aluminium (Boîte de conserves, Canette alimentaire, Tripack avec parois intérieur en aluminium) Sortie #2 Matières solides (3D non-trié)
Convoyeurs C-402	Matières en aluminium (Boîte de conserves, Canette alimentaire, Tripack avec parois intérieur en aluminium)
Convoyeurs B-2	Matières pour mise en ballots vers la presse
PRESSE PA-001L	Matières pour mise en ballots

Annexe 3

**DIFFÉRENCE ENTRE LES CONTENANTS MULTICOUCHES À PIGNON
ET ASEPTIQUES**

CONTENANTS DE LONGUE CONSERVATION (ASEPTIQUES)

Les contenants de longue conservation contiennent en moyenne 74 % de papier, 22 % de polyéthylène et 4 % d'aluminium.



Produits offerts dans des contenants à longue conservation:

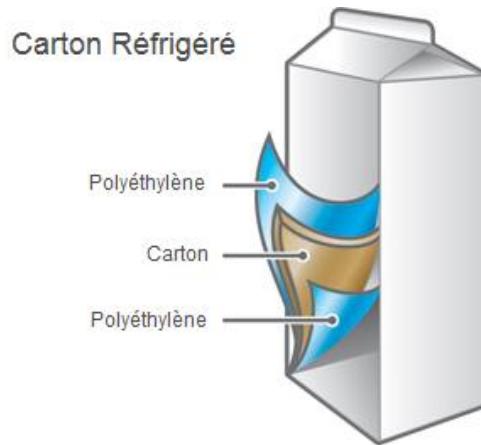
- Jus
- Lait
- Lait de soja ou de céréales
- Soupes et bouillons
- Vin



Source : Conseil Canadien des Manufacturiers de Contenants Multicouches

CONTENANTS RÉFRIGÉRÉS (À PIGNON)

Les contenants réfrigérés contiennent environ 80 % de papier et 20 % de polyéthylène.



Produits offerts dans des contenants réfrigérés:

- Lait
- Jus
- Crème
- Substituts des œufs
- Lait de soja ou de céréales



Source : Conseil Canadien des Manufacturiers de Contenants Multicouches

Annexe 4

PROTOCOLE D'ESSAIS – RÉCUPÉRATION FRONTENAC

Titre du projet :	Projet Pilote Tri Multicouches	Préparé par :	Laurent Gazaille
Date :	2016/07/22	Approuvé par :	Samuel Launay

1^{ère} configuration TO

- À faire avant essai :
 - Vider une des réserves mobiles pour accueillir les CMC.
- Configuration de la machine de tri optique (OS-101)
 - Voie 1 (positif bas) : Cartons et **CMC**
 - Voie 2 (négatif): Acier, aluminium, plastiques #2 et rejets
 - Voie 3 (positif haut): Plastiques mixtes et #1
- Positionnement et rôle du trieur de CMC
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en aval sur le convoyeur (2^{ème} poste)
 - Tâche : saisir les CMC et les déposer dans la chute vers la réserve mobile.
- Positionnement et rôle des trieurs et contrôleurs qualité (CQ)
 - Aluminium
 - Convoyeur C-402
 - Tâche : enlever contaminants du flux d'aluminium sortant du courant de Foucault (ECS-301), déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Cartons
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâche : enlever contaminants du flux de cartons et de CMC et les déposer dans une poubelle ou sur le convoyeur C-104.
 - Plastiques #1 et mixtes
 - Convoyeur C-102A
 - Tâche :
 - Saisir les plastiques mixtes et les déposer dans la réserve #8.
 - Enlever contaminants du flux restant (plastiques #1), déposer CMC dans un bac dédié durant l'essai.

