



**CENTRE DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE
EN ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE**

Centre J.-Édouard-Simard

**COLLECTE, NETTOYAGE ET MISE
EN VALEUR DES POLYSTYRÈNES
CONTAMINÉS PAR DES COMPOSÉS
ORGANIQUES ET INORGANIQUES**

RAPPORT FINAL

Présenté à :

RECYC-QUÉBEC
Développement économique Canada
MRC du Bas-Richelieu
Cégep de Rosemont
Cégep de Sorel-Tracy
EBI Environnement inc.

Par :

Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI)
3000, boulevard de Tracy
Sorel-Tracy (Québec) J3R 5B9

24 octobre 2008

DROITS ET RESPONSABILITÉS

Ce rapport a été préparé par le Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) et les droits d'auteur appartiennent au CTTÉI. La propriété intellectuelle et le savoir-faire industriel découlant du projet décrit dans ce rapport appartiennent strictement aux partenaires financiers du projet. Ce rapport contient des informations confidentielles et ne peut être reproduit, cité, distribué, adapté ou traduit en tout ou en partie, ni être utilisé pour d'autres usages sans l'autorisation expresse de tous les partenaires financiers selon la convention qui régit le projet.

Tous les efforts ont été déployés par le CTTÉI afin d'assurer l'exactitude de l'information incluse dans le rapport et les avis et opinions exprimés dans le rapport sont uniquement ceux du CTTÉI.

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

1. Titre et sous-titre

Collecte, nettoyage et mise en valeur des polystyrènes contaminés par des composés organiques et inorganiques

2. Auteur(s)

Julie Gendron, CTTÉI
Claude Maheux-Picard, CTTÉI

3. Collaborateur(s)

Marc Olivier, Sophie Girard, Renée Rossignol, CTTÉI

4. Date du rapport

24 octobre 2008

5. Nombre de pages

29

6. Type de rapport

Final

7. Numéro de projet

NA

8. Type de projet

Recherche appliquée

9. Période de travail

Juin à octobre 2008

10. Résumé

Depuis octobre 2006, différents essais ont été réalisés sur les polystyrènes (PS) de tous types soit expansé, d'emballage, choc, propres, souillés, seuls ou mélangés. Ces essais ont permis d'identifier un solvant permettant une dissolution optimale. Des échantillons à plus grande échelle ont été produits afin de montrer la faisabilité de la mise en forme du PS recyclé et de caractériser les propriétés physiques des mélanges. Une démonstration sur site d'un poste de collecte sera faite dans un centre de tri pour évaluer la performance du procédé à plus grande échelle et acquérir un retour d'expérience industriel. Ce rapport dresse le bilan des différents constats émanant des résultats et propose une stratégie d'implantation du procédé sur le territoire québécois. Des travaux futurs pour amener le projet à sa concrétisation sont également suggérés.

11. Client(s)

RECYC-QUÉBEC, Développement économique Canada, MRC du Bas-Richelieu, Cégep de Rosemont, Cégep de Sorel-Tracy, EBI Environnement inc.

12. Signatures

Chargée de projets



Julie Gendron, Chimiste

Directrice technique



Claude Maheux-Picard, ing., M. Sc. A.

Centre de transfert technologique en écologie industrielle
3000, boul. de Tracy, Sorel-Tracy, (Québec) J3R 5B9, Canada

Tél. : (450) 742-6651, poste 5301 – Téléc. : (450) 730-0867 – Site Internet : www.cttei.qc.ca

REMERCIEMENTS

Le CTTÉI remercie les intervenants suivants pour leur contribution particulière aux diverses étapes de la réalisation du projet :

- M. Louis Gagné (RECYC-QUÉBEC)
- Mme Hélène Gervais (RECYC-QUÉBEC)
- Mme Marie-Josée Lafleur (Développement économique Canada)
- M. Léo Fradette (MRC du Bas-Richelieu)
- Mme Mélanie Lacombe (Cégep de Rosemont)
- M. Marc Olivier (Cégep de Sorel-Tracy et CTTÉI)
- M. Serge Brière (EBI Environnement)
- Mme Chantal Frappier (Récupération Nord Ben inc.)
- Mme France Durand (Récupération Nord Ben inc.)



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. OBJECTIFS DU PROJET	3
2. APPROCHE PROPOSÉE	3
3. RETOUR SUR LES TRAVAUX EFFECTUÉS : OCTOBRE 2006 À AVRIL 2007	4
4. RETOUR SUR LES TRAVAUX EFFECTUÉS : AVRIL 2007 À JUIN 2008.....	5
5. TRAVAUX EFFECTUÉS : JUIN 2008 À SEPTEMBRE 2008.....	7
5.1 Poste de collecte	7
5.2 Essai sur site	9
5.2.1 Objectifs	9
5.2.2 Essai	10
5.2.3 Conclusions de l'essai.....	12
5.3 Stratégie d'implantation de la technologie développée	14
5.3.1 Les constats	14
5.3.2 La stratégie d'implantation	15
CONCLUSION	19

FIGURES

■ Figure 1 – Exemple de mélange.....	6
■ Figure 2 – Exemples d'éprouvettes	6
■ Figure 3 – Poste de collecte proposé	7
■ Figure 4 – Réservoir utilisé comme poste de collecte	8
■ Figure 5 – Pales de l'agitateur à l'intérieur du réservoir	9
■ Figure 6– Mise en commun de tous les rejets	10
■ Figure 7 – Polystyrène utilisé	11
■ Figure 8 – Préparation et mise en marche du poste de collecte	11
■ Figure 9 – Évolution de la dissolution du polystyrène.....	12
■ Figure 10 – Comparaison des volumes	15
■ Figure 11 – Processus de recyclage du polystyrène issu de la collecte sélective.....	18



INTRODUCTION

Au Québec, plus de 80 % des foyers ont accès à une forme de collecte sélective. Les matériaux recueillis sont traités dans 36 centres de tri avant d'entreprendre une seconde vie. Cependant, depuis 20 ans, un de ces matériaux est systématiquement rejeté par ces centres qui le réacheminent à l'enfouissement ou à l'incinération : c'est le polystyrène expansé (PSE).

