

ANALYSE DU POTENTIEL D'OBTENTION DE CRÉDITS DE CARBONE POUR
DIFFÉRENTS MODES DE GESTION INTÉGRÉE DES PNEUS HORS D'USAGE DU
SECTEUR INDUSTRIEL SELON LE SCÉNARIO DE BASE DU QUÉBEC

par

Martin Brisebois

travail présenté à madame Judith Vien
dans le cadre de l'Essai

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, 29 janvier 2007

Identification signalétique

ANALYSE DU POTENTIEL D'OBTENTION DE CRÉDITS DE CARBONE POUR DIFFÉRENTS MODES DE GESTION INTÉGRÉE DES PNEUS HORS D'USAGE DU SECTEUR INDUSTRIEL SELON LE SCÉNARIO DE BASE DU QUÉBEC

Martin Brisebois

Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Université de Sherbrooke

janvier 2007

Mots clés : additionnalité, crédits de carbone, développement durable, facteur d'émission, gaz à effet de serre (GES), pneus hors d'usage, récupération, recyclage, réemploi, scénario de base, valorisation énergétique.

En raison de plusieurs de leurs propriétés, les pneus hors d'usage sont des matières résiduelles hautement valorisées dans notre société. Or, les différents modes de gestion existant au Québec (recyclage, réemploi et valorisation énergétique) permettent de réduire les émissions de GES, ce qui leur permet d'aspirer à l'obtention de crédits de carbone sur les marchés boursiers de ce type de commodité (CCX et ECX). Il s'avère que le recyclage est le mode de gestion le plus utilisé (77 %) et par conséquent est identifié comme le scénario de base sur le territoire québécois. En appliquant le principe d'additionnalité, la valorisation énergétique est la seule forme de mise en valeur réduisant les émissions de GES dans le secteur industriel des pneus hors d'usage. De plus, il y a lieu de s'interroger sur la solution qui est à prioriser dans une perspective de développement durable. En effet, même si la valorisation énergétique se démarque en réduisant les impacts au niveau des changements climatiques, elle a un impact négatif sur les autres aspects de l'environnement (rejet de contaminants) ainsi que sur la perception de la société en regard des grands émetteurs finaux (GEF). Le réemploi serait donc la solution optimale à favoriser dans une optique de développement durable, car il prolonge le cycle de vie des matériaux plus longtemps; tant qu'il y a disponibilité de pneus en suffisamment bon état.

Sommaire

Le système de gestion des pneus hors d'usage implanté au Québec est reconnu à travers le monde pour son haut taux de récupération (88 %) ainsi que la simplicité du système mis en application à l'aide du *Programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage 2002-2008*. Ce programme intègre le concept des 3 RV-E, développe le marché de la mise en valeur par ses subventions et crée des lois qui obligeront les détenteurs de sites d'entreposage de les vider d'ici 2008. Trois types de mise en valeur sont identifiés sur le territoire québécois : réemploi (remoulage/rechapage), recyclage (primaire et secondaire) et valorisation énergétique. Avec l'implantation de marchés d'échange de crédits de carbone, une résultante du protocole de Kyoto, il est maintenant possible pour une entreprise réductrice de gaz à effet de serre (GES) d'obtenir une compensation pour ses efforts de réduction des émissions; un crédit de carbone ayant une valeur x sur les différents marchés (CCX et ECX). Cette étude s'intéresse donc au potentiel d'obtention de crédits de carbone pour les différents modes de gestion des pneus hors d'usage au Québec. En effet, ce type de matière résiduelle est répandu dans notre société et il a une grande valeur énergétique ainsi que monétaire; le caoutchouc et l'acier plus particulièrement sont des composés recherchés dans les procédés industriels contemporains. Afin de connaître laquelle de ces formes a le plus haut potentiel d'obtention de crédits de carbone, il faut identifier le scénario de base, calculer la réduction des émissions de chacune des mises en valeur, et calculer l'attribution des crédits, s'il y en a, selon le scénario de base de la gestion des pneus hors d'usage au Québec.

