



**Analyse des effets des
activités de gestion des matières résiduelles
sur les émissions de gaz à effet de serre
Mise à jour de 2005
Rapport final
Contrat n° K2216-04-0006**

**Remis à :
Environnement Canada et Ressources naturelles Canada**

**Présenté par :
ICF Consulting
Le 31 octobre 2005**

Canada 

Table des matières

RÉSUMÉ	1
1 INTRODUCTION.....	5
2 MÉTHODOLOGIE	10
2.1 INTRANTS ET BASES DE RÉFÉRENCE POUR UN INVENTAIRE DE CYCLES DE VIE SIMPLIFIÉ	10
2.2 LA FAÇON DONT CES INTRANTS SONT INVENTORIÉS ET COMPARÉS	13
2.2.1 ÉMISSIONS DE GES ET PUIITS DE CARBONE ASSOCIÉS À L'ACQUISITION DES MATIÈRES PREMIÈRES ET À LA FABRICATION	15
2.2.2 ÉMISSIONS DE GES ET PUIITS DE CARBONE ASSOCIÉS À LA GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES.....	25
2.3 PROBLÈMES DE COMPTABILISATION	28
2.3.1 BIOGAZ – MÉTHODE D'ENGAGEMENT RELATIVE AU MÉTHANE PAR OPPOSITION À LA MÉTHODE DES MATIÈRES RÉSIDUELLES PRÉSENTES	28
2.3.2 PUIITS DE CARBONE.....	29
2.3.3 MOUVEMENT TRANSFRONTALIER DE MATÉRIAUX.....	29
3 MÉTAUX ET VERRE	31
3.1 ALUMINIUM.....	31
3.1.1 RECYCLAGE.....	33
3.1.2 LIMITES	36
3.2 ACIER	37
3.2.1 RECYCLAGE.....	39
3.2.2 INCINÉRATION	40
3.2.3 LIMITES	41
3.3 FIL DE CUIVRE	41
3.3.1 RECYCLAGE.....	43
3.3.2 INCINÉRATION	44
3.3.3 LIMITES	45
3.4 VERRE	45
3.4.1 RECYCLAGE.....	46
3.4.2 INCINÉRATION	48
3.4.3 LIMITES.....	49
4 PLASTIQUES ET PNEUS.....	49
4.1 POLYÉTHYLÈNE HAUTE DENSITÉ, POLYÉTHYLÈNE TÉRÉPHTALATE ET AUTRES EMBALLAGES EN PLASTIQUE	50
4.1.1 RECYCLAGE.....	51
4.1.2 INCINÉRATION	53
4.1.3 LIMITES.....	54
4.2 PNEUS	54
4.2.1 RECYCLAGE.....	56
4.2.2 INCINÉRATION	58
4.2.3 LIMITES.....	59
5 PRODUITS FORESTIERS.....	59

5.1	PAPIER JOURNAL, PAPIER FIN, CARTON, AUTRES PAPIERS	60
5.1.1	RECYCLAGE	61
5.1.2	DIGESTION ANAÉROBIE	65
5.1.3	INCINÉRATION	68
5.1.4	ENFOUISSEMENT	70
5.1.5	LIMITES	74
6	MATIÈRES ORGANIQUES	75
6.1	RÉSIDUS ALIMENTAIRES ET DE JARDINAGE.....	75
6.1.1	COMPOSTAGE	75
6.1.2	DIGESTION ANAÉROBIE	79
6.1.3	INCINÉRATION	79
6.1.4	ENFOUISSEMENT	80
6.1.5	LIMITES	81
7	APPAREILS ÉLECTRONIQUES ET ÉLECTROMÉNAGERS	82
7.1	APPAREILS ÉLECTRONIQUES	82
7.1.1	RECYCLAGE	84
7.1.2	INCINÉRATION	85
7.1.3	LIMITES	86
7.2	ÉLECTROMÉNAGERS	87
7.2.1	RECYCLAGE	88
7.2.2	INCINÉRATION	89
7.2.3	LIMITES	89
8	APERÇU SUR LES COEFFICIENTS D'ÉMISSION	90
9	RÉFÉRENCES.....	100
10	LEXIQUE.....	104
	ANNEXE A. PRODUCTION PROVINCIALE D'ELECTRICITE.....	106
1.	COEFFICIENTS D'ELECTRICITE DES MOYENNES NATIONALE ET PROVINCIALES	107
1.1	SOURCES DES DONNÉES DE BASE ET HYPOTHÈSES	107
1.2	CONTEXTE ET MÉTHODE	108
1.3	MÉTHODE GÉNÉRALE UTILISÉE POUR PRODUIRE LES COEFFICIENTS D'ÉMISSION DE L'EMPLOI FINAL DE L'ÉLECTRICITÉ	108
1.4	ADDITIONNEURS DE LA PRÉCOMBUSTION	110
1.4.1	PÉTROLE ET GAZ NATUREL	110
1.4.2	CHARBON.....	111
1.5	NOTES SPECIFIQUES AUX PROVINCES	111
2	COEFFICIENTS DE LA PRODUCTION PONDÉRÉE D'ÉLECTRICITÉ	113
2.1	SOURCES DES DONNÉES DE BASE ET HYPOTHÈSES	113
2.2	CONTEXTE ET MÉTHODE	116
3	EFFETS TRANSFRONTALIERS : COEFFICIENTS DE L'ÉLECTRICITÉ AUX É.-U.116	
3.1	SOURCES DES DONNÉES DE BASE ET HYPOTHÈSES	116

3.2	CONTEXTE ET MÉTHODE	117
4	COEFFICIENT MARGINAL D'ÉLECTRICITÉ	117
	ANNEXE B. TABLEAUX DOCUMENTAIRES	118

Liste des tableaux

TABLEAU ES- 1 CATÉGORIES DE MATIÈRES RÉSIDUELLES EXAMINÉES	3
TABLEAU 2-1. COMPOSANTES DES ÉMISSIONS NETTES POUR DIVERSES OPTIONS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES.....	14
TABLEAU 2-2. COEFFICIENTS D'EMISSION POUR LA COMBUSTION DES COMBUSTIBLES. SOURCE : EC, 2002	18
TABLEAU 2-3. COEFFICIENTS D'EMISSION DE L'UTILISATION FINALE D'ELECTRICITE	19
TABLEAU 2-4. APPROCHE DE BILAN MASSIQUE POUR LE PUITTS DE CARBONE FORESTIER	24
TABLEAU 3-1. ÉMISSIONS DE GES PROVENANT DES OPTIONS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES D'ALUMINIUM (TONNES ECO₂/TONNE)	33
TABLEAU 3-2. ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DE L'ALUMINIUM (TONNES ECO₂/TONNE)	34
TABLEAU 3-3. ÉMISSIONS DE GES PROVENANT DES OPTIONS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DE L'ACIER (TONNES ECO₂/TONNE).....	38
TABLEAU 3-4. ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DE L'ACIER (TONNES ECO₂/TONNE)	39
TABLEAU 3-5. ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DE L'ACIER (TONNES ECO₂/TONNE)...	41
TABLEAU 3-6. ÉMISSIONS DE GES PROVENANT DE L'OPTION DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DE FIL DE CUIVRE (TONNES ECO₂/TONNE).....	43
TABLEAU 3-7. ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DU FIL DE CUIVRE (TONNES ECO₂/TONNE)	43
TABLEAU 3-8. ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DU CUIVRE (TONNES ECO₂/TONNE) ...	45
TABLEAU 3-9. ÉMISSIONS DE GES DE L'OPTION DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DE VERRE (TONNES ECO₂/TONNE).....	46
TABLEAU 3-10. ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DES BOUTEILLES DE VERRE (TONNES ECO₂/TONNE)	46
TABLEAU 3-11. ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DES BOUTEILLES DE VERRE (TONNES ECO₂/TONNE)	49
TABLEAU 4-1. ÉMISSIONS DE GES DE L'OPTION DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DE PEHD, DE PET, D'AUTRES PLASTIQUES ET DE PNEUS (TONNES ECO₂/TONNE).....	51

TABLEAU 4-2. ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DU PEHD, PET ET AUTRES PLASTIQUES (TONNES ECO₂/TONNE)	51
TABLEAU 4-3. ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DES PEHD, PET ET AUTRES PLASTIQUES (TONNES ECO₂/TONNE)	54
TABLEAU 4-4. UTILISATION ANNUELLE DES PNEUS HORS D'USAGE PAR PROVINCE ..	56
TABLEAU 4-5. ÉMISSIONS DE GES DES OPTIONS DE GESTION DES PNEUS HORS D'USAGE (TONNES ECO₂/TONNE)	56
TABLEAU 4-6. ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DES PNEUS (TONNES ECO₂/TONNE).....	57
TABLEAU 4-7. ÉMISSIONS DE GES DES PNEUS INCINÉRÉS DANS LES FOURS À CIMENT (TONNES ECO₂/TONNE)	58
TABLEAU 5-1. ÉMISSIONS DE GES DES OPTIONS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DE PAPIER JOURNAL, DE PAPIER FIN, DE CARTON ET D'AUTRES PAPIERS (TONNES ECO₂/TONNE)	60
TABLEAU 5-2. ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DU PAPIER JOURNAL, DU PAPIER FIN, DU CARTON ET D'AUTRES PAPIERS (TONNES ECO₂/TONNE)	61
TABLEAU 5-3. RÉPARTITION DES PRODUITS FORESTIERS EN PRODUITS SECONDAIRES.....	64
TABLEAU 5-4 ÉMISSIONS DE LA DIGESTION ANAÉROBIE POUR LE PAPIER JOURNAL, LE PAPIER FIN, LE CARTON ET D'AUTRES PAPIERS (TONNES ECO₂/TONNE)	68
TABLEAU 5-5 ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DU PAPIER JOURNAL, DU PAPIER FIN, DU CARTON ET D'AUTRES PAPIERS (TONNES ECO₂/TONNE).....	70
TABLEAU 5-6. DÉFINITION D'AUTRES PAPIERS	71
TABLEAU 5-7 ÉMISSIONS DU PAPIER JOURNAL, DU PAPIER FIN, DU CARTON ET D'AUTRES PAPIERS DANS LES SITES D'ENFOUISSEMENT (TONNES ECO₂/TONNE).....	74
TABLEAU 6-1. ÉMISSIONS DE GES DES OPTIONS DE GESTION DES RUS DES RÉSIDUS ALIMENTAIRES ET DE JARDINAGE (TONNES ECO₂/TONNE).....	75
TABLEAU 6-2 ÉMISSIONS DU COMPOSTAGE CENTRALISÉ DES RÉSIDUS ALIMENTAIRES ET DE JARDINAGE (TONNES ECO₂/TONNE).....	76
TABLEAU 6-3 CALCUL DES ÉMISSIONS NETTES DE GES DU COMPOSTAGE.....	79
TABLEAU 6-4 ÉMISSIONS DE LA DIGESTION ANAÉROBIE POUR LES RÉSIDUS ALIMENTAIRES ET DE JARDINAGE (TONNES ECO₂/TONNE).....	79
TABLEAU 6-5 ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DES RÉSIDUS ALIMENTAIRES ET DES RÉSIDUS DE JARDINAGE (TONNES ECO₂/TONNE).....	80

TABLEAU 6-6 ÉMISSIONS DES SITES D'ENFOUISSEMENT PROVENANT DES RÉSIDUS ALIMENTAIRES ET DE JARDINAGE (TONNES ECO₂/TONNE).....	81
TABLEAU 7-1. POURCENTAGE DE COMPOSITION DE QUATRE APPAREILS ÉLECTRONIQUES.....	83
TABLEAU 7-2. ÉMISSIONS DE GES DES OPTIONS DE GESTION DES RUS POUR LES APPAREILS ÉLECTRONIQUES (TONNES ECO₂/TONNE)	84
TABLEAU 7-3 ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DES ORDINATEURS PERSONNELS, DES TÉLÉVISEURS, DES FOURS À MICRO-ONDES ET DES MAGNÉTOSCOPIES (TONNES ECO₂/TONNE)	84
TABLEAU 7-4 MATÉRIAUX DE RÉCUPÉRATION PRODUITS PAR LES APPAREILS ÉLECTRONIQUES RECYCLÉS	85
TABLEAU 7-5 ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DES ORDINATEURS PERSONNELS, DES TÉLÉVISEURS, DES FOURS À MICRO-ONDES ET DES MAGNÉTOSCOPIES (TONNES ECO₂/TONNE)	86
TABLEAU 7-6 COMPOSITION DES MATIÈRES PREMIÈRES DES ÉLECTROMÉNAGERS CANADIENS.....	87
TABLEAU 7-7. ÉMISSIONS DE GES DES OPTIONS DE GESTION DES RUS DES ÉLECTROMÉNAGERS (TONNES ECO₂/TONNE).....	88
TABLEAU 7-8 ÉMISSIONS DU RECYCLAGE DES ÉLECTROMÉNAGERS (TONNES ECO₂/TONNE)	88
TABLEAU 7-9 ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATION DES ÉLECTROMÉNAGERS (TONNES ECO₂/TONNE)	89
TABLEAU 8-1. ÉMISSIONS DE GES DES OPTIONS DE GESTION DES DÉCHETS, AVEC DES Puits DE CARBONE (TONNES ECO₂/TONNE) *	91
TABLEAU 8-2. ÉMISSIONS DE GES DES OPTIONS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES, EN EXCLUANT LES Puits DE CARBONE (TONNES ECO₂/TONNE)	92
TABLEAU 8-3. ÉMISSIONS DES GES DES OPTIONS COMPARÉES DE GESTION DES RUS POUR L'ENFOUISSEMENT * (ÉMISSIONS NETTES DE L'OPTION MOINS LES ÉMISSIONS NETTES DE L'ENFOUISSEMENT), AVEC INCLUSION DES Puits DE CARBONE (TONNES ECO₂/TONNE)	94
TABLEAU 8-4. ÉMISSIONS DES GES DES OPTIONS COMPARÉES DE GESTION DES RUS POUR L'ENFOUISSEMENT * (ÉMISSIONS NETTES DE L'OPTION MOINS LES ÉMISSIONS NETTES DE L'ENFOUISSEMENT), AVEC EXCLUSION DES Puits DE CARBONE (TONNES ECO₂/TONNE)	95
TABLEAU 8-5. EFFETS SUR L'ÉNERGIE DES OPTIONS DE GESTION DES RUS (GJ/TONNE)	98

TABLEAU 8-6. EFFETS SUR L'ÉNERGIE DES OPTIONS DE GESTION DES RUS POUR L'ENFOUISSEMENT * (ÉMISSIONS NETTES DE L'OPTION MOINS LES ÉMISSIONS NETTES DE L'ENFOUISSEMENT) (GJ/TONNE)	99
TABLEAU A-1. COEFFICIENTS D'ÉMISSION DES GES RELATIFS À L'ÉLECTRICITÉ EN 2003 (G ECO₂ / KWH).....	107
TABLEAU A-3. CALCUL DE LA RÉPARTITION DE LA PRODUCTION PROVINCIALE.....	115
TABLEAU B-1 2001 – ÉMISSIONS DE GES ASSOCIÉES À LA PRODUCTION, AU RAFFINAGE ET AU TRANSPORT DU GAZ NATUREL	118
TABLEAU B-2 2001 – ÉMISSIONS DE GES ASSOCIÉES À LA PRODUCTION, AU RAFFINAGE ET AU TRANSPORT DES PRODUITS PÉTROLIERS RAFFINÉS	119
TABLEAU B-3. PRODUCTION CANADIENNE DE GAZ NATUREL ET DE PRODUITS PÉTROLIERS RAFFINÉS EN 2001¹	120
TABLEAU B-4 TAUX DE RÉTENTION DE DIVERS MATÉRIAUX.....	121
TABLEAU B-5 VALEURS ACTUELLES DE LA COMPOSITION DE DIVERS TYPES DE MATERIAUX	121
TABLEAU B-6 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE D'ALUMINIUM LAMINE	122
TABLEAU B-7 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE D'ALUMINIUM LAMINE	123
TABLEAU B-8 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE D'ALUMINIUM EXTRUDE	124
TABLEAU B-9 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE D'ALUMINIUM EXTRUDE	125
TABLEAU B-10 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE D'ALUMINIUM EN MOULAGE A FINITION IMMEDIATE	126
TABLEAU B-11 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE D'ALUMINIUM EN MOULAGE A FINITION IMMEDIATE	127
TABLEAU B-12 HYDROCARBURE FLUORE ENTIÈREMENT HALOGENE – RENSEIGNEMENTS SUR LES ANODES.....	128
TABLEAU B-13 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE D'ACIER	128
TABLEAU B-14 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE D'ACIER	129

TABLEAU B-15 CALCUL DES ESTIMATIONS D'ÉNERGIE PAR TONNE POUR L'ACQUISITION DES MATIÈRES PREMIÈRES DE L'ACIER	130
TABLEAU B-16 CONSOMMATION D'ÉNERGIE A L'INSTALLATION DE RECUPERATION DES MATERIAUX.....	130
TABLEAU B-17 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION DE MATERIAUX CHOISIS, INTRANTS VIERGES	131
TABLEAU B-18 ÉNERGIE DE LA FABRICATION DE MATÉRIAUX CHOISIS À PARTIR D'INTRANTS RECYCLÉS.....	132
TABLEAU B-19 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LE TRANSPORT – VIERGE	133
TABLEAU B-20 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LE TRANSPORT - RECYCLÉ	133
TABLEAU B-21 TRANSPORT ASSOCIÉ À LA FABRICATION.....	134
TABLEAU B-22 TRANSPORT VERS LE CONSOMMATEUR – VERRE (UTILISÉ COMME SUBSTITUT POUR D'AUTRES MATÉRIAUX)	134
TABLEAU B-23 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE FIL DE CUIVRE	135
TABLEAU B-24 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE FIL DE CUIVRE.....	136
TABLEAU B-25 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE BOUTEILLES DE VERRE	136
TABLEAU B-26 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE BOUTEILLES DE VERRE	137
TABLEAU B-27 CALCUL DES ESTIMATIONS D'ÉNERGIE PAR TONNE POUR L'ACQUISITION DES MATIÈRES PREMIÈRES DU VERRE¹	138
TABLEAU B-28 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE PEHD	139
TABLEAU B-29 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE PEHD	139
TABLEAU B-30 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE PET	140
TABLEAU B-31 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE PET.....	140
TABLEAU B-32 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE D'AUTRE PLASTIQUE (PEBD)	141

TABLEAU B-33 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE D'AUTRE PLASTIQUE (PEDB)	141
TABLEAU B-34 POLYÉTHYLÈNE DE HAUTE DENSITÉ	142
TABLEAU B-35 CATÉGORIE DE BOUTEILLES EN PET.....	142
TABLEAU B-36 POLYÉTHYLÈNE BASSE DENSITÉ LINÉAIRE (AUTRES PLASTIQUES) .	143
TABLEAU B-37 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE PNEUS	143
TABLEAU B-38 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE PNEUS	144
TABLEAU B-39 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE PAPIER JOURNAL	144
TABLEAU B-41 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DU PAPIER FIN.....	145
TABLEAU B-42 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE PAPIER FIN.....	146
TABLEAU B-43 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE CARTON	146
TABLEAU B-44 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE CARTON	147
TABLEAU B-45 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE D' « AUTRES » PAPIERS	147
TABLEAU B-46 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE D' « AUTRES » PAPIERS	148
TABLEAU B-47 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE PAPIERS MINCES	148
TABLEAU B-48 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE PAPIERS MINCES	148
TABLEAU B-49 CALCUL DES ESTIMATIONS DE L'ENERGIE PAR TONNE POUR L'ACQUISITION DES MATIERES PREMIERES DU PAPIER	150
TABLEAU B-50 ÉMISSIONS DE LA GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES	151
TABLEAU B-51 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE D'ASPHALTE.....	151

**TABLEAU B-52 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE
D'ASPHALTE EN UTILISANT DU PLASTIQUE RECYCLÉ 152**

**TABLEAU B-53 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE
VERRE DE TRC..... 153**

**TABLEAU B-54 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE
VERRE DE TRC..... 153**

**TABLEAU B-55 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION VIERGE DE
PLOMB D'ŒUVRE 154**

**TABLEAU B-56 CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION RECYCLÉE DE
PLOMB D'ŒUVRE 154**

Remerciements

L'appui des organismes suivants a rendu ce projet possible :

- Environnement Canada, Bureau national de la prévention de la pollution – Le Bureau national de la prévention de la pollution (BNPP) est le point central pour la gestion des substances toxiques, la mise en œuvre de la politique et de la législation fédérales de prévention de la pollution et l'élaboration de nouveaux concepts et moyens d'action qui facilitent le passage à la prévention de la pollution au Canada.
- Plan d'action 2000 du gouvernement du Canada sur le changement climatique, Programme des minéraux et des métaux – Le Plan d'action 2000 du gouvernement du Canada sur les changements climatiques, Programme des minéraux et des métaux, vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) du Canada provenant du secteur des minéraux et des métaux. En doublant les fonds d'autres partenaires et collaborateurs, le Programme des minéraux et des métaux appuie des initiatives qui améliorent les pratiques de recyclage des minéraux et des métaux et évalue d'autres procédés de production centrés sur les secteurs industriels ayant d'importantes activités d'émission de GES. Le Secteur des minéraux et des métaux (SMM) de Ressources naturelles Canada gère le Programme des minéraux et des métaux.

ICF Consulting Canada aimerait exprimer sa reconnaissance à Environnement Canada (BNPP) et à Ressources naturelles Canada (SMM) pour leurs orientations et contributions à l'élaboration et à l'achèvement de ce projet.

Environnement Canada et Ressources naturelles Canada souhaitent remercier toutes les personnes qui ont participé au processus d'examen par les pairs. Même si beaucoup de renseignements utiles ont été fournis, ce document ne représente ni la contribution ni le point de vue de tous les pairs qui ont procédé à l'examen. Le projet a bénéficié du soutien des personnes suivantes :

- Bill Franklin et Beverly Sauer, Franklin Associates Limited;
- Bruce Boyd, Association canadienne des producteurs d'acier;
- Fred Edgecombe, Institut des plastiques et de l'environnement du Canada;
- Henry Ferland, United States Environmental Protection Agency;
- John Nyboer, Centre canadien de données et d'analyse sur la consommation d'énergie dans le secteur de l'industrie, Simon Fraser University;
- Maria Kelleher, Kelleher Environmental;
- Martin Lemire, Craig Gaston, Justin Lacroix et Bruno Pépin, Statistique Canada;
- Mary Stewart, University of Sydney;
- Matthew McCulloch, Pembina Institute for Appropriate Development;
- Mort Barlaz, North Carolina State University;
- Steven B. Young et Lindita Bushi, SB Young Consulting;
- Talat Mahmood et Tom Browne, Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers.

Résumé

Alors que les décideurs cherchent à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), nombreux sont ceux qui, au Canada et ailleurs, ont trouvé que les possibilités d'atténuation liées aux matières résiduelles sont importantes et rentables. Plusieurs analyses aux échelons local et national laissent entendre que d'éventuelles réductions sont de même échelle que la modification des techniques de rendement énergétique et d'utilisation de l'électricité. Pour mieux évaluer ces options, il est nécessaire de disposer des coefficients d'émission de GES pour les matériaux clés et les options de gestion des matières résiduelles.

L'objectif de ce rapport revêt deux aspects :

1. mettre en valeur le potentiel rattaché aux options de la gestion municipale des matières résiduelles solides en relation avec les GES;
2. tenter de quantifier, dans une perspective de cycle de vie, les coefficients d'émission associés aux pratiques de gestion des matières résiduelles solides résidentielles ainsi que des matières résiduelles industrielles, commerciales et institutionnelles.

Les coefficients d'émission associés aux pratiques de gestion des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles peuvent servir à éclairer le processus décisionnel à tous les ordres de gouvernement et dans le secteur privé. Ces coefficients d'émission peuvent aider les décideurs à comparer les conséquences en GES des choix de gestion des matières résiduelles, c'est-à-dire qu'ils indiquent – en termes généraux – l'ampleur des réductions ou des accroissements des émissions.

Dans cette étude, les coefficients d'émission servent uniquement de base commune de comparaison. Ils ne sont pas destinés à servir – ni ne devraient servir – à inventorier les GES ou à quantifier les compensations des réductions des émissions pour les raisons énoncées ci-après :

- *les hypothèses, les méthodes et les valeurs des paramètres utilisés dans cette étude ne sont pas nécessairement compatibles avec la méthodologie ou les protocoles d'inventaires des GES élaborés pour des projets;*
- *ces coefficients d'émission ne donnent qu'une indication générale des conséquences en GES des choix de gestion des matières résiduelles;*
- *ces coefficients d'émission ne donnent pas la quantité absolue des émissions ou des réductions du fait d'incertitudes et de la simplification des hypothèses dans les analyses;*
- *les difficultés dans la quantification, la surveillance et la vérification des émissions qui ont lieu à des douzaines d'étapes différentes dans le cycle de vie et les emplacements géographiques.*

L'option utilisée pour gérer un produit ou un matériau qui a été « consommé » peut avoir des effets sur les émissions de GES, directement (p. ex., émissions de méthane de la décomposition anaérobie des matières organiques éliminées) et indirectement (p. ex., le recyclage de l'aluminium économise de l'énergie et élimine certaines émissions qui se produiraient autrement lors de la production de l'aluminium primaire). Les coefficients d'émission – les valeurs qui représentent l'effet net sur les émissions de GES lorsque tous les effets directs et indirects sont pris en compte au cours du cycle de vie d'un matériau – peuvent servir pour comparer des options de gestion d'une « matière résiduelle » particulière pour ce qui est de la réduction des GES. On peut trouver les coefficients d'émission élaborés comme résultat de ce travail à la section 8. Les sections qui précèdent la section 8 sont des renseignements généraux sur la façon dont nous avons élaboré ces coefficients.

Ce rapport représente le point culminant d'une série de projets en vue d'élaborer et de préciser les coefficients d'émission de GES du cycle de vie de matériaux particuliers qui se trouvent couramment dans le flux des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles. Le rapport initial, *Analyse des effets des activités de gestion sur les émissions de gaz à effet de serre* (ICF, 2001) décrit les émissions nettes de GES de matériaux choisis, dans une partie de leur cycle de vie, se terminant par divers sorts de gestion des matières résiduelles. Le présent rapport – la mise à jour de 2005 – présente les efforts du travail antérieur et les résultats de recherches entreprises plus récemment. La recherche la plus récente incluait l'ajout de plusieurs matériaux courants dans le flux des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles et pour lesquels d'autres options possibles de gestion des matières résiduelles sont intéressantes pour Environnement Canada et Ressources naturelles Canada (RNCAN) : appareils électroniques, électroménagers, fils de cuivre et pneus. De plus, ce rapport traduit les efforts faits pour améliorer la modélisation du recyclage du papier, en stimulant un recyclage en circuit ouvert – c'est-à-dire lorsque la deuxième génération de produits diffère du produit recyclé. Les coefficients d'émission donnés dans ce rapport traduisent aussi l'utilisation de données plus récentes pour calculer les émissions provenant de l'emploi de l'électricité.

Une bonne partie de la méthodologie utilisée pour le cycle de vie et certaines données utilisées dans ce projet, ainsi que certains passages du rapport, sont tirées directement des recherches effectuées par l'Environmental Protection Agency (EPA), Office of Solid Waste (2002) des É.-U. Ce travail, effectué depuis 1993 par ICF Consulting et d'autres, a conduit à l'élaboration de coefficients d'émission des GES pour le recyclage, le compostage, l'incinération et l'enfouissement, en étant centré sur les conditions aux É.-U. Les coefficients d'émission canadiens se basent sur ce travail et le développent 1) en utilisant des données canadiennes, chaque fois que c'est possible, 2) en incluant la digestion anaérobie parmi les options de gestion des matières résiduelles, 3) en incluant plusieurs nouveaux types de matériaux non encore étudiés aux États-Unis (p. ex., les appareils électroniques, les électroménagers), 4) en subdivisant l'utilisation en amont de l'énergie par étape du cycle de vie, 5) en caractérisant la composition des sources d'énergie pour la production d'électricité afin de mieux refléter la répartition géographique de la fabrication des éléments matériels.

Les matériaux examinés dans ce rapport sont présentés dans le Tableau ES- 1. Les options de gestion étudiées incluent le recyclage, l'enfouissement, la digestion anaérobie, l'incinération et le compostage¹. Pour chaque combinaison de matériaux et d'options de gestion des matières résiduelles, nous avons élaboré un coefficient d'émission nette pour caractériser la somme des émissions de GES et des puits dans un cycle de vie partiel.

Tableau ES- 1 Catégories de matières résiduelles examinées

Catégorie	Matériaux spécifiques
Métaux et verre	Aluminium, acier, fil de cuivre, bouteilles de verre
Plastique et pneus	PEHD (polyéthylène haute densité), PET (polyéthylène téréphthalate), autres plastiques, pneus
Produits forestiers	Papier journal, papier fin, carton, autres papiers
Produits organiques	Résidus alimentaires, résidus de jardinage
Appareils électroniques et électroménagers	Ordinateurs personnels, téléviseurs, fours à micro-ondes, magnétoscopes, électroménagers

En examinant les coefficients d'émission présentés dans ce rapport on peut conclure :

- qu'en général, le recyclage réduit les émissions de GES provenant de l'enfouissement; que les réductions d'émission sont, par tonne de matériau, assez importantes dans certains cas (p. ex., l'aluminium);
- que l'effet de l'inclusion ou de l'exclusion de puits de carbone a un important effet sur les coefficients d'émission pour le papier, les résidus alimentaires et de jardinage, en les gérant par le recyclage et l'enfouissement;

1. L'inclusion du recyclage et du compostage comme activités de gestion des « matières résiduelles » se fonde sur une idée traditionnelle, alors que les entreprises et les organismes qui participent à ces activités ont de plus en plus tendance à voir ces matériaux comme des « ressources », qu'il faut gérer adéquatement à la fin de leur vie utile.

- que pour les métaux et le verre, il n'y a presque aucune différence en matière d'émissions de GES entre les méthodes de gestion des matières résiduelles « en aval », c'est-à-dire enfouissement, incinération, digestion anaérobie et compostage². Pour les autres matériaux – papier, plastique, matières organiques, appareils électroniques, pneus – le choix de la méthode de gestion peut avoir d'importantes conséquences.

Les utilisateurs des coefficients d'émission présentés dans ce rapport devraient être conscients qu'ils intègrent de nombreuses limites et comportent une incertitude considérable. Même si l'analyse se base sur les meilleures données qu'il était possible d'obtenir dans les limites temporelles et financières du projet, et que les hypothèses sont jugées raisonnables, la précision des analyses est limitée par l'emploi de ces hypothèses et les limites des sources de données. Malgré l'incertitude qui les concerne, les coefficients d'émission donnent pour le Canada une estimation raisonnable des effets globaux des GES rattachés aux options de gestion, et ils procureront des bases saines pour éclairer des décisions de gestion des matières résiduelles et évaluer des mesures volontaires visant les émissions de GES dans le domaine de la gestion des matières résiduelles.

2. L'acier est une exception parce que les GES sont réduits lorsque l'acier est récupéré des incinérateurs et recyclé par la suite.

1 Introduction

Les décisions entourant la gestion des matières résiduelles deviennent de plus en plus complexes pour les décideurs et les gestionnaires des matières résiduelles à tous les niveaux. Le développement des nouvelles technologies, combiné avec une conscientisation accrue de l'effet de la gestion des matières résiduelles sur les gaz à effet de serre (GES) anthropiques, qui influencent les changements climatiques, crée des défis ainsi que des possibilités. Comme l'indiquera le présent rapport, les incidences sur les GES des pratiques de gestion des matières résiduelles peuvent être importantes³ et très variables. De ce fait, les décideurs ont besoin de cadres analytiques et d'outils pour comparer les émissions de GES associées aux diverses pratiques de gestion des matières résiduelles et pour divers types de matériaux.

Jusqu'à récemment, les seuls liens clairs entre la gestion des matières résiduelles et les GES étaient dans le domaine du contrôle des biogaz (c.-à-d. en recueillant et en brûlant les biogaz). Par les travaux récents sur le cycle de vie des membres des organismes gouvernementaux aux États-Unis et au Canada, d'autres liens entre les GES et les matières résiduelles ont également été mis en évidence.

Ce rapport représente le point culminant d'une série de projets en vue d'élaborer et de préciser les coefficients d'émission de GES du cycle de vie de matériaux spécifiques qui se trouvent couramment dans le flux des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles. Le rapport initial, intitulé *Analyse des effets des activités de gestion sur les émissions de gaz à effet de serre* (ICF, 2001) a décrit les émissions nettes de GES de matériaux choisis, dans une partie de leur cycle de vie, se terminant par divers sorts de gestion des matières résiduelles. Par la suite, Environnement Canada et RNCAN ont conclu un contrat avec ICF, pour étendre les cycles de vie des matériaux inclus dans le rapport initial et pour modifier la méthodologie afin de traduire les différences géographiques de la composition des sources d'énergie (et les émissions de GES qui en résultent) associées à la production d'électricité. Les constatations de ces efforts de recherche se trouvaient dans deux annexes au rapport initial (ICF, 2004a, 2004b). Le présent rapport – « Mise à jour de 2005 » – présente les constatations décrites dans les trois documents mentionnés ci-dessus ainsi que les résultats de recherches entreprises dernièrement.

Les recherches entreprises plus récemment incluaient l'ajout de plusieurs matériaux courants dans le flux des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles et pour lesquels d'autres options possibles de gestion des matières résiduelles

3. Le secteur des matières résiduelles est une importante source d'émissions de GES à l'échelle nationale; en 2002, le méthane des sites d'enfouissement et le dioxyde de carbone de l'incinération des matières résiduelles représentaient plus de 3 p. 100 des émissions totales de GES du Canada. (Source : Environnement Canada).

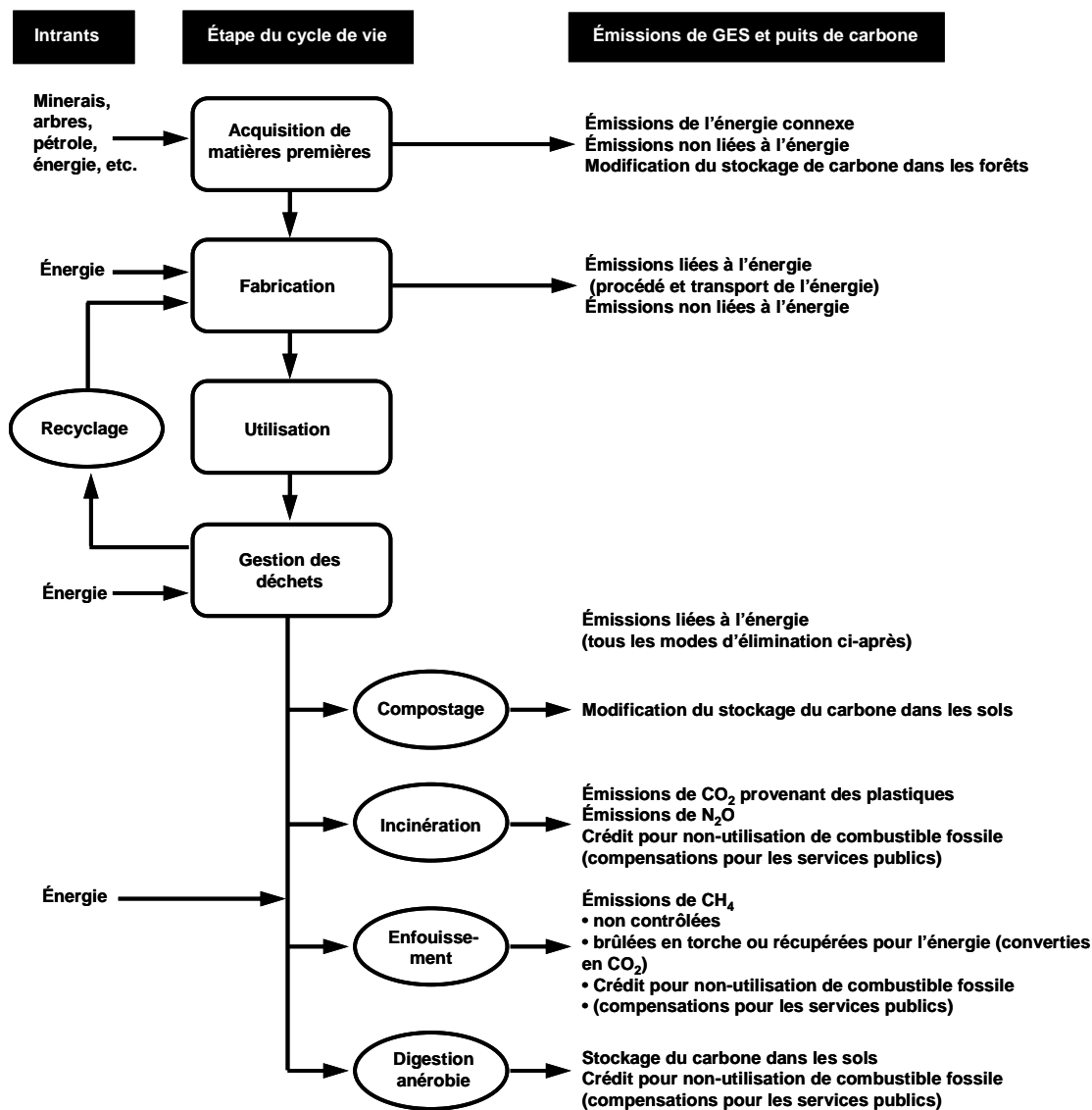
sont intéressantes pour Environnement Canada et RNCan : appareils électroniques (p. ex., ordinateurs personnels, fours à micro-ondes, téléviseurs, magnétoscopes), électroménagers (p. ex., lave-linge, sècheuses, réfrigérateurs), fil de cuivre et pneus. De plus, ce rapport traduit les efforts déployés pour améliorer la modélisation du recyclage du papier, en stimulant le recyclage en circuit ouvert – c'est-à-dire lorsque la deuxième génération de produits diffère du produit recyclé – pour chaque catégorie de papier. Auparavant, on tenait pour acquis que tous les flux de matériaux recyclés étaient des « circuits fermés » (p. ex., le papier journal est recyclé et transformé en davantage de papier journal). On considère aussi des circuits ouverts pour les appareils électroniques et les électroménagers. Les coefficients d'émission donnés dans ce rapport traduisent aussi l'utilisation de données plus récentes pour calculer les émissions provenant de l'emploi de l'électricité.

Le reste de ce rapport est conçu pour atteindre les objectifs suivants :

1. présenter le cadre méthodologique utilisé pour estimer les effets de la gestion des matières résiduelles au Canada sur le cycle de vie de GES;
2. décrire les données et les hypothèses utilisées pour élaborer des coefficients d'émission pour chaque matériau et pratique de gestion en fin de vie.

La Figure 1 ci-après donne un aperçu du cycle de vie de la gestion des matières résiduelles évaluées dans le présent rapport. Le schéma global du flux illustre les diverses étapes du cycle de vie d'un matériau (p. ex., la fabrication) et les intrants associés, et les émissions de GES ou les compensations qui en résultent.

Figure 1. Émissions de GES durant le cycle de vie des matériaux et compensations



Par suite de la complexité de cette analyse, le rapport contient autant de renseignements pertinents que possible, et il est organisé de manière directe et intuitive. Ce qui suit donne une courte description des chapitres ultérieurs de ce rapport.

Méthodologie (chapitre 2) – Ce chapitre explique le concept de l'analyse du cycle de vie des GES et les étapes clés du processus. Il présente des détails sur le concept de la consommation d'énergie pour l'acquisition et la fabrication des matières premières, pour les matériaux primaires et recyclés, avec les caractéristiques de l'énergie et des GES des diverses options de gestion des matières résiduelles, dont le recyclage, le compostage aérobie, la digestion anaérobie, l'incinération et l'enfouissement. On étudie également les questions de

comptabilisation liées à la production du méthane des sites d'enfouissement, aux puits de carbone et aux mouvements transfrontaliers de matériaux.

Métaux et verre (chapitre 3) – Ce chapitre donne un aperçu sur les effets des GES associés aux options de gestion des matières résiduelles pour l'aluminium, l'acier, le fil de cuivre et les bouteilles de verre. Une explication élémentaire des procédés de fabrication (p. ex., l'extraction) est fournie avec des renseignements et les hypothèses utilisées pour estimer les émissions de GES pour chaque option pertinente de gestion des matières résiduelles.

Plastiques et pneus (chapitre 4) – Ce chapitre donne un aperçu des effets des GES associés aux options de gestion des matières résiduelles en polyéthylène haute densité (PEHD), polyéthylène téréphtalate (PET), d'autres plastiques et les pneus. On y trouve une explication élémentaire des procédés de fabrication (p. ex., la production de monomères et de polymères), avec des renseignements et les hypothèses utilisées pour estimer les émissions de GES pour chaque option pertinente de gestion des matières résiduelles.

Produits forestiers (chapitre 5) – Ce chapitre donne un aperçu des effets des GES associés aux options de gestion des matières résiduelles de papier journal, de papier fin, de carton et d'autres papiers. On y trouve une explication élémentaire des procédés de fabrication (p. ex., la production de la pâte), avec des renseignements et les hypothèses utilisées pour estimer les émissions de GES pour chaque option pertinente de gestion des matières résiduelles.

Matières organiques (chapitre 6) – Ce chapitre donne un aperçu des effets des GES associés aux options de gestion des résidus alimentaires et de jardinage. On y trouve une explication élémentaire des renseignements et les hypothèses utilisées pour estimer les émissions de GES pour chaque option pertinente de gestion des matières résiduelles.

Appareils électroniques et électroménagers (chapitre 7) – Ce chapitre donne un aperçu des effets des GES associés aux options de gestion des matières résiduelles pour les ordinateurs personnels, les téléviseurs, les fours à micro-ondes, les magnétoscopes et les électroménagers. On y trouve une explication élémentaire des renseignements et les hypothèses utilisées pour estimer les émissions de GES pour chaque option pertinente de gestion des matières résiduelles.

Aperçu sur les coefficients d'émission (chapitre 8) – Ce chapitre donne une courte explication de la façon dont on peut utiliser les coefficients d'émission de gestion des matières résiduelles, avec un résumé portant sur les coefficients d'émission eux-mêmes.

Annexe A – Cette annexe présente notre méthode pour mettre en place l'utilisation de coefficients d'émission de GES relatifs à l'électricité, particuliers à une province. Les données concernant les mélanges de combustibles pour la production provinciale d'électricité (p. ex., charbon par type, gaz naturel, production hydraulique, nucléaire) sont combinées avec les coefficients de contenu en carbone adéquats pour estimer la quantité d'eCO₂ rejetée pour produire un gigajoule (GJ) d'électricité dans chaque province canadienne.

Annexe B – Cette annexe contient les tableaux détaillés de consommation d'énergie (électricité et combustibles fossiles) qui sont une composante clé de notre analyse. S'y trouvent aussi des renseignements sur le mélange actuel, les taux de rétention, les coefficients de carbone et les émissions de processus non énergétiques.

Notre méthode permet au lecteur d'être sélectif dans l'usage de ce rapport ou d'approfondir les aspects détaillés de l'analyse du cycle de vie de l'énergie et des GES. Par exemple, le lecteur peut simplement lire la section consacrée à l'aluminium pour en retenir les coefficients d'émission désirés et les annexes connexes pour obtenir une compréhension plus poussée des composants de l'énergie et des émissions de GES du cycle de vie de l'aluminium.

En conformité avec les priorités du projet, la documentation est relativement courte, ne traitant que les éléments les plus importants du projet.

2 Méthodologie

Les aspects essentiels de notre méthodologie sont décrits ci-après.