Le problème est suffisamment important pour que la plupart des centres de tri demandent dorénavant aux citoyens de ne pas le déposer dans les bacs de récupération, mais de le déposer en compagnie des déchets ultimes dans leur sac vert. Cette situation paradoxale tient à trois facteurs :

- Masse volumique très petite de ce matériau qui encombre toute la chaîne de récupération et de tri pour une très faible masse;
- Matière largement souillée par des résidus alimentaires de masse parfois plus importante que l'objet lui-même;
- Valeur monétaire faible du matériau à la revente.

A lui seul, le polystyrène représente 10 % du flux des matières plastiques au Québec, si bien qu'on en enterre près de 17 900 tonnes chaque année. Ce gaspillage de ressources devient inacceptable, à la fois dans le contexte de l'arrivée prochaine de la Loi sur le développement durable que dans l'atteinte des objectifs de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008. Cette dernière demandait aux municipalités de mettre en valeur 60 % des plastiques, plutôt que de les envoyer à l'enfouissement ou à l'incinération. Pour atteindre ces objectifs, des solutions permettant de faciliter la collecte et le conditionnement des plastiques problématiques doivent être mises au point afin d'en accroître le taux de collecte, augmenter leur valeur marchande et favoriser leur recyclage. C'est à cette problématique que tente de répondre le présent projet.



1. OBJECTIFS DU PROJET

Objectif général :

- Favoriser la collecte et le recyclage du polystyrène expansé afin de réduire davantage la quantité de déchets envoyés à l'enfouissement.

Objectifs spécifiques :

- Poursuivre le développement d'un procédé simple facilitant la collecte et le nettoyage du polystyrène expansé issu de la collecte sélective en vue de favoriser sa mise en valeur;
- Tester et valider ce procédé à l'échelle de banc d'essai sur site.

2. APPROCHE PROPOSÉE

La solution proposée par le Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) mise sur une solution biphasique qui permettrait du même coup de solubiliser les polystyrènes dans un solvant et d'emprisonner les impuretés et souillures dans une phase aqueuse afin d'en faciliter la séparation. Le polystyrène (PS) pourrait ainsi être récupéré par simple évaporation de solvant ou recristallisation et être redirigé vers les fabricants de produits utilisant cette matière. Les impuretés, récupérées sous forme de boue, seraient dirigées vers un site d'enfouissement conventionnel. La récupération par dissolution est une réalité initiée au Japon et en Floride, mais sans l'approche biphasique qui permet de nettoyer le polystyrène de ses impuretés. Les possibilités d'application du procédé proposé ici sont donc très vastes.

Les travaux réalisés en 2004-2005 dans le cadre d'un projet de recherche réalisé par le CTTÉI en collaboration avec le Centre d'études des procédés chimiques du Québec (CÉPROCQ) ont permis de tester différents mélanges de solvants. L'effet de la température sur la solubilité du polystyrène expansé dans chacun des mélanges a été étudié, de même que la mise en solution du polystyrène rigide (non expansé). La solution finalement retenue était à base de limonène (produit Citrikleen de West Penetone), un solvant disponible commercialement à faible coût et ayant démontré sa capacité à solubiliser une grande quantité de polystyrène. Les essais effectués démontrent de plus que cette formulation est transportable sans dangers excessifs. De plus, on a démontré que le mélange saturé de polystyrène demeurait biphasique dans les conditions testées et que sa viscosité permet qu'il soit pompé facilement.

La faisabilité technique du concept proposé ayant été démontrée, il restait à optimiser les différents paramètres d'opération, à valider les propriétés (chimiques et mécaniques) du polystyrène récupéré et à réaliser une démonstration sur site afin de tester le procédé à plus grande échelle et vérifier sa convivialité d'utilisation.

Un aspect critique dans la suite du projet est de trouver le bon équilibre eau-solvant de manière à toujours favoriser une séparation de phase, peu importe le type de polystyrène en présence (expansé ou non, souillé de résidus alimentaires, de résidus minéraux ou propres). Par exemple, si les impuretés sont de types organiques mais très polaires, la séparation de phase



devient plus difficile et/ou la portion aqueuse se charge trop en solvant, ayant pour effet de réduire le rendement.

Les étapes de travail proposées en début de projet étaient donc les suivantes :

PHASE I OPTIMISATION DU PROCÉDÉ

Étape 1 : Optimisation du rapport eau/solvant/additifs

Étape 2 : Séparation des deux phases, traitement des eaux et récupération du polystyrène

Étape 3 : Caractérisation du polystyrène récupéré

PHASE II DÉMONSTRATION

Étape 4 : Conception d'un poste de collecte et de nettoyage du polystyrène souillé

Étape 5 : Fabrication d'un prototype

Étape 6 : Réalisation d'une démonstration sur site

Rappelons que ce projet a été réalisé avec la collaboration de deux autres centres collégiaux de transfert technologique soient le Centre d'études des procédés chimiques du Québec (CÉPROCQ) et le Centre de technologie minérale et de plasturgie (CTMP).