Tout d'abord, le concept de scénario de base est défini comme étant la situation qui prime sans effort particulier de réduction des émissions de GES. Il est déterminé par les lois et les règlements en vigueur, ainsi que les tendances observées dans l'industrie. Bref, si la majorité des entreprises de mise en valeur des pneus hors d'usage effectuent du recyclage, et c'est le cas au Québec, c'est ce dernier qui est le scénario de base. Normalement la démarche à suivre selon ISO 14064 serait de calculer l'écart (décroissance) entre les émissions de GES des modes de gestion par rapport à celles du scénario de référence. Certes, les différents types de traitement peuvent produire des émissions par leurs procédés industriels, mais quand est-il des émissions évitées? Par conséquent, dans les cas de mise en valeur, il ne faut pas seulement calculer les émissions associées au mode de gestion en soi, mais bien en comparaison avec une situation de ne rien faire. Par exemple, le recyclage

empêche la création de caoutchouc et d'acier vierge en remettant en circulation ces matériaux, car si on ne faisait pas de recyclage, il faudrait créer ces matériaux pour les entreprises qui en ont besoin. Donc, l'approche préconisée dans ce travail ne correspond pas à celle d'ISO 14064, car elle considère les solutions de traitement des pneus hors d'usage par rapport à ne rien faire.

Ensuite, il est primordial de mentionner que la possibilité d'être récompensé pour des efforts de réduction des émissions de GES n'est possible que depuis quelques années. La venue du protocole de Kyoto en 1997 a permis l'ouverture d'un nouveau type de marché de commodité qui octroie des crédits : réduction d'une tonne de CO₂ équivalent = un crédit de carbone. L'engagement des pays de l'Annexe 1 du protocole de Kyoto, qui est de réduire leurs émissions de 5,2 % en deçà du seuil de 1990, force ceux-ci à prendre des initiatives envers les GEF (normes plus sévères) et ainsi favoriser la création de marché d'échange de crédits de carbone.

Ces trois formes de traitement des pneus hors d'usage réduisent les émissions en comparaison à ne rien faire. En effet, le calcul du recyclage et du réemploi tient compte non seulement des émissions occasionnées par les procédés en soi, mais également des matériaux sauvés qui remplacent donc des matières premières, qui autrement auraient été produites. Par conséquent, la démarche d'ISO n'est pas respectée, car on ne considère pas seulement les émissions générées par les procédés en comparaison avec le scénario de base, mais bien des émissions évitées grâce au prolongement du cycle de vie des matériaux (ex. fibres textiles, caoutchouc, acier, noir de carbone). La valorisation énergétique des pneus hors d'usage remplace des matériaux émettant davantage de GES, donc, encore une fois, le protocole proposé par ISO n'est pas entièrement suivi, car l'on tient compte de ce qui aurait eu lieu sans faire de valorisation des pneus : la combustion de coke de charbon et d'huile no.6. En appliquant le principe d'additionnalité, l'écart entre les émissions du type de traitement et du scénario de base, il s'avère que la valorisation énergétique est le mode de gestion le plus réducteur d'émission de GES selon la démarche proposée dans ce travail. En outre, les matériaux remplacés par les pneus hors d'usage dans les fours des cimenteries et leur proportion sont d'une grande importance, car si les pneus hors d'usage s'avéraient générer davantage de GES que ce qu'ils remplacent, pour une valeur calorifique équivalente, cette solution ne serait plus valable.