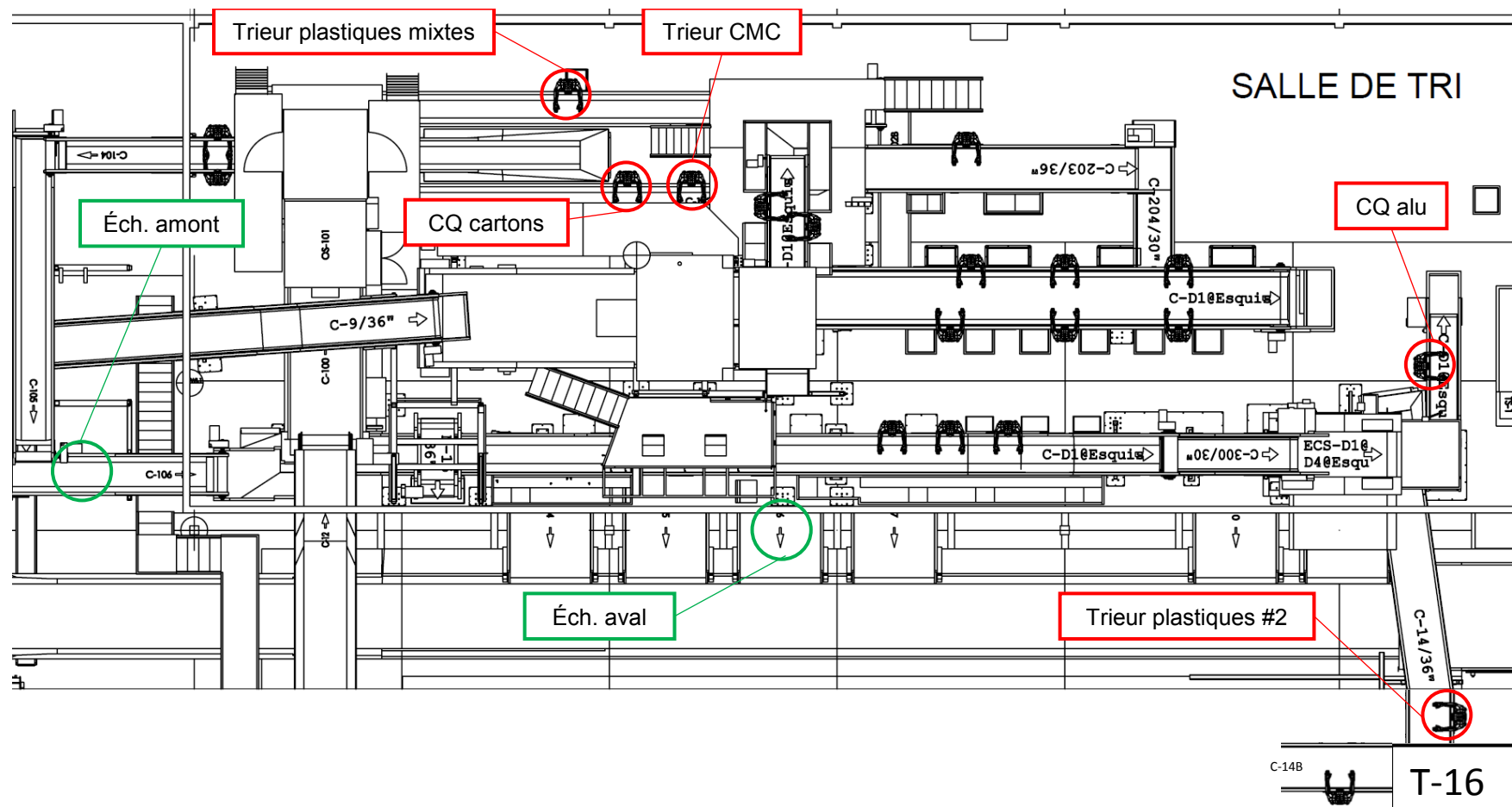
Protocole d'essais

- Plastiques #2
 - Convoyeur C-14
 - Tâches :
 - Saisir les plastiques #2 et les déposer dans la chute sur la droite.
 - Déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai. Un bac de 360L sera utilisé en raison du débit relativement élevé de CMC à cet endroit. Cette observation fut faite lors de la journée de rodage.
- Procédure d'échantillonnage
 - Amont
 - Appliquer la procédure d'échantillonnage en amont située dans la section **Opérations répétées**.
 - Aval
 - Appliquer la procédure d'échantillonnage dans les réserves située dans la section **Opérations répétées**.
 - Prélever dans la réserve des cartons (#6).
- Ligne des fibres
 - Pour chaque jour de la période d'essai, deux périodes de 10 minutes seront allouées à l'observation des CMC sur la ligne des fibres.
 - Le point d'observation a été déterminé lors de la journée de rodage et est situé sur la plateforme de la machine de tri optique des fibres 2-D (OS-201).
 - La quantité de CMC observés sur le convoyeur durant la période d'observation sera estimée.
- Horaire des prélèvements

Échantillons	Heure de début du prélèvement
1, 2	8h45
3, 4	10h30
5, 6	13h15
7, 8	15h00

- Pour cette configuration, coordonner les prélèvements avec l'envoi vers la presse des matières dans la réserve des cartons afin d'avoir l'espace nécessaire pour travailler. Prélever l'échantillon en aval d'abord et en amont ensuite dans ce cas-ci seulement.
- Procédure de caractérisation
 - Appliquer la procédure de caractérisation située dans la section **Opérations répétées**.

Figure 1 : Plan de localisation – tri optique configuration 1



2^e configuration TO

- À faire avant essai :
 - Installer une chute pour la réserve mobile au poste de tri en aval (2^{eme} poste) sur le convoyeur C-102A.
 - Construire un déviateur de flux pour le prélèvement d'échantillons en aval.
- Configuration de la machine de tri optique (OS-101)
 - Voie 1 (positif bas) : Cartons
 - Voie 2 (négatif): Acier, aluminium, plastiques #2 et rejets
 - Voie 3 (positif haut): **CMC**, plastiques mixtes et #1
- Positionnement du trieur de CMC
 - Convoyeur C-102A
 - Poste en aval sur le convoyeur (2^{eme} poste).
 - Tâche : saisir les CMC et les déposer dans la réserve mobile.
- Positionnement et rôle des trieurs et contrôleurs qualité (CQ)
 - Aluminium
 - Convoyeur C-402
 - Tâche : enlever contaminants du flux d'aluminium sortant du courant de Foucault (ECS-301), déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Cartons
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâches : enlever contaminants du flux, déposer CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Plastiques #1 et mixtes
 - Convoyeur C-102A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâches :
 - Saisir les plastiques mixtes et les déposer dans la réserve #8.
 - Enlever contaminants du flux et les déposer dans une poubelle ou sur le convoyeur C-104.
 - Plastiques #2
 - Convoyeur C-14