3. RETOUR SUR LES TRAVAUX EFFECTUÉS : OCTOBRE 2006 À AVRIL 2007

Les travaux réalisés d'octobre 2006 à avril 2007 ont permis de comparer les performances de diverses combinaisons eau-solvant-additifs. Les différents résultats obtenus ont été présentés dans un premier rapport remis en mars 2007. Ils ont permis d'émettre les constatations suivantes :

- Une séparation par seule décantation engendre des traces de solvants et de tensioactifs dans le polystyrène récupéré alors que la congélation a donné des résultats intéressants avec la récupération d'une phase aqueuse pratiquement très propre. L'étude de modes de séparation plus efficaces doit être approfondie.
- Certains tensioactifs sont plus attirés que d'autres vers le polystyrène (PS) en solution et sont donc plus difficiles à extraire. C'est le cas du Span 85 et du Brij.
- Le tensioactif Span 40 doit être chauffé afin de conduire à une bonne mise en solution.
- Quelques essais préliminaires réalisés avec des anti-solvants (heptane, méthanol) pour extraire le PS de la solution West Penetone ont donné des résultats peu concluants.
- Certaines conditions favorisent l'extraction du PS sans qu'une évaporation du solvant ou l'ajout d'anti-solvant ne soit nécessaire. On obtient alors une pâte malléable contenant



toutefois des traces de solvants et de tensioactifs qui restent à quantifier. Trois combinaisons produisent ce résultat :

- Eau/limonène/Span 85
- Eau/limonène/Span 40
- Eau/West Penetone (solution commerciale)

En fonction de ces résultats, un plan de travail pour l'année 2007-2008 avait été établi.

4. RETOUR SUR LES TRAVAUX EFFECTUÉS : AVRIL 2007 À JUIN 2008

Les travaux pour cette période avaient pour but de compléter les analyses de formulation pour ne retenir que la recette optimale, de poursuivre les essais d'extraction du solvant, de réaliser des essais de mise en forme du polystyrène recyclé et de débiter la conception du poste de collecte. Ainsi, les essais menés en laboratoire ont permis de déterminer que l'utilisation d'une solution composée à 100 % de solvant West Penetone permet une dissolution optimale des différents types de polystyrène (expansé coloré, non expansé coloré, non expansé transparent, souillés et propres). Cette formulation spéciale, élaborée par le manufacturier dans le cadre du projet à partir des directives du CÉPROCQ, a l'avantage d'être simplifiée par rapport aux autres recettes testées puisqu'elle soustrait l'opérateur éventuel du procédé de dissolution d'avoir à faire son propre mélange eau-solvant-additifs.

Des essais de dissolution ont été effectués sur différents lots de polystyrène : PS blanc alimentaire, PS de tous types (expansé et choc), PS blanc souillé, PS de tous types souillé. Pour chacun des tests, la vitesse de dissolution pour un niveau de saturation donné a été estimée et des observations quant à l'état final du PS et du solvant extrait ont été notées. Une conclusion importante de ces essais est qu'il est possible de dissoudre tous les types de polystyrène à partir de la même recette, qu'il soit expansé ou non, souillé ou non. En guise de rappel, la figure 1 présente une photo du processus de solubilisation du PS blanc alimentaire (expansé).

Plusieurs modes d'extraction du polystyrène ont été testés : congélation, séchage par thermobalance, lavage, centrifugation, évaporation, ajout d'anti-solvant et décantation. Tous ces essais ont démontré que l'extraction du solvant et des tensioactifs est difficile, probablement dû à une trop grande intimité de mélange entre les composants. L'avantage de la centrifugation par rapport aux autres méthodes est qu'elle force la séparation des souillures qui pourraient se trouver sur le PS. Elles sont alors plus faciles à isoler de la fraction recyclable.

Les essais de mise en forme du polystyrène blanc recyclé contenant toujours une certaine proportion de solvant non extrait ont permis de déterminer que l'incorporation de PS recyclé dans du PS vierge est réalisable. Le PS recyclé influence le processus de mise en forme par l'augmentation de la fluidité du mélange, l'apparition de retassures et d'un gauchissement lors de la formation d'éprouvettes normalisées ainsi que par l'augmentation du temps de solidification. Toutefois, les problèmes de mise en forme et de pertes de propriétés mécaniques par rapport au polystyrène cristal vierge peuvent être atténués par l'incorporation de SBR (*styrene butadiene rubber*). Ces essais ont été reproduits avec un lot de PS de tous types dissout dans les mêmes conditions. Les propriétés mécaniques des éprouvettes fabriquées à partir de PS blanc alimentaire et celles fabriquées à partir de PS de tous types sont similaires, à



l'exception de la résistance à l'impact qui est plus faible pour le PS de tous types. La figure 2 présente une photo des éprouvettes et granules fabriquées à partir de différentes combinaisons de PS blanc alimentaire recyclé.

■ Figure 1 – Exemple de mélange



■ Figure 2 – Exemples d'éprouvettes





Finalement, une première ébauche du poste de collecte a été réalisée par des étudiants du DÉC en Génie mécanique du Cégep de Sorel-Tracy dans le cadre d'un cours. Les plans préliminaires ont été présentés dans le rapport de juin 2008.