La solution la plus réductrice de GES n'est pas forcément celle qui doit être favorisée dans notre société dans une optique de développement durable. Certes, la valorisation énergétique peut diminuer les effets négatifs anthropiques sur les changements climatiques, mais elle engendre des rejets de contaminants pouvant affecter l'environnement plus significativement que les GES. Par conséquent, il ne faut pas trop vite choisir la valorisation énergétique pour régler un problème d'actualité (les changements climatiques), mais bien réfléchir à tous les impacts attribuables à cette forme de gestion dans une optique de développement durable. Cette solution en tant que réduction des émissions de GES n'est pas la plus respectueuse des générations futures. Bon dernier, la valorisation énergétique est loin derrière avec un pointage de 44,25 % selon une analyse comparative par critères pondérés. Ses contre-performances dans les pôles social (10,5/30) et environnemental (12,5/40) sont attribuables principalement aux émissions de divers contaminants dans l'environnement attribuable aux grands émetteurs finaux (GEF). Les résultats sont tellement rapprochés entre le recyclage et le réemploi (61,5 % et 62,5 %) qu'on ne peut pas se prononcer clairement sur le choix à privilégier selon le développement durable. Un argument qui donnerait un poids supplémentaire dans la prise de décision serait que le réemploi est la forme de mise en valeur qui prolonge le plus longtemps le cycle de vie des matières résiduelles. Le pneu ré-usiné est en amont du recyclage dans le concept des 3 RV-E et après une seconde utilisation du produit, le pneu pourrait alors se diriger vers le recyclage et finalement vers la valorisation énergétique. Ce raisonnement s'applique selon la condition du pneu, car s'il est en trop mauvais état pour être remoulé, le recyclage s'avère la solution à privilégier.

Table des matières

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES	VII
INTRODUCTION	1
1. PORTRAIT QUÉBÉCOIS DE LA GESTION DES PNEUS HORS D’USAGE	4
1.1 Historique des événements relatifs à la gestion des pneus hors d’usage au Québec.....	4
1.2 Cadre réglementaire.....	7
1.3 Performance du système de gestion des pneus hors d’usage mis en place	9
1.4 Particularités des pneus	12
1.4.1 Composition des pneus.....	12
1.4.2 Types de pneus	13
2. IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS MODES DE GESTION DES PNEUS USÉS	15
2.1 Remoulage et rechapage des pneus hors d’usage	15
2.2 Recyclage primaire	16
2.3 Recyclage secondaire	17
2.4 Valorisation énergétique.....	18
2.5 Comparaison des différents modes de gestion des pneus hors d’usage	20
3. IDENTIFICATION DU SCÉNARIO DE BASE QUÉBÉCOIS DE LA GESTION DES PNEUS HORS D’USAGE	22
3.1 Définition d’un scénario de base	22
3.2 Scénario de base de la gestion des pneus hors d’usage au Québec en 2006.....	24
4. KYOTO ET LES MARCHÉS DE CRÉDITS DE CARBONE	27
4.1 Protocole de Kyoto.....	27
4.1.1 Ordre chronologique de l’émergence du protocole de Kyoto.....	28
4.1.2 Description du protocole de Kyoto.....	30
4.2 Objectifs du Canada	31
4.3 Marchés de crédits de carbone.....	33
5. CALCUL DE LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GES DANS LA GESTION DES PNEUS HORS D’USAGE.....	35
5.1 Méthodologie de calcul pour le remoulage/rechapage des pneus usés.....	36
5.1.1 Établissement de la formule	36
Émissions directes évitées	36
Émissions indirectes évitées	37
Émissions directes produites	38