- Nous avons utilisé une approche simplifiée basée sur le cycle de vie pour caractériser les émissions de GES et les puits – c'est-à-dire que nous avons évalué les effets en amont et en aval et que l'ampleur s'est limitée pour n'inclure que les émissions des GES et les puits.
- La méthodologie concernant le cycle de vie incluait les gaz suivants du Protocole de Kyoto – le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde de diazote, les hydrocarbures fluorés entièrement halogénés.
- Les techniques de comptabilisation des GES utilisées dans ce rapport sont grandement compatibles avec les lignes directrices sur la comptabilisation des stocks du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (www.ipcc.ch/pub/guide.htm), bien que les coefficients d'émission ne soient pas destinés à une utilisation dans le processus national d'établissement des stocks.
- Compte tenu des discussions internationales permanentes portant sur les catégories particulières de puits de GES à inclure dans les inventaires de GES et de la comptabilisation à l'échelle nationale et à celle du projet, nous avons structuré le cadre de modélisation pour rendre compte des coefficients d'émission avec et sans les puits.
- Parce que les économies du Canada et des États-Unis sont inextricablement liées et que les mouvements transfrontaliers de matières primaires et secondaires et d'énergie sont si courants et continus qu'il est difficile de distinguer la frontière canado-américaine dans une perspective de cycle de vie, il est très difficile d'isoler exactement où se produisent les effets des émissions de GES en ce qui a trait aux frontières politiques. Les coefficients d'émission mentionnés dans ce rapport supposent que les mesures canadiennes de gestion des matières résiduelles touchent les émissions et les puits au Canada.

Le reste de cette section présente la méthodologie de base utilisée pour élaborer les coefficients d'émission pour comparer les effets en termes de GES des diverses pratiques de gestion des matières résiduelles. L'étude couvre deux vastes sujets :

1. les intrants et les bases de référence pour l'inventaire des cycles de vie simplifiés;
2. la façon dont ces intrants sont inventoriés et comparés.

2.1 Intrants et bases de référence pour un inventaire de cycles de vie simplifié

L'évaluation des émissions de GES de la gestion des matières résiduelles demande l'analyse de trois facteurs :

1. les émissions de GES tout au cours du cycle de vie du matériau (y compris l'option de gestion choisie);
2. la mesure dans laquelle les puits de carbone sont touchés par la fabrication et l'élimination du matériau;
3. la mesure dans laquelle l'option de gestion récupère l'énergie qui peut servir à supplanter l'énergie qui serait produite par un service d'électricité, en réduisant ainsi les émissions de GES.

Émissions de GES applicables aux matières résiduelles. Du point de vue de l'analyse des options de gestion des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles, le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde de diazote et les hydrocarbures fluorés entièrement halogénés constituent les plus importants GES. Parmi ceux-ci, le dioxyde de carbone (CO₂) est de loin le plus courant des GES émis au Canada (comme dans tous les autres pays développés). La plupart des émissions de CO₂ proviennent de la consommation d'énergie, surtout de la combustion des combustibles fossiles. Beaucoup d'énergie peut être consommé lors de la fabrication et ensuite de l'élimination d'un produit. L'énergie est utilisée au cours des étapes suivantes : 1) extraction et traitement des matières premières; 2) fabrication des produits; 3) gestion des produits à la fin de leur vie utile; 4) transport des matériaux et des produits entre chaque étape de leur cycle de vie. Nous avons évalué les émissions de GES liées à l'énergie à toutes les étapes. L'énergie utilisée en relation avec l'utilisation des produits n'a pas été évaluée. De plus, l'énergie consommée au cours de l'utilisation serait environ la même, que le produit soit fait avec des intrants vierges ou recyclés.

Le méthane (CH₄), un GES plus puissant, est produit lorsque des matières résiduelles organiques se décomposent dans un environnement sans oxygène (anaérobie), comme une décharge. Les sites d'enfouissement sont une importante source de CH₄ au Canada. Du CH₄ est aussi émis lorsque du gaz naturel est rejeté dans l'atmosphère pendant la production de charbon ou de pétrole, pendant la production ou l'utilisation de gaz naturel et par les activités agricoles.

L'oxyde de diazote (N₂O) provient de l'utilisation d'engrais commerciaux et organiques et de la combustion de combustibles fossiles ainsi que d'autres sources. En plus de ces émissions, nous avons estimé pour ce projet les émissions de N₂O provenant d'une seule pratique de gestion, l'incinération des matières résiduelles. Parce que les émissions de N₂O constituent un faible apport aux émissions totales, la valeur de l'analyse des É.-U. a servi de valeur implicite pour le Canada.

Les hydrocarbures fluorés entièrement halogénés (CF₄ et C₂F₆) sont émis pendant la réduction de l'alumine en aluminium, lors du procédé de première fusion. La source de fluor, qui produit les émissions de CF₄ et de C₂F₆ est la cryolite (Na₃AlF₆) en fusion, où se produit la réduction de l'alumine. Les hydrocarbures fluorés entièrement halogénés se forment pendant les « effets d'anode », qui sont les moments où le fluor dans la cryolite réagit avec le carbone de l'anode (une masse de carbone en pâte, des briquettes de coke ou des blocs de carbone pré-cuits) et du revêtement de carbone qui sert de cathode. Même si les quantités d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés émis sont petites, ces gaz sont importants à cause de leur potentiel élevé de réchauffement de la planète. De récentes améliorations des méthodes de fusion canadiennes

ont réduit la survenue des « effets d'anode » et des rejets associés d'émissions d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés.

Puits de carbone applicables aux matières résiduelles. Le carbone, comme bien d'autres éléments, circule dans l'air, l'eau, le sol et le biote. Un puits de carbone est un processus qui enlève le carbone de l'atmosphère. Tant que le carbone est stocké dans des bassins – comme les forêts, les sols ou les sites d'enfouissement – il ne se trouve pas dans l'atmosphère pour contribuer à « l'effet de serre », c'est-à-dire le piégeage de la chaleur près de la surface de la terre).

Définitions clés (du GIEC 2003)

Stock de carbone : quantité de carbone dans un bassin

Bassin de carbone : le réservoir qui contient le carbone

Puits de carbone : un processus qui enlève le carbone de l'atmosphère

Piégeage du carbone : le processus d'accroissement du contenu en carbone d'un bassin autre que l'atmosphère

Dans la perspective de la comptabilisation des GES, les analystes traitent l'accumulation de carbone dans les puits comme l'opposé mathématique des émissions. Ce qui signifie que, si les émissions sont affectées d'un signe positif, les puits reçoivent un signe négatif.

Émissions de GES économisées par les services d'électricité applicables aux matières résiduelles. Lorsque des matières résiduelles sont utilisées pour produire de l'électricité (par l'incinération de ces matières, la digestion anaérobie ou la récupération du CH₄ des sites d'enfouissement), il s'ensuit un remplacement des combustibles fossiles que le service d'électricité aurait autrement consommés. L'énergie liée à la combustion des combustibles fossiles est la source isolée la plus importante de GES au Canada⁴. Lorsque des matières résiduelles servent à produire de l'électricité qui remplace celle produite par des combustibles fossiles, les émissions de GES provenant de l'incinération des matières résiduelles sont compensées par les émissions de GES économisées par le service d'électricité.

Comparaison des GES

Le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde diazote sont des gaz très différents quant à leur potentiel de rétention de la chaleur. Le GIEC a établi la dioxyde de carbone comme gaz de référence pour mesurer le potentiel de rétention de la chaleur (connu aussi comme potentiel de réchauffement du globe ou PRG). Par définition, le PRG d'un kilogramme (kg) de dioxyde de carbone est 1. Le PRG utilisé dans ce rapport provient du Deuxième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC 1996).

Le méthane a un PRG de 21. Ce qui veut dire qu'un kg de méthane a le même potentiel de rétention de la chaleur que 21 kg de CO₂.

Le N₂O a un PRG de 310. Les hydrocarbures fluorés entièrement halogénés sont les GES les plus puissants couverts par cette analyse; les PRG sont de 6 500 pour le CF₄ et de 9 200 pour le C₂F₆.

Pour ce projet, les émissions de dioxyde de carbone, de méthane, d'oxyde de diazote et d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés sont exprimées comme équivalents de dioxyde de carbone (eCO₂). La valeur d' eCO₂ de une tonne de chaque autre gaz est déterminée en multipliant son PRG par une tonne.

4. En 2002, le secteur de l'énergie représentait 81 p. 100 de toutes les émissions canadiennes de GES (Source : Environnement Canada).

2.2 La façon dont ces intrants sont inventoriés et comparés

Les GES sont émis 1) lors des étapes de préconsommation de l'acquisition et de la fabrication des matières premières, 2) à l'étape de postconsommation de la gestion des matières résiduelles. Pour la présente étude, aucune émission de GES n'est attribuée à l'utilisation par les consommateurs de quelque produit, car ces émissions ne sont pas pertinentes dans une perspective de gestion des matières résiduelles.

En calculant les émissions des scénarios du cycle de vie, on peut utiliser deux points de référence différents.

- Dans une approche « d'extraction des matières premières » (c.-à-d. une approche du berceau à la tombe), on peut partir du point d'acquisition de la matière première comme du « point zéro » des émissions et ajouter toutes les émissions (et déduire les puits) à partir de ce point, durant tout le cycle de vie.
- Dans une approche basée sur la production de matières résiduelles (perspective du gestionnaire des matières résiduelles solides), on peut commencer la comptabilisation des émissions de GES au point de production des matières résiduelles. Toutes les émissions ultérieures et les puits provenant des pratiques de gestion des matières résiduelles sont alors comptabilisés. Les modifications des émissions et des puits, à partir de l'acquisition des matières premières et des procédés de fabrication, sont saisies dans la mesure où certaines pratiques de gestion des matières résiduelles (c.-à-d. le recyclage) ont une incidence sur ces procédés.

Parce que c'est la différence des émissions entre la base de référence et d'autres scénarios qui est significative, l'utilisation de l'un ou de l'autre de ces points de référence aboutit aux mêmes résultats. Une méthode de comptabilisation des GES de la production de matières résiduelles a été utilisée parce qu'elle semblait plus adéquate pour l'évaluation par les gestionnaires de matières résiduelles et les décideurs des options de gestion des matières résiduelles. En outre, les résidus alimentaires et les résidus de jardinage sont d'importantes composantes du flux des matières résiduelles; il est extrêmement difficile d'élaborer des estimations des émissions en amont de ces matières (et il n'y a pas d'options de recyclage claires), de sorte que la perspective basée sur « production de matières résiduelles » est la plus adéquate pour évaluer les émissions de GES provenant de ces matériaux. L'approche basée sur la production des matières résiduelles définit l'acquisition « normale » de matières premières et de l'étape de fabrication de chaque matériau comme formant la moyenne des émissions de GES, selon le mélange actuel d'intrants vierges et recyclés. Les modifications du mélange de la production (c.-à-d. des proportions plus élevées des intrants vierges ou des intrants recyclés) provoquent des émissions (ou des réductions) supplémentaires en ce qui concerne ce point de référence. On suppose que la demande des consommateurs portant sur un produit est insensible au taux de recyclage et donc que les augmentations du taux de recyclage remplacent un volume correspondant de production utilisant des intrants vierges.

Le Tableau 2-1 montre la façon dont les sources et les puits de GES sont comptés pour chaque option de gestion des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et

institutionnelles, afin d'estimer les émissions nettes de GES en utilisant le point de référence postconsommation. Par exemple, la ligne supérieure du tableau montre que le recyclage 1) annule des émissions de GES provenant de l'acquisition de matières premières et de la fabrication, 2) a pour résultat un accroissement des puits forestiers de carbone pour les produits dérivés du bois, 3) ne résulte pas en émissions de GES provenant de la gestion des matières résiduelles. La somme des émissions (et des puits) dans toutes les étapes du cycle de vie représente les émissions nettes. Les sections qui suivent le Tableau 2-1 expliquent chaque étape du cycle de vie incluse dans note analyse.

Tableau 2-1. Composantes des émissions nettes pour diverses options de gestion des matières résiduelles

Stratégie de gestion des matières résiduelles solides	Sources et puits des GES		
	<i>GES provenant des procédés d'acquisition des matières premières et de fabrication</i>	<i>Modification des puits de carbone des forêts ou des sols</i>	<i>Émissions et puits des GES de la gestion des matières résiduelles</i>
Recyclage	Diminution des émissions de GES résultant de besoins en matière d'énergie plus faibles (par comparaison avec la fabrication à partir d'intrants vierges) et des GES érudés par un procédé non énergétique	Accroissement des puits de carbone des forêts associés aux produits forestiers	Les émissions du procédé sont comptées à l'étape de la fabrication
Compostage aérobie	Ni émissions ni puits *	Accroissement possible du carbone des sols après épandage du compost	Émissions de l'équipement de compostage
Digestion anaérobie	Émissions de base du procédé provenant de la fabrication à partir du mélange actuel d'intrants vierges et recyclés	Accroissement possible du carbone des sols après épandage du compost	Émissions du service économisées, aucune émission de CH ₄ (parce que le rendement de captation est supposé être de 100 %)
Incinération	Émissions de base du procédé provenant de la fabrication à partir du mélange actuel d'intrants vierges et recyclés	Aucun changement	Émissions de CO ₂ , N ₂ O non biosynthétiques, émissions du service économisées
Enfouissement	Émissions de base du procédé provenant de la fabrication à partir du mélange actuel d'intrants vierges et recyclés	Aucun changement	Émissions de CH ₄ s, puits de carbone à long terme, émissions du service économisées (si le CH ₄ est récupéré pour l'énergie)

* Aucune émission de GES de la fabrication n'est prise en compte pour le compostage des résidus alimentaires et des résidus de jardinage parce que ces matières ne sont pas considérées comme fabriquées.

2.2.1 ÉMISSIONS DE GES ET PUIXS DE CARBONE ASSOCIÉS À L'ACQUISITION DES MATIÈRES PREMIÈRES ET À LA FABRICATION

Les matières premières servent à fabriquer divers matériaux, comme le minerai utilisé pour faire différents produits en métal, des arbres servant à fabriquer des produits de papier, du pétrole et du gaz naturel utilisés pour faire des produits en plastique.

Les intrants utilisés pour la fabrication incluent : 1) l'énergie et 2) des matières premières ou des matériaux recyclés.

Les émissions de GES rattachées à l'acquisition des matières premières et à la fabrication sont : 1) les émissions de GES de l'énergie de procédé, 2) les émissions de GES de l'énergie du transport, 3) les émissions de GES de procédés ne faisant pas appel à l'énergie (pour l'aluminium). Chaque type d'émission est décrit ci-après. Des modifications des puits de carbone dans les forêts sont aussi associées à l'acquisition des matières premières pour les produits de papier et il en est question séparément à la Section 2.2.1.5.

2.2.1.1 Énergie de procédé

Combustibles. Les émissions de GES de l'énergie de procédé consistent principalement en émissions de CO₂ provenant de la combustion du combustible utilisé pour l'acquisition des matières premières et la fabrication. Les émissions de CO₂ provenant de la combustion de la biomasse ne sont pas comptées comme émissions de GES (voir ci-après l'encadré traitant des émissions de CO₂ provenant de sources biosynthétiques).

La plus grande partie des émissions de CO₂ de l'énergie de procédé provient de la combustion des combustibles utilisés directement, par exemple, pour le fonctionnement du matériel d'exploitation des mines ou pour alimenter un haut fourneau. Du combustible est aussi nécessaire pour extraire du pétrole ou pour l'exploitation du charbon, qui sert finalement à produire de l'énergie, et pour transporter ces combustibles là où ils sont utilisés. Les émissions de CO₂ de cette « énergie de précombustion » sont également comptées dans cette catégorie. Lorsque l'électricité produite par la combustion de combustibles fossiles sert à la fabrication, les émissions de CO₂ provenant des combustibles fossiles sont également comptabilisées.

Émissions de CO₂ provenant de sources biosynthétiques

Le Canada et toutes les autres parties à la Convention-cadre sur les changements climatiques ont convenu de préparer des inventaires des GES dans le but 1) de mettre au point des stratégies d'atténuation et 2) de surveiller l'avancement de ces stratégies. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a élaboré un ensemble de méthodes d'inventaire à utiliser comme norme internationale (Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, 1997). Les méthodologies utilisées dans le présent projet pour évaluer les émissions et les puits des GES seront compatibles avec les lignes directrices du GIEC.

Un des éléments des lignes directrices du GIEC, qui mérite une mention spéciale, est l'approche utilisée pour traiter des émissions de CO₂ provenant de sources biosynthétiques. Pour de nombreux pays, le traitement des rejets de CO₂ provenant de sources biosynthétiques est le plus important, en traitant des rejets provenant de l'énergie tirée de la biomasse (p. ex., la combustion du bois), mais cet élément est aussi important en évaluant les émissions provenant de la gestion des matières résiduelles (par exemple, la décomposition ou l'incinération de tontes de gazon ou de papier). Le carbone dans le papier ou dans les coupes de gazon a été initialement enlevé de l'atmosphère par la photosynthèse et, dans des conditions naturelles, il retournerait finalement dans l'atmosphère comme CO₂, par suite des processus de dégradation. La Convention-cadre sur les changements climatiques met l'accent sur les émissions anthropiques – des émissions qui résultent des activités humaines et sont soumises au contrôle humain – parce que ce sont ces émissions qui ont les potentialités de modifier le climat en perturbant les équilibres naturels du cycle biogéochimique du carbone et en modifiant l'activité de rétention de la chaleur de l'atmosphère.

Par conséquent, pour les procédés ayant des émissions de CO₂, si a) celles-ci proviennent de matières biosynthétiques et b) si ces matières croissent de manière durable, alors ces émissions sont perçues comme bouclant simplement le cycle naturel du carbone – c'est-à-dire que le CO₂ qui en a été initialement enlevé par la photosynthèse, retourne dans l'atmosphère. Dans ce cas, les émissions de CO₂ ne sont pas comptées. (Pour les besoins de cette analyse, les matières biosynthétiques sont le papier, les résidus de jardinage et les résidus alimentaires.) Par ailleurs, les émissions de CO₂ provenant de la combustion des combustibles fossiles sont comptées, parce que ces émissions n'entreraient pas dans le cycle, si ce n'était de l'activité humaine. Également, les émissions de CH₄ provenant des sites d'enfouissement sont comptées – même si la source du carbone est principalement biosynthétique, le CH₄ ne serait pas émis, si ce n'était de l'activité humaine d'enfouissement des matières résiduelles, ce qui crée des conditions anaérobies propices à la formation de CH₄.

Il faut remarquer que cette approche ne fait pas de distinction entre le moment des émissions annuelles de CO₂, pourvu que les émissions se produisent au cours d'une échelle de temps raisonnablement courte, en rapport avec la vitesse avec laquelle les processus affectent le changement climatique mondial. En d'autres mots, aussi longtemps que le carbone biosynthétique sera finalement rejeté comme CO₂, il importe peu qu'il soit rejeté pratiquement de manière instantanée (p. ex., par la combustion) ou au cours d'une période de quelques décennies (p. ex., la décomposition du tapis forestier).

Dans cette analyse, la quantité d'énergie et la composition des sources d'énergie nécessaires pour produire chaque matériau étudié présentent de l'intérêt (en excluant les résidus alimentaires et les résidus de jardinage, selon ce qui est mentionné plus haut), à partir des intrants vierges et des intrants recyclés. L'analyse englobe quatre catégories de produits de papier (papier journal, papier fin, carton et « autres » papiers), l'aluminium, l'acier, le fil de cuivre, les bouteilles en verre, le polyéthylène haute densité (PEHD), le polyéthylène téréphtalate (PET), « autre plastique », les pneus, électroménagers, les ordinateurs personnels, les fours à micro-ondes et les magnétoscopes à cassettes (VCR). Le choix des matériaux analysés dans cette étude repose largement sur le fait qu'ils sont courants dans les flux de matières résiduelles et relativement gros consommateurs d'énergie pour leur production – et si l'extrait de ces procédés (p. ex., les produits de papier, l'aluminium, le fil de cuivre, l'acier, entre autres) peut se réduire par le recyclage, alors les économies d'énergie « en amont » peuvent être considérables.

Le recyclage de la plupart des matériaux résulte en économies d'énergie pour la fabrication (mesurées en gigajoules ou GJ), mais les effets sont beaucoup plus importants pour les matériaux qui demandent un traitement primaire à forte consommation d'énergie. Les émissions de CO₂ de la combustion vont d'environ 50 kg par GJ pour le gaz naturel à près de 87 kg par GJ pour le charbon, mais bien des produits manufacturés utilisent moins de 0,5 GJ par tonne pour leur production et, de ce fait, les économies de GES provenant du recyclage sont relativement restreintes. Toutefois, il y a quelques produits qui demandent jusqu'à 10 GJ par tonne ou

davantage pour leur production à partir des intrants vierges (p. ex., le papier, l'acier, les plastiques, le fil de cuivre, l'aluminium) et pour ces produits à forte consommation d'énergie, les économies provenant du recyclage peuvent produire des réductions d'émission de CO₂ de plusieurs tonnes de CO₂ par tonne de produits recyclés. Le recyclage de ces matériaux peut entraîner d'importantes réductions de GES, du fait des moindres quantités d'énergie requise pour manufacturer des intrants recyclés que des matériaux primaires (p. ex., du papier recyclé par opposition au bois à pâte).

Pour estimer les économies de GES provenant de la réduction ou du recyclage des matériaux considérés, nous avons évalué la quantité d'énergie nécessaire pour obtenir une tonne du matériau et la répartition de cette énergie par type de combustible, y compris l'électricité. Pour l'électricité utilisée dans le cadre du cycle de vie, les émissions de GES sont une fonction des types et des quantités de combustibles utilisés pour la production de l'électricité, ce qui varie d'une province à l'autre, ainsi que certaines pertes d'énergie au cours de la transmission. Notre approche pour calculer les coefficients d'émission liée à l'électricité est décrite à l'annexe A. Pour la consommation directe de combustibles fossiles (p. ex., l'emploi de gaz naturel dans des chaudières sur place), l'efficacité des systèmes est intrinsèquement incluse dans les estimations de la consommation d'énergie. Pour chaque matériau, nous avons produit deux ensembles d'estimations, l'un pour la fabrication à partir de matériaux primaires et l'autre pour la fabrication à partir de matériaux recyclés. Nous avons multiplié les figures de la consommation d'énergie résultantes par les coefficients d'émission de chaque combustible pour obtenir les émissions de GES par tonne de matériau provenant de l'utilisation de combustible et d'électricité à l'étape de la fabrication. Les coefficients d'émission utilisés pour la combustion des combustibles sont résumés dans le Tableau 2-2 et sont pris directement de l'inventaire canadien des GES (EC, 2002).

Tableau 2-2. Coefficients d'émission pour la combustion des combustibles. Source : EC, 2002

Type de combustible	Combustion kg CO ₂ /GJ	Combustion eCO ₂ CH ₄ /GJ	Combustion eCO ₂ N ₂ O/GJ	Précombustion eCO ₂ /GJ	Total en kg eCO ₂ /GJ
Charbon	86,80	0,00	0,01	6,42	93,23
Gaz naturel	49,65	0,27	0,40	9,89	60,20
Kérosène et pétrole de chauffage	68,54	0,13	4,03	17,73	90,42
Diesel	71,28	0,05	1,24	17,73	90,30
GPL	60,61	0,02	–	17,73	78,37
Distillat (combustible diesel léger)	72,94	0,13	4,03	17,73	94,82
Résidu (mazout lourd)	72,71	0,63	4,03	17,73	95,10
Essence	68,09	0,47	2,80	17,73	89,09
Huile et lubrifiants	47,93	–	0,19	17,73	65,85
Pétrole (sans spécification)	73,11	0,05	0,33	17,73	91,23
Biomasse	–	0,96	–	17,73	0,96
Pneus	75,00	–	–	–	75,00

Électricité. Les émissions de GES de l'énergie de procédé comprennent aussi les émissions produites par l'emploi de l'électricité pendant l'acquisition des matières premières et la fabrication. Pour estimer les émissions de l'électricité, il était nécessaire d'élaborer un coefficient d'émission de l'utilisation finale qui permettrait de calculer au prorata des kilowattheures de l'emploi final de l'électricité les émissions de la centrale. Nous avons procédé ainsi pour chaque province, ainsi que pour l'ensemble du pays, et les résultats paraissent au Tableau 2-3. En établissant le coefficient d'émission de l'électricité à appliquer en calculant les effets sur les émissions à effets de serre de la réduction ou du recyclage d'un matériau particulier, le coefficient national a été utilisé pour les procédés qui sont répartis dans l'ensemble du Canada et un mélange pondéré de coefficients provinciaux utilisés pour les procédés ayant une concentration marquée et importante dans des provinces particulières. Par exemple, nous avons supposé que l'électricité associée à la production de l'acier à partir d'intrants vierges se trouvait en Ontario parce que c'est là que se trouvent toutes les opérations intégrées des hauts fourneaux. Pour l'acier fabriqué à partir de rebuts recyclés, nous avons développé un coefficient moyen pondéré à partir des coefficients d'émission de l'électricité, pour chacune des quatre provinces ayant des fours à arc, en établissant la pondération d'après la part de la capacité de production de petites aciéries électriques de chaque province. Pour l'aluminium, dont la production primaire se trouve au Québec et en Colombie-Britannique – qui ont une forte proportion d'hydroélectricité dans la composition de la production d'électricité – et dont une grande partie de la composition globale des sources d'énergie repose sur l'électricité, les émissions de GES sont faibles, et ce, même si l'intensité énergétique est élevée. C'est la raison clé qui explique pourquoi les émissions de GES rattachées à la production canadienne

d'aluminium sont de beaucoup inférieures à celles des États-Unis, où l'on recourt davantage à la production par des centrales alimentés au charbon.

Il faut remarquer qu'en plus de la méthode primaire de simulation des émissions liées à l'électricité, comme fonction de la composition provinciale des sources d'énergie, l'analyse offre aussi d'autres méthodes de calcul des émissions en utilisant le coefficient d'émission national moyen (dans le but d'évaluer les effets éventuels des exportations de rebuts) ou le coefficient moyen des émissions d'électricité aux É.-U. Ces options sont décrites en détail à l'annexe A.

Tableau 2-3. Coefficients d'émission de l'utilisation finale d'électricité

	Coefficients de l'électricité (kg eCO ₂ /kWh)			
	CO ₂	eCO ₂ N ₂ O	eCO ₂ CH ₄	Total d'eCO ₂
Terre-Neuve	0,186777	0,000237	0,000029	0,187044
Île-du-Prince-Édouard	1,040882	0,001092	0,000170	1,042143
Nouvelle-Écosse	0,666402	0,003536	0,000094	0,670031
Nouveau-Brunswick	0,530629	0,001659	0,000077	0,532366
Québec	0,011436	0,000018	0,000002	0,011456
Ontario	0,315821	0,001939	0,000040	0,317800
Manitoba	0,036350	0,000048	0,000002	0,036400
Saskatchewan	0,889836	0,000562	0,000011	0,890410
Alberta	1,032736	0,007900	0,000167	1,040802
Colombie-Britannique	0,025418	0,000096	0,000002	0,025516
Yukon	0,045239	0,001645	0,000072	0,046956
Territoires du Nord-Ouest	0,474858	0,011377	0,000488	0,486722
Nunavut	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Canada	0,276270	0,001567	0,000036	0,277874

Il faut insister sur la nature approximative de cet exercice. Notre but est d'élaborer un ensemble de coefficients d'émission robustes, qui appuieront une estimation des effets de la réduction et du recyclage des matières résiduelles. Les effets précis du recyclage d'un élément particulier varieront selon les circonstances et il serait pratiquement impossible de spécifier précisément et en détail les effets exacts d'une mesure de recyclage d'un déchet particulier à un endroit et à un moment particulier. Par exemple, dans le cas du papier, il y a des douzaines de produits différents faits avec des niveaux variables de fibres recyclées dans des usines qui utilisent des sources d'énergie différentes avec une efficacité variable. Bien qu'il soit impossible de dire quels seront les effets exacts sur l'énergie du recyclage d'un produit de papier particulier, les effets sont suffisamment importants pour qu'il vaille la peine d'élaborer des coefficients approximatifs qui permettront d'évaluer la valeur des efforts de réduction et de recyclage des matières résiduelles, avec d'autres stratégies de réduction des émissions de GES. Les détails portant sur la consommation d'énergie et d'autres procédés examinés dans ce rapport se trouvent à l'annexe B.

2.2.1.2 Énergie des transports

Les émissions de GES de l'énergie des transports consistent en émissions de CO₂ provenant de la combustion des carburants utilisés pour le transport des matières premières, des produits intermédiaires, des produits manufacturés et des matières résiduelles. Il faudrait remarquer que, bien qu'ils soient relativement modestes, la collecte et le transport des matières résiduelles représentent une composante importante du processus de gestion des matières résiduelles que contrôlent les municipalités et constituent donc un domaine possible pour celles-ci de réduire les émissions et d'autres effets environnementaux. Diverses sources ont servi à quantifier les émissions liées aux transports pendant l'acquisition des matières premières (pour les matériaux vierges), la fabrication et le transport en vue de l'utilisation finale. Les sources spécifiques et les hypothèses sont expliquées plus en détail dans les études de matériaux spécifiques qui suivent.

2.2.1.3 Énergie de précombustion

Comme le cycle de vie inclut l'acquisition des matières premières utilisées dans la production (p. ex., le bois employé pour faire du papier ou la bauxite utilisée pour faire de l'aluminium), il y a aussi un aspect d'acquisition des matières premières pour les combustibles fossiles servant à fournir l'énergie dans tout le cycle de vie. Des exemples de ces émissions de précombustion incluent le CH₄ émis par les gazoducs qui servent au transport du gaz et le CO₂ émis par la combustion du carburant dans les moteurs des installations des puits de pétrole.

Nous avons développé des coefficients distincts pour le pétrole, le gaz naturel et le charbon. Dans les trois cas, les émissions de précombustion constituent une partie importante des émissions au point de combustion, et elles ont donc un effet important dans le tableau global des émissions.

Pétrole et gaz naturel. Nous avons dérivé les coefficients d'émission de précombustion pour le pétrole et le gaz naturel des renseignements sur les émissions de l'inventaire national des GES (EC, 2002). Notre processus de base consistait à diviser les émissions par les extraits pour élaborer un coefficient d'émission de précombustion pour le pétrole et le gaz naturel. Les principales questions intervenant dans l'élaboration de ces coefficients étaient celle qui consiste à déterminer s'il fallait inclure les émissions et celle qui consiste à déterminer la façon de les attribuer au pétrole ou au gaz (en pratique, le pétrole et le gaz sont extraits et traités dans nombre d'étapes identiques).

Les calculs détaillés de la précombustion se basent sur les données indiquées à l'annexe B (cette annexe donne les données d'appui pour nombre d'ensembles de données d'appui spécifiques et détaillés utilisés dans tout le reste de ce rapport). Le Tableau B-1 et le Tableau B-2 montrent les émissions de GES de 2001, rattachées à la production, au raffinage et au transport du gaz naturel et du pétrole au Canada. Ces données proviennent directement de l'inventaire national des GES et incluent les émissions liées à l'énergie de l'industrie du pétrole et du gaz, les émissions liées à

l'énergie de l'industrie du raffinage du pétrole, les émissions liées à l'énergie de l'emploi d'énergie par les pipelines⁵ et les émissions fugitives de la production du pétrole et du gaz.

Le Tableau B-3 donne les quantités d'extraits canadiens de pétrole et de gaz pour 2001. La production totale de gaz était d'environ 6 500 000 térajoules (TJ) et la production totale de produits pétroliers raffinés était d'environ 3 700 000 TJ, et le ratio de gaz par rapport à l'extrait de PPR était donc de 64 p. 100 par rapport à 36 p. 100. Ces ratios ont servi à répartir les émissions entre les secteurs qui relèvent du gaz naturel et des PPR, c'est-à-dire la production de combustibles fossiles, les pipelines, la ventilation et le brûlage à la torche.

L'étape finale du calcul consistait à diviser la part adéquate des émissions de GES des combustibles fossiles par les valeurs des extraits du gaz naturel et des PPR (des tableaux B-1 et B-2, respectivement), pour obtenir le coefficient de précombustion. Ces coefficients sont de 9,9 kg d'eCO₂ par GJ de gaz naturel et de 17,8 kg d'eCO₂ par GJ de PPR. La valeur des PPR est censée s'appliquer au diesel, au mazout lourd, au mazout léger et au GPL (gaz de pétrole liquéfiés).

Charbon. Le coefficient d'émission de la précombustion du charbon est de 6,42 kg d'eCO₂ par GJ de charbon, et il provient du modèle d'émissions du cycle de vie des combustibles (FULCEM) de l'EPA des É.-U., élaboré d'après les données fournies par Franklin Associates. Le modèle, qui donne les émissions associées aux éléments individuels du cycle de vie des combustibles, est actuellement sous forme provisoire, basé sur des données américaines et n'est pas accessible au public. On n'a pas pu trouver une source de données canadiennes sur l'énergie utilisée dans l'extraction et le traitement du charbon.

2.2.1.4 Procédés non énergétiques

Des émissions de GES se produisent directement lors de la fabrication de certains matériaux et ne sont pas associées à la consommation d'énergie. On fait référence à ces émissions comme aux émissions de procédés non énergétiques. Par exemple, la production d'acier, de ciment ou d'aluminium demande de la chaux (oxyde de calcium ou CaO), produite à partir du calcaire (carbonate de calcium ou CaCO₃); la fabrication de la chaux ou du mâchefer produit des émissions de CO₂. D'autres émissions de GES provenant de procédés non énergétiques sont associées à la production de plastiques, de papier de bureau et de papiers minces. Dans certains cas, les émissions de GES de procédés non énergétiques sont uniquement associées à la production utilisant des intrants vierges; dans d'autres cas, ces émissions se produisent lors de l'utilisation de matériaux primaires ou recyclés. Généralement, ces émissions sont de peu d'importance, à l'exception des émissions d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés et de CO₂ provenant des anodes consommées dans la production primaire de l'aluminium. Nous avons mis au point des valeurs pour les émissions non liées à l'énergie et les divers appareils

5. On ne sait si la consommation d'électricité rattachée aux pipelines est incluse dans ces valeurs.

électroniques (c.-à-d. ordinateurs personnels, fours à micro-ondes et magnétoscopes) parce qu'ils contiennent de l'aluminium.

2.2.1.5 Puits de carbone (carbone forestier)

La seule réduction des émissions nettes de GES aux étapes d'acquisition des matières premières et de fabrication est le stockage supplémentaire de carbone dans les arbres, associé au recyclage des produits de papier.

Un des procédés qui influencent le cycle du carbone est l'assimilation ou le rejet du carbone par les forêts. Lorsque les arbres sont éliminés pour des activités agricoles ou autres, le carbone est libéré (habituellement sous forme de CO₂). À l'opposé, lorsque l'on plante des forêts et qu'on les laisse croître, elles absorbent le CO₂ et l'entreposent sous forme de cellulose et d'autres matières. Lorsque le taux d'assimilation dépasse le taux de rejet, on dit que le carbone est stocké dans un bassin forestier de carbone.

Lorsque les produits de papier sont recyclés, les arbres qui, sans cela, auraient été prélevés restent sur pied. À court terme, il en résulte qu'une plus grande quantité de carbone reste dans le bassin forestier parce que les arbres sur pied continuent d'entreposer du carbone, alors que la production et l'emploi du papier tendent à libérer du carbone⁶. À long terme, certains avantages du court terme disparaissent, car les forces du marché entraînent une plantation moins importante de nouvelles forêts aménagées que dans le cas contraire de sorte qu'il y a comparativement moins de surface de forêts en arbres à croissance rapide (et accumulant donc le carbone rapidement).

Une approche basée sur le bilan massique a été utilisée pour estimer les avantages du recyclage. Cette approche estime les effets à court terme – la rétention du carbone dans les forêts – d'une réduction des taux d'exploitation des arbres, plutôt que de continuer à prélever des arbres et à transformer le carbone en produits de courte durée comme le papier. Le bilan massique, indiqué dans le Tableau 2-4, est dicté par la relation entre :

- Les intrants de carbone dans les papeteries, en tant que proportion du carbone dans les arbres prélevés des forêts (présupposé être un ratio de 60 p. 100, voir la colonne a) dans le Tableau 2-4;
- Le carbone contenu dans les extrants des papeteries, comme proportion du contenu en carbone des intrants des papeteries (présupposé être un ratio de 90 p. 100 pour la réduction en pâte thermomécanique utilisée pour fabriquer le papier journal et un ratio de 60 p. 100

6. La relation de base vient de ce que l'inventaire du carbone forestier pour n'importe quelle année est égal à l'inventaire du carbone de l'année antérieure, plus la croissance nette, moins les prélèvements, moins la dégradation. Donc, lorsque sont réduits les prélèvements, l'inventaire s'accroît. Toutefois, lorsque les inventaires deviennent élevés par rapport à la capacité de charge des terres, le taux de croissance décroît parce que la croissance nette [le taux auquel la croissance dépasse la dégradation] diminue.

pour la réduction en pâte chimique employée dans la fabrication du papier fin, du papier cannelé et d'autres papiers, à la colonne b) du Tableau 2-4);

- Le contenu en carbone du papier (présumé de 40 p. 100 pour tous les types de papier, à la colonne d) du Tableau 2-4).

Dans notre traitement du recyclage, on tient pour acquis que la demande globale de produits est relativement constante et que chaque tonne supplémentaire de matériel recyclé remplace donc une masse équivalente d'intrants vierges. Dans ce cadre, on doit comptabiliser les taux de perte du procédé de recyclage. Comme nous l'avons indiqué précédemment, les pertes sont réparties entre celles survenant entre le point de production (c.-à-d. au bord du trottoir, où le tonnage de matières résiduelles est souvent mesuré) et la sortie de la porte d'une installation de récupération des matériaux (IRM, c.-à-d. une installation où sont triés les matériaux récupérés, colonne g, et les pertes entre les intrants et les extrants finals du procédé de deuxième transformation, colonne h). Les pertes totales vont d'environ 39 p. 100 pour le papier fin à 21 p. 100 pour le papier journal et la rétention du procédé de recyclage va donc de 61 p. 100 à 79 p. 100 (voir la colonne i). L'avantage du recyclage pour le carbone forestier est alors calculé comme le produit du taux de rétention du carbone pour la production de papier à partir de 100 p. 100 d'intrants vierges (colonne f) multiplié par le taux de rétention du recyclage (colonne i).

Le calcul inclut une conversion de la masse de carbone en masse d'équivalent de dioxyde de carbone, puisque, dans ce rapport (et dans la plupart des documents traitant des GES), les GES sont normalisés en unités de CO₂. Cette conversion a lieu à la colonne f.

Tableau 2-4. Approche de bilan massique pour le puits de carbone forestier

Type de papier	Efficacité du système de papier vierge			d) Contenu en C du papier (poids frais)	e) Tonnes C non prélevé par tonne de papier humide non faite de 100 % d'intrants primaires (= d/c)	f) Tonnes d'eCO ₂ /tonne de 100% papier primaire non produit (= e*44 gmCO ₂ /12gm C)	Efficacité du système de papier recyclé			Avantage du recyclage, base sur le remplacement de 100 % papier vierge j) Tonnes d'eCO ₂ /tonnes de papier recyclé (= f*i)
	a) Ratio intrants usine/coupe forestière	b) Ratio extrants/intrants carbone usine	c) Rétention de carbone (extrants de l'usine/coupe forestière) (= a*b)				g) Tonnes sortant de l'IRM/tonnes récupérées	h) Ratio extrants/intrants carbone usine	i) Rétention de carbone (extrants de l'usine/papier récupéré) (= g*h)	
Papier journal	60 %	90 %	54 %	45 %	0,83	3,06	0,98	0,81	79 %	2,42
Papier fin	60 %	60 %	36 %	45 %	1,25	4,58	0,95	0,64	61 %	2,77
Carton	60 %	60 %	36 %	45 %	1,25	4,58	0,98	0,69	68 %	3,11
Autre papier	60 %	60 %	36 %	45 %	1,25	4,58	0,95	0,64	61 %	2,77

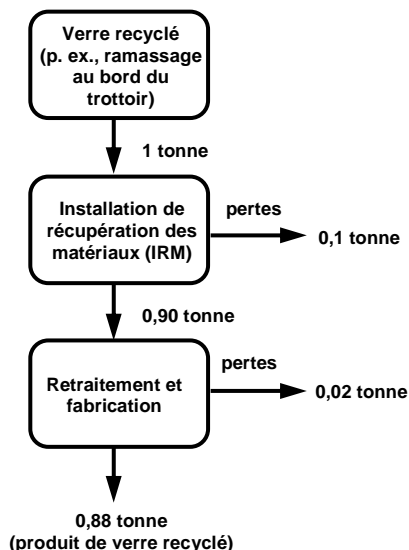
2.2.2 ÉMISSIONS DE GES ET PUIXS DE CARBONE ASSOCIÉS À LA GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES

Comme le montre le Tableau 2-1, il y a, selon les matériaux, jusqu'à cinq options de gestion des matières résiduelles après consommation : le recyclage, le compostage, la digestion anaérobie, l'incinération et l'enfouissement. Cette section décrit les émissions de GES et les puits de carbone associés à ces options de gestion des matières résiduelles.

Recyclage. Lorsqu'un matériau est recyclé, il remplace des intrants vierges dans les procédés de fabrication. Les émissions de GES économisées lors de la production de deuxième transformation utilisant des intrants recyclés sont donc calculées comme la différence entre 1) les émissions de GES provenant de la fabrication d'un matériau à partir de 100 p. 100 d'intrants recyclés et 2) les émissions de GES provenant de la fabrication d'une quantité équivalente de matériau à partir de 100 p. 100 d'intrants vierges (dont le processus de collecte et de transport des produits recyclables), après comptabilisation des taux de pertes.

La Figure 2 donne un exemple de taux de pertes appliqués à des bouteilles de verre. Il n'y a pas d'émissions de GES à l'étape de la gestion des matières résiduelles parce que le matériau recyclé est retiré des installations de gestion des matières résiduelles⁷.

Figure 2. Taux de pertes associés au recyclage du verre



7. Si le produit fabriqué à partir de matériau recyclé est ultérieurement composté, incinéré ou enfoui, les émissions de GES à ce point seraient attribuées au produit fabriqué avec un matériau recyclé.

Bien des matériaux examinés dans cette analyse étaient modélisés comme recyclés en « circuit fermé », dans lequel le produit de deuxième fabrication est le même que le premier (p. ex., des bouteilles de verre sont recyclées en nouvelles bouteilles de verre). Lorsqu'il y a un important recyclage en « circuit ouvert » (c.-à-d. lorsque les produits de deuxième fabrication sont différents des produits d'origine), nous avons développé les estimations d'énergie et de GES pour le produit de deuxième fabrication d'après les intrants vierges et les intrants recyclés. Les circuits ouverts pour les produits de papier (papier journal, papier fin, carton, autres papiers), le fil de cuivre, les appareils électroniques et les électroménagers sont des simulations.

Compostage. Lorsque des matériaux organiques sont compostés par voie aérobie, la plus grande partie de leur masse organique se décompose rapidement en CO₂. Les matières qui peuvent se composter (p. ex., les résidus de jardinage, les résidus alimentaires) sont toutes produites directement par des arbres ou indirectement par d'autre matière végétale. Selon la description donnée plus haut, le CO₂ émis par ces matières lors du compostage est considéré comme du CO₂ biosynthétique et n'est donc pas comptabilisé dans les émissions de GES.

Il est probable que les opérations de compostage bien gérées n'émettent pas de CH₄ parce qu'elles maintiennent généralement un milieu aérobie, avec une teneur en eau adéquate pour faciliter la décomposition aérobie des matières. Bien que le compostage par voie aérobie puisse causer une certaine production de CH₄ (résultant de la décomposition anaérobie au centre du tas de compost), le CH₄ est fort probablement oxydé en CO₂ lorsqu'il atteint la surface du tas de compost, riche en oxygène (EPA des É.-U., 2002). Nous avons donc supposé que le compostage par voie aérobie produit de négligeables rejets de CH₄. Il existe quelques possibilités pour que le procédé de compostage cause la production de matières humiques (des polymères organiques naturels qui se dégradent à un taux lent) qui peuvent persister ensuite dans les sols dans lesquels on incorpore du compost. Ceci peut rehausser le stockage à long terme du carbone dans les sols.

Digestion anaérobie. Le CH₄ est produit intentionnellement pendant la digestion anaérobie et il est ultérieurement recueilli et brûlé pour sa valeur énergétique. Les questions clés pour estimer les émissions de GES de ce type de gestion des matières résiduelles sont celles du taux de conversion du CH₄ et de l'efficacité du système de récupération du gaz.

Après la digestion initiale, la masse de matières résiduelles est par la suite stabilisée par un procédé de compostage par voie aérobie. Comme dans le compostage des résidus de jardinage ou des résidus alimentaires, le compost produit est généralement incorporé dans les sols. Il existe des possibilités pour que l'épandage du compost produise un stockage à long terme de carbone dans les sols, mais il n'y a pas de données disponibles à ce sujet.