5. TRAVAUX EFFECTUÉS : JUIN 2008 À SEPTEMBRE 2008

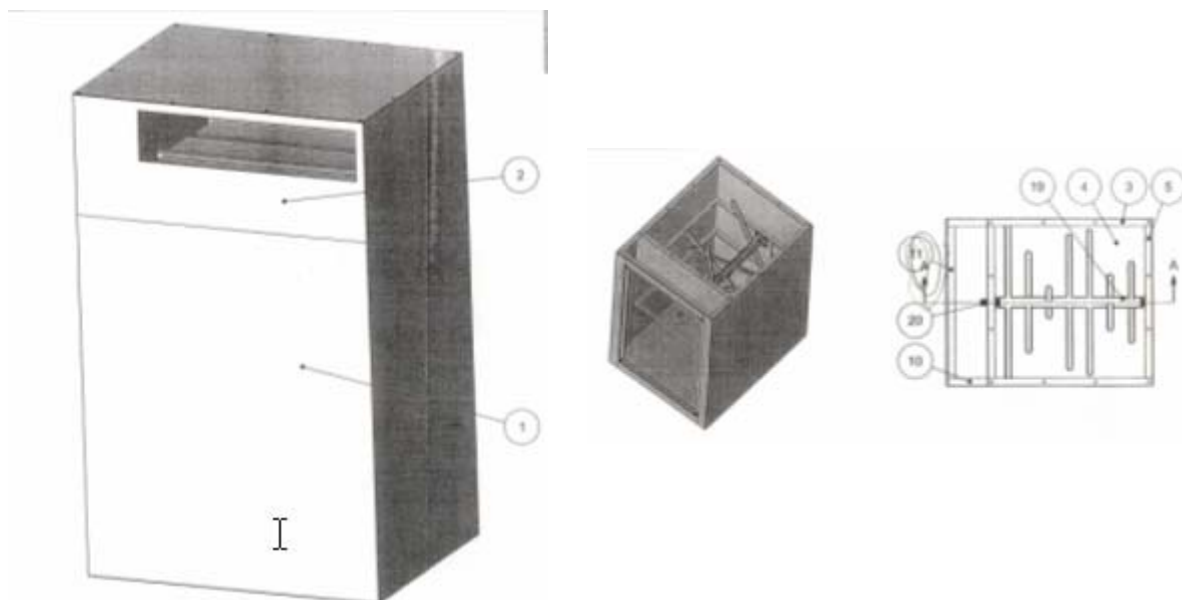
Les travaux réalisés pour la période de juin à septembre 2008 ont consisté essentiellement à réviser la conception du poste de collecte, à planifier l'essai sur site avec EBI Environnement et à élaborer les stratégies d'implantation de la technologie en fonction de l'ensemble des conclusions du projet.

5.1 POSTE DE COLLECTE

La figure 3 présente deux vues du poste de collecte tel que conçu par les étudiants du DEC en Génie mécanique du Cégep de Sorel-Tracy. Les plans de cette première ébauche ont été révisés par le CTTÉI qui a pu constater certaines lacunes techniques :

- Absence de double paroi pour réduire les risques de fuites;
- Complexité d'usinage;
- Présence d'un moteur électrique rendant la proximité d'une prise de courant nécessaire;
- Erreur dans le positionnement de l'ouverture d'alimentation en PS;
- doute quant à l'efficacité des tiges à immerger totalement le PS nouvellement ajouté dans le solvant;
- Tiges trop courtes;
- Etc.

■ Figure 3 – Poste de collecte proposé





Beaucoup de points étant remis en question, il a été décidé de ne pas pousser plus loin la conception de ce prototype et d'opter plutôt pour du matériel commercialement disponible qui pourrait faire office de poste de collecte le temps des essais. Le CTTÉI s'est donc procuré un réservoir conique en polyéthylène haute densité d'une capacité de 55 gallons (220 litres) muni d'un agitateur motorisé à quatre pales. Cet équipement est illustré aux figures 4 et 5. Notons que l'utilisation sécuritaire d'un agitateur électrique est confirmée dû à la classification SIMDUT B3 du solvant.

■ Figure 4 – Réservoir utilisé comme poste de collecte



■ Figure 5 – Pales de l'agitateur à l'intérieur du réservoir



5.2 ESSAI SUR SITE

5.2.1 Objectifs

Un essai sur site a été planifié chez EBI Environnement qui opère un centre de tri où se retrouve inévitablement du polystyrène provenant de la collecte sélective. Cet essai avait pour but de recueillir des informations sur les éléments suivants :

- Informations sur l'utilisation du procédé à plus grande échelle que laboratoire;
- Commentaires sur l'utilisation du procédé par une tierce personne;
- Informations sur la possibilité de l'installation de ce type de poste de collecte en centre de tri;
- Estimation de la mise à l'échelle qui serait requise pour convenir aux volumes collectés;



- Aspects santé et sécurité à considérer;
- Niveau de saturation du solvant requis pour une manipulation aisée;
- Etc.

5.2.2 Essai

Une rencontre de planification a eu lieu le lundi 6 octobre avec M. Serge Brière d'EBI Environnement et Mme Chantal Frappier, directrice administrative du centre de tri Nord Ben inc., une filiale du groupe EBI Environnement. Cette rencontre a permis de présenter les objectifs de la démonstration et de définir avec Mme Frappier les modalités de l'essai sur site. Le centre de tri est aménagé sur deux étages; les zones d'entrée/sortie des matières de même que les emplacements de mise en ballots et stockage ont lieu au rez-de-chaussée alors que les lignes de tri sont installées au deuxième étage. Un pré-tri est effectué manuellement à l'arrivée des matières. C'est à cet endroit qu'un premier tri du polystyrène est effectué. Au niveau des lignes de tri, le polystyrène de plus petite taille est rejeté dans les mêmes bacs que tous les autres contaminants du flux (vaisselle, ampoules électriques, etc.) comme en témoignent les photos de la figure 6.