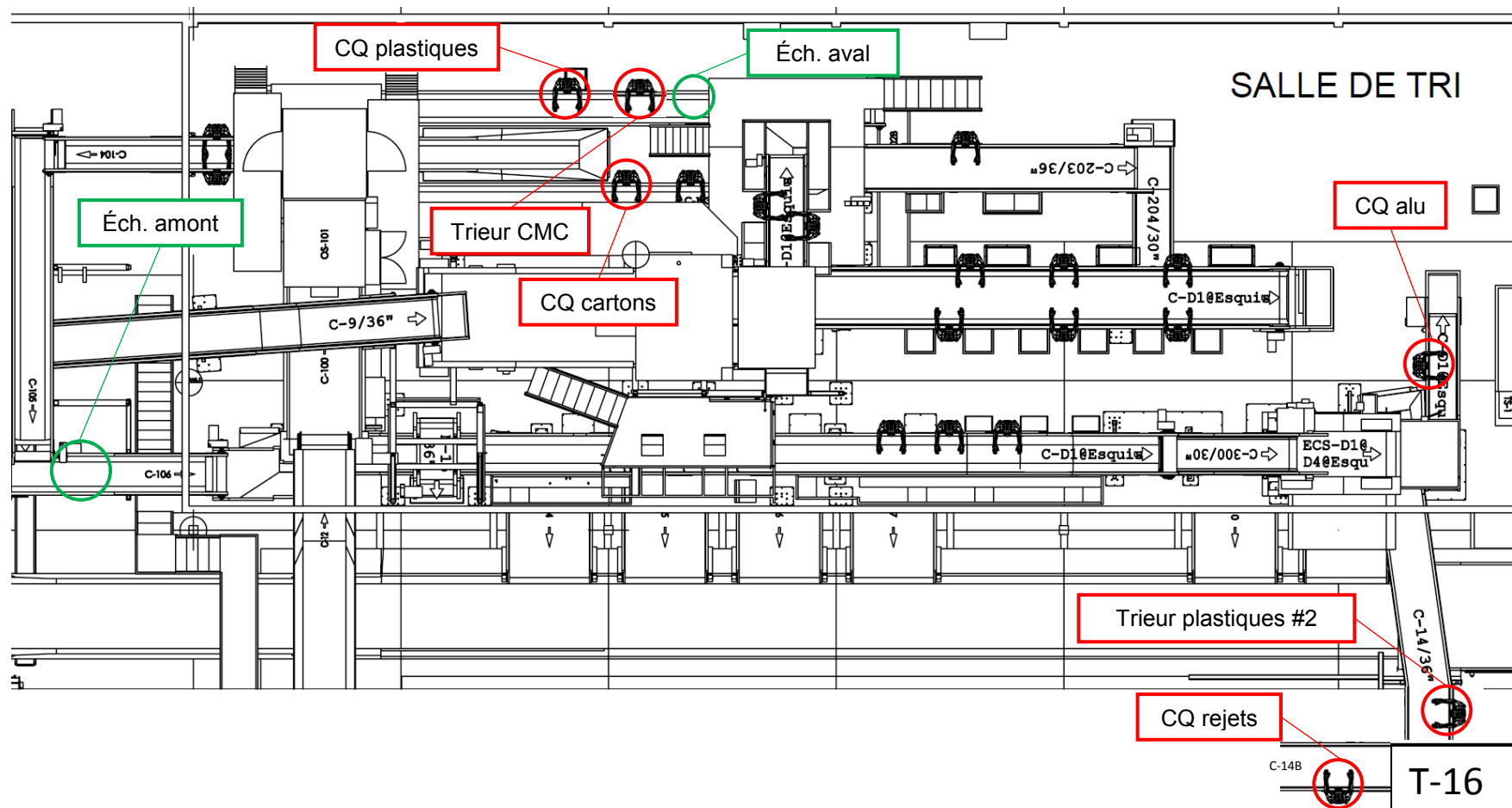
Protocole d'essais

- Tâches :
 - Saisir les plastiques #2 et les déposer dans la chute sur la droite.
 - Déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai. Un bac de 360L sera utilisé en raison du débit relativement élevé de CMC à cet endroit. Cette observation fut faite lors de la journée de rodage.
- Procédure d'échantillonnage
 - Amont
 - Appliquer la procédure d'échantillonnage en amont située dans la section **Opérations répétées**.
 - Aval
 - Un déviateur de flux sera construit par les responsables du centre afin de prélever les matières directement sur le convoyeur C-102A.
 - Le convoyeur C-102B sera arrêté durant le prélèvement afin de capter les matières non-interceptées par le déviateur.
- Ligne des fibres
 - Pour chaque jour de la période d'essai, deux périodes de 10 minutes seront allouées à l'observation des CMC sur la ligne des fibres.
 - Le point d'observation a été déterminé lors de la journée de rodage et est situé sur la plateforme de la machine de tri optique des fibres 2-D (OS-201).
 - La quantité de CMC observés sur le convoyeur durant la période d'observation sera estimée.
- Horaire des prélèvements

Échantillons	Heure de début du prélèvement
1, 2	8h45
3, 4	10h30
5, 6	13h15
7, 8	15h00

- Procédure de caractérisation
 - Appliquer la procédure de caractérisation située dans la section **Opérations répétées**.

Figure 2 : Plan de localisation – tri optique configuration 2



1^{ère} configuration TM

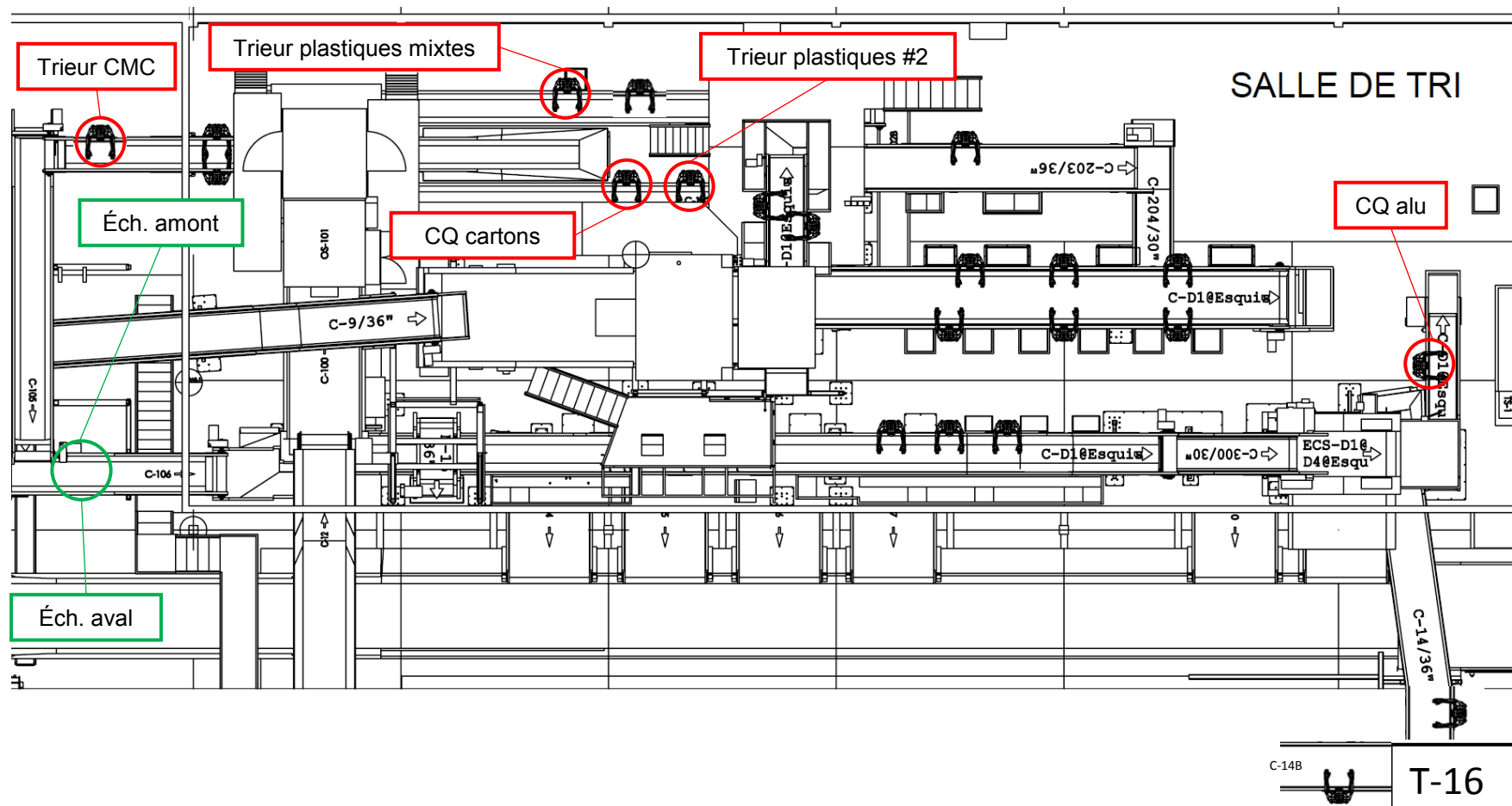
- À faire avant essai :
 - Installer une chute pour la réserve mobile au poste de tri temporaire sur le convoyeur C-104.
- Configuration de la machine de tri optique (OS-101)
 - Voie 1 (positif bas) : Cartons et plastiques #2
 - Voie 2 (négatif): Acier, aluminium, **CMC** et rejets
 - Voie 3 (positif haut): Plastiques mixtes et #1
- Positionnement et rôle du trieur de CMC
 - Convoyeur C-104
 - Poste à l'extrémité en aval du convoyeur
 - Tâche : saisir les CMC et les déposer dans la réserve prévue à cet effet.
 - Une réserve mobile sera positionnée à proximité (au RDC) et une chute temporaire sera installée.
- Positionnement et rôle des trieurs et contrôleurs qualité (CQ)
 - Aluminium
 - Convoyeur C-402
 - Tâche : enlever contaminants du flux d'aluminium sortant du courant de Foucault (ECS-301), déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Cartons
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâche : enlever contaminants du flux de cartons et plastiques #2, déposer CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Plastiques mixtes et #1
 - Convoyeur C-102A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâches :
 - Saisir les plastiques mixtes et les déposer dans la réserve #8.
 - Enlever contaminants du flux et les déposer dans une poubelle ou sur le convoyeur C-104.
 - Déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai.