Collecte et transport. Une autre composante de cette stratégie de gestion des matières résiduelles est la collecte et le transport. Les camions employés pour ramasser les matériaux pour le recyclage, le compostage ou la digestion anaérobie et les transporter à partir des stations de transfert consomment habituellement du carburant diesel, qui émet 2,7 kg d'eCO₂ par litre de carburant. On peut calculer les émissions de GES d'un parc particulier de camions de collecte et de transfert des matières résiduelles en multipliant la consommation totale de carburant diesel par ce coefficient. Diviser ce résultat par la quantité totale des matières résiduelles transférées exprimé en tonnes produira les émissions par tonne de matières résiduelles. Les résultats peuvent

varier dans une large fourchette (1-20 kg d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles), selon les distances parcourues par les camions de collecte et l'efficacité des camions et de leur exploitation, mais généralement la valeur moyenne est de 10 kg eCO₂ par tonne de matières résiduelles gérées (ou 0,010 tonne d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles). En multipliant cette valeur par le coefficient de carbone du carburant diesel, on obtient une valeur estimative de consommation d'énergie de 0,11 GJ/tonne. Il faut des distances exceptionnellement longues, des facteurs de capacité exceptionnellement faibles ou des véhicules exceptionnellement inefficaces pour que les émissions soient aussi élevées que 20 kg eCO₂ par tonne de matières résiduelles. On peut réduire encore cette valeur relativement basse en augmentant la capacité des camions, l'efficacité de leur routage et de leur exploitation ou des moteurs plus économiques en carburant. Les émissions liées au transport s'accroîtront souvent de manière importante, au fur et à mesure de la mise en place des activités de recyclage et de compostage centralisé, par suite du besoin de véhicules supplémentaires spécialisés et/ou de collectes distincts pour les différents flux de matières résiduelles. Cependant, même s'il en résulte une incidence sur l'environnement local, dans le tableau élargi de l'énergie, cette partie est une composante relativement petite.

Incinération. Lorsque des matières résiduelles sont incinérées, deux types de GES sont émis : du CO₂ et du N₂O. Le CO₂ non biosynthétique émis pendant l'incinération (c.-à-d. le CO₂ des plastiques), la collecte et le transport des matières résiduelles est compté avec le N₂O de l'incinération pour les émissions de GES provenant de l'incinération. Les coefficients d'émission associés à la collecte et au transport des matières résiduelles en vue de leur incinération sont présumés équivaloir aux coefficients mentionnés ci-dessus pour la digestion anaérobie (0,010 tonnes d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles). Le CO₂ biosynthétique émis pendant l'incinération n'est pas inclus dans les émissions de GES.

Puisque la plupart des incinérateurs de matières résiduelles produisent de l'électricité qui remplace l'électricité produite par les services publics, les émissions nettes de GES se calculent en soustrayant les émissions de GES économisées par des services publics des émissions brutes de GES. Les compensations des émissions de GES des services publics sont fonction des types de carburant employés pour produire l'électricité et de l'efficacité des centrales électriques. Les coefficients d'émission présentés dans ce rapport supposent que l'électricité remplacée aurait, sans cela, été produite en brûlant du gaz naturel dans une centrale à cycle mixte⁸.

Enfouissement. Lorsque de la matière organique, comme des feuilles ou du papier, est enfouie, une partie des matières se décomposent par voie anaérobie et rejettent du CH₄. Une partie de la matière organique restante ne se décompose jamais, mais devient plutôt du carbone stocké. L'enfouissement de métaux et de plastique ne produit ni d'émissions de CH₄ ni de stockage de carbone. Les plastiques sont tirés des combustibles fossiles, mais parce que le carbone fossile n'est pas initialement compté comme émission lorsqu'ils sont extraits, comptabiliser son élimination dans des sites d'enfouissement comme puits serait inadéquat dans une perspective de comptabilisation du carbone.

8. Le modèle de tableur qui appuie cette analyse a la capacité de faire varier cette hypothèse.

Dans certains sites d'enfouissement, pratiquement tout le CH₄ produit est rejeté dans l'atmosphère et compte pour les émissions brutes de GES de ces sites d'enfouissement. Dans d'autres sites d'enfouissement, le CH₄ est recueilli pour le brûlage à la torche ou l'incinération avec récupération de l'énergie (c.-à-d. la production d'électricité, un usage direct). La plupart du CH₄ recueilli est converti en CO₂, qui n'est pas compté comme GES étant considéré comme biosynthétique. Avec la combustion du CH₄ pour récupérer l'énergie, on fait une estimation de la compensation des émissions pour les émissions de GES économisées par le service public. Sans égard au sort du CH₄, on effectue une estimation de la compensation des émissions pour le stockage du carbone de la décharge rattaché à l'enfouissement de certaines matières organiques. Des coefficients d'émission distincts ont été élaborés pour les sites d'enfouissement ayant des systèmes de récupération des biogaz et pour celles n'en ayant pas, et pour les sites d'enfouissement canadiens « moyens » (d'après une estimation de la proportion de sites d'enfouissement avec et sans système de récupération des biogaz).

Comme pour les matières résiduelles désignées pour la digestion anaérobie ou l'incinération, la collecte et le transport des matières résiduelles destinées à l'enfouissement sont également associés au coefficient d'émission implicite (0,010 tonne d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles). Le carburant et l'électricité servant à la construction et à l'équipement des installations d'enfouissement produisent aussi des émissions de GES, mais elles sont encore plus faibles, généralement environ 10 fois plus faibles que les émissions du transport des matières résiduelles. Le niveau des émissions dépend des caractéristiques fonctionnelles particulières de l'installation, de l'intensité des émissions de l'électricité du réseau utilisé, entre autres, mais un point de référence typique pour ces émissions est 0,5-1,0 kg d'eCO₂ par tonne (0,0005-0,001 tonne d'eCO₂ par tonne) de matières résiduelles gérées (Torrie Smith Associates, 2004).

En plus des émissions de la construction et de l'équipement général, les sites d'enfouissement sont particulièrement associés à l'emploi d'équipement lourd. Les gros bouteurs utilisés dans les sites d'enfouissement émettent des GES à une échelle qui est généralement inférieure, mais du même ordre de grandeur, aux émissions du parc de camions de collecte des matières résiduelles. Comme d'habitude, les émissions des sites d'enfouissement particulières varieront, mais une consommation de diesel de l'ordre de 1,5 litre par tonne des matières résiduelles est une référence représentative. Elle équivaut aux émissions de GES d'environ 4 kg d'eCO₂ par tonne ou 0,04 GJ/tonne de matières résiduelles enfouies.

2.3 Problèmes de comptabilisation

Pour conclure l'étude de la méthodologie, on traite brièvement de plusieurs problèmes de comptabilisation qui se posent en estimant les émissions de GES associées à la gestion des matières résiduelles.

2.3.1 BIOGAZ – MÉTHODE D'ENGAGEMENT RELATIVE AU MÉTHANE PAR OPPOSITION À LA MÉTHODE DES MATIÈRES RÉSIDUELLES PRÉSENTES

Les inventaires nationaux de GES révèlent annuellement les émissions de gaz CH₄ provenant des sites d'enfouissement. Les émissions sont principalement produites par les matières résiduelles mises dans des sites d'enfouissement au cours des années antérieures; il n'y a pratiquement pas

d'apport provenant de matières résiduelles mises en décharge pendant l'année de l'inventaire parce qu'il y a un délai entre l'enfouissement des matières résiduelles et la production de méthane.

Dans la méthode de ce projet, nous avons estimé les effets du réacheminement des matières résiduelles d'après le CH₄ qui sera *finalement* émis (ou éludé), comme le résultat des matières résiduelles envoyées aux sites d'enfouissement (ou détournées de ceux-ci). Comme telles, le CH₄ compté ne sera émis qu'ultérieurement par rapport à l'année dans laquelle se produit la mesure de gestion des matières résiduelles. Cette méthode de comptabilité du CH₄, parfois appelée méthode « d'engagement relatif au méthane », est parfaitement raisonnable pour une analyse qui est destinée à appuyer la planification d'une organisation qui contrôle la quantité de matières résiduelles envoyées à une décharge dans l'année de l'inventaire. La méthode d'engagement du CH₄ compte le CH₄ d'une manière différente de l'approche conventionnelle des matières résiduelles présentes, mais, dans les deux cas, il n'y a pas de double comptage entre les analyses effectuées selon deux méthodes différentes pour toute année historique commune.

2.3.2 PUIXS DE CARBONE

Dans notre méthodologie, l'estimation du stockage du carbone diffère quelque peu de celle du CH₄ des sites d'enfouissement. Dans le présent cas, le carbone stocké dans la décharge est du carbone qui, selon les conventions de l'inventaire du GIEC, aurait été rejeté dans l'atmosphère au cours de la même année. Les hypothèses concernant les puits de carbone intégrés ici dans les coefficients sont analogues à l'allocation pour les puits de carbone qui est permise en ce qui a trait au mobilier et à d'autres produits forestiers de longue durée⁹.

Nous avons élaboré des coefficients d'émission avec et sans les puits de carbone. Toutefois, l'inclusion du carbone des sites d'enfouissement dans le coefficient d'émission a pour effet de réduire l'avantage net du réacheminement des matériaux des sites d'enfouissement. En fait, pour certains matériaux, une décharge avec la récupération des gaz peut apparaître comme un puits net pour les émissions de GES, si le stockage du carbone est inclus dans le calcul.

2.3.3 MOUVEMENT TRANSFRONTALIER DE MATÉRIAUX

Les coefficients d'émission élaborés dans ce rapport se basent sur l'hypothèse selon laquelle les matériaux recyclés au Canada remplacent les installations de production du Canada ou ont un effet sur celles-ci. Cette hypothèse n'est pas compatible avec l'approche utilisée dans les inventaires de GES, qui s'efforcent de délimiter rigoureusement les émissions et les puits nationaux selon les frontières nationales. Cependant, la perspective du cycle de vie qui est utilisée ici est intrinsèquement large, en ce qu'elle suit les effets en amont et en aval. Compte tenu que l'économie canadienne est largement intégrée avec celles du reste de l'Amérique du Nord (particulièrement pour ce qui est de l'aluminium et du papier, des économies du Brésil, de

9. Par exemple, les lignes directrices du GIEC notent que l'on peut compter le carbone entreposé dans des produits du bois de longue durée comme puits, en tant que partie de la méthode du flux du carbone forestier (IPCC, 1997).

l’Australie, de la Chine et d’ailleurs), il est difficile (et d’une certaine manière contre-productif) de tronquer le cycle de vie à la frontière nationale. Cette section examine quelques questions transfrontalières particulièrement importantes.

Aluminium. Une partie importante des canettes en aluminium recyclées au Canada sont réellement refondues aux États-Unis. On peut prétendre que le recyclage canadien des canettes remplace une première fusion aux États-Unis, qui ont des niveaux beaucoup plus élevés d’émissions de GES par tonne d’aluminium que les fonderies canadiennes, qui sont plus modernes et utilisent presque exclusivement de l’hydroélectricité. L’utilisation des coefficients d’émission canadiens pour estimer les effets sur les GES du recyclage de l’aluminium sous-estime donc probablement les incidences réelles sur l’effet de serre du recyclage des canettes canadiennes d’aluminium. Du même coup, il se peut aussi que le recyclage des canettes en aluminium ait peu d’incidences sur les émissions de GES au Canada. Une analyse de sensibilité a été faite au sujet de la question des importations–exportations en choisissant différentes valeurs pour les émissions liées à l’électricité avec une production primaire et recyclée. On peut par exemple utiliser une valeur canadienne pour la production primaire et une valeur américaine pour une production recyclée.

Produits du papier. Le Canada importe une quantité importante de papier usagé, dans le cas du papier journal, environ autant qu’il n’en est produit par les propres efforts de recyclage du Canada. Il est donc possible qu’un recyclage accru du papier au Canada ait l’effet de compenser ces importations, mais il est très difficile d’établir ce qu’en serait l’effet net sur les émissions de GES. Toutefois, au Canada, cela soulève la possibilité qu’une récupération accrue du papier par les Canadiens ne se traduise pas par une utilisation accrue de matière recyclée par les usines de pâte. Comme dans le cas de l’aluminium, on peut traiter la question des importations–exportations par une analyse de sensibilité.

3 Métaux et verre

Cette section fournit des détails sur l'élaboration des coefficients d'émission pour l'aluminium, l'acier, le fil de cuivre et les bouteilles de verre. Ces matériaux sont regroupés dans cette section parce qu'en amont, ils ont en commun des procédés relativement semblables et à forte consommation d'énergie, y compris l'extraction, le traitement et la fusion des matériaux. Ces matériaux sont également inertes et, par conséquent, aucun d'entre eux ne contribue à des émissions en aval associées à la décomposition de matières organiques.

Les sections qui suivent donnent des détails sur l'énergie rattachée au recyclage et à l'incinération de l'aluminium, de l'acier, du cuivre et des bouteilles de verre¹⁰.

3.1 Aluminium

La fabrication de l'aluminium s'avère le procédé industriel le plus énergivore à l'intérieur des frontières du Canada. Les émissions de GES associées à la consommation d'électricité et de combustibles fossiles de ce procédé ainsi que les émissions non liées à l'énergie peuvent être importantes. Le cycle de vie de la production de l'aluminium inclut l'extraction du minerai de bauxite, la production d'alumine, la production d'anodes en carbone, la production électrolytique de l'aluminium, la coulée en lingotière et la fabrication. Le recyclage de matériaux en aluminium produit d'importantes réductions de la consommation d'énergie et d'émissions de GES en évitant les émissions de la fabrication en amont associées à l'aluminium primaire. Cette section comporte des renseignements sur la façon dont nous avons étendu le cycle de vie de l'aluminium ainsi que des renseignements de base et les sources des données.

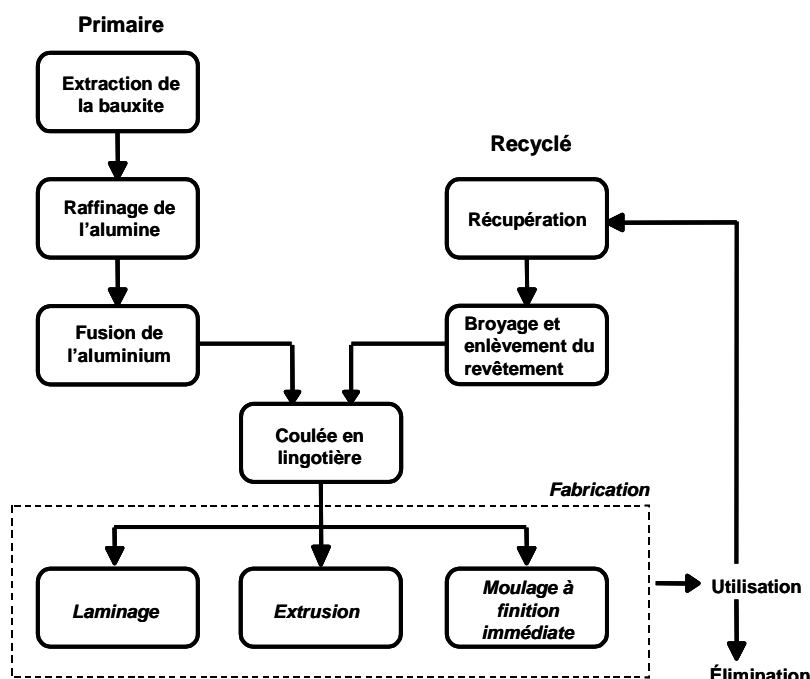
Dans ce chapitre, la source principale de renseignements sur le cycle de vie de l'aluminium est puisé dans un rapport publié en 2002 par le International Aluminium Institute (IAI) (anciennement le International Primary Aluminium Institute), intitulé : *Aluminium Applications and Society: Life Cycle Inventory of the Worldwide Aluminium Industry With Regard to Energy Consumption and Emissions of Greenhouse Gases, Paper 1 – Automotive*¹¹. Ce rapport présente de l'information détaillée sur la consommation d'électricité et de combustibles fossiles à chaque étape du cycle de vie de l'aluminium, dont la production de matériaux secondaires (ou matière

10. L'enfouissement, la digestion anaérobie ou le compostage n'étaient pas traités dans le reste du chapitre. La seule énergie associée à l'enfouissement de ces matériaux est 0,15 GJ/tonne pour les véhicules de collecte, le transport à la décharge et le fonctionnement de l'équipement lourd à la décharge. Ces matériaux ne sont pas réactifs dans un digesteur anaérobie et l'énergie associée à cette option d'élimination de ces matériaux est de 0,11 GJ/tonne pour les véhicules de collecte et le transport vers l'installation de digestion. Les matériaux métalliques ou contenant du verre ne sont habituellement pas compostés parce qu'ils sont inertes et parce qu'ils interfèrent avec les processus de retournage et d'aération.

11. Même si ce document est centré sur les produits automobiles en aluminium, les caractéristiques de l'énergie et des émissions sont présumées identiques, sans égard à l'utilisation finale du produit. Comme il en est question ci-après, l'acquisition de la matière première et les étapes de la fabrication dominent le profil énergétique et des émissions, et les étapes de préparation des produits, c'est-à-dire la fabrication, ont un effet très mineur. À noter que l'IAI a publié un rapport ultérieur (2003) comportant une analyse plus complète du cycle de vie avec d'autres émissions environnementales, mais le document de 2000 demeure la source des données sur l'énergie.

de base) et le transport des matériaux. La figure 3 démontre le cheminement de la production pour l'aluminium primaire et recyclé.

Figure 3. Cheminement de la production de l'aluminium primaire et recyclé



La méthodologie élargie pour l'aluminium, telle qu'elle est décrite dans ce rapport, agrandit sa portée pour inclure plusieurs éléments importants dont ne traitait pas l'analyse initiale (2001). La méthodologie initiale se basait sur la consommation d'électricité et d'énergie de la production électrolytique de l'aluminium primaire et une réduction présumée de 95 p. 100 en énergie pour l'aluminium recyclé, en comparaison de l'aluminium primaire. Une des deux importantes sources d'émissions non liées à l'énergie y était incluse : la production de l'aluminium primaire peut provoquer une réaction du fluor avec le carbone des anodes et produire par inadvertance des émissions d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés au cours du processus d'électrolyse¹². En plus de ces composantes du cycle de vie, la méthodologie élargie inclut des renseignements détaillés sur la consommation de l'énergie et l'emploi des combustibles fossiles pour chaque étape du cycle, de l'extraction du minerai de bauxite au broyage et à l'enlèvement du revêtement de l'aluminium recyclé. Elle comprend également les émissions de CO₂ associées à la combustion des anodes de carbone dans le procédé de production de l'aluminium primaire.

12. On y fait référence comme à « l'effet d'anode », c'est-à-dire un état où la concentration optimale d'alumine dans le creuset n'est pas maintenue et une réaction électrochimique parasite dans le bain de cryolite provoque la production d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés.

La catégorie de matériau en aluminium englobe trois types de produits distincts, soit : la feuille laminée (p. ex., l'enveloppe des canettes et des avions), l'aluminium extrudé (p. ex., les cadres de fenêtre et les membrures métalliques) et le moulage à finition immédiate (p. ex., des composantes de moteurs d'automobiles). Ces trois formes de base de l'aluminium commercialisé ne diffèrent dans le cycle de vie que lors de l'étape de la fabrication, qui ne contribue qu'à une fraction réduite de l'énergie et des émissions totales.

Les estimations de la consommation d'électricité et de combustibles fossiles pour la fabrication de l'aluminium dans l'ensemble de son cycle de vie sont tirées du rapport de l'IAI (IAI, 2000). Même si ces valeurs représentent des moyennes mondiales plutôt que des estimations canadiennes, on considère qu'elles font partie des meilleurs renseignements facilement accessibles. Les émissions liées à la production de l'électricité et les émissions non liées à l'énergie (les hydrocarbures fluorés entièrement halogénés et le CO₂ se formant aux anodes) se basent sur des données canadiennes (EC, 2002). On estime que le contenu primaire de l'aluminium représente un taux moyen de 48 p. 100¹³ et que le taux de rétention du recyclage après consommation est de 84 p. 100 (Enviros-RIS 2000). Les tableaux B-6 à B-11 de l'annexe B démontrent les données détaillées concernant l'électricité et l'énergie associées à l'acquisition des matières premières, à la fabrication et au transport, et la discussion consécutive se base sur ces ensembles de données.

Les coefficients d'émission nette de GES pour les diverses options de gestion des matières résiduelles d'aluminium apparaissent dans le Tableau 3-1 et il sera question plus loin de leur calcul.

Tableau 3-1. Émissions de GES provenant des options de gestion des matières résiduelles d'aluminium (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale
Aluminium	(6,49)	0,01	0,01	0,01

3.1.1 RECYCLAGE

Le recyclage de l'aluminium procure des avantages pour les émissions par la récupération de matières premières qui réduisent les besoins de la production primaire de ces matières. Les économies d'émissions de GES sont obtenues par une réduction des émissions de l'énergie du procédé et du transport ainsi que des émissions du procédé non liées à l'énergie (hydrocarbures

13. Le contenu recyclé d'aluminium ne touche ni les propriétés, ni la valeur économique de ce métal.

fluorés entièrement halogénés) associées à la production primaire. Les effets des émissions de GES du recyclage de l'aluminium sont présentés dans le Tableau 3-2. Le calcul des effets de ces émissions est décrit dans le reste de la section.

Tableau 3-2. Émissions du recyclage de l'aluminium (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Option de gestion des matières résiduelles	Émissions de l'énergie du procédé	Émissions de l'énergie du transport	Émissions du procédé non liées à l'énergie	Coefficient d'émission nette (= a+b + c)
Recyclage	(2,98)	(0,20)	(3,31)	(6,49)

3.1.1.1 Acquisition des matières premières

Production primaire. L'étape de l'acquisition des matières premières pour la production de l'aluminium de première fusion demande l'extraction de la bauxite, le raffinage de l'alumine et la production d'anodes en carbone.

- Extraction de la bauxite. L'extraction du minerai de bauxite est la première étape du processus de production de l'aluminium. On obtient le minerai par une exploitation minière normale (habituellement une exploitation à ciel ouvert). Il est ensuite transporté à des installations de traitement où il est broyé et nettoyé avant son transport par bateau, rail ou camion à des installations de raffinage de l'alumine. Le minerai de bauxite est un produit de base mondial obtenu au Brésil, en Australie et ailleurs. Le Canada importe pratiquement tout le minerai de bauxite utilisé dans les installations de production d'alumine. À cette étape, la principale source d'émissions est le diesel provenant du matériel d'exploitation des mines et de l'équipement de traitement du minerai. Il faut environ 5,1 tonnes de minerai de bauxite pour produire 1,9 tonne d'alumine qui, à son tour, donne une tonne d'aluminium (IAI, 2000).
- Raffinage de l'alumine. À cette étape, le minerai de bauxite est traité par le procédé Bayer. Le minerai est chauffé et soumis à un procédé de digestion caustique en vue de produire de l'aluminate de sodium soluble, appelé la « liqueur verte », qui est ensuite clarifié et traité avec du gibbsite pour induire la précipitation d'hydroxyde d'aluminium. Ce dernier est par la suite calciné dans un lit fluidisé ou dans un four rotatif, à 980 – 1 300 degrés Celsius, pour produire de l'alumine. Le Canada produit environ 15 p. 100 de l'alumine requise pour les besoins de l'aluminium de première fusion (Wagner, 2004), le reste étant importé principalement d'Australie et des É.-U. L'électricité est directement consommée à cette étape de même que des combustibles fossiles pour le chauffage et la production de matériaux secondaires, comme la soude caustique et la chaux vive.
- Production des anodes en carbone. Les anodes en carbone sont une composante essentielle de la réduction électrochimique de l'alumine pour produire l'aluminium. Plusieurs types d'anodes sont utilisées en fonction de l'âge des installations : les plus

récentes cuves sont à anodes « précuites » et les plus anciennes cuves sont à anodes Söderberg ou « cuites in situ ». Les anodes en carbone sont généralement produites en utilisant un mélange de coke calciné et de brai qui est ensuite cuit pour produire une masse monolithique mise dans les cuves. D'après les estimations de l'inventaire national des GES des émissions de CO₂ des anodes et la production nationale d'aluminium primaire, environ 0,63 tonne d'anodes en carbone est consommée par tonne d'aluminium produite, bien que l'IAI (2000) estime que la moyenne mondiale est de 0,45 tonne C/tonne d'aluminium.

Produit recyclé. L'étape d'acquisition des matières premières pour la production d'aluminium recyclé comporte une collecte et un processus de tri. Selon l'IAI (2000), cette étape comprend le tri et le traitement des matériaux pour assurer l'élimination des impuretés qui gêneraient le procédé de refonte. Les rebuts d'aluminium récupérés sont d'ordinaire broyés et traités par la chaleur pour enlever tout revêtement ou élément peint. L'électricité et les combustibles fossiles servent à cette étape à faire fonctionner des machines et à chauffer l'aluminium, et cette énergie est incluse dans le cycle de vie.

3.1.1.2 Fabrication

Production primaire. L'étape de la fabrication de l'aluminium vierge comprend la fusion de l'aluminium, la coulée en lingotière et la fabrication.

- Production électrolytique de l'aluminium. Le procédé de production de l'aluminium consiste à dissoudre l'alumine dans un bain de cryolite fondue et à faire passer un courant électrique à travers le circuit constitué de l'anode en carbone et de la cathode afin de réduire (décomposer) l'alumine et ainsi produire de l'aluminium. Ce procédé, connu sous le nom du procédé Hall-Héroult, consomme de grandes quantités d'électricité. Il en résulte des émissions indirectes associées à la production d'électricité ainsi que des émissions directes de CO₂ provenant de la combustion de l'anode. Comme c'est indiqué ci-dessus, le procédé électrolytique est associé à un phénomène appelé « l'effet d'anode » qui produit des hydrocarbures fluorés entièrement halogénés. Ces derniers sont des GES très puissants. Pour estimer les émissions d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés et la combustion des anodes en carbone propres aux installations canadiennes de première fusion, les émissions de CO₂ et d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés de la fusion de l'aluminium dont on a traité dans le *Sommaire des émissions de gaz à effet de serre pour le Canada – 2001* (EC, 2002) ont été utilisées. Celles-ci étaient de 4 160 et 6 000 kt d'eCO₂ respectivement. En y combinant l'estimation totale pour 2001 de la production d'aluminium primaire, on obtient alors un coefficient d'émission des hydrocarbures fluorés entièrement halogénés estimé à 2,32 tonnes d'eCO₂ par tonne d'aluminium produite et un coefficient d'émission directe de CO₂ estimé à 1,61 tonne d'eCO₂ par tonne d'aluminium produite. Le Tableau B-12 identifie les sources d'information et les données utilisées pour estimer les émissions d'hydrocarbures fluorés entièrement halogénés et les émissions directes de CO₂.
- Coulée en lingotière. À cette étape, l'aluminium liquide est puisé du four électrolytique, traité pour éliminer toute impureté et sa composition est rectifiée pour produire les

alliages désirés. Ces derniers sont alors coulés dans différents types de moules pour produire des lingots, des produits demi-ouvrés et finaux. À cette étape, on utilise de l'électricité et des combustibles fossiles pour faire fonctionner les machines et chauffer les fours d'attente.

- Laminage, extrusion, moulage à finition immédiate. Une fois produits à partir de lingots, les feuillards ou les billettes sont souvent transportés aux installations de fabrication où les lingots sont mis dans la forme du produit désiré, d'ordinaire par une importante machinerie industrielle. Les premières étapes de la fabrication sont le laminage, l'extrusion et le moulage à finition immédiate. Le laminage consiste à comprimer l'aluminium en utilisant des cylindres sous haute pression pour produire des feuilles de l'épaisseur voulue. L'extrusion, elle, a pour but de forcer l'aluminium à travers une matrice préfabriquée pour produire de l'aluminium ayant une forme donnée. Le procédé de moulage à finition immédiate suppose le chauffage de l'aluminium jusqu'à l'état de fusion et à l'injecter ou à le déverser dans une matrice ou un moule préfabriqué pour produire une forme donnée. Chacun de ces procédés de fabrication nécessite de l'électricité et des combustibles fossiles pour faire fonctionner les machines et chauffer l'aluminium.

Produit recyclé. L'étape de fabrication pour la production d'aluminium recyclé consiste en la fusion et la fabrication de l'aluminium.

- Fusion secondaire (recyclée). Les rebuts d'aluminium récupérés sont traités et triés, puis refondus pour produire des feuillards ou des billettes à partir de lingots secondaires. L'électricité et les combustibles fossiles servent à faire fonctionner les machines et à chauffer l'aluminium.
- Laminage, extrusion et moulage à finition immédiate. Cette étape de la fabrication est la même que pour les matériaux d'aluminium primaire ci-dessus et requiert les mêmes besoins énergétiques.

3.1.1.3 Transport

Pour la production primaire ou recyclée, chaque étape, depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à la fabrication, comporte des émissions liées au transport qui leur sont associées, d'ordinaire par l'emploi de mazout ou de produits pétroliers diesel. Les valeurs de l'énergie utilisée pour le transport se fondent sur l'IAI (2000) et traduisent donc des moyennes mondiales plutôt que des estimations calculées expressément pour le Canada.

3.1.2 LIMITES

La complexité de la fabrication de l'aluminium et du système d'élimination ou de recyclage faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport constitue plusieurs défis concernant la variabilité localisée et les questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions internationales moyennes qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Par exemple, les données sur l'acquisition des matières premières et l'énergie de la fabrication représentent une fabrication

moyenne mondiale de l'aluminium (IAI, 2000). Il y a probablement des variations entre les installations particulières de production de l'aluminium en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation de l'énergie et au type de combustible. Une composante clé des émissions de la production de l'aluminium – les hydrocarbures fluorés entièrement halogénés – est estimée à partir des données de l'Inventaire canadien des gaz à effet de serre (EC, 2002) qui fournit une composante nationale pour la méthodologie. La variabilité propre à une installation est également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport). En outre, ces valeurs ne traitent pas des flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans ce document donne une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération de l'aluminium, et ce, dans une perspective nationale moyenne.

3.2 Acier

Le cycle de vie de l'acier vierge commence avec le procédé d'acquisition des matières premières qui consiste en l'extraction du minerai de fer de grandes exploitations minières à ciel ouvert ou en puits. Le minerai brut est ensuite raffiné, au moyen d'un procédé dans lequel il est traité mécaniquement pour retirer les impuretés, et converti en boulettes ou en agglomérés généralement par l'ajout de bentonite. Dans le procédé de fabrication de l'acier vierge, le minerai de fer aggloméré est combiné avec du coke et du calcaire pour former un matériau de charge qui est introduit dans un haut fourneau dans lequel le minerai de fer est réduit pour produire une gueuse de fonte. L'étape suivante du procédé de fabrication consiste en l'utilisation d'un convertisseur basique à oxygène (CBO) pour produire de l'acier à partir d'un mélange de gueuses de fonte et de ferraille. Il en résulte que même l'acier « vierge » contient une petite quantité de métal recyclé (et les valeurs mentionnées pour la production d'acier primaire représentent des estimations extrapolées de l'intensité énergétique d'un procédé de production théorique avec 100 p. 100 d'intrants vierges). L'acier brut est ensuite coulé et laminé pour produire un matériau en feuille qui passe alors par une série de procédés d'estampage et de soudage pour fabriquer des produits d'acier (p. ex., des canettes). On n'a trouvé aucune donnée sur l'énergie associée aux différentes étapes de la fabrication (pour l'acier primaire ou recyclé).

Alors qu'une certaine quantité de matériel recyclé est consommée par le procédé du CBO, le four électrique à arc produit de l'acier à partir d'une matière première qui est constituée presque à 100 p. 100 de métal recyclé. Le four électrique à arc fonctionne avec une charge (intrants), soit des rebuts habituellement combinés avec une petite quantité de coke et de calcaire. Dans le four électrique à arc, la charge de rebuts métalliques est chauffée par un courant électrique qui passe entre des électrodes en carbone pour produire de l'acier en fusion (EPA, 2002).

Dans les deux procédés, à savoir le CBO et le four électrique à arc, le coke qui est consommé accomplit un double rôle, soit comme source d'énergie et comme ingrédient métallique dans l'alliage. D'après nos calculs, le coke représente un intrant d'énergie.

Il existe des émissions de CO₂ non liées à l'énergie qui sont associées à : 1) la consommation de calcaire dans les procédés primaire et recyclé; 2) l'anode en carbone dans le procédé du four électrique à arc (recyclé). Le premier type d'émissions est intégré dans le cycle de vie, mais le

second n'a pas été quantifié explicitement. Nous avons estimé les émissions non liées à l'énergie du procédé, associées à la consommation dans le procédé de fabrication de l'acier, à 0,043 tonne d'eCO₂/tonne (Timler, 2002; EC, 2001)¹⁴.

Les estimations des émissions du cycle de vie partiel de l'acier sont basées sur des données d'importantes aciéries intégrées en Ontario qui produisent de l'acier à partir du minerai de fer et pour les aciéries électriques réparties dans l'ensemble du pays qui produisent de l'acier à partir de rebuts recyclés. Le cycle de vie étendu de l'acier inclut l'énergie associée à l'extraction des intrants utilisés dans la production des feuilles d'acier. L'ensemble de données actuel inclut aussi l'acquisition des matières premières pour le procédé utilisant des matériaux recyclés (c.-à-d. en ajoutant les émissions associées à la séparation de l'acier des autres matériaux à l'installation de récupération des matériaux) et une estimation approximative des émissions du transport, bien que ces facteurs aient une influence relativement petite sur les émissions globales. On estime que l'acier contient en moyenne 86 p. 100 de contenu vierge¹⁵ et que le taux de rétention après consommation est de 79 p. 100 (Enviros RIS, 2000). Le Tableau B-13 et le tableau B-14 démontrent les données complètes sur l'énergie du cycle de vie associées à l'acquisition des matières premières à la fabrication et au transport de l'acier.

Les coefficients d'émission nette de GES des diverses options de gestion des matières résiduelles de l'acier¹⁶ apparaissent dans le tableau 3-3 et il sera question plus loin de leur calcul.

Tableau 3-3. Émissions de GES provenant des options de gestion des matières résiduelles de l'acier (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE)
Acier	(1,18)	0,01	(1,03)	0,01

14. Veuillez prendre note que ces émissions incluent le CO₂ libéré dans la conversion du CaCO₃ en CaO, mais non pas l'énergie nécessaire au procédé.

15. Comme pour l'aluminium, le contenu d'acier recyclé n'affecte pas ses propriétés physiques ni sa valeur économique.

16. Veuillez noter que les données sur l'acquisition des matières premières et la fabrication, examinées dans ce rapport, sont particulières à la production de l'acier. En l'absence de meilleurs renseignements, les coefficients d'émission présentés dans cette section peuvent servir de substitut pour d'autres matériaux ferreux (contenant du fer), comme la fonte et l'acier inoxydable. Il faut aussi noter qu'en traitant de l'acier dans la perspective du marché des rebuts, on y fait souvent référence comme à des matières ferreuses.

3.2.1 RECYCLAGE

Le recyclage de l'acier procure des avantages en matière d'émissions par la récupération de matières premières qui réduisent le besoin de production primaire de ces matières. Les économies d'émissions de GES de l'acier recyclé sont présentées dans le Tableau 3-4.

Tableau 3-4. Émissions du recyclage de l'acier (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Option de gestion des matières résiduelles	Énergie du procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Coefficient d'émission nette (=a + b + c)
Recyclage	(1,13)	(0,01)	0,03	(1,18)

3.2.1.1 Acquisition des matières premières

Produit vierge : Les estimations de l'énergie associée à l'acquisition des matières premières de l'acier sont basées sur le rapport de l'Athena Institute (Athena Institute, 1998). Cet institut fournit des estimations spécifiques pour le carburant de l'acquisition des matières premières pour un mètre carré de recouvrement résidentiel en acier, ce qui représente 3,8 kg d'acier. Ces valeurs ont été par la suite converties en GJ par kg d'acier, comme le démontre le Tableau B-15.

Produit recyclé : L'énergie associée à « l'acquisition des matières premières » de l'acier fabriqué avec des produits recyclés se rapporte au carburant et à l'électricité consommés aux installations de récupération des matériaux, où la portion utilisable d'acier secondaire (ou plus précisément, les matières ferreuses du flux de matières résiduelles solides) est séparée des autres matériaux. Pour effectuer cette estimation, nous avons utilisé une valeur de référence de 0,6 kg d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles associée à la consommation d'énergie aux installations de récupération des matériaux (Torrie Smith Associates, 2003). En utilisant cette valeur, nous avons supposé que les « installations de récupération des matériaux » représentent un substitut raisonnable pour les IRM. En supposant ensuite que l'énergie associée à ces émissions est exclusivement de l'électricité, nous avons converti cette estimation en kilowattheures (kWh) d'équivalent électricité et ultérieurement en GJ d'énergie, comme le montre le Tableau B-16.

3.2.1.2 Fabrication

Les données sur l'énergie de la fabrication sont présentées dans le Tableau B-17 et le Tableau B-18 pour les intrants primaire et recyclé, respectivement. Comme l'indique le rapport initial, des figures distinctes sur l'intensité énergétique ont été élaborées pour la production de grandes aciéries intégrées en Ontario, qui produisent de l'acier à partir du minerai de fer, et pour les aciéries électriques réparties dans l'ensemble du pays, qui produisent de l'acier à partir de rebuts recyclés. Nous avons ensuite assimilé les intensités énergétiques des petites aciéries électriques avec la production des intrants recyclés et le fonctionnement des hauts fourneaux avec la production d'intrants vierges. En Ontario, la contribution du fonctionnement intégré des hauts fourneaux à la production totale d'acier au Canada varie avec les conditions du marché;

nous avons supposé que 50 p. 100 de la production d'acier primaire provient de ces aciéries. Nous avons réparti la consommation d'énergie pour la fabrication de l'acier selon les deux technologies différentes de production en attribuant au fonctionnement intégré des hauts fourneaux 100 p. 100 du charbon, 50 p. 100 du gaz naturel, 10 p. 100 de l'électricité et 90 p. 100 de la consommation d'autres combustibles (Centre canadien de données et d'analyse de la consommation finale d'énergie dans l'industrie [CIEEDAC, 2000]). Ceci donne une intensité énergétique finale pour la fabrication de l'acier de 22,8 GJ/tonne avec des intrants vierges (69 p. 100 de charbon, 24 p. 100 de gaz) et 9,3 GJ/tonne avec des intrants recyclés (39 p. 100 d'électricité, 59 p. 100 de gaz). Bien que ce ne soit pas totalement clair à partir des sources de données originales, il appert que l'ensemble des données de la fabrication inclut l'énergie associée à la fabrication des feuilles d'acier dans les produits finals de l'acier (p. ex., canettes en acier).

3.2.1.3 Transport

Les estimations du transport pour la production de l'acier paraissent dans le Tableau B-19 et le Tableau B-20.

Acquisition des matières premières (production vierge). L'estimation de l'énergie du transport associée à l'acquisition des matières premières des intrants de l'acier (0,2 GJ/tonne) est celle du rapport du Athena Institute (Athena Institute, 1998). Ce rapport fournit une estimation de 828 KJ d'énergie diesel par mètre carré de recouvrement résidentiel en acier, ce qui représente 3,8 kg d'acier.

Fabrication (production vierge et recyclée). Par suite du manque d'estimations facilement accessibles sur l'énergie du transport pour la fabrication des produits en acier, nous avons mis au point une valeur approximative (0,07 GJ/tonne) par les étapes suivantes : 1) en présumant d'une distance représentative de 100 km de transport par camion par tonne pendant la fabrication; 2) en convertissant cette estimation en litres de carburant diesel en utilisant une réduction présumée de la consommation de carburant de 2,3 km par litre; 3) en convertissant cette estimation de carburant en énergie en se servant de données sur le contenu thermique du diesel; 4) en convertissant la valeur résultante de l'intensité en carburant en émissions de GES, d'après le contenu en carbone du carburant diesel. Ce calcul apparaît dans le Tableau B-21.

Transport vers l'emploi final (production vierge et recyclée). L'estimation du transport des produits en acier de l'aciérie jusqu'au marché (0,3 GJ/tonne) est basée sur une distance de transport estimée à 426 km de transport par camion pour expédier le verre vers un marché (c.-à-d. que le verre a servi de substitut à l'acier), fournie par le Athena Institute. Nous avons ensuite converti cette estimation dans la quantité équivalente de GJ de carburant diesel en se servant de la même méthode que celle décrite plus haut pour la « fabrication ». Ce calcul apparaît dans le Tableau B-22.

3.2.2 INCINÉRATION

La plupart des installations utilisant l'énergie des matières résiduelles récupèrent les produits ferreux de valeur (dont l'acier) de leur flux de matières résiduelles en faisant passer la cendre résiduelle à travers un séparateur magnétique. L'acier et d'autres matières ferreuses séparés sont

ensuite envoyés dans des fours électriques à arc pour leur recyclage. Nous avons mis au point une estimation de la réduction des émissions de l'incinération pour le recyclage en utilisant la même hypothèse que l'analyse de l'EPA des É.-U. (EPA, 2002). Plus précisément, nous avons supposé que 90 p. 100 des installations d'incinération récupéraient les métaux ferreux et qu'à ces installations, 98 p. 100 des métaux ferreux sont ramassés. Ces hypothèses donnent un taux global de récupération de 88 p. 100.

Le coefficient d'émission de l'ensemble du recyclage pour l'acier a été utilisé, avec le taux de récupération, pour calculer une estimation de la réduction des émissions du recyclage pour l'incinération. Parmi les matériaux analysés, ceci ne s'applique qu'à l'acier. Comme en témoigne le Tableau 3-5, les bénéfices pour les émissions de GES de la gestion des matières ferreuses dans les installations utilisant l'énergie des matières résiduelles sont de 0,99 tonne d'eCO₂/tonne d'intrants ferreux.

Tableau 3-5. Émissions de l'incinération de l'acier (tonnes eCO₂/tonne)

a)	b)	c)	d)	e)
Émissions de l'incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l'acier	Émissions nettes de l'incinération (= a + b + c + d)
0,00	0,01	0,00	(1,04)	(1,03)

3.2.3 LIMITES

La complexité de la fabrication de l'acier et du système d'élimination ou de recyclage faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport présente plusieurs défis en matière de variabilité localisée et de questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions canadiennes moyennes qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Par exemple, les données sur l'énergie de la fabrication représentent l'ensemble de l'industrie canadienne de l'acier (CIEEDAC, 2000). Il y a probablement des variations entre les aciéries particulières en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation de l'énergie et au type de combustible. La variabilité propre à une installation est également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'enfouissement). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites soulèvent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans ce document fournissent une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie, associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération de l'acier.

3.3 Fil de cuivre

Le cycle de vie du cuivre primaire débute avec le procédé d'acquisition des matières premières qui comporte l'extraction du minerai de cuivre, généralement du sulfure ou de l'oxyde de cuivre, par une importante exploitation minière à ciel ouvert ou en puits. Le minerai brut est ensuite

raffiné par un procédé au cours duquel il est broyé et subséquemment traité par un broyeur à boulets ou à barres. À cette étape, les deux types de minerai passent par des étapes de raffinage et de traitement différentes. Ces étapes sont des procédés pyrométallurgiques ou de fusion et hydrométallurgiques ou d'extraction par solvant et d'extraction électrolytique (ES-EE). Étant donné que la production de cuivre au Canada se fait surtout par le procédé de fusion le plus courant, le procédé de fabrication ES-EE ne sera pas étudié en détail. Une fois le minerai de cuivre broyé, il est mélangé avec de l'eau pour créer des schlamms dont le cuivre est récupéré et concentré par un procédé de flottation. Des produits chimiques ajoutés dans ce procédé recouvrent le cuivre minéral et permettent à des bulles d'air de le faire remonter à la surface du réservoir où il est recueilli par un procédé d'écumage et mis à sécher. Les scories des matières résiduelles ou boues de minerai sont d'ordinaire recueillies et éliminées ou retraitées pour récupérer d'autres matériaux. Le concentré de cuivre recueilli contient maintenant environ 30 p. 100 de cuivre. Il passe alors par un procédé de fusion au cours duquel il alimente différents fours pour enlever les minéraux non cuivreux et d'autres contaminants. Le concentré de cuivre a pour résultat la production successive de mattes, de blisters et finalement de cuivre pur à 90 p. 100, qui est mis en forme dans des moules appelés anodes. Ces anodes subissent un raffinage électrolytique dans un bain acide pour produire une cathode de cuivre pur à 99,99 p. 100. À ce point, le procédé de fabrication devient habituellement particulier en fonction de l'usage voulu du cuivre alors que la cathode est mise dans une forme secondaire par une nouvelle fusion dans un four à réverbère. Pour le fil de cuivre, la cathode est mise en forme de tiges de fil d'environ 12,7 mm de diamètre et elle est ensuite étirée à travers une série de matrices pour produire un fil de cuivre de divers calibres ou épaisseurs. Pour d'autres applications, la cathode de cuivre peut être mise en forme de billettes, de plaques ou de lingots, que l'on peut extruder, couler ou utiliser dans des alliages. En raison des exigences de pureté, la plupart des fils de cuivre électriques sont produits à partir d'une cathode en cuivre primaire.