Le seul emplacement disponible qui était sécuritaire et facile d'accès pour l'installation du poste de collecte se situait au rez-de-chaussée du bâtiment, sous les convoyeurs et à proximité d'un broyeur à verre. Compte tenu des volumes importants de polystyrène recueillis chaque jour et de la petite taille du poste de collecte, un essai sur plusieurs jours ne pouvait pas être réalisé. Sa durée a donc été ramenée à une demi-journée. L'essai sur site a été réalisé le jeudi 9 octobre 2008 par Mme Julie Gendron, chargée de projets et Mme Renée Rossignol, technicienne.

■ Figure 6– Mise en commun de tous les rejets



a) Ligne de tri



b) Matières rejetées

Au début de l'essai, un volume initial d'environ 15 gallons (60 litres) de solvant a été ajouté au réservoir de polyéthylène haute densité. L'emplacement du poste de collecte n'étant pas à proximité des lignes de tri, le polystyrène a été acheminé dans des sacs par un employé du

centre. Vu la grande variété de types de PS recueillis et la courte durée de l'essai, il a été convenu d'utiliser surtout le PS expansé, celui qui possède la vitesse de dissolution la plus rapide. Pour les fins de la démonstration sur site, le polystyrène a été trié du reste des rejets pendant quelques heures. Ainsi, deux sacs de gros morceaux ont été ramassés en 45 minutes au pré-tri et un sac et demi de petits morceaux ont été recueillis durant la matinée sur la ligne de tri. Des photos de ces sacs sont présentées à la figure 7. Le polystyrène a été ajouté par volumes d'environ 5 gallons (20 litres). La figure 8 présente des images du remplissage et du démarrage de l'unité. La masse totale de polystyrène ajoutée est de 3,89 kg, soit trois gros sacs de grands morceaux et un gros sac de pièces plus petites (voir la figure 8). Notons que l'agitation était continue.

■ Figure 7 – Polystyrène utilisé



■ Figure 8 – Préparation et mise en marche du poste de collecte



Pour le volume de solvant utilisé, la saturation devait être atteinte après l'incorporation de près de 38 kg de polystyrène. Pourtant, après seulement 4 kg, la viscosité croissante du mélange a eu pour effet de créer un ralentissement du moteur de l'agitateur. L'essai a donc pris fin pour éviter un bris d'équipement. Les images de la figure 9 présentent l'évolution de la dissolution du polystyrène lors de l'essai sur site.

■ **Figure 9 – Évolution de la dissolution du polystyrène**



Afin de mieux comprendre la réalité des centres de tri et l'impact de l'implantation de la technologie développée, un entretien a été réalisé avec la directrice de l'usine, Mme France Durand. Cette discussion a d'abord permis d'apprendre que le plus gros volume de polystyrène provient du polystyrène d'emballage qui est rejeté au pré-tri. Selon Mme Durand, l'installation des postes de collecte à cet endroit devrait être considérée. Aussi, différents facteurs doivent être considérés dans les activités d'un centre de tri. Par exemple, les déplacements et manipulations doivent être optimisés pour des questions d'efficacité. On favoriserait donc l'alimentation automatisée du poste de collecte par rapport à une alimentation manuelle, et l'usage d'un chariot élévateur pour les déplacements serait privilégié. Les aspects santé et sécurité ont également leur importance. Les employés ne devraient donc pas être mis en contact direct avec le solvant du poste de collecte ni être incommodés par ses émanations. Pour cette raison et pour limiter l'encombrement de l'espace intérieur, la directrice administrative du centre de tri, Mme Frappier, a quant à elle recommandé qu'un tel système soit plutôt installé à l'extérieur.

Le poste de collecte final devrait être robuste afin de résister aux éventuelles collisions qui pourraient survenir lors des déplacements. Il y a en effet un va-et-vient constant de camions, tracteurs et chariots élévateurs, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du site. Une formation adéquate des employés et un plan d'intervention en cas de déversement devraient être envisagés.

5.2.3 Conclusions de l'essai

La réalisation d'un essai sur site, même de courte durée, a permis d'aller chercher des informations complémentaires importantes sur le côté pratique du concept développé et sur les éléments à considérer pour son implantation dans le réseau québécois des centres de tri. On a pu établir les divers constats techniques suivants sur la technologie proposée :

- L'agitation du mélange solvant/PS est essentielle;
- La grande viscosité du mélange, même à faible niveau de saturation, nécessite l'emploi d'un moteur à puissance suffisante pour maintenir l'agitation;



- La taille du poste de collecte utilisé est nettement insuffisante pour les volumes de PS impliqués;
- La faible vitesse de dissolution du PS est limitante et pousse à envisager l'usage de plus d'un poste de collecte à la fois.

Pour s'assurer de la collaboration des centres de tri dans l'implantation de la technologie, le poste de collecte final devrait tenir compte de leur réalité et posséder les propriétés suivantes :

- Faible encombrement;
- Robuste;
- Sécuritaire (pas de contact direct avec le solvant, limitation des émanations, étanche);
- Alimentation automatisée;
- Facile à manipuler par chariot élévateur.