- Plastiques #2
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en aval sur le convoyeur (2^{eme} poste)
 - Tâches : saisir les plastiques #2 et les déposer dans la réserve #7.
- Procédure d'échantillonnage
 - Amont
 - Appliquer la procédure d'échantillonnage en amont située dans la section **Opérations répétées**.
 - Aval
 - Appliquer la procédure d'échantillonnage en amont avec les modifications ci-dessous.
 - 1. Baliser la zone sous le convoyeur C106.
 - 2. Positionner le bac de collecte au convoyeur C-106 à l'aide du chariot élévateur et de la plateforme.
 - 3. Renverser la direction du convoyeur C-106.
 - 4. Partir le chronomètre et l'arrêter lorsque le bac est rempli.
 - 5. Renverser la direction du convoyeur C-106 à sa configuration initiale.
 - 6. Descendre le bac de collecte au sol à l'aide du chariot élévateur et de la plateforme.
- Ligne des fibres
 - Pour chaque jour de la période d'essai, deux périodes de 10 minutes seront allouées à l'observation des CMC sur la ligne des fibres.
 - Le point d'observation a été déterminé lors de la journée de rodage et est situé sur la plateforme de la machine de tri optique des fibres 2-D (OS-201).
 - La quantité de CMC observés sur le convoyeur durant la période d'observation sera estimée.
- Horaire des prélèvements

Échantillons	Heure de début du prélèvement
1, 2	8h45
3, 4	10h30
5, 6	13h15
7, 8	15h00

- Procédure de caractérisation
 - Appliquer la procédure de caractérisation située dans la section **Opérations répétées**.

Figure 3 : Plan de localisation – tri manuel configuration 1



2^e configuration TM

- À faire avant essai :
 - Vider la réserve des sous la chute à droite au poste de tri sur le convoyeur C-14 pour accueillir les CMC.
- Configuration de la machine de tri optique (OS-101)
 - Voie 1 (positif bas) : Cartons et plastiques #2
 - Voie 2 (négatif): Acier, aluminium, **CMC** et rejets
 - Voie 3 (positif haut): Plastiques mixtes et #1
- Positionnement et rôle du trieur de CMC
 - Convoyeur C-14
 - Tâche : saisir les CMC et les déposer dans la chute à droite.
- Positionnement et rôle des trieurs et contrôleurs qualité (CQ)
 - Aluminium
 - Convoyeur C-402
 - Tâche : enlever contaminants du flux d'aluminium sortant du courant de Foucault (ECS-301), déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Cartons
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâche : enlever contaminants du flux de cartons, déposer CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Plastiques mixtes et #1
 - Convoyeur C-102A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâches :
 - Saisir les plastiques mixtes et les déposer dans la réserve #8.
 - Enlever contaminants du flux et les déposer dans une poubelle ou sur le convoyeur C-104.
 - Déposer les CMC dans un bac dédié durant l'essai.
 - Plastiques #2
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en aval sur le convoyeur (2^{eme} poste)