Le fil de cuivre de deuxième fusion est habituellement récupéré selon deux classifications de base, soit le numéro 1 et le numéro 2. Les rebuts de cuivre n° 1 consistent en du cuivre sans mélange, propre et exempt de contaminants. Les rebuts de cuivre n° 2 consistent en du cuivre sans mélange ayant une pureté minimale de 94 p. 100 et pouvant contenir des contaminants sous forme de plastiques ou d'autres métaux. Les rebuts de fil de cuivre sont d'ordinaire coupés en morceaux et traités pour enlever l'isolant et d'autres contaminants. L'incinération est aussi utilisée dans certains cas pour enlever l'isolant du fil de cuivre, mais d'importants problèmes de pollution de l'air en limitent l'utilisation. Après le découpage, le fil de cuivre « nettoyé » est refondu dans un four à réverbère et coulé en lingots. Parce que le cuivre n° 2 est moins pur, il doit subir habituellement un raffinage anodique et électrolytique avant de passer à l'étape de la refonte cathodique. Le traitement des rebuts de cuivre n° 2 demande donc plus d'énergie que celui des rebuts de cuivre n° 1. Le fil de cuivre récupéré devient d'ordinaire des billettes ou des lingots pour faire des alliages ou d'autres catégories de cuivre ayant moins d'exigences de pureté que le fil de cuivre électrique.

Ce cycle de vie du fil de cuivre inclut l'énergie associée à l'extraction des matières premières utilisées dans la production du fil de cuivre. L'ensemble de données actuelles comprend l'acquisition des nouvelles matières pour le procédé de recyclage (c.-à-d. l'ajout des émissions associées au traitement du fil de cuivre avant la refonte) et une estimation approximative des émissions du transport, bien que ces facteurs n'aient qu'une petite influence sur les émissions

globales. Le taux de rétention du recyclage du fil après consommation est de 82 p. 100 (FAL, 2002). Le Tableau B-23 et le Tableau B-24 de l'annexe B montrent les données complètes du cycle de vie associées à l'acquisition des matières premières, à la fabrication et au transport du fil de cuivre. Les coefficients d'émission nette de GES des diverses options de gestion des matières résiduelles de fil de cuivre paraissent dans le Tableau 3-6, et il sera question plus loin de leur calcul.

Tableau 3-6. Émissions de GES provenant de l'option de gestion des matières résiduelles de fil de cuivre (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE)
Fil de cuivre	(4,10)	0,01	0,01	0,01

3.3.1 RECYCLAGE

Le recyclage du fil de cuivre est bénéfique pour les émissions par la récupération des matières premières, ce qui réduit le besoin de la production primaire de ces matières. Les effets des émissions de GES du cuivre recyclé sont présentés dans le Tableau 3-7.

Tableau 3-7. Émissions du recyclage du fil de cuivre (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Option de gestion des matières résiduelles	Énergie du procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Coefficient d'émission nette (= a + b + c)
Recyclage	(4,03)	(0,06)	0,00	(4,10)

3.3.1.1 Acquisition des matières premières

Produit vierge. L'estimation de l'énergie associée à l'acquisition des matières premières pour le fil de cuivre est basée sur le rapport de Franklin Associates, *Energy and Greenhouse Gas Factors for Personal Computers* (FAL, 2002). Franklin Associates donne des estimations particulières selon le carburant pour l'acquisition des matières premières en vue de la production de fil de cuivre utilisé comme composante des ordinateurs personnels. Nous avons ensuite converti ces valeurs en GJ par tonne de fil de cuivre et présumé que la production canadienne a la même intensité énergétique et composition des sources d'énergie que les valeurs de la production américaine mentionnées par Franklin Associates.

Produit recyclé. L'énergie associée à « l'acquisition des matières premières » du cuivre fabriqué avec des produits recyclés se rapporte au carburant et à l'électricité consommés aux installations où les rebuts de fil de cuivre sont coupés en morceaux et préparés pour le procédé de nouvelle

fusion. Les données proviennent du rapport intitulé *Energy Use Patterns for Metal Recycling*, préparé par le Bureau of Mines des É.-U. (Kusik and Kenahan, 1978). Même si ce rapport est plutôt vieilli, on continue à le citer dans les documents comme source d'information sur l'énergie de l'industrie du cuivre.

3.3.1.2 Fabrication

Les données sur l'énergie pour la fabrication du fil de cuivre primaire se trouvent au Tableau B-17. Le FAL (2002) rassemble les données sur l'acquisition des matières premières et les étapes de la fabrication au total de 78,2 GJ/tonne de fil de cuivre primaire. L'intensité énergétique de la fabrication des lingots de cuivre de deuxième fusion à partir de fil de cuivre recyclé est de 6,7 GJ/tonne et elle est détaillée dans le Tableau B-18. Les données obtenues de Kusik and Kenahan (1978) ont été utilisées et nous avons de nouveau supposé que l'intensité énergétique et la composition des sources d'énergie des É.-U. s'appliquent au Canada (et que les données de 1978 s'appliquent aux conditions actuelles). Parce que le fil de cuivre recyclé sert habituellement à produire une matière non utilisée pour la production de fil de cuivre (c.-à-d. le recyclage en circuit ouvert), nous avons tenu pour acquis que le remplacement d'un lingot de cuivre primaire a une valeur énergétique totale estimée à 67,2 GJ/tonne, et ce, d'après une étude américaine qui date quelque peu (Battelle, 1975). De ce fait, les économies d'émissions de GES du fil de cuivre recyclé sont fondées sur un remplacement présumé de la production de lingots de cuivre primaire. D'après l'emplacement et la capacité des fonderies, l'Ontario représente 52 p. 100 de la capacité de fusion du cuivre au Canada, le Québec et le Manitoba représentant 33 et 15 p. 100, respectivement.

3.3.1.3 Transport

Acquisition des matières premières (production primaire). L'estimation de l'énergie du transport associée à l'acquisition des matières premières pour le fil de cuivre provient du rapport sur le cycle de vie des ordinateurs personnels de Franklin Associates. Les données sur le transport pour la production primaire sont tirées du rapport intitulé *Energy Use Patterns in Metallurgical and Nonmetallic Mineral Processing (Phase 4)*, Battelle (1975). Nous avons rassemblé les données relatives à cette énergie avec celles afférentes à l'énergie associée à la fabrication de ces deux matériaux.

Fabrication (production primaire et recyclée). Comme c'est indiqué ci-dessus, nous avons rassemblé les données sur l'énergie associée à la fabrication du fil de cuivre pour un total de 0,6 GJ/tonne, comme le démontre le Tableau B-23. L'énergie totale du transport pour la fabrication d'un lingot primaire est de 2,37 GJ/tonne. Les données du transport pour la fabrication d'un lingot de cuivre de deuxième fusion de cuivre recyclé est de 1,84 GJ/tonne et elles sont détaillées dans le Tableau B-24. Les données obtenues de Kusik and Kenahan (1978) ont été utilisées.

3.3.2 INCINÉRATION

Des renseignements sur l'incinération du fil de cuivre n'étaient pas facilement disponibles. Pour effectuer une estimation approximative, nous avons utilisé la moyenne des coefficients existants

de l'énergie de l'incinération des canettes d'aluminium et d'acier (sans le bénéfice de l'énergie de récupération de l'acier). Cette valeur de l'incinération est de 0,09 GJ/tonne. La seule source d'émissions de GES associées à l'incinération du fil de cuivre est l'énergie requise pour transporter les matériaux à l'installation d'incinération. Comme le démontre le Tableau 3-8, les émissions nettes de l'incinération du fil de cuivre à ces installations sont de 0,01 tonne d'eCO₂/tonne.

Tableau 3-8. Émissions de l'incinération du cuivre (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Option de gestion des matières résiduelles	Émissions de l'incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l'acier	Émissions nettes de l'incinération (= a + b + c + d)
Incinération	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01

3.3.3 LIMITES

La complexité de la fabrication du fil de cuivre et du système d'élimination ou de recyclage faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport pose plusieurs défis en matière de variabilité localisée et des questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions américaines qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Par exemple, les données sur l'énergie de l'acquisition des matières premières se basent sur les données de la fabrication du cuivre des É.-U. (Kusik et Kenahan, 1978; Battelle, 1975). Il y a probablement des variantes entre des installations particulières de production du cuivre pour ce qui est de l'efficacité de la consommation d'énergie et du type de combustibles. Même si ces données datent quelque peu, elles sont toujours fréquemment citées dans les publications de l'industrie. Les caractéristiques de la production du cuivre au Canada ne diffèrent probablement pas de manière importante de celles des É.-U. La variabilité propre à une installation cause également une préoccupation au regard de chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'enfouissement). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans ce document donnent une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie, associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération du fil de cuivre, et ce, dans une perspective nationale moyenne.

3.4 Verre

D'après le Musée canadien des civilisations, la fabrication du verre a commencé il y a plus de 5 000 ans et son histoire au Canada remonte aux années 1800 (MCC, 2005). Les principaux ingrédients du verre sont le sable, le quartz broyé, le carbonate de sodium, la chaux et le groisil (matières résiduelles de verre). L'étape d'acquisition des matières premières comprend l'extraction et le traitement de ces matières. La présence de groisil dans le mélange accélère la fusion et la cristallisation des autres ingrédients. Donc, en pratique, il n'existe pas de procédés de fabrication de verre entièrement primaire ni de procédés de fabrication de verre totalement

recyclé parce que toute la production de verre emploie des intrants recyclés et primaires. En général, plus élevé est le contenu recyclé du mélange, moins élevé sera le point de fusion et moins d'énergie sera nécessaire pour chauffer les fours. La fabrication de bouteilles de verre et d'autres produits se fait à la verrerie.

Nous avons mis au point les estimations des émissions du cycle de vie des bouteilles de verre en les présumant de 6 GJ/tonne pour la production des intrants vierges et de 4,25 GJ/tonne pour la production des bouteilles de verre recyclé (Torrie Smith Associates, 2001). Nous avons étendu le cycle de vie des bouteilles de verre en incluant l'énergie associée à l'acquisition des matières premières utilisées dans la fabrication du verre. Nous avons également inclus l'acquisition des matières premières pour le procédé recyclé (c.-à-d. en ajoutant les émissions associées à la séparation du verre d'autres matériaux à l'installation de récupération des matériaux) et une estimation approximative des émissions du transport, bien que ces facteurs aient une influence relativement restreinte sur les émissions globales. On estime que le verre comporte en moyenne 70 p. 100 de contenu vierge et que le taux de rétention du recyclage postconsommation est de 71 p. 100 (Enviros RIS, 2000). Le Tableau B-25 et le Tableau B-26 démontrent les données sur l'énergie du cycle de vie associées à l'acquisition des matières premières, la fabrication et le transport des bouteilles de verre.

Les coefficients d'émission nette de GES des diverses options de gestion des matières résiduelles pour les bouteilles de verre apparaissent dans le Tableau 3-9, et il sera question plus loin de leur calcul.

Tableau 3-9. Émissions de GES de l'option de gestion des matières résiduelles de verre (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale
Verre	(0,10)	0,01	0,01	0,01

3.4.1 RECYCLAGE

Le recyclage des bouteilles de verre procure des avantages en matière d'émissions par la récupération de matières premières qui réduisent le besoin de la production primaire de ces matières. Les effets des émissions de GES du recyclage des bouteilles de verre sont présentés dans le Tableau 3-10.

Tableau 3-10. Émissions du recyclage des bouteilles de verre (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Option de gestion des matières résiduelles	Énergie du procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Coefficient d'émission nette (=a + b + c)
Recyclage	(0,12)	0,01	0,00	(0,10)

3.4.1.1 Acquisition des matières premières

Produit vierge. Les estimations de l'énergie associée à l'acquisition des matières premières pour les bouteilles de verre se fondent sur les données provenant de la Base de données complètes sur la consommation d'énergie de Ressources naturelles Canada (RNCAN, 2004). Le Tableau 15 de la base de données fournit la consommation d'énergie secondaire (par combustible) et les tonnages de production pour les « autres mines non métalliques ». Ces valeurs ont servi à calculer l'intensité énergétique et l'emploi des combustibles pour le sable et le calcaire qui servent d'intrants dans la fabrication du verre¹⁷. Pour estimer les GJ par tonne, nous avons divisé les estimations de 2001 de la consommation d'énergie particulière à un combustible par l'estimation de la production totale en 2001 (exprimée en petajoules [PJ]) et convertie en GJ. Ce calcul apparaît dans le Tableau B-27.

Produit recyclé. L'énergie associée à l'acquisition des matières premières pour le verre fabriqué avec des produits recyclés fait référence au combustible et à l'électricité consommés aux IRM, où la partie utilisable du verre secondaire est isolée des autres matériaux. Pour effectuer cette estimation, nous avons utilisé une valeur de référence de 0,6 kg d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles associée à la consommation d'énergie aux installations de récupération des matériaux (Torrie Smith Associates, 2003). En utilisant cette valeur, nous avons supposé que les « installations de récupération des matériaux » représentent un substitut raisonnable pour les IRM. En présumant ensuite que l'énergie associée à ces émissions est exclusivement de l'électricité, nous avons converti cette estimation en kWh d'équivalent électricité et ultérieurement en GJ d'énergie, comme le démontre le Tableau B-16.

3.4.1.2 Fabrication

Les données sur l'énergie portant sur la fabrication paraissent dans le Tableau B-17. Le Tableau B-18 démontre, quant à lui, les intrants primaires et recyclés, respectivement. Initialement, nous avons considéré 6 GJ/tonne pour la production à partir d'intrants vierges et 4,25 GJ/tonne pour la production à partir de bouteilles de verre recyclées, avec du gaz naturel fournissant entre 85 et 90 p. 100 de cette énergie. Ces valeurs représentent des estimations de

17. Le carbonate de calcium, qui est un autre intrant dans la production du verre, n'est pas inclus dans cette analyse. Il peut avoir un important effet sur l'utilisation totale d'énergie, et il faudrait en tenir compte pour l'inclure dans de futures améliorations de l'ensemble de données.

l'intensité énergétique extrapolées des procédés théoriques de production avec 100 p. 100 d'intrants vierges et 100 p. 100 d'intrants recyclés. En réalité, toute production comporte des intrants vierges et des intrants recyclés. Dans le cadre du présent rapport, nous avons présumé que ces estimations saisissent l'énergie associée à la fabrication en bouteilles de verre individuelles.

3.4.1.3 Transport

Les estimations pour le transport de la production de verre paraissent dans le Tableau B-19 et le Tableau B-20.

Acquisition des matières premières (production vierges). Les estimations pour le transport associé à l'acquisition des matières premières des intrants du verre (0,6 GJ/tonne) se basent sur les données sur l'acier fournies dans le rapport du Athena Institute (Athena Institute, 1998). On peut probablement améliorer ces estimations avec de meilleures données, mais en raison de la contribution relativement petite de cette composante à l'énergie totale du cycle de vie du verre, nous avons considéré que l'acier était un substitut raisonnable.

Fabrication (production primaire et recyclée). A cause du manque de données facilement accessibles sur les estimations de l'énergie du transport pour la fabrication des produits de verre, nous avons élaboré cette estimation (0,07 GJ par tonne) selon les étapes suivantes : 1) en présumant d'une distance représentative de 100 kilomètres (km) de transport par camion par tonne pendant la fabrication; 2) en convertissant cette estimation en litres de carburant diesel en utilisant une réduction présumée de la consommation de carburant de 2,3 km par litre; 3) en convertissant cette estimation de carburant en énergie en se servant de données sur le contenu thermique du diesel. Ce calcul apparaît dans le Tableau B-21.

Transport vers l'emploi final (production vierge et recyclée). L'estimation du transport des produits en verre de la verrerie jusqu'au marché (0,3 GJ/tonne), fournie par le Athena Institute (Athena, 1998), est basée sur une distance de transport estimée à 426 km de transport par camion. Nous avons ensuite converti cette estimation dans la quantité équivalente de GJ de carburant diesel en se servant de la même méthode que celle décrite plus haut pour la « fabrication ». Ce calcul apparaît dans le Tableau B-22.

3.4.2 INCINÉRATION

La seule source d'émissions de GES rattachées à l'incinération de bouteilles de verre est l'énergie nécessaire pour les transporter à l'installation d'incinération. Comme le démontre le Tableau 3-11, les émissions nettes de GES pour les bouteilles de verre à ces installations sont de 0,01 tonne d'eCO₂/tonne.

Tableau 3-11. Émissions de l'incinération des bouteilles de verre (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Option de gestion des matières résiduelles	Émissions de l'incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l'acier	Émissions nettes de l'incinération (=a + b + c + d)
Incinération	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01

3.4.3 LIMITES

La complexité de la fabrication du verre et du système d'élimination ou de recyclage faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport pose plusieurs défis en matière de variabilité localisée et de questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions canadiennes moyennes qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Par exemple, les données sur l'énergie de l'acquisition des matières premières et de la fabrication se fondent sur les données de l'industrie canadienne du verre (Torrie Smith Associates, 2001). Il y a probablement des variations entre les verreries particulières en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation de l'énergie et au type de combustible. La variabilité propre à une installation occasionne également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'enfouissement). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans le présent document donnent une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération du verre, et ce, dans une perspective nationale moyenne.

4 Plastiques et pneus

Cette section comporte des détails sur l'élaboration des coefficients d'émission pour les plastiques et les pneus. Ces matériaux sont regroupés dans cette section parce qu'ils partagent tous en amont des procédés relativement semblables et à forte intensité énergétique, dont l'acquisition, le raffinage du pétrole et le façonnage. Ces matériaux sont aussi inertes (dans une perspective d'émission de GES lors de l'élimination des matières résiduelles); aucun de ces matériaux ne contribue donc aux émissions en aval associées à la décomposition de matières organiques. Ces matériaux sont non réactifs dans un milieu d'enfouissement et la seule énergie associée à cette option d'élimination de ces matériaux est de 0,15 GJ/tonne pour les véhicules de collecte des matières résiduelles, le transport à une décharge et le fonctionnement de l'équipement lourd de la décharge. Ces matériaux ne réagissent pas non plus dans un digesteur anaérobie et l'énergie qui se dégage de ce type de fin de vie pour des matériaux de cette nature se situe à 0,11 GJ/tonne pour les véhicules de collecte et le transport jusqu'aux installations de digestion. Les plastiques et les pneus ne se compostent pas d'ordinaire en raison de leur inertie et de l'interférence avec les processus de retournement et d'aération du compost. Par conséquent, il ne sera pas question dans ce chapitre de la digestion anaérobie ou du compostage.

Les sections qui suivent fournissent des détails sur l'énergie associée au recyclage et à l'incinération des plastiques et des pneus.

4.1 Polyéthylène haute densité, polyéthylène téréphtalate et autres emballages en plastique

Nous avons développé des cycles de vie pour trois catégories de plastique : le polyéthylène haute densité (PEHD), le polyéthylène téréphtalate (PET) de la catégorie bouteille et le polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL). Les valeurs du PEBDL ont servi pour représenter les « autres plastiques » dans l'analyse puisque les sources provenant de l'industrie laissent supposer que ce produit contribue à une quantité plus importante de plastique recyclé que le PEHD ou le PET. Bien que nous ayons cherché d'autres renseignements sur les plastiques de diverses sources, c'est dans l'ensemble de données utilisé dans le rapport initial, fourni par l'Association canadienne de l'industrie des plastiques (ACIP, 2001), que se trouvent les renseignements les plus complets.

Les étapes du cycle de vie sont semblables pour les trois types de plastique. Le cycle de vie du PEHD et du PEBDL comprend l'extraction et le traitement du pétrole brut et du gaz naturel (acquisition des matières premières), la production de l'éthylène, la polymérisation, la granulation (fabrication) et l'expédition vers une installation de production où les granulés sont fondus et extrudés ou mis dans la forme du produit final (EPA, 2002). Le cycle de vie du PET vierge diffère légèrement en ce que son étape de fabrication comprend la conversion de l'éthylène en éthylène glycol et la production d'acide téréphtalique (ATP) et de téréphtalate de diméthyle (TDM) (ces étapes contribuent à une intensité énergétique plus élevée pour la fabrication du PET en comparaison du PEHD et du PEBDL).

Pour les trois plastiques, les étapes de la production de matières recyclées sont la séparation de la résine plastique par un enlèvement mécanique ou une séparation manuelle des autres produits recyclables (acquisition des matières premières), le nettoyage, le séchage, l'extrusion, la granulation (fabrication) et l'expédition à une installation de production où les granulés sont fondus et extrudés ou mis dans la forme du produit final (EPA, 2002).

Dans le cadre de ce rapport, la principale extension du cycle de vie des plastiques vient de l'inclusion, dans l'ensemble de données actuelles, de l'énergie (et des émissions) associée à la production de la matière de base pour la production du plastique primaire (c.-à-d. l'acquisition des matières premières). L'ensemble de données actuelles inclut également l'acquisition des matières premières pour le procédé recyclé (c.-à-d. l'ajout des émissions associées à la séparation des plastiques des autres matières à l'installation de récupération des matériaux) et une estimation approximative des émissions provenant du transport, bien que ces facteurs n'aient qu'une modeste influence sur les émissions globales. On estime que le PEHD et le PET comportent 85 et 71 p. 100 de contenu primaire, respectivement, et que le taux de rétention du recyclage après consommations est de 86 p. 100 pour les deux (Enviros RIS, 2000). Le Tableau B-28 au tableau B-33 démontrent les données complètes sur l'énergie du cycle de vie avec l'acquisition des matières premières, la fabrication et le transport des plastiques. Les coefficients d'émission nette de GES des diverses options de gestion des matières résiduelles de plastique paraissent dans le Tableau 4-1 et il sera plus loin question de leur calcul.

Tableau 4-1. Émissions de GES de l'option de gestion des matières résiduelles de PEHD, de PET, d'autres plastiques et de pneus (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement
PEHD	(2,27)	0,01	2,89	0,01
PET	(3,63)	0,01	2,17	0,01
Autres plastiques	(1,80)	0,01	2,67	0,01

4.1.1 RECYCLAGE

Le recyclage du PEHD, du PET et d'autres plastiques est bénéfique pour les émissions par la récupération de matières premières qui réduisent le besoin de la production primaire de ces matières. Les effets des émissions de GES du recyclage du PEHD, du PET et d'autres plastiques sont présentés dans le Tableau 4-2.

Tableau 4-2. Émissions du recyclage du PEHD, PET et autres plastiques (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Type de matériau	Énergie du procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Coefficient d'émission nette (=a + b + c)
PEHD	(2,26)	(0,02)	0,00	(2,27)
PET	(3,61)	(0,02)	0,00	(3,63)
Autres plastiques	(1,79)	(0,01)	0,00	(1,80)

4.1.1.1 Acquisition des matières premières

Le Tableau B-34, le Tableau B-35 et le Tableau B-36 démontrent les données sur l'énergie associée à l'acquisition des matières premières pour le PEHD, le PET et « autres » plastiques (PEBDL), respectivement.

Produit vierge. Une des conventions de l'analyse du cycle de vie, appliquée aux produits pétroliers, comme les plastiques, le caoutchouc synthétique et d'autres produits du même genre, consiste à inclure l'énergie « intrinsèque » en comptant les intrants de l'énergie. Cette énergie intrinsèque représente l'énergie de liaison chimique de la matière de base et l'ensemble de données d'origine incluait des renseignements sur l'énergie de la matière de base. Pour l'analyse des GES, cette énergie n'est pas directement pertinente puisqu'elle se traduirait uniquement en émissions de GES si les produits étaient brûlés (et notre analyse n'inclut pas les émissions de CO₂ provenant de l'incinération des plastiques).

Toutefois, on peut utiliser l'énergie de la matière de base pour inférer les émissions de GES associées à l'étape d'acquisition des matières premières. Le gaz naturel et le pétrole peuvent servir pour les applications aux combustibles et aux non combustibles (notamment plastiques, caoutchouc, asphalte, lubrifiants). Comme il en est question dans la section suivante de cette annexe (« Précombustion »), nous avons effectué les estimations des émissions associées à la production du gaz naturel et des produits pétroliers raffinés, comme les carburants. On peut utiliser les estimations exprimées en kg d'eCO₂ par GJ d'*extrants* des industries du gaz naturel et des produits pétroliers raffinés (PPR) pour traduire les émissions « en amont » (c.-à-d. l'acquisition des matières premières et la fabrication) non seulement pour les emplois comme combustible du carbone fossile, mais aussi pour les utilisations autres que combustibles.

En vue d'estimer les émissions de GES pour l'acquisition des matières premières et la fabrication des plastiques, nous avons multiplié l'énergie de la matière de base (par GJ d'*intrants* pour le procédé de fabrication des plastiques) par les émissions de la précombustion (par GJ d'*extrants* des industries du gaz naturel et des PPR). Les détails des calculs de la précombustion sont donnés ci-après. Pour ces calculs, « pétrole » correspond aux PPR et « autres combustibles » est censé être entièrement du gaz naturel.

Produits recyclés. L'énergie associée à l'acquisition des matières premières des plastiques fabriqués à partir de produits recyclés fait référence aux combustibles et à l'électricité consommés aux IRM, où la portion utilisable de plastique secondaire est séparée des autres matières. Pour effectuer cette estimation, nous avons utilisé une valeur de référence de 0,6 kg d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles associée à la consommation d'énergie aux installations de récupération des matériaux (Torrie Smith Associates, 2003). En utilisant cette valeur, nous avons présumé que les « installations de récupération des matériaux » représentent un substitut raisonnable pour les IRM. En présumant ensuite que l'énergie associée à ces émissions est exclusivement de l'électricité, nous avons converti cette estimation en kWh d'équivalent d'électricité et ultérieurement en GJ d'énergie, comme le démontre le Tableau B-16.

4.1.1.2 Fabrication

Les données sur l'énergie pour la fabrication apparaissent dans le Tableau B-17 et le Tableau B-18 pour les intrants vierges et recyclés, respectivement. Les estimations de l'intensité énergétique et de la composition des sources d'énergie pour les procédés primaires reflètent les étapes de la production d'éthylène, de la polymérisation et de la granulation (et pour le PET, de la production de l'ATP et du TDM), et, comme il en est question plus haut, elles se basent sur les données fournies par l'Association canadienne de l'industrie des plastiques (ACIP, 2001). Même s'il n'y a que peu de sources de données qui précisent l'énergie nécessaire pour produire du plastique à partir de matière recyclée, les données des installations de recyclage de l'Ontario démontrent qu'il faut 6 GJ/tonne d'énergie pour préparer un plastique récupéré en vue d'un nouvel usage. De cette énergie, environ 75 p. 100 s'avère de l'électricité, qui est nécessaire pour broyer, laver, sécher et remettre le plastique sous forme de granulés.

4.1.1.3 Transport

Il n'y avait pas de données canadiennes aisément disponibles sur le transport associé à la production du plastique. De ce fait, les estimations du transport sont fondées sur ce qui suit, comme le montrent le Tableau B-19 et le Tableau B-20.

Acquisition des matières premières (production vierge). Nos estimations du transport associé à l'acquisition des matières premières des intrants de plastiques (0,6 GJ/tonne) sont basées sur les données de l'acier, fournies dans le rapport du Athena Institute (Athena Institute, 1998). Cette estimation peut probablement s'améliorer avec de meilleures données, surtout puisque le transport des matières premières pour le plastique se fait par pipeline, à la différence du train, de la barge et du camion, comme dans le cas de l'acier. Néanmoins, du fait de la contribution relativement modeste de cette composante à l'énergie totale du cycle de vie, nous avons présumé que l'acier était un substitut raisonnable.

Fabrication (production primaire et recyclé). Par suite du manque d'estimations facilement accessibles sur l'énergie du transport pour la fabrication des produits en acier, nous avons mis au point une valeur approximative (0,07 GJ/tonne) par le biais des étapes suivantes : 1) en présumant d'une distance représentative de 100 km de transport par camion par tonne pendant la fabrication; 2) en convertissant cette estimation en litres de carburant diesel en utilisant une réduction présumée de la consommation de carburant de 2,3 km par litre; 3) en convertissant cette estimation de carburant en énergie en se servant de données sur le contenu thermique du diesel. Ce calcul paraît dans le Tableau B-21.

Transport vers l'emploi final (production vierge et recyclé). L'estimation pour le transport des produits du plastique depuis l'usine de fabrication jusqu'au marché (0,3 GJ/tonne) se base sur une distance de transport estimée à 426 km de transport par camion pour transporter le verre vers un marché (c.-à-d. que le verre a servi de substitut à l'acier), fournie par le Athena Institute. Nous avons ensuite converti cette estimation dans la quantité équivalente de GJ de carburant diesel en se servant de la même méthode que celle décrite plus haut pour la « fabrication ». Ce calcul apparaît dans le Tableau B-22.

4.1.2 INCINÉRATION

L'incinération des plastiques produit d'ordinaire le rejet de l'énergie intrinsèque du pétrole dans l'incinérateur et un certain remplacement d'énergie et d'émissions de GES en utilisant parallèlement la capacité de production d'électricité. Il y a cependant un rejet important de CO₂ provenant de l'incinération des plastiques avec l'énergie liée au transport. Le Tableau 4-3 fournit des détails sur les composantes des émissions de GES associées à l'incinération des plastiques.

Tableau 4-3. Émissions de l'incinération des PEHD, PET et autres plastiques (tonnes eCO₂/tonne)

Type de matériau	a)	b)	c)	d)	e)
	Émissions de l'incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l'acier	Émissions nettes de l'incinération (=a + b + c + d)
PEHD	3,12	0,01	(0,24)	0,00	2,89
PET	2,28	0,01	(0,12)	0,00	2,17
Autres plastiques	2,84	0,01	(0,18)	0,00	2,67

4.1.3 LIMITES

La complexité de la fabrication du plastique et du système d'élimination ou de recyclage faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport pose plusieurs défis en matière de variabilité localisée et de questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions canadiennes moyennes qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Par exemple, les données sur l'énergie de l'acquisition et de la fabrication se fondent sur les données de l'industrie canadienne du plastique, à l'échelle nationale (ACIP, 2001). Il y a probablement des variations entre les aciéries particulières en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation de l'énergie et au type de combustible. La variabilité propre à une installation occasionne également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'enfouissement). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans le présent document donnent une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération des plastiques, et ce, dans une perspective moyenne nationale.

4.2 Pneus

Les gestionnaires de matières résiduelles ont longtemps considéré les pneus comme étant des « matériaux à problèmes ». Nombreux sont les rapports traitant de la difficulté de la manutention et du compactage des pneus dans les sites d'enfouissement. De manière plus dramatique, des pneus, que l'on avait mis en tas distincts, ont été la proie de nombreux incendies qui se sont avérés particulièrement difficiles à maîtriser. De fait, certains incendies n'ont pu être circonscrits avant plusieurs mois.

En réaction à ces problèmes, plusieurs gestionnaires de matières résiduelles des secteurs public et privé ont adopté des programmes pour détourner les pneus des sites d'enfouissement. Les pneus usagés connaissent des sorts divers. Si le cœur des pneus usagés est un bon état, le rechapage est une option (et dans ce cas, un pneu n'est pas considéré comme pneu hors d'usage). D'autres destinations incluent une nouvelle fabrication en produits moulés (comme des couvertures pare-éclats pour les travaux de démolition), une utilisation comme ingrédients des

modificateurs de caoutchouc granulaire (MCG) pour les revêtements de sol en asphalte, le déchiquetage pour l'utilisation dans des applications du génie civil, la mise en balles et le stockage, et l'emploi comme carburant dérivé des pneus (CDP).

Ressources naturelles Canada recueille des renseignements sur la répartition des pneus hors d'usage par province, comme le montre le Tableau 4-4 ci-après (Pehlken, 2005). Bien que toutes les techniques de gestion des pneus hors d'usage puissent avoir des effets sur les émissions de GES, compte tenu des contraintes de temps et de ressources de ce projet, on n'a pu recueillir des données que pour le rechapage, l'utilisation comme CDP et l'enfouissement.

Tableau 4-4. Utilisation annuelle des pneus hors d'usage par province

Province	Utilisation des pneus en tonnes métriques					
	Produits moulés	Granulés	Déchetage	Carburant dérivé des pneus	Balles/stockage	Total
Alberta	4 869	8 379	15 245	0	0	28 493
Colombie-Britannique	23 003	0	0	5 344	0	28 346
Manitoba	1 889	0	8 706	1 505	0	12 099
Nouveau-Brunswick	6 319	98	0	0	0	6 417
Terre-Neuve-et-Labrador	0	0	0	0	3 280	3 280
Nouvelle-Écosse	0	5 235	0	0	0	5 235
Ontario	6 560	43 337	6 560	30 520	8 200	95 177
Île-du-Prince-Édouard	0	0	0	0	1 577	1 577
Québec	0	43 358	0	11 525	0	54 883
Saskatchewan	120	6 342	718	0	0	7 179
Canada	42 759	106 748	31 229	48 894	13 057	242 687

Source : données non publiées collationnées par Alexandra Pehlken, RNCan

Les coefficients d'émission nette de GES pour les diverses options de gestion des pneus hors d'usage paraissent au Tableau 4-5, et il sera plus loin question de leur calcul.

Tableau 4-5. Émissions de GES des options de gestion des pneus hors d'usage (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nette du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale
Pneus	(3,29)	0,01	(0,49)	0,01

4.2.1 RECYCLAGE

Le recyclage des pneus est bénéfique pour les émissions par la récupération de matières premières qui réduisent le besoin de la production vierge de ces matières. Les effets des émissions de GES du recyclage des pneus sont présentés dans le Tableau 4-6.

Tableau 4-6. Émissions du recyclage des pneus (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Option de gestion des matières résiduelles	Énergie du procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Coefficient d'émission nette (=a + b + c)
Recyclage	(3,29)	N/D	N/D	(3,29)

4.2.1.1 Acquisition des matières premières, fabrication et transport

Contrairement à d'autres matériaux traités dans ce rapport, on n'a pas recueilli de données sur les émissions du cycle de vie complet couvrant l'acquisition des matières premières et la fabrication; n'est donc caractérisé qu'un cycle de vie abrégé, en utilisant plusieurs hypothèses simplifiées, comme il en est question plus loin.

Selon une étude de l'énergie et des répercussions en GES de la gestion de pneus hors d'usage en Australie (Atech Group, 2001), l'énergie moyenne nécessaire pour produire un nouveau pneu est de 974 MJ et l'énergie pour produire un pneu rechapé est de 400 MJ. L'étude ne traite pas des limites du cycle de vie, on ne sait donc pas si l'acquisition des matières premières ou le transport est inclus. Nous avons fait la série suivante d'hypothèses :

- l'intensité énergétique de la production de pneu au Canada est semblable à celle de l'Australie;
- la composition des sources d'énergie pour les nouveaux pneus et les pneus rechapés est la même et l'on peut la rapprocher de la composition des sources d'énergie mentionnée pour l'industrie du caoutchouc (CIEEDAC, 2005);
- les valeurs mentionnées pour l'énergie se rapportent à des pneus d'automobile dont on suppose que le poids moyen, pour un pneu neuf (ou rechapé), représente 9,5 kg (Atech Group, 2001);
- les effets des taux de pertes et la différence de masse (d'un pneu hors d'usage par rapport à un pneu neuf) sont représentés dans les valeurs de l'intensité énergétique;
- l'intensité énergétique et la composition des sources d'énergie requise pour la production d'un pneu d'automobile sont les mêmes par tonne que pour les pneus des camions et des véhicules tous terrains;
- un pneu rechapé a 75 p. 100 de la vie utile d'un pneu neuf et, du point de vue d'une équivalence fonctionnelle, les économies d'énergie associées à la production d'un pneu rechapé par comparaison avec un pneu neuf devraient donc être contrebalancées par une durabilité plus courte (Atech Group 2001).

En combinant ces hypothèses, la réduction des émissions de GES associées au recyclage (c.-à-d. le rechapage) de une tonne de pneus est d'environ 3,29 tonnes d'eCO₂ comme l'indique le tableau ci-dessus.

4.2.2 INCINÉRATION

Il y a trois fours à ciment (deux au Québec et un en Colombie-Britannique) ainsi qu'une papeterie en Colombie-Britannique qui utilisent des pneus comme CDP (Pehlken, 2005). On ne croit pas que l'incinération de pneus dans des incinérateurs municipaux de matières résiduelles soit une activité importante au Canada.

Dans les fours à ciment où l'on utilise du CDP, il remplace le charbon. Les fours à ciment peuvent utiliser d'autres combustibles (du gaz naturel en particulier), mais les calculs mentionnés ici se basent sur l'hypothèse selon laquelle la base adéquate de comparaison est le contenu en carbone par unité d'énergie du CDP comparé au charbon. Nous avons aussi supposé que l'énergie du transport est la même pour le charbon et pour le CDP.

L'étude australienne sur les pneus (Atech Group, 2001) indique que le contenu en énergie par pneu d'automobile est d'environ 260 MJ et que le contenu en carbone par unité d'énergie (coefficient de carbone) est de 75 kg d'eCO₂/GJ. De nouveau, en présumant un poids moyen de 9,5 kg pour un pneu, ceci signifie que pour chaque tonne de CDP brûlé, 27 GJ d'énergie sont produits et 2,05 kg d'eCO₂ sont émis. Si l'on brûle assez de charbon pour produire 27 GJ, environ 2,55 kg d'eCO₂ sont émis. Les réductions des émissions de GES en brûlant du CDP au lieu de charbon sont de 0,50 kg d'eCO₂/tonne. Cette analyse laisse entendre que, dans la perspective des changements climatiques, il vaudrait mieux utiliser des pneus comme combustible plutôt que du charbon.

On n'a pas mis au point de coefficient d'émission pour l'emploi du CDP dans les papeteries. Toutefois, nous comprenons qu'à la papeterie de la Colombie-Britannique qui utilise actuellement du CDP, ce dernier remplace le gaz naturel et permet une plus grande utilisation de biocarburants en hiver, lorsque la qualité des biocarburants est inférieure (Pehlken, 2005). On dit que l'effet sur les GES est quasiment neutre. Comme le démontre le Tableau 4-7, les bénéfices pour les émissions de GES de la combustion du CDP à la place d'autres carburants sont de 0,49 tonne d'eCO₂/tonne.

Tableau 4-7. Émissions de GES des pneus incinérés dans les fours à ciment (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Option de gestion des matières résiduelles	Émissions de l'incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l'acier	Émissions nettes de l'incinération (=a + b + c + d)
Incinération	(0,50)	0,01	N/D	N/D	(0,49)

4.2.3 LIMITES

La complexité de la fabrication des pneus et du système d'élimination ou de recyclage faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport pose plusieurs défis en matière de variabilité localisée et de questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions canadiennes moyennes qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Par exemple, les données sur l'énergie de l'acquisition et de la fabrication se fondent sur les données de l'étude australienne de l'industrie du pneu (Atech Group, 2001), qui est censée être représentative des méthodes normales de l'industrie utilisées aussi au Canada. Il y a probablement des variations entre les installations particulières de production et de rechapage de pneus au Canada en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation de l'énergie et au type de combustible. La variabilité propre à une installation occasionne également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'enfouissement). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans le présent document donnent une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération des pneus, et ce, dans une perspective moyenne nationale.

5 Produits forestiers

Les produits forestiers – le papier et le bois – forment une large proportion du flux des matières résiduelles municipales ainsi que du flux de matières résiduelles de la construction et de la démolition. L'ampleur des produits forestiers dont il est question dans ce rapport est limitée à quatre des catégories de papier les plus courantes, soit le papier journal, le papier fin, le carton et d'autres papiers.

Dans la perspective des GES, le papier a un cycle de vie plus complexe que les matériaux inorganiques abordés dans les chapitres précédents. En plus des flux de GES liés à l'énergie, qui dominent le profil des émissions des matières non organiques, l'option de gestion des matières résiduelles de papier peut toucher les stocks de carbone forestier, les émissions de CH₄ des sites d'enfouissement et les stocks de carbone des sites d'enfouissement. Comme il en a été question à la section 2.2.1.5 (Puits de carbone – carbone forestier), des accroissements du recyclage réduiraient le taux de récolte du bois de pâte, touchant ainsi la masse de carbone stocké dans les forêts du Canada (ce chapitre ne présente pas de nouveau l'examen du carbone forestier). L'enfouissement a deux effets de compensation – la situation anaérobie produit des émissions de CH₄, mais elle a également pour résultat un stockage à long terme de cette portion du carbone mis au rebut, qui ne se dégrade pas facilement. Le profil des GES du papier est aussi compliqué parce qu'une bonne partie du papier détourné des matières résiduelles subit un recyclage en « circuit ouvert » dans lequel les produits de deuxième génération diffèrent des produits d'origine.

Les coefficients d'émission des GES des diverses options de gestion des matières résiduelles des produits forestiers apparaissent au Tableau 5-1, et il sera plus loin question de leur calcul.

Tableau 5-1. Émissions de GES des options de gestion des matières résiduelles de papier journal, de papier fin, de carton et d'autres papiers (tonnes eCO₂/tonne)

Type de matériau	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale
Papier journal	(2,75)	(0,49)	(0,05)	(1,22)
Papier fin	(3,20)	(0,34)	(0,04)	1,18
Carton	(3,26)	(0,32)	(0,04)	0,29
Autres papiers	(3,27)	(0,23)	(0,04)	0,71

5.1 Papier journal, papier fin, carton, autres papiers

Les étapes du cycle de vie sont les mêmes pour les quatre types de papier. Dans les procédés du papier primaire, l'étape d'acquisition des matières premières comprend la récolte du bois à pâte, au cours de laquelle les arbres sont généralement abattus à l'aide d'une tronçonneuse, tirés par un tracteur jusqu'à une route pour poids lourds, coupés en billes de taille transportable chargées ensuite sur un camion¹⁸. L'étape de fabrication du papier comporte l'écorçage (par friction sèche, friction humide ou écorçage hydraulique), la mise en copeaux (en utilisant une hacheuse rotative à volant) et la réduction du bois en pâte. Au cours de cette réduction, les composantes individuelles des cellules sont séparées de telle sorte qu'elles peuvent se reformer ensuite en panneaux. Pour les types de papier de catégorie supérieure, dont le papier fin, le papier cartonné et « autres » papiers, on utilise un procédé chimique de réduction du bois en pâte. Dans ce procédé, la lignine qui retient ensemble les fibres est dissoute chimiquement. Dans le procédé kraft, les copeaux de bois sont « cuits » dans un digesteur à haute température et haute pression dans une liqueur blanche. Pour le papier journal vierge, un procédé thermomécanique de réduction du bois en pâte sépare les fibres de bois par des moyens mécaniques, ce qui donne une fibre de qualité inférieure. Pour tous les types de papier, après la réduction du bois en pâte commence un procédé de blanchiment en trois étapes au cours duquel la brillance et la résistance de la pâte sont renforcées. La pâte est ensuite convertie en feuilles de papier et de papier cartonné à l'étape de formage, où un réseau de fibres se forme et où l'eau est éliminée par la chaleur. Finalement, la fabrication des produits de papier consiste à décharger le papier du

18. En plus des intrants de la biomasse pour la production de papier, certains papiers ont aussi d'importants intrants minéraux comme de l'argile ou du carbonate de calcium. L'énergie et les émissions associées à l'acquisition des matières premières pour ces minéraux ne sont pas incluses dans le cycle de vie étudié ici. À moins que l'énergie et les émissions ne diffèrent de manière importante de celles de la récolte du bois à pâte (qui a un petit effet en comparaison de l'étape de la fabrication), il n'y aura probablement pas d'effet significatif sur les résultats finals.

séchoir et à l'enrouler en vrac sur des bobines (enroulement), et le papier peut ensuite être traité (p. ex., coupé) pour une utilisation finale.