Le CTTÉI croit qu'un conteneur étanche de 3 ou 4 verges cubes muni d'un agitateur approprié pourrait être utilisé en guise de poste de collecte. Il pourrait, en fonction de la configuration spécifique à chaque centre de tri, être positionné à proximité de la zone de pré-tri. Un tri plus précis au niveau des lignes de travail pourrait être effectué afin de ségréguer les petites pièces de PS des autres rejets. Ultimement, une chute ou un convoyeur additionnel pourrait être ajouté afin d'alimenter directement le poste de collecte malgré le fait qu'une alimentation automatisée réduise le contrôle sur la qualité du PS récolté.

L'ampleur des volumes recueillis pourrait nécessiter l'utilisation de plus d'un poste de collecte. On pourrait par exemple envisager un scénario à deux postes de collecte par jour (avant-midi et après-midi) avec une période de repos durant la nuit. La fréquence de levée des conteneurs par le recycleur pourrait être de 45 jours, en considérant un conteneur de 3 verges cubes remplis à moitié de solvant qui serait amené à saturation. Le détail de ce calcul est le suivant :

- Un conteneur de 3 verges cubes rempli à moitié correspond à un volume de 1 148 litres de solvant;
- Basé sur les volumes de PS expansé collectés lors de l'essai sur site, on pourrait s'attendre à recueillir environ 16 kg de PS expansé par jour. Cette masse correspond approximativement à 1 m³;
- À saturation, on dissout 0,64 g de PS dans 1 ml soit 0,64 kg/L;
- Si 1 148 litres de solvant peuvent dissoudre à saturation 735 kg de PS expansé, on peut conclure qu'à une vitesse d'alimentation de 16 kg par jour le conteneur doit être levé à tous les 46 jours.
 - $735 \text{ kg} \div 16 \text{ kg / jour} = 46 \text{ jours}$
- Notons que cette durée pourrait varier si les volumes de PS expansé augmentaient suite à leur acceptation par les centres de tri dans la collecte sélective.



5.3 STRATÉGIE D'IMPLANTATION DE LA TECHNOLOGIE DÉVELOPPÉE

L'analyse combinée des résultats obtenus en laboratoire et des enjeux économiques et environnementaux actuels permet de définir une stratégie de déploiement de la technologie sur le territoire québécois. Elle permet du même coup d'identifier les acteurs qui devraient intervenir et le rôle qu'ils devraient jouer ou se voir confier afin d'atteindre l'objectif ultime de détourner un maximum de polystyrène de l'enfouissement.

5.3.1 Les constats

Plusieurs constats ont pu être établis lors de la réalisation du présent projet. Tout d'abord, on a pu déterminer que **la dissolution dans un solvant est possible avec tous les types de polystyrène** présents dans la collecte sélective et ce, même s'ils ont une vitesse de dissolution différente. Le PS d'emballage est celui qui se dissout le plus rapidement, suivi du PS expansé alimentaire et finalement du PS choc où on observe la dissolution la plus lente.

On a également remarqué que **plus on approche du niveau de saturation du solvant, plus la pâte de PS obtenue est ferme**. C'est-à-dire que pour un solvant donné, il existe une quantité maximale de PS que l'on peut dissoudre. Passé cette limite, le PS ne se dissout plus et demeure sous forme solide dans le mélange. Cette propriété est différente pour chaque type de solvant. Le solvant retenu dans le cadre du projet était celui démontrant la meilleure combinaison « niveau de saturation élevé » et « vitesse de dissolution rapide », deux critères qui ont leur importance sur la rentabilité économique d'un procédé industriel et dont on a tenu compte. L'obtention d'une pâte trop ferme pourrait nuire à l'application du scénario de collecte par camion citerne proposé initialement puisqu'elle pourrait s'avérer difficile à pomper. Il y aurait lieu de valider ultérieurement cette possibilité par une revue de l'équipement de pompage existant et des mesures de viscosité de la pâte à différents niveaux de saturation.

En ce qui concerne les essais d'extraction du solvant de la masse de PS dissoute, ces derniers avaient pour but de le récupérer afin de le recycler en boucle dans le procédé. Les **faibles niveaux d'efficacité d'extraction obtenus avec l'ensemble des méthodes** indiquent que ce scénario ne pourra pas être concrétisé, d'autant plus que l'analyse sommaire par le CÉPROCQ de la composition chimique des petites quantités de solvant extraites ont démontré que celle-ci avait changé par rapport à sa composition originale. C'est donc dire que certaines composantes demeurent emprisonnées dans la masse de PS et que le solvant extrait n'aurait a priori pas les mêmes propriétés de dissolution que la formulation de base.

Parmi les méthodes d'extraction testées, **la centrifugation est probablement la plus intéressante parce que malgré qu'on n'ait pu récupérer que 10 % du solvant, elle a pour avantage de séparer les saletés et souillures** qui sinon demeureraient en suspension dans la masse et viendraient abaisser le niveau de pureté du PS recyclé. **Une telle étape de traitement serait donc essentielle à échelle industrielle si aucun pré lavage du PS entrant n'est effectué**. Notons toutefois que la caractérisation du PS collecté par EBI Environnement a permis de constater que le PS provenant de la collecte sélective était très peu souillé. Cela ne serait pas le cas cependant du PS qui proviendrait de cafétérias d'institutions ou de centres commerciaux.



Des essais d'extrusion et de mise en forme ont été réalisés au CTMP à partir de grandes quantités dissoutes de PS blanc alimentaire et de PS de tous types. Ces lots avaient été préalablement centrifugés et contenaient toujours près de 90 % du solvant utilisé lors du processus de dissolution. Bien que difficiles à extruder lorsqu'utilisés seuls, les tests ont démontré que **les propriétés mécaniques de différentes combinaisons de PS vierge et de PS recyclé sont intéressantes** et qu'il conviendrait, pour aller plus loin, de valider l'intérêt des fabricants québécois pour ces mélanges. Les perspectives de marché pourraient ainsi être mieux définies.