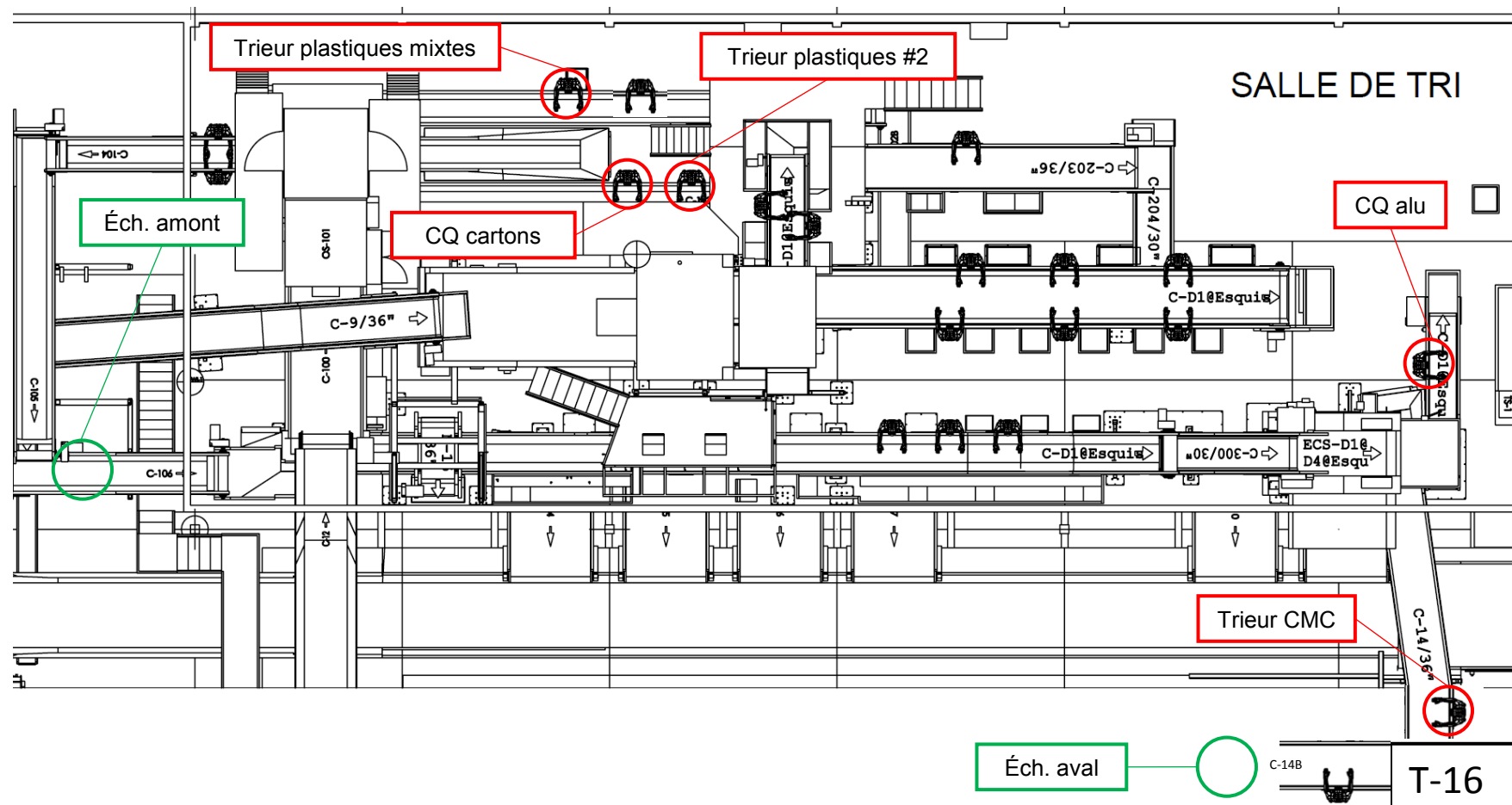
Protocole d'essais

- Tâches : saisir les plastiques #2 et les déposer dans la réserve #7.
- Procédure d'échantillonnage
 - Amont
 - Appliquer la procédure d'échantillonnage en amont située dans la section **Opérations répétées**.
 - Aval
 - Appliquer la procédure d'échantillonnage dans les réserves située dans la section **Opérations répétées**.
 - Prélever dans la réserve des rejets (fibres).
- Ligne des fibres
 - Pour chaque jour de la période d'essai, deux périodes de 10 minutes seront allouées à l'observation des CMC sur la ligne des fibres.
 - Le point d'observation a été déterminé lors de la journée de rodage et est situé sur la plateforme de la machine de tri optique des fibres 2-D (OS-201).
 - La quantité de CMC observés sur le convoyeur durant la période d'observation sera estimée.
- Horaire des prélèvements

Échantillons	Heure de début du prélèvement
1, 2	8h45
3, 4	10h30
5, 6	13h15
7, 8	15h00

- Procédure de caractérisation
 - Appliquer la procédure de caractérisation située dans la section **Opérations répétées**.

Figure 4 : Plan de localisation – tri manuel configuration 2



Opérations répétées

- Procédure d'échantillonnage
 - Amont
 - Baliser la zone sous le convoyeur C-106
 - Positionner le bac de collecte au convoyeur C-106 à l'aide du chariot élévateur et de la plateforme.
 - Installer l'entonnoir à matières pour diriger les matières tombantes dans le bac de collecte.
 - Configurer le tri optique OS-101 pour laisser passer toutes les matières en négatif.
 - Observer le flux, lorsque le flux brut commence à passer sur le convoyeur C-106, renverser sa direction. Un délai de 10 secondes était suffisant lors de la journée de rodage.
 - Partir le chronomètre et l'arrêter lorsque le bac est rempli.
 - Renverser la direction du convoyeur C-106 à sa configuration initiale. Envoyer le signal lorsque le bac de collecte est à environ 80% plein pour pallier au délai dans le renversement du convoyeur.
 - Configurer le tri optique OS-101 aux paramètres de l'essai.
 - Descendre le bac de collecte au sol à l'aide du chariot élévateur et de la plateforme.
 - Aval – réserves
 - Avant la prise d'échantillon, faire de la place dans la réserve pour faciliter le positionnement du bac au moment venu.
 - S'il y a lieu, arrêter le convoyeur de la réserve concernée et cadenasser l'interrupteur.
 - Transporter le bac de collecte dans la réserve.
 - Positionner le bac de collecte sous la chute.
 - Partir le chronomètre et l'arrêter lorsque le bac est rempli.
 - Transporter le bac de collecte hors de la réserve à l'aide du chariot élévateur et de la plateforme.
- Procédure de caractérisation
 - Caractérisation des matières
 - Au début de la journée, étalonner les trois (3) bacs de collecte des échantillons.
 - Mesurer la masse du bac plein et noter la mesure.
 - Trier les CMC, puis les placer dans le second bac; si réalisable compter et noter le nombre de CMC.
 - Mesurer la masse du bac contenant les CMC, noter la mesure.
 - Remettre les matières sans les CMC dans le bac de recueil d'échantillon.
 - Évaluer la proportion du bac attribuable aux matières non-CMC, noter la valeur.

Protocole d'essais

- Ramasser les matières et les retourner au point prévu à cet effet.
- Transport des bacs de collecte vers la zone de caractérisation
 - Transporter les bacs de collecte au bas des portes d'accès à la zone de caractérisation.
 - Charger les bacs de collecte sur la plateforme du chariot élévateur.
 - Fermer la porte de la zone de caractérisation en prévision du travail en hauteur.
 - Mettre le harnais de sécurité et attacher la corde.
 - Guider l'opérateur du chariot pour élever la plateforme à la bonne hauteur.
 - Décharger les bacs de collecte.
 - Signaler à l'opérateur du chariot élévateur qu'il peut descendre la plateforme.
 - Fermer les portes d'accès. Le harnais peut être enlevé.
 - Amener les bacs à la zone de caractérisation et procéder à la caractérisation.
- À réaliser en préparation des essais
 - Installer un déviateur de flux sur le convoyeur C-106, à l'extrémité en amont du sens de fonctionnement normal.
 - Installer une chute pour la réserve mobile au poste de tri en aval (2^e poste) sur le convoyeur C-102A.
 - Installer une chute pour la réserve mobile à l'extrémité du convoyeur C-104 en aval de la machine de tri optique (près du convoyeur C-105).