Pour les quatre types de papier, les étapes de la production des matières recyclées sont la séparation d'autres produits recyclables (acquisition des matières premières), la retrituration par un mélange avec de l'eau chaude, le désencrage dans une solution alcaline, le nettoyage, le filtrage et le lavage, où les contaminants sont enlevés dans un système d'épuration centrifuge, la formation de feuilles et séchage (en se servant du même procédé que pour la production primaire), l'enroulement et le traitement final (EPA, 2002).

Les estimations des émissions du cycle de vie pour chacune des quatre catégories de papier (papier journal, papier fin, carton et autres papiers) incluent les émissions de CO₂ liées à l'énergie à plusieurs étapes : l'acquisition des matières premières (pour la pâte primaire, l'énergie associée à la récolte du bois à pâte utilisé pour la fabrication du papier, pour le procédé recyclé, les émissions associées à la séparation du papier des autres matériaux à l'installation de récupération des matériaux), la fabrication et le transport. Prière de voir le Tableau B-4 et le Tableau B-5 pour des détails sur les taux de rétention et les valeurs actuelles des mélanges. Les tableaux B-39 à B-46 démontrent les données complètes sur l'énergie du cycle de vie associée à ces étapes.

5.1.1 RECYCLAGE

Le recyclage du papier journal, du papier fin, du carton et « d'autres papiers » procure des économies d'émissions par la récupération de matières premières, la pâte en l'occurrence, ce qui réduit les besoins de la production primaire. Les effets des émissions de GES du recyclage du papier journal, du papier fin, du carton et « d'autres papiers » sont présentés au Tableau 5-2. Comme on peut le voir ci-après, le stockage du carbone forestier est le facteur principal de l'ensemble des économies d'émissions de GES.

Tableau 5-2. Émissions du recyclage du papier journal, du papier fin, du carton et d'autres papiers (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Type de matériau	Énergie du procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Puits de carbone forestier	Coefficient d'émission nette (=a + b + c + d)
Papier journal	(0,28)	(0,01)	0,00	(2,45)	(2,75)
Papier fin	(0,36)	(0,00)	0,00	(2,84)	(3,20)
Carton	(0,20)	(0,01)	0,00	(3,04)	(3,26)
Autres papiers	(0,24)	(0,01)	0,00	(3,02)	(3,27)

5.1.1.1 Acquisition des matières premières

Produit vierge. Puisque les opérations forestières pour la récolte du bois à pâte ne varient pas selon le type de papier, les mêmes données sur l'énergie s'appliquent aux quatre types de papier inclus dans ce rapport. Pour effectuer des estimations de GJ d'énergie par tonne de bois à pâte, la consommation totale de carburant par le secteur forestier pour la récolte, exprimée en mégalitres, provient de Statistique Canada (2001). La teneur en énergie de chaque carburant, fournie aussi par Statistique Canada, a alors servi pour convertir les mégalitres en GJ. Nous avons estimé que 50 p. 100 de la consommation totale d'énergie servait à la récolte. D'après la base de données de Ressources naturelles Canada (RNCAN, 2004), en 2001 la production de bois à pâte était d'environ 9,6 millions de tonnes. Compte tenu des GJ d'énergie utilisée pour la récolte et la production du bois à pâte, nous avons calculé l'intensité énergétique de l'acquisition du bois à pâte pour la production en divisant les GJ de la consommation d'énergie par les tonnes de la production du bois à pâte. Ces calculs sont présentés au Tableau B-49.

Produit recyclé. L'énergie associée à « l'acquisition des matières premières » du papier constitué de produits recyclés fait référence aux combustibles et à l'électricité consommés aux IRM, où la partie utilisable du papier secondaire est séparée des autres matériaux. Pour effectuer cette estimation, nous avons utilisé une valeur de référence de 0,6 kg d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles associée à la consommation d'énergie aux installations de récupération des matériaux (Torrie Smith Associates, 2003). En utilisant cette valeur, nous avons supposé que les « installations de récupération des matériaux » représentent un substitut raisonnable pour les IRM. En supposant ensuite que l'énergie associée à ces émissions est exclusivement de l'électricité, nous avons converti cette estimation en kWh d'équivalent d'électricité et ultérieurement en GJ d'énergie, comme le démontre le Tableau B-50.

Les effets du recyclage sur le stockage du carbone forestier comportent une importante composante du coefficient d'émission nette de GES. La méthode d'analyse des effets du carbone forestier est décrite à la section 2.2.1.5.

5.1.1.2 Fabrication

Les données sur l'énergie de la fabrication paraissent dans les tableaux B-39 à B-46 pour les intrants vierges et recyclés, respectivement. Comme il est indiqué dans la version originale (2001) de ce rapport, les estimations d'énergie pour la fabrication des quatre grandes catégories de produits de papier de cette analyse étaient basées sur des estimations des besoins énergétiques et de la composition des sources d'énergie pour divers procédés de fabrication et divers produits. Dans le cas de la production de matière primaire, nous avons considéré que les papiers fins sont faits de kraft blanchi, le papier journal de pâte mécanique, le carton et les papiers mélangés de pâte chimique « moyenne », d'après les données fournies par l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (1993). Les données sur l'énergie de la production du papier à partir de fibres recyclées proviennent de MK Jaccard and Associates et de Willis Energy Services Ltd. (1996). Depuis la publication de notre rapport initial, même si nous avons recherché de nouvelles données sur la fabrication du papier de différentes sources, il reste que les renseignements les plus complets se trouvent dans les ensembles de données de 1993 et de 1996. Nous avons

présupposé que ces dernières incluaient l'énergie associée à la fabrication des feuilles de papier dans le produit de papier final (p. ex., papier journal).

5.1.1.3 Transport

Il n'y avait pas de données facilement disponibles sur le transport associé à la production du papier. De ce fait, les estimations du transport sont basées sur ce qui suit, comme le démontrent le Tableau B-19 et le Tableau B-20.

Acquisition des matières premières (production vierge). Les estimations du transport rattaché à la récolte du papier (0,6 GJ/tonne) se basent sur les données sur l'acier qui sont fournies dans le rapport du Athena Institute (Athena Institute, 1998). On peut certainement améliorer ces estimations avec de meilleures données, toutefois, par suite de la contribution relativement petite de cette composante à l'énergie totale du cycle de vie des produits du papier, nous avons considéré que l'acier était un substitut raisonnable.

Fabrication (production vierge et recyclée). En raison du manque d'estimations facilement accessibles sur l'énergie du transport pour la fabrication du papier, nous avons mis au point une valeur approximative (0,07 GJ/tonne) par les étapes suivantes : 1) en présumant d'une distance représentative de 100 km de transport par camion par tonne pendant la fabrication; 2) en convertissant cette estimation en litres de carburant diesel en utilisant une réduction présumée de la consommation de carburant de 2,3 km par litre; 3) en convertissant cette estimation de carburant en énergie en se servant de données sur le contenu thermique du diesel; 4) en convertissant la valeur résultante de l'intensité en carburant en émissions de GES, d'après le contenu en carbone du carburant diesel. Ce calcul apparaît dans le Tableau B-21.

Transport vers l'emploi final (production vierge et recyclée). L'estimation du transport des produits du papier de la papeterie jusqu'au marché (0,3 GJ/tonne) est basée sur une distance de transport estimée à 426 km par camion pour expédier le verre vers un marché (c.-à-d. que le verre a servi de substitut à l'acier). Cette valeur est fournie par Jamie Meil du Athena Institute. Nous avons ensuite converti cette estimation dans la quantité équivalente de GJ de carburant diesel, en se servant de la même méthode que celle décrite plus haut pour la « fabrication ». Ce calcul apparaît dans le Tableau B-22.

5.1.1.4 Recyclage en circuit ouvert

Plusieurs matières provenant des produits forestiers sont généralement recyclées en mode de circuit ouvert. On peut définir le recyclage en circuit ouvert comme étant un procédé au cours duquel un type de produit primaire est récupéré et utilisé pour obtenir un type de produit secondaire différent. Par exemple, lorsque du papier fin est recyclé au Canada, une partie de la matière récupérée sert d'ordinaire à produire du papier écriture ou des papiers minces et une partie sert à fabriquer du carton (RIS, 2004). Autrement dit, au Canada, le papier fin ou le papier de bureau recyclé sert à produire d'autres types de produits forestiers. Le concept de recyclage en circuit ouvert s'applique à chacun des quatre produits forestiers évalués. Aborder le phénomène du cycle de vie des produits forestiers en cycle ouvert donne une représentation plus précise du profil énergétique et des émissions de GES que d'assumer simplement un procédé de recyclage en circuit fermé (p. ex., tout le papier journal récupéré sert à produire davantage de

papier journal). Le Tableau 5-3 fournit la liste de chaque type de produit forestier primaire avec sa pondération de la récupération en circuit ouvert (ou flux de produit croisé) pour leurs produits secondaires respectifs. Les matières secondaires sont généralement produites lors du recyclage de la matière primaire.

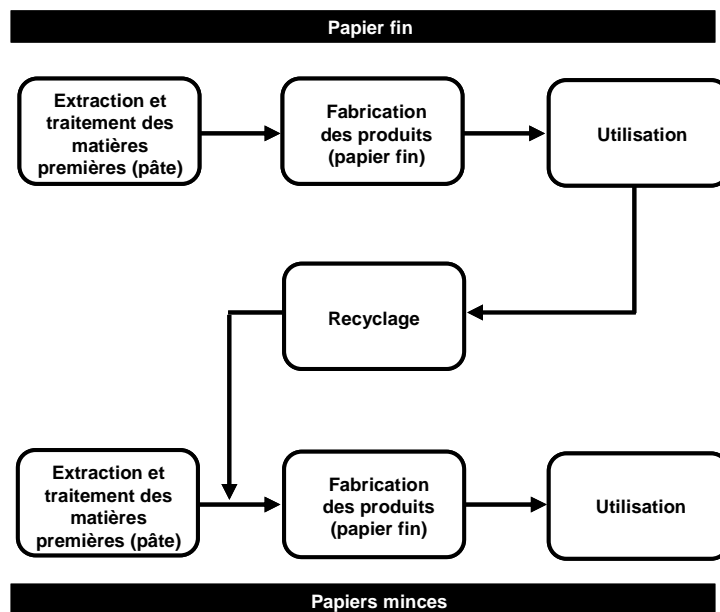
Tableau 5-3. Répartition des produits forestiers en produits secondaires

Produit forestier	Papier journal (%)	Papier fin (%)	Papier écriture et papiers minces (%)	Carton (%)
Papier journal	90	10		
Papier fin			80	20
Carton		20		80
Autres papiers		25		75

(RIS, 2004)

Le processus de recyclage du papier journal, du papier fin, du carton et d'autres papiers est mis en application dans notre analyse en créant une moyenne pondérée qui met en facteur les pourcentages ci-dessus par l'énergie estimée et le différentiel des émissions de GES entre la fabrication primaire et recyclée pour chaque type d'article recyclé. La création d'un circuit ouvert pour le papier fin demande d'inclure dans l'analyse les données sur l'énergie associée à la production du papier écriture et des papiers minces (FAL, 2000). Ces données sont spécifiques à la production des papiers minces aux É.-U., bien que l'on pense que la différence avec les procédés de production du Canada ne soit pas importante (en particulier du fait que de nombreuses compagnies sont en activité dans les deux pays). Les données sur l'énergie associée à la production des papiers minces se trouvent dans le Tableau B-47 et le Tableau B-48. La figure 4 ci-après illustre le recyclage en circuit ouvert du papier fin.

Figure 4. Recyclage en circuit ouvert du papier fin



5.1.2 DIGESTION ANAÉROBIE

Cette section décrit la méthode d'élaboration des coefficients d'émission du CH₄ et du CO₂ et des taux de stockage du carbone pour les installations de digestion anaérobie conçues pour faciliter une décomposition anaérobie rapide des matières résiduelles solides; le CH₄ (et d'autres gaz) qui en résulte est récupéré. Les installations de digestion anaérobie peuvent recevoir des débris organiques séparés ou des matières résiduelles solides mélangées. Dans le premier cas, on peut cibler du papier pour son inclusion, selon les circonstances locales (notamment la distance des marchés des fibres). Dans le deuxième cas, divers articles en papier se trouvent dans le flux des résidus qui ont échappé à leur saisie par les programmes de recyclage locaux et, de ce fait, l'installation de digestion anaérobie effectue en fin de compte la digestion des fibres. Les coefficients d'émission présentés ici s'appliquent aux deux situations et supposent que la mesure de la décomposition d'un produit donné n'est pas touchée par la composition de la masse élargie de matières résiduelles qui est cogérée dans l'installation de digestion anaérobie.

Relativement peu de renseignements sont disponibles sur les émissions de GES et les puits de ce procédé de gestion des matières résiduelles – peu d'installations de digestion anaérobie sont en service et la digestion anaérobie n'est pas analysée dans l'étude américaine qui a fourni un cadre et des intrants théoriques pour les procédés de gestion dont il est question dans le présent rapport.

Il y a trois catégories d'émissions potentielles de GES ou de puits ou compensations provenant des installations de digestion anaérobie des produits forestiers, soit les émissions de CH₄, les

compensations de l'électricité et le puits de carbone des sols¹⁹. Même si nous n'avons pas trouvé de données sur la surveillance du CH₄, du fait que les installations de digestion anaérobie sont conçues et exploitées pour saisir le CH₄, il est raisonnable de considérer que ces émissions fugitives sont négligeables. Nos efforts se sont donc concentrés sur les compensations de l'électricité et le stockage du carbone dans les sols dont il est question ci-après.

Compensations de l'électricité. Comme il a antérieurement été mentionné, lorsque les installations de gestion des matières résiduelles produisent de l'électricité, elles peuvent compenser l'emploi de combustibles fossiles par d'autres centrales électriques. Afin d'évaluer l'effet de l'efficacité énergétique, des ressources renouvelables et d'autres compensations, la politique du Canada considère que le combustible marginal compensé pour les exploitants de services d'électricité est le gaz naturel. Les étapes clés de l'estimation de l'ampleur des compensations de l'électricité consistent à : 1) estimer le rendement en CH₄ dans des installations de digestion anaérobie de matières spécifiques; 2) estimer l'efficacité de la conversion (ou rendement thermique) de la conversion du CH₄ en électricité.

Nous n'avons trouvé aucun renseignement sur les rendements en CH₄ de la digestion anaérobie propres à chaque matière. Nous avons donc réparti les données sur le rendement en CH₄ et en CO₂ propre à chaque matière provenant d'études en laboratoire de la digestion anaérobie de matières résiduelles municipales dans les sites d'enfouissement (Barlaz, 1997), d'après le rendement global en CH₄ à des installations de digestion anaérobie utilisant des matières résiduelles municipales comme charge. Nous avons effectué un examen approfondi de la documentation sur le rendement de la digestion anaérobie, d'où nous avons établi un chiffre général pour le rendement en CH₄ (0,22 m³/kg de matière volatile) pour les matières résiduelles municipales dans des réacteurs de digestion anaérobie.

Nous avons considéré un profil de la composition (basé sur les données de vérification des matières résiduelles) pour les matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles pour une municipalité représentative de l'Ontario (Guelph, Ontario). Nous avons établi les estimations du contenu en carbone, du contenu en eau et des matières volatiles (MV) en utilisant les données de Barlaz (1998) et d'autres sources.

Les données sur le rendement propre à chaque matière (m³ CH₄/kg MV) provenant des essais en laboratoire des conditions des sites d'enfouissement ont été appliquées au profil de composition des matières résiduelles et étalonnées pour le rendement global habituel des réacteurs de digestion anaérobie des matières résiduelles, selon les proportions et le rendement potentiel en CH₄ de chaque matière. Parmi les produits forestiers, les rendements estimés propre à chaque matière allaient de 0,07 tonne de CH₄ par tonne humide pour le papier journal à 0,21 tonne de CH₄ par tonne humide pour le papier fin.

19. Le procédé de digestion anaérobie produit aussi des émissions de CO₂ provenant de la décomposition des intrants organiques. Comme nous l'avons expliqué précédemment, le CO₂ de sources biosynthétiques durables récoltées n'est pas compté dans les inventaires d'émissions, il n'en est donc pas question ici.

Le biogaz provenant des digesteurs est amélioré en vue de la consommation d'énergie en enlevant l'humidité, le CO₂ et d'autres sous-produits. On peut utiliser ce gaz comme substitut du gaz naturel, dans des chaudières produisant de l'eau chaude ou de la vapeur pour des procédés industriels ou pour produire de l'électricité. De l'énergie est nécessaire pour le procédé (chauffage, malaxage, séchage, entre autres) et elle est habituellement fournie par la production de biogaz.

D'après le peu de renseignements disponibles, nous avons considéré que l'efficacité du procédé (le ratio du contenu en énergie du CH₄ par rapport à l'énergie livrée comme électricité) de la digestion anaérobie est la même que celle du gaz des sites d'enfouissement pour les aménagements énergétiques. En adoptant comme hypothèse que l'électricité est produite par l'emploi de moteurs à combustion interne, l'efficacité du procédé est de 23,6 p. 100.

Stockage du carbone dans les sols. De la même manière que le carbone résiduel du procédé de compostage peut améliorer le stockage du carbone, lors d'une intégration dans le sol, le carbone non dégradé qui sort du procédé de la digestion anaérobie a le potentiel de procurer des avantages sous la forme de stockage du carbone. Après la digestion anaérobie des matières résiduelles, les installations de digestion anaérobie utilisent d'ordinaire le compostage aérobie pour stabiliser davantage la matière organique. Nous avons supposé que le compost obtenu serait ensuite intégré dans le sol, comme amendement.

Nous n'avons trouvé aucun renseignement sur la composition du compost final provenant de ce procédé; le contenu en carbone de la matière du compost est estimé par analogie avec le compost de résidus de jardinage (du compostage aérobie centralisé). Voici les hypothèses clés :

- On peut calculer le carbone résiduel de chaque matière de la charge de matières résiduelles en déduisant la formation de biogaz de la concentration initiale de carbone. Le biogaz est censé comprendre 55 p. 100 de CH₄ et 45 p. 100 de CO₂;
- Pour les résidus de jardinage, le contenu en carbone résiduel restant après la séquence digestion anaérobie/aérobie est le même que le carbone résiduel après le compostage centralisé. D'après cette hypothèse, on peut comparer la proportion de la dégradation totale qui se produit pendant la phase aérobie à la proportion qui se produit à la phase anaérobie du procédé (le ratio calculé est de 1,25/1, c.-à-d. plus de la moitié de la décomposition se produit par voie aérobie);
- Le même ratio de 1,25 aérobie à 1 anaérobie s'applique aux autres matières organiques sous réserve de la contrainte d'un bilan massique sur le carbone disponible. Ce niveau de dégradation aérobie suffirait à décomposer tout le carbone disponible pour tout le reste des matières organiques, à l'exception du papier journal;
- Pour les deux matières premières (papier journal et résidus de jardinage²⁰) à l'égard desquelles on suppose la présence de carbone résiduel, nous avons supposé que

20. Il est question des résidus de jardinage dans le prochain chapitre.

l'avantage pour le carbone du sol équivaldrait au composant de la restauration du carbone du sol bénéficiant des résidus compostés des résidus de jardinage²¹.

Parce que ni le papier journal, ni les résidus de jardinage ne produisent beaucoup de CH₄, leurs avantages pour le carbone du sol dépassent les émissions de CO₂ économisées grâce aux compensations d'électricité obtenues par la digestion anaérobie. Les économies d'émissions nettes de GES de la digestion anaérobie sont présentées au Tableau 5-4.

Tableau 5-4 Émissions de la digestion anaérobie pour le papier journal, le papier fin, le carton et d'autres papiers (tonnes eCO₂/tonne)

Type de matériau	a) Énergie du transport à l'installation de digestion	b) CH ₄ de la digestion anaérobie	c) Émissions économisées par les services publics	d) Puits du carbone des sols	e) Émissions nettes (après consommation) (=a + b + c + d)
Papier journal	0,01	0,00	(0,12)	(0,39)	(0,49)
Papier fin	0,01	0,00	(0,35)	0,00	(0,34)
Carton	0,01	0,00	(0,24)	(0,08)	(0,32)
Autres papiers	0,01	0,00	(0,24)	(0,01)	(0,23)

5.1.3 INCINÉRATION

Les émissions de GES et les puits potentiels à prendre en compte pour l'incinération des produits forestiers incluent le CO₂ et le N₂O provenant du procédé d'incinération et des compensations d'électricité provenant de la récupération d'énergie. Nous n'avons élaboré aucun coefficient d'émission pour les émissions de CO₂ provenant de l'incinération parce que les produits forestiers dérivent de sources biosynthétiques durables récoltées. Notre travail d'élaboration des estimations des émissions de N₂O et de compensations d'électricité est décrit ci-après.

Émissions d'oxyde de diazote. Pour cette catégorie, nous avons utilisé les mêmes hypothèses que dans notre travail pour l'EPA des É.-U. (EPA, 2002). Les études compilées par le GIEC démontrent que l'incinération des matières résiduelles provoque des émissions mesurables de N₂O, un GES ayant un potentiel très élevé de réchauffement de la planète (GIEC, 1996). Le GIEC a compilé des fourchettes signalées d'émissions de N₂O par tonne de matières résiduelles incinérées provenant de six classifications d'incinérateurs de RUS. Nous avons mis en moyenne les valeurs médianes de chaque fourchette; l'estimation résultante est de 0,04 tonne d'eCO₂ des

21. Ceci n'inclut pas une autre composante des avantages du compostage centralisé des résidus de jardinage – la formation de matières humiques par le procédé de compostage aérobie. Si cette composante était incluse, l'avantage en carbone du sol de la digestion anaérobie des résidus de jardinage serait exactement le même que l'avantage en carbone du sol du compostage centralisé des résidus de jardinage.

émissions de N₂O par tonne de RUS mélangés incinérés. Parce que le GIEC n'a pas mentionné les valeurs du N₂O pour l'incinération des composantes individuelles des matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles, cette estimation a servi de substitut pour toutes les composantes des RUS qui contiennent de l'azote (c.-à-d. les produits forestiers et organiques).

Compensation d'électricité. Nous avons examiné des données non publiées sur la capacité des matières résiduelles et la production d'électricité, compilées par Environnement Canada, pour évaluer l'énergie des matières résiduelles provenant des installations d'incinération au Canada. Selon l'installation, de l'eau chaude, de la vapeur et de l'électricité sont produites. Cependant, pour cette analyse, on n'a estimé que les compensations des GES obtenues par la production d'électricité. Ceci présume implicitement que la relation entre le combustible fossile et le rendement du système d'énergie des matières résiduelles et les types de combustible sont les mêmes pour la production d'eau et de vapeur que pour la production d'électricité. Les données de l'EPA des É.-U. (EPA, 2002) ont servi pour le contenu en énergie de chaque catégorie de matière. Nous avons présumé un profil de composition (basé sur les données de la vérification des matières résiduelles) d'une municipalité représentative de l'Ontario (Guelph, Ontario) pour établir un contenu moyen en énergie de la charge de matières résiduelles résidentielles, industrielles, commerciales et institutionnelles. Ce sont les mêmes renseignements sur la composition que ceux utilisés pour l'analyse des coefficients d'émission de la digestion anaérobie. Même si les profils de la production réelle des matières résiduelles varient probablement de manière importante, l'emploi de Guelph, en Ontario, comme substitut est une hypothèse raisonnable.

Nous avons établi le taux moyen net comparé d'électricité produite et exportée des six installations canadiennes à 14,8 p. 100 du contenu en énergie de la charge de matières résiduelles, industrielles, commerciales et institutionnelles. C'est le taux net de l'énergie utilisée dans le procédé et il inclut l'efficacité de la conversion en électricité ainsi que les pertes de la transmission et de la distribution (présümées être de 10 p. 100). Comme le démontre le Tableau 5-5, l'effet des émissions de GES de l'incinération du papier journal, du papier fin, du carton et d'autres papiers est de 0,05, 0,04, 0,04 et 0,04 tonne d'eCO₂/tonne, respectivement.

Tableau 5-5 Émissions de l'incinération du papier journal, du papier fin, du carton et d'autres papiers (tonnes eCO₂/tonne)

Type de matériau	a) Émissions de l'incinération	b) Énergie du transport	c) Émissions économisées par les services publics	d) Émissions nettes de l'incinération (=a + b +c)
Papier journal	0,04	0,01	(0,10)	(0,05)
Papier fin	0,04	0,01	(0,09)	(0,04)
Carton	0,04	0,01	(0,09)	(0,04)
Autres papiers	0,04	0,01	(0,09)	(0,04)

5.1.4 ENFOUISSEMENT

Il y a trois catégories d'émissions potentielles de GES ou de puits ou compensations provenant de l'enfouissement des produits forestiers dans les RUS : les émissions de CH₄, le puits de carbone du site d'enfouissement et les compensations d'électricité²². Nous avons estimé les émissions de CH₄ des sites d'enfouissement en utilisant les valeurs présentées dans l'EPA des É.-U. (EPA, 2002).

Production de méthane. Nous avons évalué les rendements du CH₄ en utilisant les données expérimentales recueillies par M. Morton Barlaz (Barlaz, 1997). M. Barlaz a recueilli des données sur la quantité de CH₄ produit par les matières organiques lorsqu'elles sont digérées par les bactéries dans des conditions anaérobies simulant celles d'une décharge. Nous avons pesé et placé des parties de chaque matière dans des contenants en plastique de deux litres (c.-à-d. des réacteurs) et on les a laissées se décomposer de manière anaérobie dans des conditions de chaleur et d'humidité conçues pour accélérer la décomposition. Nous avonsensemencé les réacteurs avec de petites quantités de matières résiduelles bien décomposées contenant une population active de micro-organismes (les « semences ») qui produisent du CH₄ pour s'assurer que la production de CH₄ n'était pas limitée par une population insuffisante de micro-organismes. Pour faciliter la dégradation de l'eau circulait à travers chaque réacteur. Nous avons ensuite ajouté de l'azote et du phosphore pour que la production de CH₄ ne soit pas restreinte par un manque de ces nutriments.

22. Les décharges produisent aussi des émissions de CO₂ provenant de la décomposition d'intrants organiques. Comme nous l'avons expliqué précédemment, le CO₂ de sources biosynthétiques durables récoltées n'est pas compté dans les inventaires d'émissions, il n'en est donc pas question ici.

M. Barlaz a mesuré la quantité de CH₄ produite dans chaque réacteur et la quantité de carbone non décomposé restant dans chaque réacteur à la fin de l'expérience. Chaque matière a fait l'objet d'un test dans quatre réacteurs et nous avons fait la moyenne des résultats (Barlaz, 1997). Au début de l'expérience, M. Barlaz a séché un échantillon de chaque matière et analysé la quantité de cellulose, d'hémicellulose et de lignine (ainsi que de protéine pour les résidus alimentaires) partiellement décomposées dans une décharge, produisant du CH₄. La lignine est relativement stable et ne se décompose pas dans des conditions anaérobies.

M. Barlaz a mesuré la quantité de CH₄ produit pendant la durée de l'expérience et a soustrait la quantité de CH₄ attribuable à l'ensemencement afin d'obtenir la quantité de CH₄ produite par la matière à l'essai. À la fin de l'expérience, il a ouvert les réacteurs, drainé le lixiviat, séché et pesé les contenus et analysé le pourcentage de composition de cellulose, d'hémicellulose et de lignine (et de protéine pour les résidus alimentaires) dans le contenu restant. Il a ensuite mesuré le pourcentage de matières volatiles dans les contenus restants. Ce total incluait de la cellulose, d'hémicellulose, de lignine, de protéine et d'autres composants contenant du carbone, comme des cires et des tanins.

L'expérience de M. Barlaz n'a pas spécifiquement mis à l'essai « autres papiers », selon ce qui est défini en vue du recyclage, mais il a évalué quatre catégories particulières de papier – le papier journal, les caisses en carton ondulé, le papier de bureau et le papier couché (ciré notamment). D'autres recycleurs du papier peuvent attester de la grande variété des types de papier (et d'autres contaminants) qui composent la catégorie d'« autres papiers ». Comme simplification de l'hypothèse, nous avons considéré que cette catégorie n'a que quatre composantes. Plus précisément, nous avons calculé les émissions en utilisant les valeurs obtenues de l'expérience de M. Barlaz pour le papier journal, le papier fin, le carton et d'autres papiers, selon la composition qui a été supposée en ce qui concerne d'« autres papiers » et qui est présentée dans le Tableau 5-6, qui se base sur les proportions utilisées dans l'étude américaine (EPA, 2002).

Tableau 5-6. Définition d'autres papiers

Types de papier	Fraction de chaque type de papier dans « autres papiers »
Papier journal	5
Papier fin	60
Carton	30
Papier couché	5

M. Barlaz a ensuite vérifié ses résultats expérimentaux en estimant la quantité de CH₄ qui aurait été produite si la cellulose, l'hémicellulose et les protéines au complet des matières résiduelles décomposées pendant l'expérience avaient été converties à parts égales en CH₄ et CO₂ (les micro-organismes fabriquant du CH₄ produisent des quantités égales par volume de CH₄ et de CO₂ gazeux) (Barlaz, 1997). M. Barlaz fait référence à cette quantité comme au « potentiel de

CH₄ » du matériau. Il a ensuite calculé le pourcentage du potentiel de CH₄ de chaque matériau représenté par la somme 1) de la production mesurée de CH₄ et 2) la quantité de CH₄ qui pourrait se former à partir du carbone du lixiviat enlevé du réacteur et du carbone dans les résidus qui restaient dans le réacteur à la fin de l'expérience²³. Le potentiel de CH₄ non représenté pourrait avoir pour cause 1) des fuites de CH₄, 2) une erreur de mesure ou 3) le carbone dans la masse cellulaire des micro-organismes (qui n'était pas mesuré).

La récupération de CH₄ était inférieure à 85 p. 100 du « potentiel de CH₄ » de cinq matériaux : papier couché, résidus alimentaires, feuilles et branches. Dans l'analyse de l'ensemble des données de l'EPA, nous avons choisi de considérer qu'une partie du « carbone manquant » avait été converti en masse cellulaire des micro-organismes et que le reste s'était dégradé. M. Barlaz a posé comme principe un rendement plus élevé de CH₄ fondé sur les hypothèses suivantes : 1) 5 p. 100 du carbone dans la cellulose et l'hémicellulose (et les protéines dans le cas des résidus alimentaires) qui était dégradé était converti dans la masse cellulaire de la population microbienne et 2) que 90 p. 100 des composés contenant du carbone s'étaient dégradés sans se convertir en masse cellulaire, mais s'étaient convertis à parts égales en CH₄ et en CO₂. D'après ces hypothèses, les « rendements corrigés » sont traduits dans le rapport de l'EPA et servent aussi dans l'analyse actuelle.

Émissions de méthane. Cette analyse comptabilise 1) la conversion dans la décharge d'une certaine partie du CH₄ de la décharge en CO₂ et 2) la saisie du CH₄, pour le brûlage à la torche ou pour l'incinération avec récupération de l'énergie (dans les deux cas, le CH₄ recueilli est converti en CO₂)²⁴.

Pour estimer les émissions de CH₄ des matières résiduelles des sites d'enfouissement, avec et sans récupération des biogaz, nous avons estimé le pourcentage du CH₄ de la décharge qui est oxydé près de la surface de celle-ci. Nous avons estimé que 10 p. 100 du CH₄ de la décharge produit est oxydé chimiquement ou converti par les bactéries en CO₂ (Liptay, 1998; Czepiel, 1996) et que les 90 p. 100 qui restent sont disponibles pour les émissions atmosphériques de CH₄ (EPA, 1993).

Nous avons ensuite estimé les émissions de CH₄ de trois catégories de décharge : 1) des sites d'enfouissement sans récupération des biogaz; 2) des sites d'enfouissement avec récupération des biogaz qui sont brûlés à la torche, 3) des sites d'enfouissement avec récupération des biogaz qui servent à produire de l'électricité. Pour estimer les émissions de CH₄ des matières résiduelles des sites d'enfouissement récupérant les biogaz, nous avons estimé que ces sites d'enfouissement ont une efficacité de récupération de 75 p. 100 (EPA, 2002).

23. Veuillez prendre note que l'on n'a pas tenu compte, dans ce calcul, du carbone converti en masse cellulaire dans les micro-organismes.

24. Le CO₂ émis n'est pas compté comme GES parce qu'il est d'origine biosynthétique.

Nous avons aussi calculé les émissions de CH₄ d'une « décharge nationale moyenne ». Les émissions provenant d'une décharge nationale moyenne reflètent les émissions de CH₄ des trois types de décharge, pondérées par la fraction des sites d'enfouissement du Canada qui entrent dans chaque catégorie. D'après une analyse des données sur les systèmes de récupération des gaz des sites d'enfouissement dans les sites exploitées au Canada, nous avons considéré que 63 p. 100 des sites d'enfouissement du Canada ne récupèrent pas les biogaz. Des 37 p. 100 restants, nous avons considéré que 39 p. 100 récupèrent et brûlent les biogaz et que 61 p. 100 récupèrent l'énergie des biogaz (nous avons présumé que toute la récupération sert à produire de l'électricité).

Puits de carbone des sites d'enfouissement. Les estimations du stockage du carbone proviennent aussi des données expérimentales recueillies par M. Barlaz et présentées dans le rapport de l'EPA des É.U. sur les émissions de GES provenant de la gestion matières résiduelles (EPA, 2002). On a effectué l'estimation du stockage de carbone en calculant la quantité de carbone restant dans chaque réacteur à la fin de l'expérience et en soustrayant ensuite la quantité de carbone restant attribuable à l'ensemencement. La différence entre les deux valeurs représente la quantité de carbone des matières résiduelles qui est resté non décomposé dans le réacteur, à la fin de l'expérience. Puisque les conditions dans le réacteur simulaient celles d'une décharge, c'est approximativement la quantité de carbone qui serait stocké si les matières résiduelles étaient enfouies (Barlaz, 1998). Il faut noter que les conditions de l'expérience (humidité abondante, nutriments et anaérobie) représentent probablement une situation plus favorable pour la décomposition (et moins favorable pour le stockage du carbone) que les conditions de la plupart des sites d'enfouissement et les résultats peuvent donc être biaisés en surévaluant les émissions de GES des sites d'enfouissement.

Compensation d'électricité. Comme nous l'avons indiqué précédemment, notre analyse suppose que 37 p. 100 des sites d'enfouissement du Canada récupèrent les biogaz. Parmi eux, on considère que 29 p. 100 récupèrent et brûlent ces gaz pour produire de l'électricité. Ces sites d'enfouissement compensent les émissions de CO₂ de la production d'électricité que ne font pas les services publics.

Nous avons estimé les émissions économisées de CO₂ par tonne de CH₄ récupéré et brûlé en prenant pour hypothèse une efficacité de conversion des biogaz de 23,6 p. 100 (contenu en énergie du CH₄ converti pour produire de l'électricité, après comptabilisation des pertes de la transmission et de la distribution de 10 p. 100) et 108 tonnes d'eCO₂ non produits par TJ d'électricité compensée. Comme le démontre le Tableau 5-7, le papier journal des sites d'enfouissement a un profil négatif d'émissions de GES alors que le papier fin, le carton et d'autres papiers ont des émissions de GES positives causées par des niveaux plus élevés de production de méthane. Les coefficients d'émission sont sensibles à la présence ou à l'absence, dans la décharge, d'un système de récupération des gaz (et l'efficacité présumée de saisie de ce système).

Tableau 5-7 Émissions du papier journal, du papier fin, du carton et d'autres papiers dans les sites d'enfouissement (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Type de matériau	Collecte et transport des matières résiduelles	Émissions nettes de CH ₄ des sites d'enfouissement	Émissions économisées par les services publics	Puits de carbone des sites d'enfouissement	Émissions nettes (après consommation) (=a + b + c + d)
Papier journal	0,01	0,22	(0,00)	(1,45)	(1,22)
Papier fin	0,01	1,34	(0,01)	(0,17)	1,18
Carton	0,01	1,18	(0,01)	(0,91)	0,29
Autres papiers	0,01	1,21	(0,01)	(0,51)	0,71

5.1.5 LIMITES

Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions moyennes qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Par exemple, les données sur l'énergie de l'acquisition et de la fabrication se basent sur les données de l'industrie canadienne du papier (PPRIC, 1993; MK Jaccard and Associates et Willis Energy Services Ltd; 1996). Il y a probablement des variations entre les papeteries et les cartonneries particulières en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation de l'énergie et au type de combustible. La variabilité propre à une installation occasionne également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'incinération). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans le présent document donnent une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération du papier, et ce, dans une perspective moyenne nationale.

Les coefficients d'émission sont également très sensibles aux valeurs du stockage du carbone forestier (pour le recyclage), au rendement en méthane (pour les sites d'enfouissement et la décomposition anaérobie) et au stockage du carbone dans les sites d'enfouissement. De nombreuses questions techniques et politiques doivent être épluchées en ce qui a trait à la comptabilisation du stockage du carbone forestier dans les inventaires des GES étant donné que les valeurs utilisées ici (dont proviennent les coefficients d'émission du recyclage) sont affectées par une incertitude considérable. Par ailleurs, les rendements en méthane et les estimations du stockage du carbone dans les sites d'enfouissement se basent sur un ensemble limité de données expérimentales et l'expérience était conçue pour faciliter la décomposition anaérobie, ce qui fait en sorte que les résultats sont incertains et peuvent contenir un biais en surestimant les émissions de CH₄ et en sous-estimant le stockage. Enfin, même si le stockage du carbone des sites d'enfouissement est inclus dans les inventaires nationaux des GES des É.-U. et de l'Australie, il

n'existe certainement pas d'accord sur la méthodologie ou la base conceptuelle sous-jacente pour l'inclusion de ce facteur dans la comptabilisation des GES.

6 Matières organiques

Cette section traite de deux sortes de matières résiduelles organiques courantes, soit les résidus alimentaires et les résidus de jardinage. Parce que ces matériaux ne sont pas fabriqués, ils sont traités quelque peu différemment des autres dans cette analyse – il n'y a pas d'émissions associées à l'énergie utilisée pour l'acquisition des matières premières et les étapes de la fabrication. Toutefois, comme avec les produits forestiers, l'enfouissement provoque des émissions de CH₄ ainsi qu'un stockage du carbone à long terme. De plus, l'analogie du recyclage – le compostage – a un effet sur le stockage du carbone dans les sols, de sorte que l'option de gestion est évaluée pour les matières organiques (mais pas pour toute autre matière).

6.1 Résidus alimentaires et de jardinage

Les coefficients d'émission nette de GES des diverses options de gestion des résidus de jardinage et des résidus alimentaires paraissent dans le Tableau 6-1, et il sera plus loin question de leur calcul.

Tableau 6-1. Émissions de GES des options de gestion des RUS des résidus alimentaires et de jardinage (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du compostage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale
Résidus alimentaires	(0,24)	(0,10)	0,02	0,80
Résidus de jardinage	(0,24)	(0,15)	0,01	(0,33)

6.1.1 COMPOSTAGE

Le compostage de matières organiques peut produire 1) des émissions de CH₄ provenant de la décomposition anaérobie; 2) un stockage du carbone à long terme sous forme de composés carbonés « non décomposés »; 3) des émissions de CO₂ non biosynthétique provenant de la collecte et du transport des matières organiques jusqu'à l'emplacement du compostage central et du retournage mécanique du tas de compost²⁵. Le compostage des matières organiques produit aussi des émissions de CO₂ biosynthétique associées à la décomposition, à la fois lors du procédé

25. Les émissions de CO₂ provenant de la livraison du compost à sa destination finale n'ont pas été comptées parce que le compost est un produit commercialisable et que les émissions de CO₂ provenant du transport d'autres produits commercialisables, des produits finis, vers les consommateurs n'ont pas été comptées dans d'autres parties de cette analyse.

de compostage et après l'ajout du compost dans le sol. Cependant, parce que ce CO₂ est d'origine biosynthétique, il n'est inclus ni dans les lignes directrices internationales sur la comptabilisation, ni dans notre comptabilisation des émissions et des puits.

Notre analyse laisse entendre que le compostage de matières organiques, lorsqu'il est géré adéquatement, ne produit pas d'émissions de CH₄ mais a pour résultat un certain stockage de carbone (associé à l'intégration du compost dans les sols) ainsi que des émissions minimales de CO₂ provenant du retournage mécanique des tas de compost. Pour maintenir la cohérence avec la méthodologie utilisée pour les puits de carbone forestier, nous avons choisi des estimations ponctuelles de la fourchette de coefficients d'émission – comprenant divers taux d'application et diverses périodes – élaborés dans une analyse antérieure faite par l'ICF pour l'EPA des É.-U. Nous avons choisi l'estimation ponctuelle d'après un taux d'application représentatif de 20 tonnes américaines de compost par acre dont nous avons fait la moyenne pour trois scénarios de sols et de cultures. Pour ce qui est du choix du moment, nous avons choisi les valeurs du stockage du carbone de 2010 comme s'harmonisant avec les estimations de stockage du carbone forestier. Les émissions de GES associées aux résidus alimentaires et aux résidus de jardinage sont présentées dans le Tableau 6-2.

Tableau 6-2 Émissions du compostage centralisé des résidus alimentaires et de jardinage (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Type de matériau	Équipement du compostage	CH ₄ du compost	Puits du carbone des sols	Émissions nettes (après consommation = a + b + c)
Résidus alimentaires	0,02	0,00	(0,27)	(0,24)
Résidus de jardinage	0,02	0,00	(0,27)	(0,24)

Dioxyde de carbone provenant du retournage du compost. Pour estimer les émissions indirectes de CO₂ associées au retournage des tas de compost, l'analyse a commencé avec des estimations élaborées par Franklin Associates pour la quantité de carburant diesel nécessaire, à raison de une tonne de matières organiques²⁶, pour retourner des tas de compost (211 MJ) (FAL, 1994). En utilisant le coefficient de carbone du diesel, nous avons converti cette estimation en 0,018 tonne d'eCO₂/tonne de produits forestiers compostés à l'installation centrale de compostage.

Puits de carbone des sols. L'analyse du stockage du carbone de l'EPA des É.-U. portait sur la mesure dans laquelle le compostage restaure le carbone des sols dans des sols dégradés et accroît

26. Mesuré comme poids frais, selon la façon habituelle de mesurer les RUS.

la formation de composés carbonés stables (p. ex., des acides humiques, des agrégats). Les analyses de la restauration du carbone des sols, de la fertilisation azotée et de la formation supplémentaire d'humus appliquent des modèles relativement simples de processus très complexes. Ces processus sont probablement contrôlés par de nombreux facteurs biologiques, physico-chimiques et de gestion du compost, comme le type et le taux d'application (c.-à-d. la sylviculture, l'horticulture, l'agriculture et l'aménagement paysager), des facteurs climatiques régionaux et locaux, le type de sol et, dans une moindre mesure, la matière de base du compost (p. ex., de l'herbe, des feuilles, des branches, des résidus de jardinage et des résidus alimentaires). De plus, comme les résultats dépendent du temps, l'année au cours de laquelle on évalue les avantages a un effet sur l'ampleur du stockage du carbone. En tenant compte de ces limites, l'analyse donne un ensemble de premières approximations qui quantifient la mesure du stockage du carbone associé au compostage, en comparaison de l'enfouissement et de l'incinération.

Le stockage du carbone des sols set fonction de la restauration du carbone et de la formation supplémentaire d'humus, comme il en est question ci-après.

Restauration du carbone des sols. Le modèle Century (Metherell *et al.*, 1993) a servi à quantifier les effets du compostage sur la restauration du carbone des sols. Voici les intrants clés de l'analyse :

- Les taux d'application du compost de 1,3, 3,2, 6,5, 10, 15, 20 et 40 tonnes américaines humides de compost/acre/année pendant 10 années, de 1996 à 2005, puis de 1,3 et 3,2 tonnes américaines humides de compost/acre appliqué tous les 5 ans (p. ex., en 1996, en 2001 et en 2006).
- Les paramètres du compost incluait un contenu en lignine de 33 p. 100, un ratio carbone-azote de 17/1, un ratio carbone-phosphore de 60/1 et un ratio carbone-soufre de 75/1.
- Deux dossiers de site : un site dans l'est du Colorado ayant un sol de limon argileux et un site au sud-ouest de l'Iowa ayant un sol de limon argileux fin.
- Deux régimes de récolte : dans l'un, le maïs était récolté pour l'ensilage (enlèvement de 95 p. 100 de la biomasse au-dessus du sol) et dans l'autre, le maïs était récolté pour son grain et restait dans le champ.