5.3.2 La stratégie d'implantation

Les constats techniques présentés plus haut contribuent à définir la stratégie d'implantation éventuelle d'un processus de collecte et de recyclage du PS. Un scénario logique ferait cheminer d'abord le PS des résidences vers les centres de tri via le réseau déjà bien établi de la collecte sélective.

Le PS recueilli serait ensuite mis en solution dans des postes de collecte localisés directement aux centres de tri. Ce choix est motivé par le fait que **l'intérêt de la technologie développée dans le cadre de ce projet réside essentiellement dans sa capacité à rentabiliser le transport du PS vers son lieu de transformation**. En effet, les essais en laboratoire ont démontré que la dissolution du PS dans un solvant permet de transporter jusqu'à environ 27 fois plus de PS pour un volume donné que dans un transport conventionnel par camion.

■ Figure 10 – Comparaison des volumes





Le coût d'achat du solvant étant assez élevé (9,90 \$/litre) et sa difficulté d'extraction ayant été confirmée, il serait pertinent d'utiliser au maximum son pouvoir de dissolution (c'est-à-dire d'aller jusqu'à saturation). Le PS obtenu serait alors une pâte très ferme. Au départ, la vidange des postes de collecte par camion citerne avait été envisagée mais, tel que mentionné plus haut, la faisabilité de pomper une pâte ferme devrait être validée. Si cette option s'avérait impossible à réaliser, il faudrait alors considérer le simple remplacement des postes de collecte pleins par des postes avec solvant prêts à être utilisés.

La fréquence de levée ou vidange des postes de collecte devra être déterminée pour chaque centre de tri en fonction des volumes qui leur seront acheminés chaque jour. Idéalement, la réaction de dissolution devra être totalement complétée avant de quitter le centre de tri. On pourrait donc envisager d'avoir plus d'un poste de collecte au même endroit. Les masses de PS dissoutes seraient prélevées par un récupérateur ou un fabricant qui prendrait en charge la purification du PS par centrifugation, puis ultimement son mélange avec du PS vierge et sa remise en marché. Pour rentabiliser l'exercice et être compétitif par rapport au PS vierge, il faut considérer avoir le moins d'intermédiaires possibles.

La façon de faire proposée implique que le solvant demeure dans la masse de PS et ne soit pas recirculé en boucle. On estime que les propriétés mécaniques d'une pâte contenant 100 % du solvant ajouté ne seraient pas très différentes de celles obtenues pour les mélanges testés avec 90 % de solvant résiduel. Aussi, au niveau économique, il y aurait lieu de confirmer que le coût en solvant neuf dû à l'impossibilité de récupérer le solvant en boucle est compensé par ce qu'aurait coûté un procédé d'évaporation ou de séchage avec condensation des vapeurs tel qu'envisagé au début du projet.

Après centrifugation, on retrouverait donc deux types de flux chez le récupérateur ou fabricant :

1. Le PS sous forme de pâte ferme prête à être réutilisée;
2. Une plus petite fraction constituée de PS dissout et des souillures.

La fraction propre est alors disponible pour être mélangée à du PS vierge et entrer dans la fabrication de nouveaux objets, tandis que la fraction souillée peut être soit enfouie, soit utilisée en valorisation énergétique. La valeur calorifique de cette dernière fraction pourra varier en fonction de la nature des souillures présentes mais d'après les observations du CTTÉI en laboratoire, c'est le PS restant intimement mélangé aux souillures qui contribuerait le plus fortement à cette valeur.

Pour vérifier rapidement ce potentiel, le CTTÉI a mesuré par calorimétrie la valeur énergétique des deux phases d'un échantillon de PS dont les souillures avaient été isolées par centrifugation. Après séparation manuelle des deux phases, les résultats étaient que la fraction « pure » avait une valeur calorifique de 39 167 kJ/kg alors que celle de la fraction « souillée » était de 29 047 kJ/kg. Des discussions à ce sujet ont eu lieu avec une cimenterie qui a affirmé avoir un intérêt envers un tel combustible. Elle proposait même d'utiliser les deux types de fraction dans l'attente du développement des marchés pour la fraction « pure ».