Annexe 5

TABLEAUX DE CARACTÉRISATION

ANNEXE 5.1

TABLEAU – CARACTÉRISATION ARRIVAGES

Date d'échantillonnage: Heure:

Entreprise: _____ No du camion: _____

Territoire de collecte: _____

Proportion résidentiel / commercial:

Multilogements (%):

Cellule ____ / 16

NI Corporation, division service-conseil 1 800 694-1214 clients@ni-corporation.com
 RECYC-QUÉBEC Février 2017
 Projet pilote | Évaluer la valeur ajoutée et le coût de trier séparément les contenants multicouches en centre de tri

ANNEXE 5.2

TABLEAU – CARACTÉRISATION DES BALLOTS

Site: Récupération Frontenac

Date d'échantillonnage: _____

Entrée de données (initiales - date): _____

Réserve échantillonnée

- ☐ Cartons (sortie séparateur fibres x4)
- ☐ Cartons (sortie tri optique)
- ☐ Plastique code #1
- ☐ Rejets de fin de ligne (papier mixte)
- ☐ Journal #7
- ☐ Sac de plastiques
- ☐ Aluminium (visuel)

Échantillon ____ / 4

Poids avant tri	Poids (objectif 100 kg)	
Bac 1		
Bac 2		
Bac 3		
Bac 4		
Bac 5		
Catégorie	Poids	TOTAL
CMC à pignon		
CMC aseptique		
Journal		
Papier de bureau		
Cartons		
Autres fibres		
PET		
HDPE		
Autres plastiques		
Autres matières		
Notes		TOTAL APRÈS TRI:
		Validation chargé de projet

Annexe 6

PROTOCOLE D'ESSAIS 2^E SÉRIE D'ESSAIS



Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

Titre du projet :	Projet Pilote Tri Multicouches	Préparé par :	Samuel Launay
Date :	2016/08/18	Approuvé par :	

1^{ère} configuration : Tri optique positif des CMC vers le bas :

Semaine du 22 au 25 août, quart de jour

- À faire au début du quart de jour:
 - Vider la réserve des plastiques #2 (réserve #7) pour accueillir les CMC.
- Configuration de la machine de tri optique (OS-101)
 - Voie 1 (positif bas) : Cartons et **CMC**
 - Voie 2 (négatif): Acier, aluminium, plastiques #2 et rejets
 - Voie 3 (positif haut): Plastiques mixtes et #1
- Positionnement et rôle des trieurs et contrôle qualité
 - Trieur de CMC
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en aval sur le convoyeur (2^{ème} poste)
 - Tâche : saisir les CMC et les déposer dans la chute vers la réserve mobile
 - Trieur de plastique #2
 - Convoyeur C-13
 - Tâche : Saisir les plastiques #2 et les déposer dans la chute
 - CQ Plastique #2 et CMC
 - Convoyeur C-14
 - Tâche : Saisir les plastiques #2 et les déposer dans la chute sur sa droite et mettre les CMC dans un bac dédié
 - Le bac dédié au CMC est pesé et la quantité de CMC relevée. Le contenu est vidé dans un sac qui sera vidé dans la réserve lors de la fin du quart de jour.
 - CQ sortie voie négative du TO
 - Convoyeur C-104
 - Modification à tâche usuelle : laisser filer les CMC afin qu'ils soient captés par le CQ plastique #2 et CMC au C-14.

Estimation de la quantité de matières produites par flux pendant les quarts de jour :



Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

- Flux à estimer :
 - Journal 8
 - Sacs plastiques
 - Plastique #1
 - CMC
 - Cartonnette (sortie du tri optique)
 - Gros cartons du séparateur (OCC)
 - Aluminium (sortie courant de Foucault)
 - Papier mixte (fin de ligne des contenants)
- Pour chaque réserve citée précédemment, relever l'heure lorsqu'elle est vidée et peser la quantité de matière mise en ballot (peser les ballots) : utiliser le tableau en annexe.
- Pour le flux des gros cartons et des cartonnettes, il n'est pas possible de peser séparément les 2 flux. Une estimation visuelle de la proportion de gros cartons et de cartonnettes sera effectuée.
 - La proportion de cartonnettes et de gros cartons est estimée par l'opérateur visuellement.
- Pour les CMC, vider la réserve mobile dans la réserve sous le C14.
 - Peser la réserve mobile une fois pleine (peser à vide pour connaître le poids initial)
 - Peser les ballots produits

Caractérisation des matières : 4 échantillons de 100 kg à raison de 1 échantillon par quart de jour