Pour chaque scénario, le modèle a estimé le stockage du carbone en unités de grammes de carbone par mètre carré pour tous les bassins de carbone du sol. Les extrants du modèle ont été analysés pour isoler du carbone total ajouté au sol (y compris les résidus de la culture) les effets de l'ajout du carbone du compost. Les résultats ont ensuite été convertis en unités de carbone par unité de compost, en divisant l'augmentation du stockage de carbone par la masse de matières organiques nécessaires pour produire le compost.

Formation supplémentaire d'humus. Une analyse englobante a été utilisée pour estimer les effets de la formation supplémentaire d'humus. Elle se fondait sur deux facteurs clés : 1) la fraction du carbone dans le compost considérée comme « passive » (c.-à-d. très stable) et 2) le taux de dégradation du carbone passif en CO₂.

Pour le premier facteur, les estimations se basaient sur des données expérimentales compilées par M. Michael Cole de l'Université de l'Illinois, mentionnées par l'EPA des É.-U. (2002). M. Cole a trouvé des valeurs documentaires indiquant qu'entre 4 et 20 p. 100 du carbone dans le compost fini se dégrade rapidement²⁷. M. Cole a fait une moyenne des valeurs documentaires qu'il avait trouvées et a estimé que l'on peut considérer 10 p. 100 du carbone du compost comme « rapide » (c.-à-d. facilement dégradable). Les 90 p. 100 restants du carbone du compost peuvent se classer comme carbone lent ou passif. Les données expérimentales n'étaient pas définies en fonction de délimitations du carbone lent et passif dans le compost; nous avons donc élaboré des estimations des bornes supérieure et inférieure d'après le jugement professionnel de M. Cole. Il a suggéré des valeurs de 30 p. 100 de carbone lent et de 60 p. 100 de carbone passif, et de 45 p. 100 de carbone lent et de 45 p. 100 de carbone passif pour les bornes supérieure et inférieure du contenu passif, respectivement²⁸. Pour le deuxième facteur, nous avons choisi un temps de séjour moyen de 400 années pour le carbone passif, fondé sur une fourchette de valeurs spécifiées dans la documentation (Metherell *et al.*; 1993 et Brady *et al.*, 1999). En combinant les deux bornes pour la formation d'humus supplémentaire (60 p. 100 passive et 45 p. 100 passive), nous avons estimé le stockage de carbone supplémentaire s'appliquant à chaque scénario.

Émissions nettes de GES du compostage. Même si les deux méthodes utilisées pour quantifier le stockage de carbone du sol saisissent l'éventail d'avantages potentiels, elles créent la possibilité d'un double comptage. Dans une tentative pour éliminer le double comptage, nous avons évalué la façon dont Century segmente le carbone du compost une fois qu'il est appliqué sur le sol. D'après notre analyse, il semble que Century simule adéquatement le cycle et le stockage du carbone pour pratiquement tout le carbone sauf le carbone passif introduit par l'application de compost. Parce que le carbone passif représente près de 52 p. 100 du carbone du compost (la valeur médiane est de 45 p. 100 et de 60 p. 100), nous avons proportionné les résultats de Century de 48 p. 100 pour traduire la proportion de carbone qui peut se classer comme rapide ou lent. Le calcul du flux de carbone net associé au compostage est détaillé dans le tableau 6-3.

27. Très peu de renseignements sont disponibles sur les caractéristiques du compost provenant des résidus de jardinage ou alimentaires. Cependant, M. Cole a trouvé que la composition des composts provenant d'autres matières était largement compatible, en indiquant que ses estimations pouvaient raisonnablement s'appliquer aux résidus de jardinage ainsi qu'aux matières résiduelles alimentaires.

28. Seul le bassin passif était concerné parce que 1) le modèle Century ne tient pas compte de l'intrant direct du carbone organique dans le bassin passif et 2) les passages du modèle donnaient très peu de formation indirecte (c.-à-d. par d'autres bassins) de carbone passif. Même si le premier facteur est également valable pour le bassin lent, le deuxième ne l'est pas. Si le carbone lent devait être analysé de la même manière que le carbone passif, il y aurait une possibilité de double comptage.

Tableau 6-3 Calcul des émissions nettes de GES du compostage

Contenu en carbone non pondéré	Proportion de C non passif (%)	Estimation pondérée	Formation accrue d'humus	Flux net de carbone MTCE/tonne	Flux net de carbone Tonne d'eCO ₂ /tonne
(0,04)	48	(0,02)	(0,05)	(0,07)	(0,27)

6.1.2 DIGESTION ANAÉROBIE

L'analyse de la digestion anaérobie de matières organiques a utilisé les mêmes paramètres que l'analyse de la digestion anaérobie des produits forestiers dont il est question plus haut. En déterminant les compensations d'électricité, les rendements estimés de matières spécifiques étaient de 0,14 tonne de CH₄ par tonne humide pour les résidus alimentaires et de 0,08 tonne de CH₄ par tonne humide pour les résidus de jardinage. Les calculs du stockage du carbone des sols étaient les mêmes que ceux effectués pour les matières organiques. Les effets des émissions de GES provenant de la digestion anaérobie des résidus alimentaires et des résidus de jardinage sont présentés au Tableau 6-4.

Tableau 6-4 Émissions de la digestion anaérobie pour les résidus alimentaires et de jardinage (tonnes eCO₂/tonne)

Type de matériau	a) Énergie du transport et de l'installation de digestion	b) CH ₄ de la digestion anaérobie	c) Émissions économisées par les services publics	d) Puits de carbone du sol	e) Émissions nettes (après consommation = a + b + c + d)
Résidus alimentaires	0,01	0,00	(0,11)	0,00	(0,10)
Résidus de jardinage	0,01	0,00	0,00	(0,16)	(0,15)

6.1.3 INCINÉRATION

Comme dans le cas de l'incinération des produits forestiers dont il a été question précédemment, les émissions et les puits potentiels de GES résultant de l'incinération de matières organiques sont le CO₂ et le N₂O du procédé d'incinération et les compensations d'électricité obtenues par la récupération de l'énergie. Notre analyse de ces émissions et de ces puits est semblable à l'analyse des produits forestiers. On n'a pas établi de coefficients d'émission des émissions de CO₂ provenant de l'incinération parce que les matières organiques proviennent de sources biosynthétiques renouvelables récoltées. Comme pour le N₂O, nous avons estimé un coefficient d'émission de 0,04 tonne d'eCO₂ des émissions de N₂O par tonne de RUS mélangés incinérés, d'après une moyenne des valeurs médianes des fourchettes mentionnées par le GIEC des

émissions de N₂O, par tonne de matières résiduelles incinérées, provenant de six classifications d’incinérateurs de RUS. Nous avons établi que le taux moyen net d’électricité produite et exportée des six installations canadiennes comparées était de 14,8 p. 100 du contenu en énergie de la charge de RUS d’une municipalité représentative de l’Ontario (Guelph, Ontario). C’est le taux net de l’énergie utilisée dans le procédé et il inclut l’efficacité de la conversion en électricité, ainsi que les pertes de la transmission et de la distribution (supposées être de 10 p. 100). Comme le montre le Tableau 6-5, les émissions de GES de l’incinération de résidus alimentaires et des résidus de jardinage sont de 0,02 et de 0,01 tonne d’eCO₂/tonne, respectivement.

Tableau 6-5 Émissions de l’incinération des résidus alimentaires et des résidus de jardinage (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Type de matériau	Émissions de l’incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l’acier	Émissions nettes de l’incinération (=a + b + c + d)
Résidus alimentaires	0,04	0,01	(0,03)	0,00	0,02
Résidus de jardinage	0,04	0,01	(0,04)	0,00	0,01

6.1.4 ENFOUISSEMENT

Il y a trois catégories d’émissions potentielles de GES ou de puits ou compensations provenant de l’enfouissement de matières organiques des matières résiduelles municipales : les émissions de CH₄, le stockage du carbone dans les sites d’enfouissement et les compensations d’électricité²⁹. La méthodologie utilisée pour estimer ces émissions de GES et des puits ou compensations est la même que celle utilisée pour analyser l’enfouissement des produits forestiers, dont il a été question plus haut.

Les coefficients d’émission pour les résidus de jardinage proviennent des données mentionnées par M. Barlaz (1997) pour l’herbe, les feuilles et les branches. La composition présumée est basée sur une estimation de 39 p. 100 d’herbe, de 27 p. 100 de feuilles, de 18 p. 100 de broussailles et de 16 p. 100 de matière inerte, que Robert Sinclair, de Ressources naturelles

29. Les sites d’enfouissement produisent aussi des émissions de CO₂ provenant de la décomposition d’intrants biosynthétiques. Comme nous l’avons expliqué antérieurement, le CO₂ de sources biosynthétiques durables récoltées n’est pas compté dans les inventaires d’émissions, nous n’en traitons donc pas ici.

Canada, a élaborée d'après trois études de la composition des résidus de jardinage (IES, 1999; CH2Mhill, 1999; RIS, 2005).

Comme le montre le Tableau 6-6, l'enfouissement des résidus alimentaires produit des émissions nettes de GES de 0,80 tonne d'eCO₂/tonne, tandis que l'enfouissement des résidus de jardinage produit des émissions négatives de GES de 0,33 tonne d'eCO₂/tonne.

Tableau 6-6 Émissions des sites d'enfouissement provenant des résidus alimentaires et de jardinage (tonnes eCO₂/tonne)

Type de matériau	a) Transport	b) Émissions nettes de CH ₄ des sites d'enfouissement	c) Émissions économisées par les services publics	d) Puits de carbone des sites d'enfouissement	e) Émissions nettes (après consommation) (=a + b + c + d)
Résidus alimentaires	0,01	0,88	(0,01)	(0,09)	0,80
Résidus de jardinage	0,01	0,42	(0,00)	(0,76)	(0,33)

6.1.5 LIMITES

Comme ceux du papier, les coefficients d'émission sont très sensibles aux valeurs du rendement en méthane (pour les sites d'enfouissement et la digestion anaérobie) et au stockage du carbone dans les sites d'enfouissement. Les rendements en méthane et les estimations du stockage du carbone dans les sites d'enfouissement se basent sur un ensemble limité de données expérimentales et l'expérience était conçue pour faciliter la décomposition anaérobie, de sorte que les résultats sont incertains et peuvent contenir un biais en surestimant les émissions de CH₄ et en sous-estimant le stockage. Finalement, même si le stockage du carbone des sites d'enfouissement est inclus dans les inventaires nationaux des GES des É.-U. et de l'Australie, il n'existe certainement aucun accord sur la méthodologie ou la base conceptuelle sous-jacente pour l'inclusion de ce facteur dans la comptabilisation des GES.

7 Appareils électroniques et électroménagers

Ce chapitre présente l'approche du cycle de vie utilisée pour estimer l'énergie et les coefficients d'émission des méthodes de gestion des matières résiduelles de types représentatifs d'appareils électroniques et des électroménagers. Ces types de biens de consommation sont semblables en ce que, dans une perspective de gestion des matières résiduelles, on peut les considérer comme des composés de plusieurs matériaux de base. Pour les besoins du présent rapport, les incidences des GES des appareils électroniques et des électroménagers sont caractérisées d'après les propriétés des principales matières constitutives – le plastique, l'aluminium, l'acier, le cuivre, le plomb et le verre.

Les appareils électroniques et électroménagers sont composés de matières premières inertes dans le milieu d'une décharge, c'est-à-dire qu'aucun de ces matériaux ne contribue à des émissions en aval associées à la décomposition de matières organiques. Comme pour les autres matériaux, il n'y a que les émissions associées à l'énergie nécessaire pour la collecte des matières résiduelles, le transport à la décharge et le fonctionnement de l'équipement lourd de la décharge, estimées à 0,15 GJ/tonne. Ces biens sont aussi non réactifs dans un digesteur anaérobie et l'énergie associée à cette option de fin du cycle de vie pour ces matériaux est de 0,11 GJ/tonne pour les véhicules de collecte et le transport vers l'installation de digestion. Les appareils électroniques et les électroménagers ne sont d'ordinaire pas compostés, du fait de leur inertie et de l'interférence avec les activités de retournage et d'aération du compost.

Les sections suivantes fournissent des détails sur les GES rattachés au recyclage et à l'incinération des appareils électroniques et des électroménagers.

7.1 Appareils électroniques

Cette section présente la méthodologie utilisée pour estimer l'énergie du recyclage et de l'incinération ainsi que les effets des GES de quatre appareils électroniques que l'on trouve de plus en plus dans le flux des RUS : les ordinateurs personnels, les téléviseurs, les fours à micro-ondes et les magnétoscopes. Comme il a été susmentionné, les effets des GES du cycle de vie des appareils électroniques peuvent se caractériser en examinant chaque matière première des composants. Les principaux types de matériaux constituant ces appareils sont les plastiques, l'acier, le verre du tube cathodique (TRC), le fil de cuivre et l'aluminium.

Par suite de l'hétérogénéité des matériaux des appareils électroniques, il peut y avoir d'importantes variations de la composition des différents ordinateurs personnels, des téléviseurs, des fours à micro-ondes ou des magnétoscopes. En outre, certaines caractérisations des ordinateurs personnels incluent des moniteurs et un équipement périphérique (p. ex., un clavier, des câbles externes, des imprimantes), alors que d'autres excluent ces éléments. Toutefois, RIS International Ltd. a effectué récemment des études approfondies (RIS 2003a, RIS 2003b) pour estimer la composition de ces produits dans les flux canadien des matières résiduelles. La composition en matières premières des appareils électroniques examinés dans cette analyse est donnée dans le Tableau 7-1, basé sur les rapports du RIS. Puisque la technologie électronique progresse constamment (p. ex., le remplacement des traditionnels moniteurs des ordinateurs

personnels et des téléviseurs par des moniteurs à « écran plat »), la composition des appareils électroniques changera probablement à l'avenir.

Tableau 7-1. Pourcentage de composition de quatre appareils électroniques

Matériau	Ordinateurs personnels et moniteurs ¹ (%)	Téléviseurs ² (%)	Fours à micro-ondes ³ (%)	Magnétoscopes ⁴ (%)
Cuivre	6,9	2,1	8,8	11,0
Plomb	6,3	4,7	0,0	0,0
Verre du TRC (tube cathodique)	24,8	54,8	5,9	0,0
Résine ABS (acrylonitrile-butadiène-styrène)	11,5	15,2	4,4	11,5
Résine de PPO et de PC (oxyde de polyphénylène et polystyrène choc)	11,5	15,2	4,4	11,5
Aluminium	14,2	0,2	0,3	0,0
Feuille d'acier	20,5	7,3	76,3	45,0
Zinc	2,2	0,0	0,0	0,0
Autre	2,2	0,0	0,0	0,0

1. Unité centrale et moniteur de taille moyenne (RIS, 2003b)

2. Téléviseur couleur Bang & Olufsen (B&O) de 28 pouces (RIS, 2003a)

3. Capacité de 32 litres (1,1 pied cube.) (RIS, 2003a)

4. Magnétoscope de taille moyenne (Université de la Floride, 2004)

Lorsque des appareils électroniques sont recyclés, ils sont généralement démontés et/ou déchiquetés et fractionnés selon les types de matière première des composants par un procédé de séparation. Ces matériaux récupérés entrent alors dans leur flux de traitement respectif des matériaux recyclés. Par exemple, l'acier récupéré d'un téléviseur est traité avec d'autres types d'acier secondaire pour passer à la production de nouveaux produits d'acier. On considère donc que les appareils électroniques sont recyclés en circuit ouvert – c'est-à-dire les appareils électroniques sont recyclés en différents produits de deuxième génération plutôt que retournés en appareil électronique initial. L'analyse du cycle de vie des émissions de GES associées au recyclage des appareils électroniques doit donc tenir compte des divers produits de deuxième génération, d'ordinaire les types de matériaux de base dont ils sont construits. Dans cette analyse, les produits de deuxième génération incluent l'acier, le plomb d'œuvre, le verre, le cuivre, les feuilles d'aluminium et l'asphalte. Dans certains cas, les matières plastiques sont incinérées en même temps que le procédé de fusion du cuivre. Toutefois, en l'absence de renseignements sur ce procédé, la récupération du plastique est évaluée en prenant pour hypothèse qu'il sert à la production de l'asphalte (FAL, 2002).

Le Tableau 7-2 donne les émissions nettes de GES de chaque option de gestion des matières résiduelles pour les quatre types d'appareils électroniques. Comme l'indique le tableau, le recyclage a le potentiel de donner des émissions négatives pour les quatre types. L'incinération

donne des émissions positives pour les trois types qui ont un important contenu de plastiques, mais des émissions négatives pour les fours à micro-ondes qui sont surtout composés de matières ferreuses (que nous supposons être séparées de manière magnétique dans le flux des cendres et recyclées).

Tableau 7-2. Émissions de GES des options de gestion des RUS pour les appareils électroniques (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement
Ordinateurs personnels	(1,60)	0,01	0,41	0,01
Téléviseurs	(0,23)	0,01	0,75	0,01
Fours à micro-ondes	(1,27)	0,01	(0,55)	0,01
Magnétoscopes	(0,95)	0,01	0,15	0,01

7.1.1 RECYCLAGE

Le recyclage des appareils électroniques procure des économies d'émissions par la récupération de matières premières, ce qui réduit les besoins de la production primaire de ces matières (p. ex., l'acier et le plastique). Les avantages pour les émissions de GES du recyclage des appareils électroniques sont présentés dans le Tableau 7-3.

Tableau 7-3 Émissions du recyclage des ordinateurs personnels, des téléviseurs, des fours à micro-ondes et des magnétoscopes (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Appareils électroniques	Énergie de procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Coefficient d'émission nette (=a + b + c)
Ordinateurs personnels	(0,99)	(0,00)	(0,61)	(1,60)
Téléviseurs	(0,34)	0,24	(0,12)	(0,23)
Fours à micro-ondes	(1,23)	0,01	(0,05)	(1,27)
Magnétoscopes	(0,93)	(0,01)	(0,02)	(0,95)

7.1.1.1 Recyclage en circuit ouvert

Lorsque les appareils électroniques sont recyclés, les éléments à base de matières premières (p. ex., l'acier et l'aluminium) sont récupérés et répartis selon leur voie de récupération respective. Les données associées au recyclage des appareils électroniques se fondent en grande

partie sur le rapport intitulé *Energy and Greenhouse Gas Factors for Personal Computers* de Franklin Associates (FAL, 2002). Ce rapport, préparé pour l'EPA des É.-U. à l'appui d'un effort de l'organisme pour développer des coefficients d'émission pour les matériaux des flux de matières résiduelles des É.-U., fournit des renseignements détaillés sur l'énergie du cycle de vie liés à la fabrication des éléments à base de matières premières des ordinateurs personnels, avec les données sur l'acquisition des matières premières et la fabrication, en présentation globale. Dans le cas des appareils électroniques, étant donné qu'ils comportent plusieurs types de matières premières, on peut les recycler en asphalte, en feuille d'acier, en plomb d'œuvre, en verre de TRC, en fil de cuivre et en feuille d'aluminium. Le chapitre 3 du présent rapport présente des détails sur les procédés de recyclage primaire et secondaire pour les feuilles d'acier et d'aluminium ainsi que pour le fil de cuivre.

Nous avons calculé les économies d'énergie en faisant la différence entre les besoins énergétiques associés à la fabrication de une tonne de chacun des produits secondaires à partir de matériaux vierges et ceux qui sont fabriqués à partir de matériaux recyclés. Nous avons ensuite pondéré les résultats de chaque produit secondaire par la répartition indiquée au Tableau 7-4 pour obtenir un coefficient d'émission composé pour le recyclage de une tonne de chaque appareil électronique. L'énergie nécessaire pour déchiqueter et traiter le flux de matières premières obtenues à partir du recyclage des ordinateurs a également été incluse. Nous avons estimé à 680 MJ/tonne, entièrement en électricité, l'énergie du déchiquetage et du traitement du recyclage des appareils électroniques. (Anonyme, 2005).

Tableau 7-4 Matériaux de récupération produits par les appareils électroniques recyclés

Type de produit	Ordinateurs personnels (%)	Téléviseurs (%)	Fours à micro-ondes (%)	Magnétoscopes (%)
Asphalte (à partir du plastique)	38	8	9	23
Feuille d'acier	27	11	76	45
Plomb d'œuvre	10	0	0	0
Verre du TRC	2	69	6	0
Fil de cuivre	5	4	9	11
Feuille d'aluminium	18	0	0	0

Sources : FAL (2002), RIS (2003a), RIS (2003b)

Nous avons calculé les économies d'énergie du transport associé au recyclage des appareils électroniques en établissant la différence entre les besoins énergétiques associés au transport de une tonne de chacun des produits secondaires en matériaux primaires et ceux des produits en matériaux recyclés. Nous avons pondéré les résultats de chaque produit secondaire par la répartition indiquée au Tableau 7-4.

7.1.2 INCINÉRATION

Nous avons estimé les effets associés à l'incinération des appareils électroniques en créant des profils composés de l'énergie et des émissions de GES associées à l'incinération de chaque

matière première qui compose chaque appareil électronique. Les matériaux clés de ce composé sont l'acier (récupéré habituellement de manière magnétique au cours du procédé d'incinération) et des plastiques (des émissions de CO₂ et des compensations d'électricité dans la conversion des matières résiduelles en énergie). Nous avons pondéré les résultats de chaque produit secondaire par la répartition indiquée au Tableau 7-4. L'énergie et les coefficients d'émission de GES de l'incinération sont présentés dans le Tableau 7-5.

Tableau 7-5 Émissions de l'incinération des ordinateurs personnels, des téléviseurs, des fours à micro-ondes et des magnétoscopes (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Appareils électroniques	Émissions de l'incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l'acier	Émissions nettes de l'incinération (=a + b + c + d)
Ordinateurs personnels	0,65	0,01	(0,04)	(0,21)	0,41
Téléviseurs	0,86	0,01	(0,05)	(0,08)	0,75
Fours à micro-ondes	0,25	0,01	(0,01)	(0,79)	(0,55)
Magnétoscopes	0,65	0,01	(0,04)	(0,47)	0,15

7.1.3 LIMITES

La complexité de la fabrication des appareils électroniques et du système d'élimination ou de recyclage faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport pose plusieurs défis en matière de variabilité localisée et de questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions américaines qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Ceci est particulièrement vrai pour les appareils électroniques qui sont composés de matériaux multiples (p. ex., l'acier, l'aluminium et le plastique) et qui sont recyclés dans un scénario de circuit ouvert. Par exemple, les données sur l'énergie de l'acquisition des matières premières et de la fabrication pour les matériaux des composants se fondent sur des renseignements canadiens et américains (selon les matériaux). Il y a probablement des variations entre des installations particulières de production en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation d'énergie et au type de combustible. La variabilité propre à une installation occasionne également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'incinération). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans le présent document donnent une estimation raisonnable de premier ordre des émissions de GES du cycle de vie associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération des appareils électroniques, et ce, dans une perspective nationale moyenne.

7.2 Électroménagers

Cette section porte sur la méthodologie utilisée pour estimer le profil du cycle de vie des électroménagers qui incluent, dans cette analyse, les appareils suivants : réfrigérateurs (haut/bas et juxtaposé), congélateurs, lave-vaisselle, cuisinières et lave-linge. Puisque l'on peut considérer chaque type d'électroménagers comme un composé des types de matières premières, on peut estimer les effets du cycle de vie en utilisant une moyenne pondérée des effets du cycle de vie de chaque matière particulière des éléments. Dans les électroménagers, les principaux types de matériaux sont les métaux ferreux et non ferreux, le plastique et le verre, avec de petites quantités de caoutchouc, de papier et d'autres matériaux. Comme la composition des matériaux de ces appareils est relativement semblable, nous avons effectué une moyenne pondérée de la composition des matériaux de chaque type d'appareil et créé un type de matériau des « électroménagers ». Cette moyenne pondérée se base sur les matières résiduelles annuelles produites pour ces appareils, obtenus de l'Association canadienne des fabricants de gros appareils ménagers (CAMA, 2000). La composition des électroménagers moyens entrant dans le flux canadien des matières résiduelles est donnée dans le Tableau 7-6.

Tableau 7-6 Composition des matières premières des électroménagers canadiens

Type de matériau	Pourcentage de la composition
Verre	4,9
Plastique	17,5
Métal ferreux	66,7
Métal non ferreux	8,4
Caoutchouc	0,7
Papier	0,1
Autre	1,6

Lorsqu'un électroménager est recyclé, il est généralement démonté et/ou déchiqueté et fractionné selon les types de matière première des composants, par un procédé de séparation. Ces matériaux récupérés entrent alors dans leur flux de traitement respectif des matériaux recyclés. Par exemple, l'acier récupéré d'un réfrigérateur est traité avec d'autres types d'acier secondaire pour passer à la production de nouveaux produits d'acier.

Cette analyse ne traite pas de la récupération des fluides frigorigènes rattachés à ces appareils. Même si ces composés peuvent avoir d'importants GES, les contraintes réglementaires et les meilleures pratiques limitent leur rejet dans l'atmosphère. Les coefficients d'émission nette de GES des diverses options de gestion des matières résiduelles et des électroménagers paraissent dans le Tableau 7-7 et il sera plus loin question de leur calcul.

Tableau 7-7. Émissions de GES des options de gestion des RUS des électroménagers (tonnes eCO₂/tonne)

	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement
Électroménagers	(1,46)	S/O	(0,26)	0,01

7.2.1 RECYCLAGE

Le recyclage des électroménagers est bénéfique en ce qui a trait aux émissions par la récupération de matières premières qui réduisent les besoins de la production vierge de ces matériaux. Les avantages en ce qui concerne les émissions de GES du recyclage d'un électroménager « moyen » sont présentés dans le tableau 7-8.

Tableau 7-8 Émissions du recyclage des électroménagers (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)
Option de gestion	Énergie du procédé	Énergie du transport	Émissions non liées à l'énergie du procédé	Coefficient d'émission nette (=a + b + c)
Recyclage	(1,34)	0,03	(0,15)	(1,46)

7.2.1.1 Recyclage en circuit ouvert

Les électroménagers sont normalement recyclés selon un scénario de circuit ouvert, c'est-à-dire que la matière première d'un électroménager recyclé ne devient pas nécessairement un nouvel électroménager. De ce fait, l'énergie et les avantages concernant les GES associés au recyclage d'un électroménager constituent une moyenne pondérée de l'énergie et des avantages concernant les GES du recyclage de chaque élément à base de matière première des électroménagers – métaux ferreux et non ferreux et plastique. Nous avons multiplié l'énergie du procédé pour les types de matériaux des éléments par le pourcentage de la composition affiché dans le Tableau 7-6 afin de créer une valeur composée représentant un électroménager générique. Pour le plastique se trouvant dans ces produits, nous avons calculé le coefficient d'émission moyenne de tous les types de plastique et nous l'avons multiplié par le pourcentage de la composition. Pour les métaux non ferreux d'électroménagers, nous avons calculé le coefficient d'émission moyenne pour le fil de cuivre et l'aluminium et on l'a multiplié par le pourcentage de la composition. Le chapitre 3 de ce rapport fournit des détails sur les procédés de recyclage primaire et secondaire pour l'acier, l'aluminium et le cuivre.

L'énergie du transport associé au recyclage des électroménagers se base sur un composé de l'énergie du transport associé au recyclage des divers éléments à base de matières premières.

Nous avons également inclus une estimation de l'énergie du déchetage et du traitement de 680 MJ/tonne en utilisant l'estimation de l'énergie du déchetage et du traitement des appareils électroniques comme substitut (Anonyme 2005). L'énergie et les coefficients d'émission des GES du recyclage des électroménagers sont présentés dans le tableau 7-8.

7.2.2 INCINÉRATION

Nous avons estimé les émissions de GES associées à l'incinération des électroménagers en nous servant de la même méthode que celle qui a été utilisée pour l'estimation des émissions du recyclage des appareils électroniques. Les matériaux clés de ce composé sont l'acier (récupéré habituellement de manière magnétique au cours du procédé d'incinération) et des plastiques (des émissions de CO₂ et des compensations d'électricité dans la conversion des matières résiduelles en énergie). Nous avons pondéré les résultats de chaque produit secondaire par la répartition indiquée au Tableau 7-6. L'énergie de l'incinération et les coefficients d'émission des GES des appareils électroniques sont présentés au Tableau 7-9.

Tableau 7-9 Émissions de l'incinération des électroménagers (tonnes eCO₂/tonne)

	a)	b)	c)	d)	e)
Option de gestion des matières résiduelles	Émissions de l'incinération	Énergie du transport	Émissions économisées par les services publics	Émissions économisées par suite de la récupération de l'acier	Émissions nettes de l'incinération (=a + b - c - d)
Incinération	0,50	0,01	(0,03)	(0,74)	(0,26)

7.2.3 LIMITES

La complexité de la fabrication des électroménagers et du système de fin de vie faisant l'objet d'une simulation dans ce rapport pose plusieurs défis en matière de variabilité localisée et de questions transfrontalières. Les coefficients d'émission présentés dans cette section représentent des conditions américaines qui peuvent ne pas caractériser avec précision les conditions nationales ou propres à une installation. Ceci est particulièrement vrai pour les électroménagers qui sont composés de matériaux multiples (p. ex., l'acier, l'aluminium et le plastique) et qui sont recyclés dans un scénario de circuit ouvert. Par exemple, les données sur l'énergie de l'acquisition des matières premières et de la fabrication pour les matériaux des éléments se fondent sur des données canadiennes et américaines (selon les matériaux). Il y a probablement des variations entre des installations particulières de production en ce qui a trait à l'efficacité de la consommation d'énergie et au type de combustibles. De plus, parce qu'un « électroménager » moyen cumulatif est modélisé dans cette analyse, il y a probablement des variations dans la composition des matières premières, en comparaison avec un type particulier d'électroménager (p. ex., un réfrigérateur). La variabilité propre à une installation occasionne également une préoccupation avec chaque option de gestion de la fin du cycle de vie (p. ex., les distances du transport vers les sites d'enfouissement). En outre, ces valeurs ne traitent pas les flux internationaux transfrontaliers. Même si ces limites suscitent une incertitude, les coefficients d'émission décrits dans le présent document donnent une estimation raisonnable de premier

ordre des émissions de GES du cycle de vie associées aux activités de recyclage, d'enfouissement et d'incinération des appareils électroniques, et ce, dans une perspective nationale moyenne.

8 Aperçu sur les coefficients d'émission

Les coefficients d'émission élaborés dans l'analyse du tableur et étudiés dans les aperçus antérieurs sur les types de matériaux sont calculés en utilisant la formule ci-après.

Émissions nettes de GES = émissions brutes de GES - (augmentation des stocks de carbone + économies d'émissions par les services publics)

Les résultats des calculs en tonnes d'eCO₂ par tonne de matières résiduelles pour chaque stratégie de gestion des matières résiduelles et type de matériau paraissent aux tableaux 8-1 et 8-2. Les tableaux sont distincts en raison des différences dans une hypothèse clé, à savoir : si les effets des puits de carbone sont inclus (tableau 8-1) ou exclus (tableau 8-2) dans le calcul du coefficient d'émission. Comme nous l'avons indiqué précédemment, cette inclusion ou exclusion a d'importants effets sur les émissions nettes pour les produits forestiers et les matières organiques. Il est important de remarquer que les tableaux utilisent la convention de comptabilisation voulant que les valeurs négatives traduisent des réductions des émissions et les valeurs positives des augmentations.

Pour appliquer les coefficients d'émissions présentés dans ce rapport, il faut d'abord établir deux scénarios : 1) un scénario de base qui représente les pratiques de gestion en cours (p. ex., l'élimination de une tonne de papier journal par année dans une décharge, avec les caractéristiques moyennes nationales pour ce qui est de la récupération des biogaz provenant des sites d'enfouissement); 2) un scénario possible qui représente une autre pratique de gestion (p. ex., le recyclage de la même tonne de papier journal). Les coefficients d'émission élaborés dans ce rapport peuvent servir à calculer les émissions selon les pratiques de gestion de base ou possibles. Une fois les émissions des deux scénarios déterminées, l'étape suivante consiste à calculer la différence entre le scénario possible et le scénario de base. Le résultat représente les réductions ou les augmentations d'émissions de GES attribuables à la pratique possible de gestion des matières résiduelles.

À titre d'exemple, considérons qu'une ville essaie de décider d'incinérer ou de recycler une tonne de PEHD. Un simple calcul utilisant les coefficients d'émission de l'un ou l'autre tableau (puisque les puits de carbone n'ont aucune incidence sur les coefficients d'émissions pour le PEHD) montre que l'incinération du PEHD produirait un rejet net de 2,85 tonnes d'eCO₂, alors que le recyclage produirait des émissions négatives nettes de 2,27 tonnes d'eCO₂. Il en résulte que l'effet global du passage au scénario de rechange du recyclage, en comparaison à un scénario de base de l'incinération, serait de $-2,27 - 2,85 = -5,12$ tonnes d'eCO₂, c'est-à-dire une réduction des émissions de 5,12 tonnes d'eCO₂.

Tableau 8-1. Émissions de GES des options de gestion des déchets, avec des puits de carbone (tonnes eCO₂/tonne) *

Matériau	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes du compostage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale	ENSE sans récupération des GE	ENSE avec récupération des biogaz et brûlage	ENSE avec récupération des biogaz et de l'énergie
Papier journal	(2,75)	S/O	(0,49)	(0,05)	(1,22)	(1,13)	(1,36)	(1,36)
Papier fin	(3,20)	S/O	(0,34)	(0,04)	1,18	1,71	0,31	0,28
Carton	(3,26)	S/O	(0,32)	(0,04)	0,29	0,75	(0,48)	(0,51)
Autres papiers	(3,27)	S/O	(0,23)	(0,04)	0,71	1,19	(0,07)	(0,10)
Aluminium	(6,49)	S/O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Acier	(1,18)	S/O	0,01	(1,03)	0,01	0,01	0,01	0,01
Fil de cuivre	(4,10)	S/O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Verre	(0,10)	S/O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PEHD	(2,27)	S/O	0,01	2,89	0,01	0,01	0,01	0,01
PET	(3,63)	S/O	0,01	2,17	0,01	0,01	0,01	0,01
Autres plastiques	(1,80)	S/O	0,01	2,67	0,01	0,01	0,01	0,01
Résidus alimentaires	S/O	(0,24)	(0,10)	0,02	0,80	1,14	0,23	0,21
Résidus de jardinage	S/O	(0,24)	(0,15)	0,01	(0,33)	(0,17)	(0,60)	(0,61)
Électro-ménagers	(1,46)	S/O	0,01	(0,26)	0,01	0,01	0,01	0,01
Ordinateurs personnels	(1,60)	S/O	0,01	0,41	0,01	0,01	0,01	0,01
Téléviseurs	(0,23)	S/O	0,01	0,75	0,01	0,01	0,01	0,01
Fours à micro-ondes	(1,27)	S/O	0,01	(0,55)	0,01	0,01	0,01	0,01
Magnétoscopes	(0,95)	S/O	0,01	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01
Pneus	(3,29)	S/O	0,01	(0,49)	0,01	0,01	0,01	0,01

Tableau 8-2. Émissions de GES des options de gestion des matières résiduelles, en excluant les puits de carbone (tonnes eCO₂/tonne)

Matériau	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes du compostage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale	ENSE sans récupération des biogaz	ENSE avec récupération des biogaz et brûlage	ENSE avec récupération des biogaz et de l'énergie
Papier journal	(0,30)	S/O	(0,38)	(0,05)	0,23	0,32	0,09	0,08
Papier fin	(0,36)	S/O	(0,22)	(0,04)	1,35	1,88	0,48	0,45
Carton	(0,21)	S/O	(0,20)	(0,04)	1,19	1,66	0,43	0,40
Autres papiers	(0,25)	S/O	(0,12)	(0,04)	1,22	1,70	0,44	0,40
Aluminium	(6,49)	S/O	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Acier	(1,18)	S/O	0,13	(1,03)	0,01	0,01	0,01	0,01
Fil de cuivre	(4,10)	S/O	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Verre	(0,10)	S/O	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PEHD	(2,27)	S/O	0,13	2,89	0,01	0,01	0,01	0,01
PET	(3,63)	S/O	0,13	2,17	0,01	0,01	0,01	0,01
Autres plastiques	(1,80)	S/O	0,13	2,67	0,01	0,01	0,01	0,01
Résidus alimentaires	S/O	0,02	0,02	0,02	0,89	1,23	0,32	0,30
Résidus de jardinage	S/O	0,02	(0,04)	0,01	0,43	0,59	0,16	0,15
Électroménagers	(1,46)	S/O	0,13	(0,26)	0,01	0,01	0,01	0,01
Ordinateurs personnels	(1,60)	S/O	0,13	0,41	0,01	0,01	0,01	0,01
Téléviseurs	(0,23)	S/O	0,13	0,75	0,01	0,01	0,01	0,01
Fours à micro-ondes	(1,27)	S/O	0,13	(0,55)	0,01	0,01	0,01	0,01
Magnétoscopes	(0,95)	S/O	0,13	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01
Pneus	(3,29)	S/O	0,13	(0,49)	0,01	0,01	0,01	0,01

Les tableaux 8-3 et 8-4 (qui incluent et excluent respectivement les puits de carbone) offrent une autre perspective sur les coefficients d'émission. Ces deux tableaux permettent à l'utilisateur de comparer l'enfouissement (la méthode de gestion des matières résiduelles la plus courante) avec d'autres méthodes. Dans ces tableaux, les coefficients d'émission de l'enfouissement se basent sur les conditions moyennes nationales pour ce qui est de la récupération des biogaz et de l'énergie. On suppose donc que 63 p. 100 des matières résiduelles sont enfouies dans des sites d'enfouissement sans récupération des gaz, que 15 p. 100 sont envoyées dans des sites d'enfouissement qui récupèrent et brûlent les gaz à la torche et que 23 p. 100 sont destinées à des sites d'enfouissement qui utilisent le gaz pour récupérer l'énergie. Comme dans le cas des effets des puits de carbone, les hypothèses concernant le gaz des sites d'enfouissement ne touchent que les coefficients d'émission des produits forestiers et des matières organiques. Un examen des tableaux 8-1 à 8-4 révèle plusieurs points.

- En général, le recyclage réduit les émissions de GES des sites d'enfouissement. Dans certains cas, les réductions d'émissions par tonne sont très importantes.
- L'effet de l'inclusion ou de l'exclusion des puits de carbone a une incidence importante sur les résultats concernant le papier, les résidus alimentaires et les résidus de jardinage. Ainsi, entre l'incinération et l'enfouissement du papier journal et des résidus de jardinage, il fait passer le signe de positif (l'incinération accroît les émissions lorsque les puits de carbone sont inclus) à négatif (l'incinération réduit les émissions lorsque les puits de carbone sont exclus). Ceci est particulièrement évident pour le papier journal qui comporte un important facteur de stockage du carbone en décharge.
- Par tonne, les métaux (aluminium, fil de cuivre, acier), le papier, le plastique et plusieurs articles composés (OP, fours à micro-ondes, électroménagers) et les pneus ont la plus grande ampleur d'émissions négatives nettes par le recyclage, principalement du fait des réductions dans l'emploi d'énergie pour l'acquisition des matières premières et l'étape de la fabrication ainsi que des puits de carbone forestier (pour le papier).
- Pour les métaux et les bouteilles de verre, il n'y a presque pas de différence dans les émissions de GES entre les méthodes de gestion des matières résiduelles « en aval », c'est-à-dire l'enfouissement, l'incinération, la digestion anaérobie et le compostage – à l'exception de l'incinération de l'acier³⁰. Pour les autres matériaux – papier, plastiques, matières organiques, appareils électroniques et pneus – le choix de la méthode de gestion peut avoir des conséquences importantes.
- Les coefficients d'émission de l'enfouissement du papier et des matières organiques sont très sensibles au fait que la décharge a un système de récupération des gaz (et dans une moindre mesure, si la saisie des gaz s'accompagne d'un brûlage à la torche ou de la récupération de l'énergie).

30. L'acier est une exception parce que les GES sont réduits quand l'acier est récupéré des installations d'incinération.

Tableau 8-3. Émissions des GES des options comparées de gestion des RUS pour l'enfouissement * (émissions nettes de l'option moins les émissions nettes de l'enfouissement), avec inclusion des puits de carbone (tonnes eCO₂/tonne)

Matériau	Recyclage	Compostage	Digestion anaérobie	Incineration
Papier journal	(1,53)	S/O	0,72	1,16
Papier fin	(4,38)	S/O	(1,52)	(1,22)
Carton	(3,54)	S/O	(0,60)	(0,33)
Autres papiers	(3,98)	S/O	(0,95)	(0,75)
Aluminium	(6,51)	S/O	(0,00)	(0,00)
Acier	(1,20)	S/O	(0,00)	(1,04)
Fil de cuivre	(4,11)	S/O	(0,00)	(0,00)
Verre	(0,12)	S/O	(0,00)	(0,00)
PEHD	(2,29)	S/O	(0,00)	2,87
PET	(3,64)	S/O	(0,00)	2,15
Autres plastiques	(1,82)	S/O	(0,00)	2,65
Résidus alimentaires	S/O	(1,04)	(0,90)	(0,78)
Résidus de jardinage	S/O	0,09	0,18	0,34
Électroménagers	(1,48)	S/O	(0,00)	(0,27)
Ordinateurs personnels	(1,61)	S/O	(0,00)	0,40
Téléviseurs	(0,24)	S/O	(0,00)	0,73
Fours à micro-ondes	(1,28)	S/O	(0,00)	(0,56)
Magnétoscopes	(0,97)	S/O	(0,00)	0,14
Pneus	(3,31)	0,00	(0,00)	(0,0)

* Les valeurs indiquées pour les sites d'enfouissement se basent sur des estimations des taux de la moyenne nationale de récupération et d'utilisation des biogaz.

Tableau 8-4. Émissions des GES des options comparées de gestion des RUS pour l'enfouissement * (émissions nettes de l'option moins les émissions nettes de l'enfouissement), avec exclusion des puits de carbone (tonnes eCO₂/tonne)

Matériau	Recyclage	Compostage	Digestion anaérobie	Incineration
Papier journal	(0,53)	S/O	(0,34)	(0,28)
Papier fin	(1,71)	S/O	(1,69)	(1,39)
Carton	(1,41)	S/O	(1,42)	(1,23)
Autres papiers	(1,47)	S/O	(1,44)	(1,26)
Aluminium	(6,51)	S/O	(0,00)	(0,00)
Acier	(1,20)	S/O	(0,00)	(1,04)
Fil de cuivre	(4,11)	S/O	(0,00)	(0,00)
Verre	(0,12)	S/O	(0,00)	(0,00)
PEHD	(2,29)	S/O	(0,00)	2,87
PET	(3,64)	S/O	(0,00)	2,15
Autres plastiques	(1,82)	S/O	(0,00)	2,65
Résidus alimentaires	S/O	(0,86)	(0,98)	(0,87)
Résidus de jardinage	S/O	(0,41)	(0,42)	(0,42)
Électro-ménagers	(1,48)	S/O	(0,00)	(0,27)
Ordinateurs personnels	(1,61)	S/O	(0,00)	0,40
Téléviseurs	(0,24)	S/O	(0,00)	0,73
Fours à micro-ondes	(1,28)	S/O	(0,00)	(0,56)
Magnétoscopes	(0,97)	S/O	(0,00)	0,14
Pneus	(3,31)	S/O	(0,00)	(0,50)

* Les valeurs indiquées pour les sites d'enfouissement se basent sur des estimations des taux de la moyenne nationale de récupération et d'utilisation des biogaz.