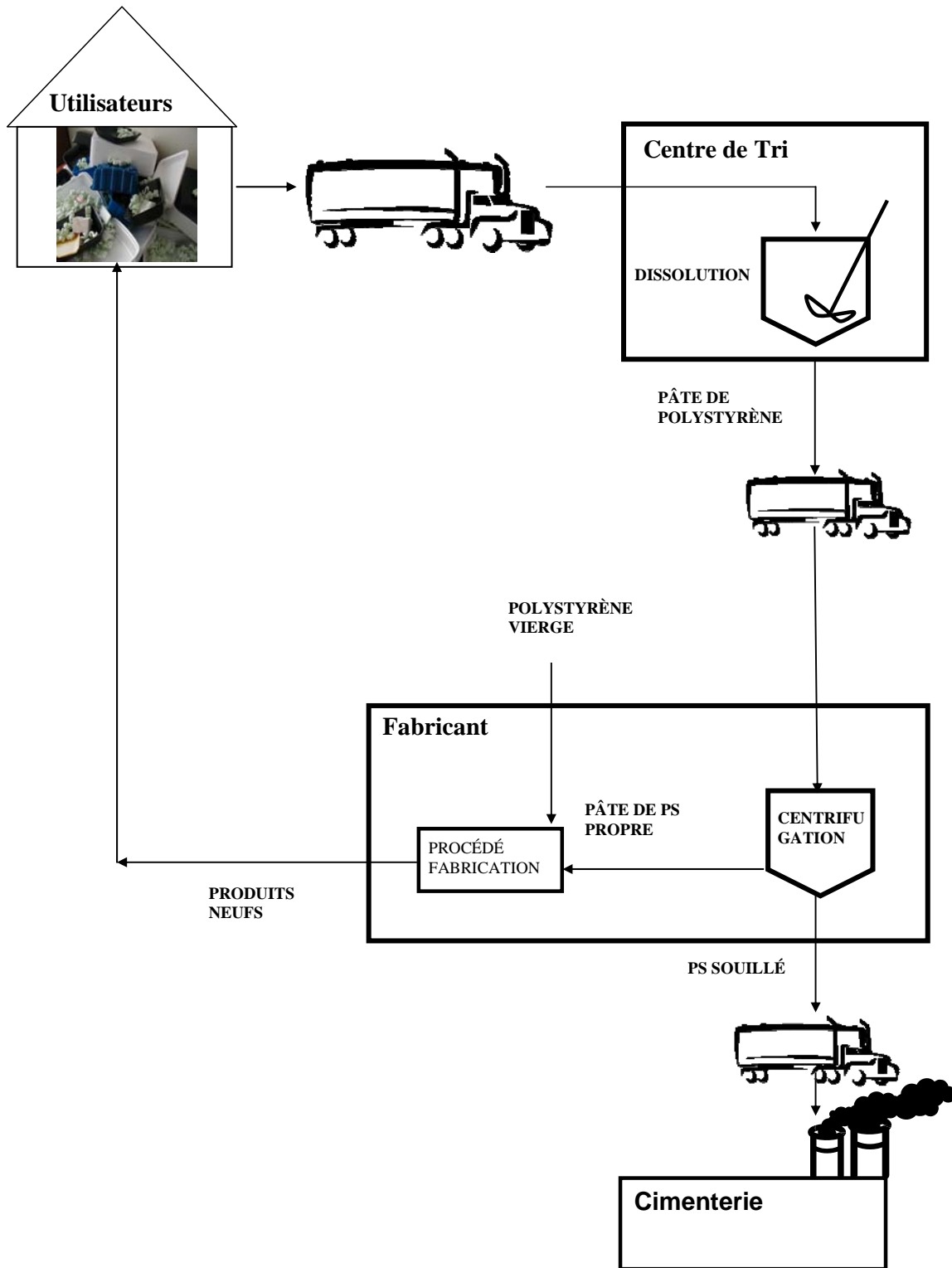
En centre de tri, différents facteurs pourraient faire en sorte que tous les types de PS ne soient pas recyclés :

- Spécifications des récupérateurs ou fabricants en fonction des propriétés requises pour certaines applications ou débouchés (ex. : critères sanitaires, de pureté, de résistance à l'impact, de couleur, etc.);
- Temps de dissolution trop long pour les PS choc qui ralentirait la fréquence de levée des postes de collecte;
- Grand volume total à traiter qui nécessiterait un trop grand nombre de postes de collecte (ou des postes trop volumineux) en centre de tri;
- Etc.

En page suivante, le schéma présenté à la figure 7 illustre le cheminement du PS pour le processus de recyclage proposé.



■ Figure 11 – Processus de recyclage du polystyrène issu de la collecte sélective





CONCLUSION

Au cours des deux dernières années, un grand nombre d'essais ont été réalisés dans le but de mettre au point un procédé de recyclage du polystyrène qui permettrait de mettre en valeur cette ressource présentement destinée à l'enfouissement. Tout au long du projet, les choix ont été guidés simultanément par les résultats scientifiques et la considération des aspects économiques. Les différents constats techniques ont été abordés en détail dans ce rapport et ont permis d'orienter la stratégie d'implantation proposée, le tout en considérant le contexte quotidien des centres de tri.

C'est un grand pas en avant qui a été fait dans l'élaboration d'un processus complet de recyclage qui mettrait à contribution différents acteurs, depuis les consommateurs via la collecte sélective jusqu'aux fabricants d'objets à partir de polystyrène. Cependant, certaines étapes restent encore à accomplir pour finaliser ce scénario et faciliter sa concrétisation :

- Au niveau technique :
 - Analyser la viscosité des pâtes de PS à différents niveaux de saturation afin de statuer sur la possibilité d'utiliser des équipements de pompage pour vidanger les postes de collecte;
 - Réaliser des essais à échelle pilote.
- Au niveau économique :
 - Réaliser une étude de préfaisabilité économique pour comparer le prix de revient du PS recyclé à celui du PS vierge.
 - Valider l'intérêt des fabricants pour la pâte de PS recyclé;
 - Confirmer les débouchés possibles.

On sait que le gisement de PS de tous types, bien que difficile à évaluer avec précision, est considérable. Pour une implantation réussie de cette technologie de recyclage, les volumes nécessaires à la rentabilité économique devraient donc être disponibles. Il faudra par contre s'assurer de la collaboration de tous les intervenants concernés, particulièrement celle des centres de tri. Pour ce faire, plusieurs organismes, dont RECYC-QUÉBEC, Collecte Sélective Québec et les municipalités, devront travailler ensemble pour faire de ce projet de recherche appliquée un succès inédit dans le domaine du recyclage.