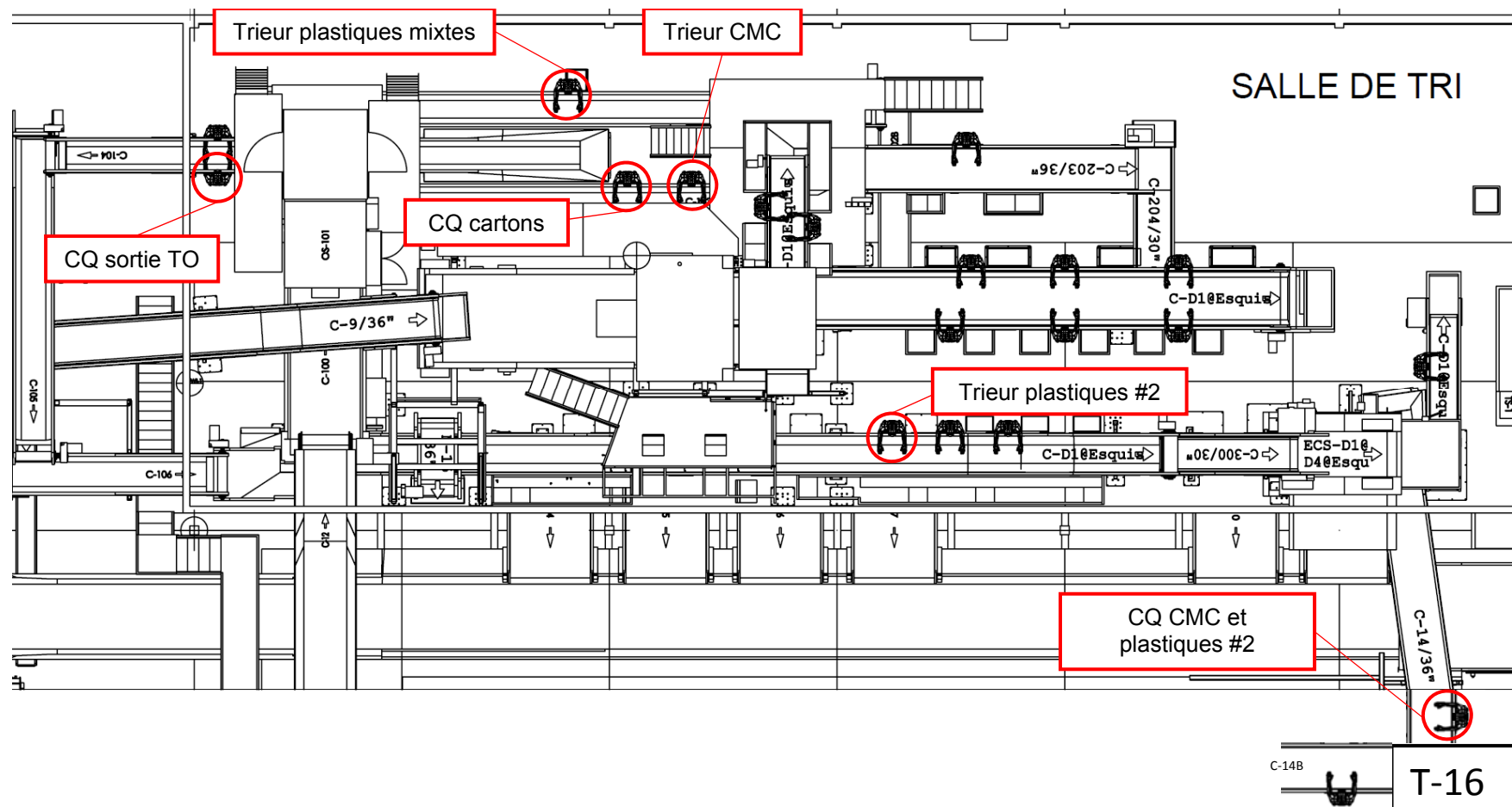
- CMC
- Cartons à la sortie du séparateur à fibres
- Cartons à la sortie du tri optique (cartonnettes)
- Plastique code #1
- Fin de ligne des contenants (papier mixte)
- Journal #8
- Sac de plastiques

Pour les papiers mixtes, sac plastiques et journal #8, il est demandé d'observer le format des CMC lors des caractérisations : Est-ce que la proportion de CMC de petit format est plus importante? Sont-ils plus aplatis?

NOTA : Les échantillons prélevés par NI pour les caractérisations puis triés doivent être remis dans les réserves appropriées pendant un quart de jour (autant que possible)

Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

Figure 1 : Plan de localisation – configuration 1





Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

2^{ème} configuration : Tri optique négatif des CMC, retrait avant le courant de Foucault :

Semaine du 29 août au 1^{er} septembre, quart de jour

- À faire au début du quart de jour :
 - Installer une chute pour la réserve mobile au poste de tri temporaire sur le convoyeur C-104.
- Configuration de la machine de tri optique (OS-101)
 - Voie 1 (positif bas) : Cartons et plastiques #2
 - Voie 2 (négatif): Acier, aluminium, **CMC** et rejets
 - Voie 3 (positif haut): Plastiques mixtes et #1
- Positionnement et rôle du trieur de CMC
 - Convoyeur C-104 (Revoir l'ergonomie du poste)
 - Poste à l'extrémité en aval du convoyeur
 - Tâche : saisir les CMC et les déposer dans la réserve prévue à cet effet.
 - Une réserve mobile sera positionnée à proximité (au RDC) et une chute temporaire sera installée.
- Positionnement et rôle des trieurs et contrôleurs qualité (CQ)
 - Cartons
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en amont sur le convoyeur (1^{er} poste)
 - Tâche : enlever contaminants du flux de cartons et plastiques #2, si CMC mettre sur la voie 2 (négatif)
 - Plastiques #2
 - Convoyeur C-103A
 - Poste en aval sur le convoyeur (2^{ème} poste)
 - Tâches : saisir les plastiques #2 et les déposer dans la réserve #7.
 - CQ CMC
 - Convoyeur C-14
 - Tâche : mettre les CMC dans un bac dédié
 - Le bac dédié au CMC est pesé et la quantité de CMC relevée. Le contenu est vidé dans un sac qui sera vidé dans la réserve lors de la fin du quart de jour.
 - CQ sortie voie négative du TO
 - Convoyeur C-104

Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

- Modification à tâche usuelle : laisser filer les CMC afin qu'ils soient captés par le trieur des CMC sur le convoyeur C-14.

Estimation de la quantité de matières produites par flux pendant les quarts de jour :

- Flux à estimer :
 - Journal 8
 - Sacs plastiques
 - Plastique #1
 - CMC
 - Cartonnette (sortie du tri optique)
 - Gros cartons du séparateur (OCC)
 - Aluminium (sortie courant de Foucault)
 - Papier mixte (fin de ligne des contenants)
- Pour chaque réserve citée précédemment, relever l'heure lorsqu'elle est vidée et peser la quantité de matière mise en ballot (peser les ballots) : utiliser le tableau en annexe.
- Pour le flux des gros cartons et des cartonnettes, il n'est pas possible de peser séparément les 2 flux. Une estimation visuelle de la proportion de gros cartons et de cartonnettes sera effectuée.
 - La proportion de cartonnettes et de gros cartons est estimée par l'opérateur visuellement.
- Pour les CMC,
 - Peser la réserve mobile une fois pleine (peser à vide pour connaître le poids initial)
 - Peser les ballots produits

Caractérisation des matières : 4 échantillons de 100 kg à raison de 1 échantillon par quart de jour

- CMC
- Cartons à la sortie du séparateur à fibres
- Cartons à la sortie du tri optique (cartonnettes)
- Plastique code #1
- Fin de ligne des contenants (papier mixte)
- Journal #8
- Sac de plastiques