À l'utilisation des différentes stratégies de gestion des matières résiduelles dont il a été question dans le présent rapport sont rattachés à différents niveaux de consommation d'énergie. Le tableau 8-5 résume la quantité d'énergie consommée par chaque stratégie de gestion des matières résiduelles pour gérer la gestion de une tonne de chaque type de matériau. À noter que ce tableau ne fait pas de distinction entre différents types d'énergie (c.-à-d. un GJ d'énergie tirée des combustibles fossiles compte précisément autant que un GJ d'énergie renouvelable dans ce tableau). L'arithmétique d'application des facteurs d'énergie est la même que pour les coefficients d'émission des GES. Par exemple, si une municipalité souhaitait établir les conséquences énergétiques du recyclage au lieu de l'enfouissement de une tonne d'acier, le calcul commencerait avec la consommation d'énergie de base (décharge) de 0,15 GJ; le recyclage procure un crédit énergétique (c.-à-d. une utilisation négative nette) de -12,47 GJ; l'effet global du passage au scénario possible du recyclage en comparaison des conséquences de l'incinération serait donc de $-12,47 \text{ GJ} - 0,15 \text{ GJ} = -12,61 \text{ GJ}$, c'est-à-dire une réduction de la consommation d'énergie de 12,61 GJ.

En examinant ces facteurs d'énergie, il peut de nouveau être utile de comparer l'enfouissement (comme méthode de gestion des matières résiduelles la plus courante) avec d'autres méthodes. Le tableau 8-6 donne cette comparaison en montrant le delta entre la consommation d'énergie pour toutes les autres méthodes de gestion des matières résiduelles en ce qui concerne les coefficients de la consommation d'énergie pour les conditions des sites d'enfouissement moyennes nationales³¹. Comme pour l'effet des puits de carbone, les hypothèses sur les biogaz n'affectent que les produits forestiers et les matières organiques.

L'examen des tableaux 8-5 et 8-6 soulève plusieurs points traités ci-après.

- Le recyclage des métaux et des plastiques est associé avec des économies de la consommation d'énergie relativement importantes.
- Les effets de la récupération des biogaz et de la production d'énergie sont manifestes en comparant l'enfouissement des produits forestiers et des matières organiques. Le papier fin, en particulier, a un différentiel de près de 1 GJ/tonne, en comparant les sites d'enfouissement avec et sans récupération des biogaz et de production d'électricité.
- L'incinération de l'acier offre des avantages énergétiques du fait de la récupération des métaux ferreux à l'installation d'incinération et le recyclage ultérieur des matériaux.

En conclusion, il est important de répéter que les utilisateurs des coefficients d'émission et de facteur d'énergie devraient faire attention aux mises en garde et aux limites qui sont apparues tout au long de ce rapport. Même si l'analyse se fonde sur les meilleures données disponibles recueillies dans les contraintes de temps et de ressources, et sur des hypothèses jugées

31. Noter que la récupération de l'énergie des biogaz a un léger effet sur l'énergie nette d'une décharge, de sorte que la valeur d'énergie nette est fonction de la proportion des matières résiduelles enfouies éliminées dans les décharges avec récupération de l'énergie (23 p. 100) en regard de l'absence de récupération de l'énergie (77 p. 100).

raisonnables, l'exactitude de l'analyse est limitée par l'emploi de ces hypothèses et des limites des sources de données. Lorsque c'est possible, on peut améliorer les coefficients d'émission mentionnés ici en substituant des données propres à un procédé ou à une installation pour accroître la précision des estimations. Malgré l'incertitude dans les coefficients d'émission, ceux-ci donnent une première approximation raisonnable des effets des GES de la gestion des matières résiduelles solides et une base sûre pour évaluer les mesures volontaires prises pour réduire les émissions de GES dans le domaine de la gestion des matières résiduelles.

Tableau 8-5. Effets sur l'énergie des options de gestion des RUS (GJ/tonne)

	Utilisation nette d'énergie du recyclage	Utilisation nette d'énergie de la digestion anaérobie	Utilisation nette d'énergie de l'incinération	Utilisation nette d'énergie des sites d'enfouissement (ENSE) –Moyenne nationale	ENSE sans récupération des biogaz	ENSE avec récupération des biogaz et brûlage	ENSE avec récupération des biogaz et de l'énergie
Papier journal	(6,33)	(0,78)	(2,62)	0,11	0,15	0,15	(0,00)
Papier fin	(15,87)	(2,49)	(2,23)	(0,06)	0,15	0,15	(0,78)
Carton	(8,56)	(1,71)	(2,31)	(0,04)	0,15	0,15	(0,67)
Autres papiers	(9,49)	(1,66)	(2,25)	(0,04)	0,15	0,15	(0,68)
Aluminium	(87,22)	0,11	0,22	0,15	0,15	0,15	0,15
Acier	(12,47)	0,11	(10,82)	0,15	0,15	0,15	0,15
Fil de cuivre	(71,56)	0,11	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15
Verre	(1,54)	0,11	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15
PEHD	(64,27)	0,11	(6,30)	0,15	0,15	0,15	0,15
PET	(85,16)	0,11	(3,22)	0,15	0,15	0,15	0,15
Autres plastiques	(52,09)	0,11	(4,76)	0,15	0,15	0,15	0,15
Résidus alimentaires	S/O	(1,69)	(0,71)	0,01	0,15	0,15	(0,45)
Résidus de jardinage	S/O	(0,70)	(0,86)	0,08	0,15	0,15	(0,14)
Électro-ménagers	(23,70)	0,11	(8,52)	0,15	0,15	0,15	0,15
Ordinateurs personnels	(20,11)	0,11	(3,21)	0,15	0,15	0,15	0,15
Téléviseurs	(1,22)	0,11	(2,12)	0,15	0,15	0,15	0,15
Fours à micro-ondes	(13,73)	0,11	(8,64)	0,15	0,15	0,15	0,15
Magnétoscopes	(10,62)	0,11	(5,92)	0,15	0,15	0,15	0,15
Pneus	0,00	0,11	(0,39)	0,15	0,15	0,15	0,15

Tableau 8-6. Effets sur l'énergie des options de gestion des RUS pour l'enfouissement * (émissions nettes de l'option moins les émissions nettes de l'enfouissement) (GJ/tonne)

	Recyclage	Digestion anaérobie	Incinération
Papier journal	(6,45)	(0,90)	(2,74)
Papier fin	(15,81)	(2,43)	(2,17)
Carton	(8,52)	(1,68)	(2,27)
Autres papiers	(9,45)	(1,62)	(2,20)
Aluminium	(87,36)	(0,04)	0,07
Acier	(12,61)	(0,04)	(10,97)
Fil de cuivre	(71,71)	(0,04)	0,05
Verre	(1,68)	(0,04)	0,04
PEHD	(64,42)	(0,04)	(6,45)
PET	(85,31)	(0,04)	(3,37)
Autres plastiques	(52,24)	(0,04)	(4,91)
Résidus alimentaires	S/O	(1,70)	(0,72)
Résidus de jardinage	S/O	(0,78)	(0,94)
Électroménagers	(23,85)	(0,04)	(8,67)
Ordinateurs personnels	(20,26)	S/O	(3,36)
Téléviseurs	(1,37)	S/O	(2,27)
Fours à micro-ondes	(13,88)	S/O	(8,79)
Magnétoscopes	(10,77)	S/O	(6,07)
Pneus	(0,15)	S/O	(0,54)

* Les valeurs indiquées pour les sites d'enfouissement se basent sur des estimations des taux de la moyenne nationale de récupération et d'utilisation des biogaz.

9 Références

ANONYME. Communication confidentielle entre Jeremy Scharfenberg de ICF Consulting et un représentant de l'industrie du recyclage des appareils électroniques, mars 2005.

ASSOCIATION CANADIENNE DE L'INDUSTRIE DE PLASTIQUE. Communication personnelle entre Ralph Torrie de Torrie-Smith Associates et Fred Edgecombe de l'Association canadienne de l'industrie des plastiques, mars 2001.

ATECH GROUP. *A National Approach to Waste Tyres*, préépaé pour Environment Australia, juin 2001.

ATHENA INSTITUTE. *A Life Cycle Analysis of Solid Wood and Steel Cladding*, Ottawa, septembre 1998.

BARLAZ, Morton. *Carbon Storage During Biodegradation of Municipal Solid Waste Components in Laboratory-Scale Landfills*, Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, Environmental Science and Technology, 1998.

BARLAZ. *Biodegradative Analysis of Municipal Solid Waste in Laboratory-Scale Landfills*, M.A. Barlaz., EPA 600/R-97-071, 1997.

BATTELLE, COLUMBUS. *Energy Use Patterns in Metallurgical and Nonmetallic Mineral Processing (Phase 4)*, NTIS PB-24, 27 juin 1975.

BRADY et WEIL. *The Nature and Properties of Soils*, Upper Saddle River (NJ), Prentice Hall, 1999.

CAMA (Canadian Appliance Manufacturers Association). *Generation and Diversion of White Goods from Residential Sources in Canada*, présenté au Comité sur le recyclage amélioré du Plan d'action 2000 sur le changement climatique, 2000.

CH2M Hill. *Residential Waste Composition Study*. City of Calgary, Waste & Recycling Services, 1999.

CIEEDAC (Canadian Industrial End-Use Energy Data and Analysis Center). *Fuel mix for rubber products*, NAICS 326200, 2005. Internet : www.cieedac.sfu.ca/CIEEDACweb/mod.php?mod=NAICSdatabase.

CIEEDAC. *Energy Intensity Indicators for Canadian Industry (1990 – 1999)*. Canadian Industry Energy End-use Database and Analysis Centre, 2000.

MCC. *La fabrication du verre*, Société du Musée canadien des civilisations. Internet : www.civilization.ca/hist/verre/vemak01f.html.

CZEPIEL, P. M., B. MOSHER, P. M. CRILL, et R.C. HARISS. *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, 1996, p. 16721-16729.

EC. *Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-1999 : méthodes et pratiques d'estimation des émissions et de l'absorption*, 2001. Internet :
<www.ec.gc.ca/pdb/ghg/1990_99_report/sec2_2_f.cfm#link50>.

EC. *Sommaire des émissions de gaz à effet de serre pour le Canada – 2001*, Division des gaz provoquant l'effet de serre, Environnement Canada, (août 2003) 2002. Internet :
<www.ec.gc.ca/pdb/ghg/1990_01_report/p1_f.cfm>.

EIA. *Electric Power Annual 2002*, Energy Information Association, Washington, DC, U.S. Department of Energy, décembre 2003, (2002a).

EIA. *Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2002*, Washington, D.C., Energy Information Association, U.S. Department of Energy, octobre 2003, (2002b).

ENVIROS RIS. Note de Maria Kelleher et Guy Perry à Torrie Smith Associates, 2000.

EPA. *Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*, Appendix A, U.S. Environmental Protection Agency, 2002. Internet :
<<http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/content/ActionsWasteToolsReports.html>>.

EPA. *Anthropogenic Methane Emissions in the United States: Estimates for 1990*, Washington, D.C., U.S. EPA, Office of Air and Radiation, avril 1993, p. 4-20.

FAL. *Energy and Greenhouse Gas Factors for Personal Computers*, Prairie Village, KS, Franklin Associates, 7 août 2002.

FAL. *Background Document A*, Franklin Associates, 2000.

FAL. *The Role of Recycling in Integrated Solid Waste Management to the Year 2000*, Stamford, CT, Keep America Beautiful, Franklin Associates, septembre 1994, p. I-27, I-30 et I-31.

GIEC. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques. J. T. Houghton, et coll., dir., Cambridge, Cambridge University Press, R.-U., 1996.

GIEC. *Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre – version révisée 1996*, Vol. 1, Reporting Instructions (Instructions sur la présentation des rapports); Vol. 2, Manuel simplifié; Vol. 3, Manuel de référence, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, France.

IAI. *Aluminum Applications and Society: Life Cycle Inventory of the Worldwide Aluminum Industry With Regard to Energy Consumption and Emissions of Greenhouse Gases, Paper 1 – Automotive*, International Aluminum Institute, mai 2000.

IAI. *Life Cycle Assessment of Aluminum: Inventory Data for the Worldwide Primary Aluminum Industry*, International Aluminum Institute, mars 2003.

ICF, Addenda «Determination of the Impact of Waste Management Activities on Greenhouse Gas Emissions», Analysis and Expansion of Electricity and Fuel Intensity Factors- Final Report, préparé pour Ressources naturelles Canada, Ottawa, 30 mars 2004. Préparé avec Torrie Smith Associates, (2004a).

ICF. Addenda «Determination of the Impact of Waste Management Activities on Greenhouse Gas Emissions», Expanded Life Cycle Analysis, préparé pour Ressources naturelles Canada, Ottawa, 29 mars 2004. Préparé avec Torrie Smith Associates, (2004b).

ICF. *Determination of the Impact of Waste Management Activities on Greenhouse Gas Emissions-Final Report*, ICF Consulting, 30 mars 2001.

IES. Integrated Environmental Services, *Leave and Yard Waste Characterization Study*, Région d'Ottawa-Carleton, 1999.

INSTITUT CANADIEN DE RECHERCHES SUR LES PÂTES ET PAPIER. *Research and Development Opportunities for Improvements in Energy Efficiency in the Canadian Pulp and Paper Sector to the Year 2010*, Préparé pour la Direction de la technologie de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement, CANMET, Ottawa, février 1993. (Contrat MAS n° 23440-0-9667)

KUSIK and KENAHAN. *Energy Use Patterns for Metal Recycling*, préparé par le United States Bureau of Mines, 1978.

LIPTAY, K., J. CHANTON, P. CZEPIEL, et B. MOSHER. «Use of stable isotopes to determine CH₄ oxidation in landfill cover soils», dans *Journal of Geophysical Research*, vol. 103 (D7), avril 1998, p. 8243-8250. Un taux d'oxydation de 10 p. 100 est cité.

METHERELL et coll. *CENTURY Agroecosystem Version 4.0, Great Plains Research Unit Technical Report No. 4*, USDA-ARS Climate Change Research Program, Colorado State University, 1993.

MK JACCARD AND ASSOCIATES et WILLIS ENERGY SERVICES LTD. *Industrial Energy End-Use Analysis and Conservation Potential in Six Major Industries in Canada*, préparé pour Ressources naturelles Canada, Ottawa, mars 1996.

PEHLKEN, Alexandra. Communication personnelle avec Randy Freed, de ICF Consulting. Résultats provisoires de l'enquête, le sort des pneus hors d'usage par province, février 2005.

RIS. Communication personnelle entre Randy Freed de ICF Consulting et Maria Kelleher de Enviro RIS, février 2005.

RIS. *Final Memo on Secondary Material Flow and Utilization*, Enviro RIS, mai 2000, (2004).

RIS. *Étude de base sur les produits électriques et électroniques en fin de vie au Canada*, Enviros RIS, juin 2003, (2003a).

RIS. *Les déchets de technologie de l'information et de télécommunications au Canada – mise à jour 2003*, octobre 2003, (2003b).

RNCAN. *Base de données complètes sur la consommation d'énergie*, Ressources naturelles Canada, Office de l'efficacité énergétique, 2004. Internet : http://oee.nrcan.gc.ca/Neud/dpa/trends_id_ca.cfm. Consulté le 9 mars 2004.

STATISTIQUE CANADA, *Bulletin sur la disponibilité et écoulement d'énergie au Canada*, [n° 57-003-XIB au catalogue.]

STATISTIQUE CANADA, *Disponibilité et écoulement d'énergie primaire et secondaire en unités naturelles*, CANSIM, Tableau 128-0003.

STATISTIQUE CANADA, *Enquête annuelle des manufactures*, CANSIM, Tableau 301-0003.

TEAM. *Systèmes d'appréciation des gaz à effet de serre pour TEAM (SAGES)*, Mesures d'action précoce en matière de technologie sur les changements climatiques (TEAM), Gouvernement du Canada, décembre 2002.

TIMLER. *The Steel Industry's Role in Sustainable Development*, 2002. www.peo.on.ca/events/sustain_devel/Gilmour.pdf

TORRIE SMITH ASSOCIATES. *Greenhouse Gas Emissions from Waste Management: Implications to Modeling*, septembre 2003.

TORRIE SMITH ASSOCIATES (2001). *Détermination des effets des activités de gestion des déchets sur les émissions de gaz à effet de serre*, mars 2001.

UNIVERSITY OF FLORIDA. *RCRA Toxicity Characterization of Computer CPUs and Other Discarded Electronic Devices*, Department of Environmental Engineering Science, juillet 2004.

USGS. Communication personnelle entre Daniel Edelstein du United States Geological Survey et Jeremy Scharfenberg de ICF Consulting, septembre 2004.

WAGNER, W. Communication personnelle entre Jeremy Scharfenberg de ICF Consulting et M. Wayne Wagner de Ressources naturelles Canada, 19 mars 2004.

10 Lexique

« **Autres** » **papiers** : on définit cette catégorie comme comprenant 50 p. 100 de papier journal, 60 p. 100 de papier fin, 30 p. 100 de carton, 5 p. 100 de papier couché. Cette catégorie de type de matériau peut inclure des sacs, d'autres emballages de papier, des livres, d'autres emballages de carton, du papier d'emballage, des assiettes et des tasses en papier, des boîtes pliantes, d'autres papiers ne servant pas d'emballage, des papiers minces et des essuie-tout.

Biomasse : la masse de tous les organismes biologiques, vivants ou morts. Ce terme renvoie souvent à la végétation (qui forme la plus grande partie de la biomasse dans tous les écosystèmes).

Compostage : un procédé naturel par lequel les micro-organismes transforment la matière organique des matières résiduelles en un produit semblable au sol. Les résidus de cuisine, les feuilles, les résidus de jardinage, le papier, le bois, les matières résiduelles de la transformation des produits alimentaires ainsi que les rebuts agricoles des récoltes et le fumier des animaux sont d'excellents intrants pour le compostage.

Compostage centralisé : comporte la collecte et le transport des matières organiques vers une installation spécialisée qui en assure la préparation et la transformation en compost.

Sites d'enfouissement : des sites de stockage des matières résiduelles solides non dangereuses répandus en couches, compactés sous le plus petit volume pratique et recouverts de matière étendue à la fin de chaque journée d'exploitation. Des sites d'enfouissement sécuritaires sont des sites de stockage des matières résiduelles dangereuses, sélectionnés et conçus pour réduire au minimum la possibilité que des substances dangereuses soient rejetées dans l'environnement.

Matières résiduelles : tous les matériaux non voulus par leur producteur. Ils incluent tous les matériaux de peu de valeur destinés au recyclage, au traitement ou à l'élimination, qui sont enlevés, avec ou sans rémunération nominale pour le producteur de matières résiduelles.

Matières résiduelles institutionnelles, commerciales et industrielles : ces matières résiduelles comprennent des matériaux provenant de sources comme l'industrie lourde et légère, la fabrication, l'entreposage, le transport, les activités commerciales de vente au détail et en gros, les restaurants, les bureaux, les locaux scolaires et récréatifs, les établissements de santé et d'autres services.

Installations de valorisation énergétique de matières résiduelles : ces installations incinèrent des matières résiduelles solides pour produire de la chaleur et de l'électricité.

Incinération : ce terme fait référence à l'élimination par combustion contrôlée des matières résiduelles, au cours de laquelle la chaleur modifie chimiquement les composés organiques en les convertissant en éléments stables inorganiques comme le dioxyde de carbone et l'eau.

Installation de récupération des matériaux (IRM) : une installation qui transforme les produits recyclables résidentiels mélangés ramassés en nouveaux produits disponibles commercialement.

Postconsommation : les matériaux recyclés récupérés après leur utilisation par les consommateurs (p. ex., l'aluminium d'une canette utilisée).

Produits recyclables : il s'agit de produits ou de substances que l'on peut retirer du flux des matières résiduelles solides par un système de collecte, de traitement et de commercialisation largement disponible et économiquement viable, et qui sont utilisés pour fabriquer de nouveaux produits.

Récupération : la valorisation des éléments recyclables et/ou de l'énergie du flux des matières résiduelles solides ramassées, par diverses méthodes dont, sans en écarter d'autres, un tri manuel ou mécanique, l'incinération, la distillation, la gazéification ou la conversion biologique autre que le compostage.

Recyclage : le procédé par lequel un matériau (p. ex., le verre, le métal, le plastique, le papier) est retiré du flux des matières résiduelles et reconstruit en un nouveau produit ou utilisé comme substitut de matières premières.

Taux de rétention du recyclage : c'est le taux de matériaux récupérés transformés en nouveaux produits, après les pertes du traitement à l'installation de récupération et à l'usine de fabrication.

Térajoule (TJ) : unité exprimée en kilogrammètres par seconde qui mesure le travail ou l'énergie; un joule équivaut au travail fait par une force de un newton, lorsque son point d'application se déplace sur un mètre dans la direction de la force. Les térajoules équivalent à 10^{12} joules

Annexe A. Production provinciale d'électricité

Cette annexe présente les résultats d'un travail de recherche en vue d'étendre la portée et la souplesse des coefficients d'intensité de l'électricité et des combustibles qui servent d'intrants à l'analyse des émissions de GES provenant des activités de gestion des matières résiduelles au Canada. Une fourchette de coefficients d'émission pour l'électricité – dont une moyenne nationale canadienne, une moyenne de production provinciale pondérée (ou personnalisée), une moyenne nationale américaine et ceux qui portent sur l'utilisation marginale supplémentaire d'électricité – sont au centre de la présente analyse. ICF a amélioré sa démarche analytique pour tenir compte du « basculement » déterminant l'ensemble des hypothèses à utiliser pour calculer les compensations de la fabrication et de l'énergie.

Les améliorations de l'ensemble initial de données permettent une analyse de sensibilité de l'importance des émissions liées à l'électricité pour tous les matériaux (dont l'aluminium, pour lequel le rapport initial présumait 100 p. 100 d'hydroélectricité) et facilitent les analyses éventuelles des effets transfrontaliers, en donnant de la souplesse pour comparer les résultats du Canada et des É.-U. en utilisant des coefficients compatibles. Dans tous les cas, l'effet de l'utilisation de valeurs différentes sera de varier les émissions de GES associées à l'emploi de l'électricité dans l'ensemble du cycle de vie (étendu) d'un matériau donné. Les données nouvellement étendues diffèrent de celles qui sont utilisées dans l'étude précédente de quatre façons que voici : elles traduisent des données mises à jour sur la composition des sources d'énergie (aux niveaux national et provinciaux); 2) elles donnent une valeur moyenne américaine pour une utilisation dans d'éventuelles analyses des effets transfrontaliers; 3) les valeurs pondérées de la production intègrent de nouveaux renseignements sur la production par province; 4) elles incluent les émissions de « précombustion » associées aux combustibles fossiles, c'est-à-dire les émissions associées à l'extraction et au traitement du gaz naturel, du pétrole et du charbon, avant leur combustion dans un système de production d'électricité.

Ces ajouts à l'analyse sont examinés ci-après – les coefficients d'émission et les coefficients d'énergie – et la façon dont ils sont intégrés dans le guide du tableur. Voici de quelle façon est organisée la présente annexe :

- la section 1 présente les coefficients canadiens d'émissions de l'électricité par province et selon la moyenne nationale;
- la section 2 décrit le calcul de la « personnalisation », à savoir les coefficients d'émission de l'électricité selon la moyenne pondérée de la production;
- la section 3 décrit le coefficient d'émission de l'électricité selon la moyenne américaine;
- la section 4 décrit le coefficient d'émission marginal.

Nous avons calculé les coefficients d'émission présentés dans chaque section d'après les données sur les émissions et l'utilisation de l'électricité en 2003. Exprimés en unités de grammes d'eCO₂ par kilowattheure d'électricité utilisée, ils incluent des estimations du CO₂, du CH₄, et de N₂O provenant des centrales canadiennes. Deux ensembles de coefficients sont fournis – un qui inclut seulement les émissions de GES aux centrales et, le second, un ensemble dans lequel les émissions

de la précombustion associées à la production des combustibles fossiles des centrales sont incluses.

1. Coefficients d'électricité des moyennes nationale et provinciales

Cette section décrit le calcul des coefficients d'électricité des moyennes nationale et provinciales. Le Tableau A-1 montre les coefficients, avec et sans l'effet de l'inclusion des émissions de la précombustion, pour chaque province et pour l'ensemble du pays.

Tableau A-1. Coefficients d'émission des GES relatifs à l'électricité en 2003 (g eCO₂ / kWh)

Province	Émissions des centrales en excluant la précombustion	Émissions des centrales en incluant la précombustion
T.-N.	152	187
Î.-P.-É.	488	559
N.-É.	642	670
N.-B.	468	532
QC	8	10
Ont.	309	320
Man.	76	76
Sask.	860	888
Alb.	1 009	1 038
C.-B.	24	28
Yukon	38	47
T.N.-O.	399	487
Nunavut ³²	269	281
Canada	269	281

1.1 Sources des données de base et hypothèses

La combustion des combustibles des centrales est tirée du *Bulletin sur la disponibilité et l'écoulement d'énergie au Canada*, n° 57-003-XIB au catalogue de Statistique Canada. Les facteurs de conversion de cette source ont aussi servi à faire les conversions entre les unités physiques et naturelles, en travaillant avec les données sur l'énergie et les émissions.

Nous avons obtenu les coefficients d'émission de Mesures d'action précoce en matière de technologie sur les changements climatiques (TEAM), TEAM (2002).

32. À noter que, dans le cas du Nunavut, le coefficient canadien est mentionné. Le concept d'un seul coefficient d'échelle ne s'applique pas très bien au Nunavut, où des génératrices diesel sont le principal mode de production. Les quantités totales d'électricité du Nunavut qui intègrent les données en aval des émissions incluses dans les matières résiduelles sont très petites et les émissions de la production d'électricité du Nunavut ne sont pas pertinentes pour les résultats de cette analyse.

Les « additionneurs » de la précombustion pour les combustibles fossiles, (c.-à-d. les coefficients qui représentent les émissions en amont du point de combustion) sont documentés plus loin. Les additionneurs sont de 9,9 kg d'eCO₂ par GJ de gaz naturel brûlé, de 17,8 kg d'eCO₂ par GJ de carburant à base de pétrole et de 6,4 kg d'eCO₂ par GJ de charbon brûlé.

Pour les coefficients d'émission liée à l'électricité des É.-U., dont la méthode demandait l'application d'un coefficient d'émission moyen de l'emploi final pour l'électricité des É.-U., afin de traiter les importations, nous avons utilisé une valeur de 668 grammes par kilowattheure. À noter que l'enquête ultérieure sur le coefficient moyen des É.-U. a résulté en l'élaboration d'un coefficient légèrement différent pour l'électricité américaine, telle qu'il est décrit à la section 4 de la présente annexe.

1.2 Contexte et méthode

Dans la méthode utilisée ici, les coefficients d'émission de l'emploi final sont élaborés en utilisant le *Bulletin sur la disponibilité et écoulement d'énergie au Canada*, n° 57-003-XIB au catalogue, de Statistique Canada, comme référence pour 2003 (SC, 2003), comme source de données primaires pour la consommation d'électricité et les intrants des centrales, et en utilisant les coefficients d'émission d'Environnement Canada pour les combustibles d'entrée dans les centrales. Comme la composition des sources d'énergie des centrales change, les coefficients de l'emploi final changent aussi. Idéalement, les modèles pour la comptabilisation des avantages concernant les GES de l'option de gestion des matières résiduelles contiendraient un ensemble de coefficients d'émission de l'électricité pour chaque année et les utilisations demanderaient de spécifier l'année au cours de laquelle a lieu l'emploi de l'électricité afin d'appliquer les coefficients d'émission adéquats. Pour les projets antérieurs, Torrie-Smith Associates a élaboré des facteurs d'émission liée à l'électricité pour le Canada des années 1990, mais ils ne changent pas énormément d'une année à l'autre, et pour ce qui est de la tâche actuelle consistant à estimer les effets sur les GES des économies d'électricité qui résultent de la réduction et du recyclage des matières résiduelles, il suffit d'employer un ensemble unique de coefficients pour une année récente représentative. Nous avons mis à jour les coefficients présentés ici pour 2003, l'année la plus récente pour laquelle des données sont disponibles pour les calculs.

1.3 Méthode générale utilisée pour produire les coefficients d'émission de l'emploi final de l'électricité

Essentiellement, la méthode employée comporte la comptabilisation des émissions des GES des intrants des centrales de chaque province et de diviser ces chiffres par la « demande finale » d'électricité dans cette province, avec la présentation en grammes d'eCO₂ par kilowattheure livré du coefficient d'émission qui en résulte. Les émissions se basent sur les sources d'énergie utilisées comme intrants dans les centrales par l'industrie et les services publics, selon ce qu'indique le *Bulletin sur la disponibilité et écoulement d'énergie au Canada*, n° 57-003-XIB au catalogue de Statistique Canada, comme référence pour 2003 (SC, 2003). Les émissions sont réparties selon

l'approche « Usage énergétique, écoulement final » de la même publication³³. Le calcul comprend un ajustement pour les flux internationaux et interprovinciaux d'électricité, comme on le décrit plus en détail ci-après.

Un coefficient d'émission est calculé pour chaque province, pour le Canada et pour les É.U. Le coefficient canadien est utilisé pour l'électricité s'écoulant dans une province canadienne en provenance d'une autre province canadienne, lorsqu'on ne peut facilement identifier la province d'origine ou le site de production de l'électricité. Toutefois, dans la plupart des cas, on peut déterminer la province d'origine et le coefficient provincial adéquat d'électricité est utilisé. Le coefficient moyen des É.-U. est utilisé pour les importations internationales d'électricité dans les provinces canadiennes, à l'exception des flux internationaux dans la Colombie-Britannique, dont on présume qu'elles sont des sites hydroélectriques du bassin du Columbia dans le nord-ouest du Pacifique des É.-U.

Les coefficients d'émission de l'emploi final sont un mélange de coefficients d'émission de la production intraprovinciale d'électricité, des afflux nets interprovinciaux (appelés transferts interrégionaux ou TRI) et les importations internationales provenant des É.-U. Les provinces qui importent de l'électricité des É.-U. sont d'ordinaire des exportatrices internationales nettes, mais dans certains cas, les importations sont importantes et sont donc comptées comme des contributions à l'approvisionnement en énergie de la province. Les origines des flux interprovinciaux d'électricité sont souvent claires, comme dans le cas des importations par le Québec de l'électricité des Chutes Churchill, au Labrador. Dans ces cas, le coefficient d'émission attribué à ces afflux d'électricité sont ceux de la province d'origine ou, comme dans le cas des Chutes Churchill, du site de production d'origine.

L'écoulement final d'électricité est la production totale d'énergie électrique, plus les importations nettes et les transferts interrégionaux, moins la consommation du producteur. Dans les cas où il y a des afflux interprovinciaux d'électricité ou des importations internationales, une partie répartie de la consommation du producteur est attribuée à chaque

À propos du Labrador. Le coefficient moyen de Terre-Neuve ne convient pas pour servir au Labrador avec le réseau du Labrador – pour lequel un coefficient zéro peut servir pour l'électricité en traduisant son contenu presque totalement hydroélectrique – ou l'on utilise de l'électricité produite par des génératrices diesel non connectées au réseau, dont les émissions seront beaucoup plus élevées que le coefficient moyen de Terre-Neuve. Pour les cas d'inclusion de collectivités éloignées isolées dans d'autres parties du Canada, qui ne sont pas reliées à un réseau et utilisent des génératrices diesel, on recommande de réécrire le coefficient provincial. Pour la production des génératrices diesel isolées d'un réseau, on recommande les valeurs suivantes. Elles se basent sur des génératrices diesel qui livrent de l'électricité à l'utilisateur final avec une efficacité nette du carburant pour l'emploi final de 27 p. 100.

Dioxyde de carbone : 0,940 kg par kWh

Méthane : 0,0001378 kg par kWh

Oxyde de diazote (N₂O) : 0,000896 kg par kWh

Il faut noter que ces coefficients, disponibles pour une utilisation avec des applications spéciales, ne sont pourtant pas intégrés dans la programmation par défaut actuelle du manuel du tableur.

33. La cogénération industrielle se traduira dans les émissions et l'écoulement final d'électricité pour les données sur l'électricité utilisée dans des calculs, dans la mesure où les données sont incluses dans le *Bulletin sur la disponibilité et écoulement d'énergie au Canada*, N° 57-003-XIB au catalogue, de Statistique Canada. Dans le cas des intrants d'énergie pour la cogénération industrielle, ils sont au moins partiellement inclus dans le tableau 1, ligne 11 du Bulletin N° 57-003-XIB au catalogue, de Statistique Canada. Dans le cas de l'extrait d'électricité de la cogénération, il est partiellement inclus dans l'écoulement final (ligne 18) de la colonne Électricité, mais la proportion n'est pas précisée.

source d'électricité. Ceci est fait pour tenir compte des pertes en ligne de toutes les sources d'électricité et pas seulement de la production intraprovinciale d'électricité.

Toutes les données sur la production primaire et secondaire d'électricité, les importations internationales, les transferts interrégionaux et la consommation des producteurs sont tirés du *Bulletin sur la disponibilité et écoulement d'énergie au Canada*, n° 57-003-XIB au catalogue, de Statistique Canada. L'électricité produite par l'industrie est incluse dans le calcul des coefficients d'émission. La production industrielle est d'ordinaire très petite, comparée à celle des services publics, de sorte qu'elle n'a que peu d'effet sur les coefficients provinciaux.

1.4 Additionneurs de la précombustion

Tout comme le cycle de vie inclut l'acquisition des matières premières utilisées dans la production (p. ex., le bois utilisé pour faire du papier ou la bauxite pour faire de l'aluminium), il y a également un aspect relatif à l'« acquisition des matières premières » pour les combustibles fossiles utilisés pour fournir de l'énergie tout au long du cycle de vie. Des exemples d'émissions de précombustion incluent le CH₄ émis des pipelines de gaz naturel utilisés pour transporter le gaz et le CO₂ émis par la combustion des carburants dans les moteurs qui actionnent les puits de pétrole.

Nous avons élaboré des coefficients distincts pour le pétrole, le gaz naturel et le charbon. Dans les trois cas les émissions de précombustion constituent une importante proportion des émissions au point de combustion et cet ajout au cycle de vie a donc un important effet sur le tableau global des émissions.

1.4.1 PÉTROLE ET GAZ NATUREL

Les coefficients d'émission de précombustion pour le pétrole et le gaz naturel sont tirés des renseignements du *Sommaire des émissions de gaz à effet de serre pour le Canada – 2001* (EC, 2002) et des renseignements du *Bulletin sur la disponibilité et écoulement d'énergie au Canada*, n° 57-003-XIB au catalogue, de Statistique Canada (SC, 2003). Fondamentalement, les émissions par extrant sont divisées pour élaborer un coefficient d'émission de la précombustion pour le pétrole et le gaz naturel. Les principales questions comprises dans l'élaboration de ces coefficients portaient sur la détermination des émissions qu'il faudrait inclure et sur la façon de les attribuer au pétrole ou au gaz (pratiquement, le gaz et le pétrole sont extraits et traités dans bien des étapes semblables).

Les données sur les émissions associées à la production, au raffinage et au transport du gaz naturel et du pétrole au Canada sont tirées de l'inventaire national des GES et incluent les émissions liées à l'énergie de l'industrie pétrolière et gazière, de l'industrie du raffinage du pétrole, de la consommation d'énergie des pipelines et les émissions fugitives de la production du gaz et du pétrole.

Pour la production du gaz naturel, nous avons utilisé la valeur du gaz naturel de 2001 de 6 500 000 TJ et pour la production totale de produits pétroliers raffinés (PPR) celle de 3 700 000 TJ, donnant un ratio du gaz par rapport à l'extrait des PPR de 64/36. Nous avons utilisé ce ratio pour répartir les émissions des secteurs se rapportant au gaz naturel et aux PPR, c'est -à-dire la production des combustibles fossiles, les pipelines, la ventilation et le brûlage à la torche.

La dernière étape du calcul consistait à diviser la part appropriée des émissions de GES des combustibles fossiles par les valeurs d'extrait du gaz naturel et des PPR, afin d'obtenir le coefficient de précombustion. Ces coefficients sont 9,9 kg d'eCO₂ par GJ de gaz naturel et 17,8 kg d'eCO₂ par GJ de PPR. La valeur des PPR est présumée s'appliquer au diesel, au mazout lourd, au mazout léger et aux gaz de pétrole liquéfiés (GPL).

1.4.2 CHARBON

Le coefficient d'émission de la précombustion pour le charbon est de 6,2 kg d'eCO₂ par GJ de charbon et provient du Fuel Life Cycle Emissions Model (FULCEM) de l'EPA des É.-U., élaboré d'après les données sur le cycle de vie fournies par Franklin Associates. Le modèle qui fournit les émissions associées aux éléments individuels du cycle de vie des combustibles est actuellement sous forme de version préliminaire, basé sur des données américaines, et n'est pas accessible au public. On n'a pu trouver aucune source de données canadiennes sur l'énergie utilisée dans l'extraction et le traitement du charbon.

1.5 Notes spécifiques aux provinces

Des renseignements particuliers pour chacun des coefficients d'émission des dix importantes provinces consommatrices sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Terre-Neuve et Labrador. À cause des exportations de grande échelle de l'hydroélectricité des Chutes Churchill vers Québec faites par Terre-Neuve, nous avons exclu l'énergie des Chutes Churchill du calcul du coefficient d'émission de Terre-Neuve. Nous avons soustrait la production des Chutes Churchill du total de la production hydroélectrique de Terre-Neuve et Labrador. Nous avons réparti la consommation du producteur (indiquée dans le *Bulletin sur la disponibilité et l'écoulement d'énergie au Canada*, n° 57-003-XIB au catalogue, de Statistique Canada [SC, 2003]) entre la production d'électricité des Chutes Churchill et le reste de la production électrique provinciale. La consommation répartie du producteur autre que les Chutes Churchill a alors été soustraite de la production autre que celle des Chutes Churchill pour obtenir une estimation de l'écoulement final de l'électricité pour l'île de Terre-Neuve. Le coefficient d'émission est alors calculé en divisant les émissions totales de la production d'énergie par l'écoulement final d'électricité.

Île-du-Prince-Édouard. L'Î.-P.-É. importe presque toute son électricité du Nouveau-Brunswick et, de ce fait, ses émissions sont largement déterminées par le coefficient d'émission du Nouveau-Brunswick. Dans l'Î.-P.-É., la consommation d'électricité du producteur, y compris les pertes en ligne, est répartie entre l'Île et les sources continentales.

Québec. Le Québec importe d'importantes quantités d'électricité du Labrador. On considère que ces importations proviennent exclusivement de l'emplacement hydroélectrique des Chutes Churchill et un coefficient d'émission zéro leur est donc attribué. Le Québec importe aussi de petites quantités d'électricité des É.-U. (bien qu'il soit de loin un exportateur net d'électricité aux É.-U.). Un coefficient d'émissions moyen des É.-U. est affecté à ces importations. La majorité de l'électricité du Québec est produite dans la province et un coefficient d'émission basé sur la composition des sources d'énergie de la production (presque exclusivement hydraulique, avec un

peu de nucléaire). Le coefficient d'émission final est un mélange calculé au prorata des coefficients d'émission du Québec, des importations interrégionales et des importations internationales des É.-U. Les coefficients d'émission de ces différentes sources sont calculés au prorata de leur contribution relative à l'écoulement final d'électricité.

Il est important de noter que dans les systèmes à prédominance hydraulique, comme au Québec, au Manitoba et en Colombie-Britannique, le pourcentage de variation du coefficient d'émission de l'emploi final peut être très large d'une année sur l'autre. Dans les provinces où la production par des combustibles fossiles est une très petite contribution, le coefficient d'émission moyen de la province sera très petit, mais il peut changer par un coefficient de deux ou plus d'une année à l'autre, selon que l'utilisation de centrale utilisant des combustibles fossiles croît et décroît.

Ontario. Le coefficient de l'électricité du Manitoba est attribué à l'électricité importée de cette province. À l'électricité importée des É.-U. est affecté un coefficient d'émission moyen américain. La plus grande partie de l'électricité de l'Ontario provient de la province, et il lui est attribué un coefficient d'émission basé sur la composition des sources d'énergie pour la production de la province. Le coefficient d'émission final est un mélange calculé au prorata des coefficients d'émission de l'Ontario, des importations interrégionales et des importations internationales des É.-U. Les coefficients d'émission de ces différentes sources sont calculés au prorata de leur contribution relative à l'écoulement final d'électricité.

Manitoba. Le Manitoba exporte des quantités importantes d'électricité, surtout aux É.-U. et en Ontario. Il importe aussi de petites quantités d'électricité des É.-U. À l'électricité importée des É.-U. est affecté un coefficient d'émission moyen américain. La plus grande partie de l'électricité du Manitoba est produite dans la province, et il lui est attribué un coefficient d'émission basé sur la composition des sources d'énergie pour la production de la province (principalement hydroélectrique). Le coefficient d'émission final est un mélange calculé au prorata des coefficients d'émission du Manitoba et des importations internationales des É.-U. Les coefficients d'émission de ces différentes sources sont calculés au prorata de leur contribution relative à l'écoulement final d'électricité.

Territoires du Nord-Ouest, Nunavut et Yukon. Il n'y a pas de transferts interrégionaux d'électricité entre les Territoires du Nord-Ouest, le Nunavut ou le Yukon et les coefficients d'émission de l'électricité de ces territoires se basent uniquement sur leurs propres centrales électriques. Également, les mêmes additionneurs de la précombustion servent pour les combustibles des centrales de ces régions nordiques comme pour le reste du pays, aucune provision spéciale n'étant faite pour les distances plus grandes sur lesquelles il faut transporter les combustibles jusqu'aux centrales nordiques. Ces parties du Canada n'ont pas le type de réseau intégré qui existe dans les provinces au Sud, et il n'est pas utile d'élaborer un coefficient d'émission de « toute la province » pour l'électricité. Il y a une utilisation largement répandue de groupes électrogènes isolés à carburant fossile (principalement des génératrices diesel), auquel cas les coefficients d'emploi final devraient se baser sur le profil d'émission et les caractéristiques de répartition de la situation locale de l'approvisionnement en électricité. Dans le cas du Nunavut, le coefficient d'émission canadien, comme donnée d'entrée, n'appuie pas l'application totale de notre méthode. En tout état de cause, les émissions de la production d'électricité dans les Territoires du Nord-Ouest, le Nunavut et le

Yukon n'ont presque pas d'effets sur le calcul de l'électricité et des émissions incluses pour faire cette analyse.

2 Coefficients de la production pondérée d'électricité

Cette section décrit le calcul des coefficients d'émission liée à l'électricité « personnalisés », dans lesquels les coefficients d'intensité des émissions sont répartis entre chaque matériau selon l'emplacement de l'usine de fabrication. La méthode employée est semblable à celle qui a été utilisée pour estimer les coefficients liés à l'électricité utilisés dans l'analyse initiale. Nous avons toutefois révisé les coefficients d'émission provinciaux liés à l'électricité et les données sur la répartition de la production.

2.1 Sources des données de base et hypothèses

Les coefficients d'émission provinciaux liés à l'électricité, décrits ci-dessus, sont à la base des coefficients personnalisés.

La répartition provinciale de la production des matériaux donne la base de la pondération des coefficients ci-dessus. Ces répartitions sont présentées ci-après en pourcentages, au tableau A-2 et au tableau A-3, et montrent les données sous-jacentes aux répartitions. Pour les quatre types de papier, l'aluminium et l'acier, les répartitions provinciales se basent sur les capacités de production par matériau, avec les données obtenues de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (1993), de l'Association de l'aluminium du Canada et d'un rapport préparé pour Ressources naturelles Canada par MK Jaccard and Associates et Willis Energy Services Ltd. (1996). Puisque les capacités de production n'étaient pas rapidement utilisables pour les bouteilles de verre et les plastiques, ces répartitions sont basées sur le nombre d'usines de fabrication dans chaque province, obtenu de Statistique Canada. Autrement dit, nous avons présumé que la production (ou plus précisément, la consommation d'électricité) est proportionnelle au nombre d'établissements.

Pour tous les matériaux, à l'exception de l'acier, on n'a pas trouvé de renseignements faisant une distinction entre les répartitions provinciales de la production primaire et la production recyclée. Sauf pour l'acier, nous avons donc considéré que les répartitions provinciales de chaque matériau étaient les mêmes pour la production primaire et recyclée. Pour l'acier, la répartition de la production primaire se base sur les capacités de production des aciéries intégrées du Canada, qui se trouvent toutes en Ontario. La répartition de la production d'acier recyclé se base sur les capacités de production des aciéries à four électrique à arc.