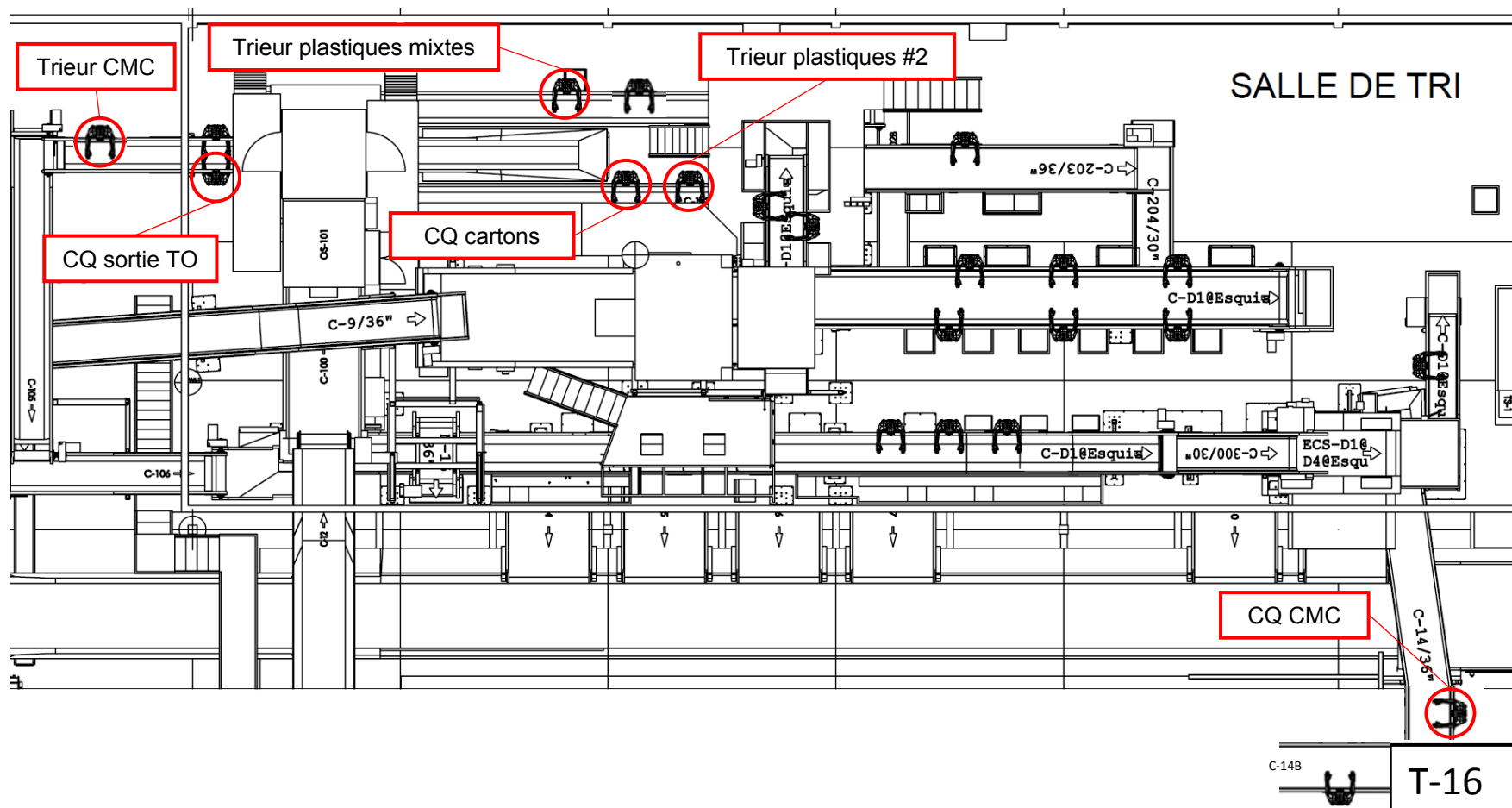
Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

Pour les papiers mixtes, sac plastiques et journal #8, il est demandé d'observer le format des CMC lors des caractérisations :
Est-ce que la proportion de CMC de petit format est plus importante? Sont-ils plus aplatis?

NOTA : Les échantillons prélevés par NI pour les caractérisations puis triés doivent être remis dans les réserves appropriées pendant un quart de jour (autant que possible)

Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

Figure 2 : Plan de localisation –configuration 2





Protocole d'essais, 2^{ème} série – Récupération Frontenac

ANNEXE : Tableau de relevé à utiliser pour les réserves

Date	Heure	Numéro de la réserve vidée	Matière mise en ballot	Nombre de ballots produits	Poids total des ballots

Annexe 7

PRIX DE REVENTE DES MATIÈRES RECYC-QUÉBEC

Prix de revente des matières compilé par RECYC-QUÉBEC

Prix de revente des matières récupérées	MOYENNE		
	1 an YTD	2 ans YTD	3 ans YTD
PLASTIQUES (en ballots)			
Plastiques mélangés (# 3 à 7)	321 \$/t	308 \$/t	261 \$/t
PÉbd sacs et pellicules (# 4)	128 \$/t	125 \$/t	90 \$/t
PÉhd (naturel) (# 2)	-	-	-
PÉhd (couleurs mélangées) (# 2)	624 \$/t	669 \$/t	625 \$/t
PÉT (mélangées, consigne) (# 1)	267 \$/t	304 \$/t	322 \$/t
PÉT (mélangées, collecte sélective) (# 1)	223 \$/t	246 \$/t	270 \$/t
FIBRES (en ballots)			
Papier mélangé	80 \$/t	72 \$/t	69 \$/t
Papier bureau (office mix)	200 \$/t	197 \$/t	188 \$/t
Papier blanc (white ledger)	333 \$/t	332 \$/t	310 \$/t
Papier journal (# 6)	96 \$/t	87 \$/t	85 \$/t
Papier journal (# 7)	115 \$/t	104 \$/t	100 \$/t
Papier journal (# 8)	98 \$/t	87 \$/t	86 \$/t
Carton non ondulé (carton plat)	36 \$/t	33 \$/t	34 \$/t
Carton ondulé (OCC)	132 \$/t	125 \$/t	127 \$/t
Carton de lait et jus	186 \$/t	181 \$/t	161 \$/t

En bleu les valeurs retenues dans l'étude. Tel que mentionné, pour les CMC, le prix de 150\$/t a été utilisé, après discussion avec des experts du secteur.

Source : RECYC-QUÉBEC, Indice du prix des matières