Tableau A-2. Répartition de la production par province

Province	Papier journal (%)	Papier fin (%)	Carton (%)	Autres papiers (%)	Aluminium (%)	Acier – Produit primaire (%)	Acier – Produit recyclé (%)	Verre (%)	Plastiques (%)
T.-N.	5 %	0 %	0	0	0	0	0	0	1
Î.-P.-É.	0 %	0 %	0	0	0	0	0	0	0
N.-É.	12 %	0 %	2	8	0	0	10	0	0
N.-B.	5 %	16 %	0	4	0	0	0	2	1
QC	36 %	37 %	56	33	90	0	34	28	26
ON	16 %	24 %	38	45	0	100	32	39	48
Man.	2 %	0 %	0	3	0	0	5	0	3
Sask.	0 %	7 %	0	0	0	0	12	1	1
Alb.	0 %	0 %	0	0	0	0	7	10	8
C.-B.	24 %	15 %	3	7	10	0	0	20	11
Yukon	0 %	0 %	0	0	0	0	0	0	0
T.N.-O.	0 %	0 %	0	0	0	0	0	0	0
Nunavut	0 %	0 %	0	0	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tableau A-3. Calcul de la répartition de la production provinciale

Province	Capacité de production							Nombre d'établissements manufacturiers	
	Papier journal (tonnes/jour)	Papier fin (tonnes/jour)	Carton (tonnes/jour)	Autres papiers (tonnes/jour)	Aluminium (tonnes/année)	Acier – Produit primaire (mégatonnes/année)	Acier – Produit recyclé (mégatonnes/année)	Verre	Plas- tiques
T.-N.	1 622								11
Î.-P.-É.									4
N.-É.	3 765		193	1 014			0,6	1	32
N.-B.	1 634	1 300		461				2	25
QC	11 334	3 049	4 589	4 236	2 436 000		2,2	30	523
ON	5 198	1 986	3 103	5 726		9,2	3,6	42	986
Man.	487			420			0,3		61
Sask.		609					0,9	1	30
Alb.							0,3	11	163
C.-B.	7 676	1 226	261	890	274 000			22	232
Yukon									
T.N.-O									
Nunavut									
Total	31 716	8 170	8 146	12 747	2 710 000	9,2	7,9	109	2 076

Source de la capacité de production pour le papier : Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (1993)

Source de la capacité de production pour l'aluminium : Association de l'aluminium du Canada (2004)

Source de la capacité de production pour l'acier : MK Jaccard and Associates and Willis Energy Services Ltd. (1996)

Statistique Canada, Enquête annuelle des manufactures, CANSIM, tableau 301-0003

Source du nombre d'installations de production pour l'acier : Steel Association of Canada (2004)

2.2 Contexte et méthode

Les coefficients d'émission provinciaux moyens (décrits à la section 2 de cette annexe) sont pondérés en fonction de la répartition géographique estimée de la production de chaque matériau. Le coefficient d'émission personnalisé de l'électricité pour un produit fabriqué particulier, M, est estimé d'après la formule ci-dessous :

$$\sum_{P=1}^{13} CE_P \cdot Share_{P,M}$$

Ici, les produits du coefficient d'émission provincial moyen (CE, selon l'estimation de la section 2) et la part de la fabrication spécifique à M sont additionnés pour l'ensemble des 13 provinces incluses dans l'analyse pour chaque M.

3 Effets transfrontaliers : coefficients de l'électricité aux É.-U.

Les coefficients d'émission élaborés pour le rapport initial se basaient sur l'hypothèse que les matériaux recyclés au Canada remplacent la production ou ont un effet sur les installations de production du Canada, c.-à-d., que les matériaux récupérés au Canada sont aussi remis en fabrication au Canada. Toutefois, ce n'est pas totalement le cas. En fait, le Canada a d'importants flux d'échanges commerciaux de produits recyclables – importés et exportés – avec les É.-U., la Chine, l'Inde et d'autres pays partenaires potentiels. Pour la plupart des éléments à forte production d'émissions du cycle de vie avant consommation, les effets des émissions se produisent au loin. En outre, les coefficients d'émission des économies comportant davantage de secteurs de services électriques et industriels à intensité carbonique (p. ex., aux É.-U.) sont fort différents de ceux du Canada. Donc, négliger les exportations (et les importations) comme dans le rapport antérieur, n'est pas nécessairement correct.

En vue d'effectuer des analyses préliminaires des effets transfrontaliers, le coefficient d'émission de l'électricité est inclus dans le manuel du tableur. L'intégration du coefficient d'émission d'électricité moyen des É.-U. devrait faciliter l'analyse des effets transfrontaliers en donnant de la souplesse pour comparer les résultats du Canada et des É.-U. en utilisant des coefficients cohérents ou pour attribuer le coefficient d'émission de l'électricité des É.-U. à certaines étapes du cycle de vie (p. ex., la remise en fabrication des canettes en aluminium).

3.1 Sources des données de base et hypothèses

Les émissions de CO₂ du secteur de l'énergie électrique en 2001 proviennent de l'EIA : *Electric Power Annual 2002*, EIA (2002a).

Les émissions de CH₄ et de N₂O du secteur de l'énergie électrique en 2001 proviennent de l'EIA : *Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2002*, EIA (2002b).

Les ventes totales au détail d'électricité aux É.-U. (MWh) en 2001 proviennent de EIA (2002a).

3.2 Contexte et méthode

Nous avons calculé le coefficient d'émission estimé pour l'utilisation de l'électricité aux É.-U. en 2001 en utilisant une méthode semblable, mais des sources de données différentes de celles décrites ci-dessus pour l'utilisation de l'électricité canadienne. La méthode d'estimation comportait de diviser les émissions nationales totales de GES du secteur de l'énergie électrique (incluant le CO₂, le CH₄ et le N₂O) par les achats nationaux totaux d'électricité (c.-à-d. l'électricité livrée). Il en résulte un coefficient d'émission moyen général applicable sur le plan national. Nous avons converti toutes les émissions en unités équivalentes de CO₂ en utilisant leur potentiel respectif de réchauffement de la planète. Le résultat de ce calcul est une valeur de 680 gr d'eCO₂ / kWh, excluant l'effet des émissions de précombustion.

4 Coefficient marginal d'électricité

Tous les coefficients présentés ci-dessus appliquent des coefficients moyens en intégrant l'éventail complet des combustibles consommés dans la production d'électricité. L'option finale disponible aux utilisateurs de l'actuel manuel du tableur est celle du coefficient marginal d'électricité. Cette option supplémentaire permet à un utilisateur de choisir un coefficient marginal basé sur la dernière unité de combustible ajoutée à la courbe des offres. La justification sous-jacente du choix d'une méthode où les émissions se basent sur les combustibles marginaux est la suivante : une bonne partie de la capacité de production de « zéro émission » est essentiellement constante, par exemple, lorsqu'un service a construit une centrale nucléaire ou une installation d'énergie hydroélectrique, il utilisera cette unité à sa pleine capacité (parce que les coûts sont surtout des coûts en immobilisations) et que l'énergie électrique supplémentaire « en marge » sera probablement basée sur des combustibles fossiles (dont une importante partie du coût de production est associée au combustible lui-même). Dans le rapport initial, un coefficient d'émission de l'électricité basé sur l'emploi marginal d'un combustible a été utilisé exclusivement pour les compensations d'énergie associées à la récupération de l'énergie des biogaz ou à l'incinération des matières résiduelles. Plus particulièrement, nous avons supposé que toutes les compensations remplaceraient les centrales de gazéification du charbon intégrée à un cycle combiné.

Avec la méthode actuelle, nous supposons de nouveau que le combustible « en marge » sera toujours du gaz naturel et l'option pour utiliser ce coefficient marginal est également étendue au calcul en amont. Conformément au *Plan du Canada sur les changements climatiques*, nous avons supposé un contenu en carbone de 48,8 kg d'e CO₂/GJ, une efficacité énergétique de 50 p. 100 et des pertes de transmission et de distribution de 10 p. 100, résultant en un coefficient d'émission d'électricité marginal d'emploi final de 108 kg d'eCO₂/Gj d'électricité livrée. En incluant les émissions de « précombustion » associées à l'extraction, au traitement et au transport du gaz naturel, le coefficient est de 136 kg d'eCO₂/GJ d'électricité livrée.

Annexe B. Tableaux documentaires

Tableau B-1 2001 – Émissions de GES associées à la production, au raffinage et au transport du gaz naturel

Catégorie	Sources	Émissions de la production du gaz naturel et des PPR ¹			Pourcentage attribuable à la production du gaz naturel ²	Émissions de la production du gaz naturel ³			Énergie utilisée pour la production ⁴ du gaz naturel	Intensité des émissions de la production ⁵ de gaz naturel		
		CO ₂	CH ₄	Total		CO ₂	CH ₄	Total		CO ₂	CH ₄	Total
		kilotonnes d'eCO ₂			%	kilotonnes d'eCO ₂			TJ	tonnes d'eCO ₂ /GJ		
Combustion	Production des combustibles fossiles	35 500	2 400	37 900	64	22 720	1 536	24 256	6 546 148	3,471	0,235	3,705
	Pipelines	9 970	210	10 180	64	6 381	134	6 515		0,975	0,021	0,995
Émission fugitive	Gaz naturel	29	24 000	24 029	100	29	24 000	24 029		0,004	3,666	3,671
	Ventilation	7 820	0	7 820	64	5 005	0	5 005		0,765	0,000	0,765
	Brûlage à la torche	7 380	660	8 040	64	4 723	422	5 146		0,722	0,065	0,786
Total		60 699	27 270	87 969		38 858	26 093	64 951		6 546 148	5,936	3,986

¹ Source : Environnement Canada (2003). *Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-2001*

² Calcul basé sur les données de la production de combustible de Statistique Canada, n° 57-300 au catalogue (voir le tableau 7-3).

³ Calculé en multipliant les émissions de la production de gaz naturel et de PPR par le pourcentage attribuable à la production de gaz naturel.

⁴ Calcul basé sur les données de la production de combustible de Statistique Canada, n° 57-300 au catalogue (voir le tableau 7-3).

⁵ Calculé en divisant les émissions par l'utilisation d'énergie par la production de gaz naturel.

Tableau B-2 2001 – Émissions de GES associées à la production, au raffinage et au transport des produits pétroliers raffinés

Catégorie	Sources	Émissions de la production des PPR et du gaz naturel ¹			Pourcentage attribuable à la production des PPR ²	Émissions de la production des PPR ³			Énergie utilisée par la production des PPR ⁴	Intensité des émissions de la production des PPR ⁵		
		CO2	CH4	Total		CO2	CH4	Total		CO2	CH4	Total
		kilotonnes d'eCO2			%	kilotonnes d'eCO2			TJ	tonnes d'eCO2/GJ		
Combustion	Raffinage du pétrole	29 000	9	29 009	100	29 000	9	29 009	3 741 610	7,751	0,002	7,753
	Production des combustibles fossiles	35 500	2 400	37 900	36	12 780	864	13 644		3,416	0,231	3,647
	Pipelines	9 970	210	10 180	36	3 589	76	3 665		0,959	0,020	0,979
Émission fugitive	Pétrole	78	14 000	14 078	100	78	14 000	14 078		0,021	3,742	3,763
	Ventilation	7 820	0	7 820	36	2 815	0	2 815		0,752	0,000	0,752
	Brûlage à la torche	7 380	660	8 040	36	2 657	238	2 894		0,710	0,064	0,774
Total		60 748	17 270	78 018		50 919	15 186	66 105	3 741 610	13,609	4,059	17,68

¹ Source : Environnement Canada (2003). *Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-2001*

² Calcul basé sur les données de la production de combustible de Statistique Canada, n° 57-300 au catalogue (voir le tableau 7-3).

³ Calculé en multipliant les émissions de la production de gaz naturel et de PPR par le pourcentage attribuable à la production de gaz naturel.

⁴ Calcul basé sur les données de la production de combustible de Statistique Canada, n° 57-300 au catalogue (voir le tableau 7-3).

⁵ Calculé en divisant les émissions par l'utilisation d'énergie par la production de gaz naturel

Tableau B-3. Production canadienne de gaz naturel et de produits pétroliers raffinés en 2001¹

	GAZ NATUREL (TJ)	PRODUITS PÉTROLIERS RAFFINÉS (TJ)
PRODUCTION	7 202 051	4 451 951
EXPORTATIONS	4 120 410	859 951
IMPORTATIONS	148 953	454 058
DISPONIBILITÉ NATIONALE	3 368 727	3 907 084
CONVERSION EN :		
ÉLECTRICITÉ	334 061	19 725
PRODUITS RAFFINÉS	19 628	
COKE ET GF		
DISPONIBILITÉ NATIONALE NETTE	2 992 227	3 781 500
CONSOMMATION DU PRODUCTEUR	672 681	406 110
APPLICATIONS NON ÉNERGÉTIQUES	159 688	434 426
DEMANDE FINALE D'UTILISATION DE L'ÉNERGIE	2 159 858	2 882 036
Moins les pipelines	200 051	470
Moins le raffinage du pétrole	47 446	-
Égale la DEMANDE NETTE FINALE	1 912 361	2 881 566
PRODUCTION TOTALE D'ÉNERGIE	6 546 148	3 741 610
RATIO DE LA PRODUCTION TOTALE D'ÉNERGIE	64 %	36 %

¹ Source : Environnement Canada (2003). *Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-2001*

Tableau B-4 Taux de rétention de divers matériaux

Matériau	Tonnes de produits fabriqués par tonne de matériaux récupérés (c.-à-d. ramassés)
Papier journal	0,79
Papier fin	0,61
Carton	0,68
Autres papiers	0,61
Aluminium	0,84
Acier	0,79
Fil de cuivre ¹	0,82
Bouteilles de verre	0,71
PEHD	0,86
PET	0,86
Autres plastiques	0,68
Plastiques pour l'asphalte	0,54
Verre des TRC	0,82
Plomb d'œuvre	0,82

¹ Présumé être une moyenne de l'aluminium et de l'acier.
FAL (2002)

Tableau B-5 Valeurs actuelles de la composition de divers types de matériaux

Matériau	Production courante provenant d'intrants recyclés (%)	production courante provenant d'intrants vierges (%)
Papier journal	19,44	80,56
Papier fin	3,12	96,88
Carton	30,24	69,76
Autres papiers	17,39	82,61
Aluminium	52,36	47,64
Acier	14,12	85,88
Verre	30,47	69,53
PEHD	14,90	85,10
PET	28,64	71,36
Autres plastiques	0,92	99,08

Source : Enviro RIS (2000)

Tableau B-6 Consommation d'énergie pour la production vierge d'aluminium laminé

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre ¹	
Acquisition des matières premières	1,1	7,4	19,7	-	1,2	-	11,7	0,1	-	2,9	-	0,0	1,0	0,0	45,1
Extraction de la bauxite	0,01	-	-	-	1,0	-	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	1,3
Raffinage de l'alumine	0,9	7,3	17,5	-	0,1	-	11,1	-	-	0,4	-	0,04	0,9	0,0002	38,2
Production d'anodes	0,2	0,1	2,2	-	0,1	-	0,3	-	-	2,5	-	0,003	0,1	-	5,5 ¹
Fabrication 1	58,2	-	4,3	-	0,2	0,0	1,6	0,0	-	-	-	-	-	-	64,2
Fusion	57,4	-	1,9	-	0,2	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	60,2
Coulée en lingotière	0,8	-	2,4	-	0,01	0,02	0,9	0,00	-	-	-	-	-	-	3,3
Fabrication 2	4,5	-	2,6	-	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	7,2
Laminage	4,5	-	2,6	-	0,01	0,01	0,01	0,04	-	-	-	-	-	-	7,2
Transport	-	-	-	-	2,2	-	1,6	-	-	-	-	-	-	-	3,8
Extraction de la bauxite	-	-	-	-	0,2	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	1,1
Raffinage de l'alumine	-	-	-	-	0,2	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,8
Production d'anodes	-	-	-	-	0,00	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Fusion	-	-	-	-	0,02	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Coulée en lingotière	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
Laminage	-	-	-	-	1,0	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	1,1
TOTAL	63,8	7,4	26,7	-	3,5	0,03	14,9	0,1	-	2,9	-	0,04	1,0	0,0002	120,3

¹Autre : coke, matière de base du brai (19,82)

Tableau B-7 Consommation d'énergie pour la production recyclée d'aluminium laminé

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Cimbutible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,4	-	1,7	-	0,01	-	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	2,2
Déchetage et enlèvement du revêtement	0,4	-	1,7	-	0,01	-	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	2,2
Fabrication 1	0,9	-	5,2	-	0,02	-	0,04	0,00	-	-	-	-	-	-	6,2
Coulée en lingotière	0,9	-	5,2	-	0,02	-	0,04	0,00	-	-	-	-	-	-	6,2
Fabrication 2	4,5	-	2,6	-	0,01	0,01	0,01	0,04	-	-	-	-	-	-	7,2
Laminage	4,5	-	2,6	-	0,01	0,01	0,01	0,04	-	-	-	-	-	-	7,2
Transport	-	-	-	-	1,2	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	1,2
Déchetage et enlèvement du revêtement	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Coulée en lingotière	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Laminage	-	-	-	-	1,0	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	1,1
TOTAL	5,8	-	9,5	-	1,2	0,01	0,2	0,04	-	-	-	-	-	-	16,8

Tableau B-8 Consommation d'énergie pour la production vierge d'aluminium extrudé

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre ¹	
Acquisition des matières premières	1,1	7,4	19,7	-	1,2	-	11,7	0,1	-	2,9	-	0,04	1,0	0,0002	45,1
Extraction de la bauxite	0,01	-	-	-	1,0	-	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	1,3
Raffinage de l'alumine	0,9	7,3	17,5	-	0,1	-	11,1	-	-	0,4	-	0,04	0,9	0,0002	38,2
Production des anodes	0,2	0,1	2,2	-	0,1	-	0,3	-	-	2,5	-	0,003	0,1	-	5,5 ¹
Fabrication 1	58,2	-	4,3	-	0,2	0,02	1,6	0,003	-	-	-	-	-	-	64,2
Fusion	57,4	-	1,9	-	0,2	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	60,2
Coulée en lingotière	0,8	-	2,4	-	0,01	0,02	0,9	0,003	-	-	-	-	-	-	3,3
Fabrication 2	0,03	0,04	11,1	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,001	0,02	-	11,2
Extrusion	0,03	0,04	11,1	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,001	0,02	-	11,2
Transport	-	-	-	-	1,8	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	3,4
Extraction de la bauxite	-	-	-	-	0,2	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	1,1
Raffinage de l'alumine	-	-	-	-	0,2	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,8
Production d'anodes	-	-	-	-	0,0	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Fusion	-	-	-	-	0,0	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Coulée en lingotière	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
Extrusion	-	-	-	-	0,6	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0,7
TOTAL	59,3	7,5	35,1	-	3,1	0,02	14,8	0,1	-	2,9	-	0,04	1,0	0,0002	123,9

¹Autre : coke, matière de base du brai (19,82)

Tableau B-9 Consommation d'énergie pour la production recyclée d'aluminium extrudé

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,4	-	1,7	-	0,01	-	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	2,2
Déchetage et enlèvement du revêtement	0,4	-	1,7	-	0,01	-	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	2,2
Fabrication 1	0,9	-	5,2	-	0,02	-	0,04	0,001	-	-	-	-	-	-	6,2
Coulée en lingotière	0,9	-	5,2	-	0,02	-	0,04	0,001	-	-	-	-	-	-	6,2
Fabrication 2	5,3	-	2,7	-	0,01	0,04	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	8,2
Extrusion	5,3	-	2,7	-	0,01	0,04	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	8,2
Transport	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8
Déchetage et enlèvement du revêtement	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Coulée en lingotière	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Extrusion	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	6,6	-	9,5	-	0,8	0,04	0,4	0,003	-	-	-	-	-	-	17,4

Tableau B-10 Consommation d'énergie pour la production vierge d'aluminium en moulage à finition immédiate

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre ¹	
Acquisition des matières premières	1,1	7,4	19,7	-	1,2	-	11,7	0,1	-	2,9	-	0,04	1,0	0,0002	45,1
Extraction de la bauxite	0,01	-	-	-	1,0	-	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	1,3
Raffinage de l'alumine	0,9	7,3	17,5	-	0,1	-	11,1	-	-	0,4	-	0,04	0,9	0,0002	38,2
Production d'anodes	0,2	0,1	2,2	-	0,1	-	0,3	-	-	2,5	-	0,003	0,1	-	5,5 ¹
Fabrication 1	58,2	-	4,3	-	0,2	0,02	1,6	0,003	-	-	-	-	-	-	64,2
Fusion	57,4	-	1,9	-	0,2	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	60,2
Coulée en lingotière	0,8	-	2,4	-	0,01	0,02	0,9	0,003	-	-	-	-	-	-	3,3
Fabrication 2	0,03	0,04	11,1	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,001	0,02	-	11,2
Moulage à finition immédiate	0,03	0,04	11,1	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,001	0,02	-	11,2
Transport	-	-	-	-	1,8	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	3,4
Extraction de la bauxite	-	-	-	-	0,2	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	1,1
Raffinage de l'alumine	-	-	-	-	0,2	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,8
Production d'anodes	-	-	-	-	0,0	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Fusion	-	-	-	-	0,0	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Coulée en lingotière	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
Moulage à finition immédiate	-	-	-	-	0,6	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0,7
TOTAL	59,3	7,5	35,1	-	3,1	0,02	14,8	0,1	-	2,9	-	0,04	1,0	0,0002	123,9

¹Autre : coke, matière de base du brai (19,82)

Tableau B-11 Consommation d'énergie pour la production recyclée d'aluminium en moulage à finition immédiate

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,4	-	1,7	-	0,01	-	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	2,2
Déchetage et enlèvement du revêtement	0,4	-	1,7	-	0,01	-	0,2	0,001	-	-	-	-	-	-	2,2
Fabrication 1	0,9	-	5,2	-	0,02	-	0,04	0,001	-	-	-	-	-	-	6,2
Coulée en lingotière	0,9	-	5,2	-	0,02	-	0,04	0,001	-	-	-	-	-	-	6,2
Fabrication 2	0,03	0,04	11,1	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,001	0,02	-	11,2
Moulage à finition immédiate	0,03	0,04	11,1	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,001	0,02	-	11,2
Transport	-	-	-	-	0,8	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,8
Déchetage et enlèvement du revêtement	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Coulée en lingotière	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Moulage à finition immédiate	-	-	-	-	0,6	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,7
TOTAL	1,3	0,0	18,0	-	0,8	-	0,2	0,002	-	0,01	-	0,001	0,02	-	20,4

Tableau B-12 Hydrocarbure fluoré entièrement halogéné – Renseignements sur les anodes

Gaz	Émissions totales en 2001 ¹ (kilotonnes d'eCO ₂)	Production vierge totale d'aluminium en 2001 ² (kilotonnes)	Coefficient d'émission estimé (kilotonnes d'eCO ₂ / kilotonne d'Al)
Hydrocarbure fluoré entièrement halogéné	4 160	2 583	1,61
CO ₂	6 000		2,32

¹Source : Environnement Canada, 2002. *Inventaire canadien des gaz à effet de serre - 2001*

²CIEEDAC, 2003. A Review of Energy Consumption and Related Data: Canadian Aluminum Industries 1990-2001

Tableau B-13 Consommation d'énergie pour la production vierge d'acier

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,7	-	0,7	0,8	-	-	0,003	-	-	-	-	-	-	2,2
Fabrication	0,4	15,6	5,5	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	22,7
Transport	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	1,1	15,6	6,2	1,4	-	-	0,003	-	1,1	-	-	-	-	25,5

Tableau B-14 Consommation d'énergie pour la production recyclée d'acier

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	3,7	-	5,5	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	9,3
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	3,67	-	5,5	0,4	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	9,7

Tableau B-15 Calcul des estimations d'énergie par tonne pour l'acquisition des matières premières de l'acier

Extraction	Consommation d'énergie (KJ) pour 1 m ² d'un revêtement d'acier de jauge 30 = 3,8 kg d'acier ¹	Consommation d'énergie (KJ) par kg d'acier	Consommation d'énergie (KJ) par tonne d'acier	Consommation d'énergie (GJ) par tonne d'acier
Diesel	2 945	775	775 000	0,78
Essence	12	3	3 158	0,003
Électricité livrée	2 779	731	731 316	0,73
Gaz naturel	2 663	701	700 789	0,70

Athena Institute (1998)

Tableau B-16 Consommation d'énergie à l'installation de récupération des matériaux

a) kg d'eCO2 par tonne de contenu recyclé à une IRM	b) kg d'eCO2/kWh en intrants d'électricité	c) kwh par tonne de contenu recyclé (=a/b)	d) GJ par kwh livré	e) GJ d'électricité par tonne de produit à l'IRM (=c x d)
0,6	0,29	2,1	0,004	0,008

Torrie Smith Associates, Greenhouse Gas Emissions from Waste Management: Implications to Modelling, septembre 2003.

Note : utilisation des données des « installations de gestion des matières résiduelles » comme substitut pour le IRM.

Tableau B-17 Consommation d'énergie pour la production de matériaux choisis, intrants vierges

Produit	Énergie (GJ/tonne)	Ventilation des combustibles (en pourcentage)														
		Électricité livrée (%)	Charbon (%)	Gaz naturel (%)	Gaz naturel matière première (autres combustibles) (%)	Huiles matières premières (%)	Diesel (%)	GPL (%)	Mazout léger (%)	Combustible résiduel (%)	Essence (%)	Pétrole (non spécifié) (%)	Biomasse (%)	Hydraulique (%)	Nucléaire (%)	Autre (%)
Aluminium	64,19	90,6	0,0	6,7	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acier	22,67	1,8	69,0	24,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Fil de cuivre	67,87	32,7	4,7	61,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,6	0,1
Verre	6,00	5,0	0,0	85,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PEHD	33,25	17,4	0,0	50,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,1	0,0	0,0	0,0	0,0
PET	62,21	14,4	0,0	58,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres plastiques	35,25	7,7	0,0	70,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pneus	102,53	43,8	0,0	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
Papier journal	14,11	50,9	0,0	37,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	1,6	0,0	0,0	0,0
Papier fin	35,23	10,9	0,0	32,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	46,7	0,0	0,0	0,0
Carton	30,93	11,3	0,0	31,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	46,8	0,0	0,0	0,0
Autres papiers	32,56	11,7	0,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	46,3	0,0	0,0	0,0

Tableau B-18 Énergie de la fabrication de matériaux choisis à partir d'intrants recyclés

Produit	Énergie (GJ/tonne)	Ventilation des combustibles														
		Électricité livrée	Charbon (%)	Gaz naturel (%)	Gaz naturel matière première (autres combustibles) (%)	Huiles matières premières (%)s	Diesel (%)	GPL (%)	Mazout léger (%)	Combustible résiduel (%)	Essence (%)	Pétrole (non spécifié) (%)	Bio-masse (%)	Hydraulique (%)	Nucléaire (%)	Autre (%)
Aluminium	6,18	14,8	0,0	84,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acier	9,30	39,4	0,0	59,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Fil de cuivre	6,00	13,2	0,0	58,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,1	0,0	0,0	0,0	2,5
Verre	4,20	5,0	0,0	90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PEHD	6,00	75,0	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0
PET	6,00	75,0	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres plastiques	6,00	75,0	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Pneus	42,11	43,8	0,0	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
Papier journal	8,35	23,4	0,0	56,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Papier fin	13,09	30,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Carton	12,78	21,4	0,0	58,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres papiers	10,30	24,7	0,0	55,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau B-19 Consommation d'énergie pour le transport – Vierge

Total GJ par tonne	Total GJ par tonne -- Camion (diesel)
Acquisition des matières premières ¹	0,2
Fabrication	0,07
Transport vers le consommateur	0,30
Total	0,58

¹Athena Institute. *A Life Cycle Analysis of Solid Wood and Steel Cladding*. September 1998

Note : utilisé comme substitut pour d'autres matériaux.

Tableau B-20 Consommation d'énergie pour le transport - Recyclé

Total GJ par tonne	Total GJ par tonne -- Camion (diesel)
Acquisition des matières premières	S/O
Fabrication	0,07
Transport vers le consommateur	0,30
Total	0,38

Tableau B-21 Transport associé à la fabrication

a) Total hypothétique des kilomètres parcourus	b) Total des tonnes par voyage ¹	c) Total tonne-km (=a/b)	d) Litres par km ²	e) Litres par tonne (=a*d/b)	f) GJ/litre ³	g) GJ par tonne
100	22,68	4,41	0,45	1,96	0,04	0,07

¹Hypothèse : 25 tonnes américaines par voyage.

²Hypothèse : 5,3 milles par gallon ou 2,3 km par litre.

³Source : http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/energy_conv.html

Tableau B-22 Transport vers le consommateur – Verre (utilisé comme substitut pour d'autres matériaux)

a) Total hypothétique des kilomètres parcourus ¹	b) Total des tonnes par voyage ²	c) Total tonne-km (=a/b)	d) Litres par km ^{2 3}	e) Litres par tonne (=a*d/b)	f) GJ/litre ⁴	g) GJ par tonne
426	22,68	18,78	0,45	8,36	0,04	0,30

¹Athena Institute (1998)

²Hypothèse : 25 tonnes américaines par voyage.

³Hypothèse : 5,3 milles par gallon ou 2,3 km par litre.

⁴Source : http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/energy_conv.html

Tableau B-23 Consommation d'énergie pour la production vierge de fil de cuivre

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	15,4	-	8,7	0,4	-	1,1	-	-	-	-	25,7
Fabrication	22,2	3,2	41,9	-	0,02	-	-	-	1,1	-	-	0,4	0,1	67,9
Transport	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	22,2	3,2	41,9	16,0	0,02	8,7	0,4	-	1,1	-	-	0,4	0,4	94,1

Tableau B-24 Consommation d'énergie pour la production recyclée de fil de cuivre

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	0,8	-	3,5	-	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-	6,0
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	0,8	-	3,5	0,4	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-	6,4

Tableau B-25 Consommation d'énergie pour la production vierge de bouteilles de verre

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,1	-	0,2	-	0,01	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,6
Fabrication	0,3	-	5,1	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	6,0
Transport	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2 ¹
TOTAL	0,4	-	5,3	0,2	0,01	-	-	-	0,9	-	-	-	-	6,8

¹ Inclut le transport associé à l'acquisition des matières premières et le transport. « Autre » combustible = mazout lourd pour le transport maritime.

Tableau B-26 Consommation d'énergie pour la production recyclée de bouteilles de verre

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	0,2	-	3,8	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	4,2
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	0,2	-	3,8	0,4	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	4,6

Tableau B-27 Calcul des estimations d'énergie par tonne pour l'acquisition des matières premières du verre¹

Combustible	a) Consommation d'énergie en 2001, PJ	b) Mégatonnes « d'autres mines non métalliques » produites en 2001	c) PJ d'énergie/ mégatonne (=a/b)	d) GJ/Tonne
Électricité	1,5	16,22	0,1	0,09
Gaz naturel	2,9		0,2	0,18
Mazout léger, carburant diesel et kérosène	3,7		0,2	0,23
Mazout lourd	0,8		0,0	0,05
Gaz de distillation et coke de pétrole	0,0		0,0	0,00
GPL et LGN d'usine à gaz	0,2		0,0	0,01
Charbon, coke et gaz de cokerie	0,0		0,0	0,00
Déchets de bois et lessive de cuisson	0,0		0,0	0,00
Autre ²	0,0		0,0	0,00

¹Source : Ressources naturelles Canada, Base de données complète sur la consommation d'énergie, Tableau 15 http://oee.nrcan.gc.ca/Neud/dpa/trends_id_ca.cfm.

²« Autre » inclut la vapeur et les combustibles résiduels.

Tableau B-28 Consommation d'énergie pour la production vierge de PEHD

	Énergie primaire (GJ/tonne)															Énergie totale (électricité incluse)	Énergie totale (matières de base exclues)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Gaz naturel matière première (autres combustibles)	Huiles matières premières	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Bio-masse	Hydraulique	Nucléaire	Autre		
Acquisition des matières premières	-	-	-	22,7	25,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,7	-
Fabrication	5,8	-	33,3	-	-	-	-	-	-	-	10,7	-	-	-	-	33,3	33,3
Transport	-	-	0,6	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	0,6
TOTAL	5,8	-	33,8	22,7	25,0	0,6	-	-	-	-	10,7	-	-	-	-	81,6	33,8

Tableau B-29 Consommation d'énergie pour la production recyclée de PEHD

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	4,5	-	1,0	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	6,0
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	4,5	-	1,0	0,4	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	6,4

Tableau B-30 Consommation d'énergie pour la production vierge de PET

	Énergie primaire (GJ/tonne)															Énergie totale (électricité incluse)	Énergie totale (matières de base exclues)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Gaz naturel matière première (autres combustibles)	Huiles matières premières	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile /lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre		
Acquisition des matières premières	-	-	-	13,8	7,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,6	43,2	7,8
Fabrication	9,0	-	36,5	-	-	-	-	-	-	-	16,7	-	-	-	-	62,2	25,7
Transport	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	0,6
TOTAL	9,0	-	36,5	13,8	7,8	0,6	-	-	-	-	16,7	-	-	-	21,6	106,0	34,1

Tableau B-31 Consommation d'énergie pour la production recyclée de PET

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre		
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	4,5	-	1,0	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	6,0
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	4,5	-	1,0	0,4	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	6,4

Tableau B-32 Consommation d'énergie pour la production vierge d'autre plastique (PEBD)

	Énergie primaire (GJ/tonne)															Énergie totale (électricité incluse)	Énergie totale (matières de base exclues)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Gaz naturel matière première (autres combustibles)	Huiles matières premières	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre		
Acquisition des matières premières	-	-	-	33,4	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,7	-
Fabrication	2,7	-	24,8	-	-	-	-	-	-	-	7,8	-	-	-	-	35,3	35,3
Transport	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	0,6
TOTAL	2,7	-	24,8	33,4	14,3	0,6	-	-	-	-	7,8	-	-	-	-	83,6	35,8

Tableau B-33 Consommation d'énergie pour la production recyclée d'autre plastique (PEDB)

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	4,5	-	1,0	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	6,0
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	4,5	-	1,0	0,4	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	6,4

Tableau B-34 Polyéthylène de haute densité

Combustible	Intensité énergétique du procédé (GJ/tonne)	Pourcentage de la consommation totale de la source énergétique (%)	Intensité énergétique de la matière de base (GJ/tonne)	Total
Électricité	5,79	17,4	0	5,79
Pétrole	10,67	32,1	25,01	35,68
Autres combustibles	16,79	50,5	22,72	39,51
Total	33,25	100	47,73	80,98

Source : Fred Edgecombe, communication personnelle avec Tonie Smith, mars 2001

Tableau B-35 Catégorie de bouteilles en PET

Combustible	Intensité énergétique du procédé (GJ/tonne)	Pourcentage de la consommation totale de la source énergétique (%)	Intensité émergétique de la matière de base (GJ/tonne)	Total
Électricité	5,79	17,41	0	5,79
Pétrole	10,67	32,09	25,01	35,68
Autres combustibles	16,79	50,50	22,72	39,51
Total	33,25	100	47,73	80,98

Source : Fred Edgecombe, communication personnelle avec Tonie Smith, mars 2001

Tableau B-36 Polyéthylène basse densité linéaire (autres plastiques)

Combustible	Intensité énergétique du procédé (GJ/tonne)	Pourcentage de la consommation totale de la source énergétique (%)	Intensité énergétique de la matière de base (GJ/tonne)	Total
Électricité	2,71	7,69	0	2,71
Pétrole	7,77	22,04	14,32	22,09
Autres combustibles	24,77	70,27	33,41	58,18
Total	35,25	100	47,33	82,98

Source : Fred Edgecombe, communication personnelle avec Tonie Smith, mars 2001

Tableau B-37 Consommation d'énergie pour la production vierge de pneus

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fabrication	44,9	-	43,0	-	-	13,5	-	-	-	-	-	-	1,2	102,6
Transport	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	44,9	-	43,0	0,6	-	13,5	-	-	-	-	-	-	1,2	103,1

Tableau B-38 Consommation d'énergie pour la production recyclée de pneus

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	18,4	-	17,7	-	-	5,5	-	-	-	-	-	-	0,5	42,1
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	18,4	-	17,7	0,4	-	5,5	-	-	-	-	-	-	0,5	42,5

Tableau B-39 Consommation d'énergie pour la production vierge de papier journal

	Énergie primaire (GJ/tonne)															Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Mazout léger	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	0,002	0,9	-	0,02	0,04	-	-	-	-	-	-	-	1,0
Fabrication	7,2	-	5,3	-	-	-	-	-	-	-	1,4	0,2	-	-	-	14,1
Transport	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	7,2	-	5,3	0,002	1,5	-	0,02	0,04	-	-	1,4	0,2	-	-	-	15,6

Tableau B-40 Consommation d'énergie pour la production recyclée de papier journal

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile /lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre ¹	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	2,0	-	4,7	-	-	-	-	-	1,7	-	-	-	-	8,4
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 ¹
TOTAL	2,0	-	4,7	0,4	-	-	-	-	1,7	-	-	-	-	8,7

¹« Autre » inclut la vapeur et les combustibles résiduels.

Tableau B-41 Consommation d'énergie pour la production vierge du papier fin

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)	
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GP L	Mazout léger	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire		Autre
Acquisition des matières premières	-	-	-	0,002	0,9	-	0,02	0,04	-	-	-	-	-	-	-	1,0
Fabrication	3,8	-	11,4	-	-	-	-	-	-	-	3,5	16,5	-	-	-	35,2
Transport	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	3,8	-	11,4	0,002	1,5	-	0,02	0,04	-	-	3,5	16,5	-	-	-	36,8

Tableau B-42 Consommation d'énergie pour la production recyclée de papier fin

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	3,9	-	6,6	-	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	13,1
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	3,9	-	6,6	0,4	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	13,5

Tableau B-43 Consommation d'énergie pour la production vierge de carton

	Énergie primaire (GJ/tonne)															Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Mazout léger	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	0,002	0,9	-	0,02	0,04	-	-	-	-	-	-	-	1,0
Fabrication	3,5	-	9,9	-	-	-	-	-	-	-	3,1	14,5	-	-	-	30,9
Transport	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	3,5	-	9,9	0,002	1,5	-	0,02	0,04	-	-	3,1	14,5	-	-	-	32,5

Tableau B-44 Consommation d'énergie pour la production recyclée de carton

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile /lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	2,7	-	7,5	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-	12,8
Transport	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	2,7	-	7,5	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-	26,02

Tableau B-45 Consommation d'énergie pour la production vierge d' « autres » papiers

	Énergie primaire (GJ/tonne)															Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Mazout léger	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	0,002	0,9	-	0,02	0,04	-	-	-	-	-	-	-	1,0
Fabrication	3,8	-	10,4	-	-	-	-	-	-	-	3,3	15,1	-	-	-	32,6
Transport	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	3,8	-	10,4	0,002	1,5	-	0,02	0,04	-	-	3,3	15,1	-	-	-	34,1

Tableau B-46 Consommation d'énergie pour la production recyclée d' « autres » papiers

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Fabrication	2,5	-	5,7	-	-	-	-	-	2,1	-	-	-	-	10,3
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	2,5	-	5,7	0,4	-	-	-	-	2,1	-	-	-	-	10,7

Tableau B-47 Consommation d'énergie pour la production vierge de papiers minces

	Énergie primaire (GJ/tonne)														Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	GPL	Mazout léger	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	
Acquisition des matières premières	-	-	-	-	-	-	1,67	6,58	1,1	-	-	-	-	-	9,4
Fabrication	2,9	6,0	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	20,4	-	-	34,0
Transport	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	2,9	6,0	4,7	-	0,6	-	1,67	6,58	1,1	-	-	20,4	-	-	43,9

Tableau B-48 Consommation d'énergie pour la production recyclée de papiers minces

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile /lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	-	-	-	3,36
Fabrication	3,8	-	6,0	-	-	-	-	-	3,6	-	-	-	-	13,5
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	3,8	-	6,0	0,4	-	3,4	-	-	3,6	-	-	-	-	17,2

Tableau B-49 Calcul des estimations de l'énergie par tonne pour l'acquisition des matières premières du papier

Intrant	Calcul	Unités	Énergie primaire					
			Kérosène et pétrole de chauffage	Diesel	Mazout léger	Mazout lourd	Total	
a	Consommation de carburant pour la récolte ¹	mégagalitres	0,9	446,6	12,2	15,9	475,6	
b	Contenu énergétique ²	GJ / mégalitre	37 680	38 300	38 800	42 500	157 280	
c	Consommation de carburant pour la récolte	(= a * b)	GJ	33 912	17 104 780	473 360	675 750	18 287 802
d	Consommation de carburant pour récolter du bois à pâte (%) ³	%	50					
e	Consommation de carburant pour récolter du bois à pâte	(= c * d)	GJ	16 956	8 552 390	236 680	337 875	9 143 901
f	Production de bois à pâte ⁴	tonnes	9 570 000					
g	Intensité énergétique de la récolte de bois à pâte	(= e / f)	GJ / tonne	0,00177	0,89367	0,02473	0,03531	0,95548

¹Source : Statistique Canada, CANSIM, tableau 128-0003, données annuelles de 2001

²*Ibid.*

³Le pourcentage est basé sur le meilleur jugement.

⁴Source : site Web de RNCAN, Office de l'efficacité énergétique, Base de données complète sur la consommation d'énergie, consultée le 9 mars 2004, http://oe.nrcan.gc.ca/Neud/dpa/trends_id_ca.cfm

Tableau B-50 Émissions de la gestion des matières résiduelles

Procédé de gestion des matières résiduelles	Coefficient d'émission (kg eCO ₂ par tonne de matières résiduelles)
Collecte et transport des matières résiduelles	10
Équipement lourd des sites d'enfouissement	4
Consommation d'énergie aux installations de valorisation énergétique de matières résiduelles	0,6
Total	14,6

Source : Ralph Torrie. Émissions de gaz à effet de serre provenant de la gestion des matières résiduelles – Conséquences pour la modélisation, septembre 2003.

Tableau B-51 Consommation d'énergie pour la production vierge d'asphalte

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	-	-	0,1	0,01	-	0,03	-	-	-	-	0,1
Fabrication	0,04	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Transport	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	0,04	-	0,3	0,6	-	0,1	0,01	-	0,03	-	-	-	-	1,1

Tableau B-52 Consommation d'énergie pour la production recyclée d'asphalte en utilisant du plastique recyclé

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	0,1	0,01	-	0,1	-	-	-	-	0,17
Fabrication	2,4	0,1	0,6	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,02	-	3,1
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	2,4	0,1	0,6	0,4	0,01	0,1	0,01	-	0,1	-	-	0,02	-	3,6

Tableau B-53 Consommation d'énergie pour la production vierge de verre de TRC

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	-	-	0,73	0,04	-	0,74	-	-	-	-	1,52
Fabrication	0,65	0,24	6,77	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,00	7,69
Transport	-	-	-	0,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58
TOTAL	0,65	0,24	6,77	0,58	-	0,73	0,04	-	0,74	-	-	0,03	0,00	9,79

Tableau B-54 Consommation d'énergie pour la production recyclée de verre de TRC

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	0,6	0,0	-	0,5	-	-	-	-	1,14
Fabrication	1,5	0,1	4,7	-	0,00	-	-	-	-	-	-	0,02	-	6,3
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	1,5	0,1	4,7	0,4	0,0	0,6	0,0	-	0,5	-	-	0,02	-	7,8

Tableau B-55 Consommation d'énergie pour la production vierge de plomb d'œuvre

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	-	-	-	-	-	0,2	0,0	-	0,17	-	-	-	-	0,4
Fabrication	6,08	0,21	2,4	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,1	0,0	8,8
Transport	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
TOTAL	6,1	0,2	2,4	0,6	-	0,2	0,0	-	0,2	0,0	-	0,1	0,0	9,8

Tableau B-56 Consommation d'énergie pour la production recyclée de plomb d'œuvre

	Énergie primaire (GJ/tonne)													Énergie totale (électricité incluse)
	Électricité livrée (GJ/tonne)	Charbon	Gaz naturel	Diesel	GPL	Combustible résiduel	Essence	Huile/Lubrifiants	Pétrole (non spécifié)	Biomasse	Hydraulique	Nucléaire	Autre	
Acquisition des matières premières	0,01	-	-	-	-	0,2	0,0	-	0,2	-	-	-	-	0,42
Fabrication	6,8	0,2	2,3	-	0,00	-	-	-	-	0,01	-	0,08	0,01	9,4
Transport	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
TOTAL	6,8	0,2	2,3	0,4	0,0	0,2	0,0	-	0,2	0,0	-	0,1	0,0	10,2