Total des émissions créditées	39
5.1.2 Explication de la méthodologie	39
5.2 Méthodologie de calcul pour le recyclage des pneus usés	41
5.2.1 Établissement de la formule	41
Émissions directes évitées	42
Émissions indirectes évitées	42
Émissions directes produites	44
Total des émissions créditées	45
5.2.2 Explication de la méthodologie	45
5.3 Méthodologie de calcul pour la valorisation énergétique des pneus usés	47
5.3.1 Établissement de la formule	47
Émissions directes évitées	47
5.3.2 Explication de la méthodologie	49
5.4 Limite des calculs	50
5.5 Protocole de recherche des coefficients d'émissions	51
6. COMPARAISON DES DIFFÉRENTS MODES DE GESTION INTÉGRÉE ..	52
6.1 Évaluation des répercussions des différents modes de gestion sur la réduction des émissions de GES ..	52
6.1.1 Calcul et explication de la réduction pour le réemploi	53
6.1.2 Calcul et explication de la réduction pour le recyclage	54
6.1.3 Calcul et explication de la réduction pour la valorisation énergétique	55
6.1.4 Comparaison de la réduction des émissions de GES	56
6.2 Évaluation des répercussions des différentes méthodes de gestion dans une perspective de développement durable	57
6.2.1 Élaboration des critères d'analyses	58
6.2.2 Analyse par avantages-inconvénients	60
6.2.3 Analyse comparative par critères pondérés	63
6.3 Discussion quant au mode de gestion le plus réducteur d'émissions de GES vs l'optimal	74
7. ATTRIBUTION DES CRÉDITS DE CARBONE	77
CONCLUSION	80
RÉFÉRENCES	82

Liste des figures et des tableaux

Figure 1.1.	Diagramme illustrant l'ordre chronologique des événements	4
Figure 1.2.	Photographie d'un site d'entreposage organisé en îlots	5
Figure 1.3.	Schéma représentant le fonctionnement du système mis en place par Recyc-Québec quant à la gestion des pneus hors d'usage.....	8
Figure 1.4.	Représentation graphique de la gestion des pneus hors d'usage au Québec en 2005-2006	10
Figure 1.5.	Illustration de la dimension des pneus surdimensionnés.....	14
Figure 2.1.	Illustration d'une étape du remoulage : le changement de semelle usée.....	15
Figure 2.2.	Étapes générales du recyclage primaire	17
Figure 2.3.	Photographie d'un tapis de terrain de jeux fait à base de caoutchouc recyclé.....	18
Figure 4.1.	Effort relatif de réduction des émissions de GES en 2003 selon les objectifs fixés par les pays de l'Annexe B du protocole de Kyoto.....	32
Tableau 1.1.	Subventions accordées par le programme d'aide à la valorisation des pneus hors d'usage de Recyc-Québec envers les différentes entreprises de mise en valeur.....	6
Tableau 1.2.	Obligations découlant du règlement sur l'entreposage des pneus hors d'usage.....	7
Tableau 1.3.	Caractéristiques intrinsèques à chaque classe de pneus.....	13
Tableau 2.1.	Produits fabriqués à base de caoutchouc recyclé.....	18
Tableau 4.1.	Suite d'événements politique qui ont engendré l'apparition du protocole de Kyoto.....	28
Tableau 4.2.	Suite d'événements politique qui sont survenus après l'apparition du protocole de Kyoto	29
Tableau 4.3.	Mécanismes favorisant la lutte contre les changements climatiques.....	30
Tableau 6.1.	Comparaison de la réduction des émissions de GES entre les trois types de mise en valeur des pneus hors d'usage pour l'exemple des 10 000 ÉPA.....	56
Tableau 6.2.	Analyse comparative des avantages et des inconvénients des trois modes de gestion des pneus hors d'usage selon des critères issus du développement durable.....	61
Tableau 6.3.	Grille d'analyse comparative des trois modes de gestion des pneus hors d'usage selon des critères pondérés issus du développement durable.....	65
Tableau 6.4.	Justification de la pondération octroyée pour chaque critères du développement durable	71
Tableau 6.5.	Recommandations quant au choix du mode de gestion à privilégier	75
Tableau 7.1	Potentiel d'obtention de crédits de carbone pour les trois mode de gestion et selon un exemple fictif de 10 000 ÉPA à traiter.....	77

Liste des acronymes, des symboles et des sigles

3 RV-E	Modèle de priorité empirique en gestion des matières résiduelles : Réduction, Réemploi, Recyclage, Valorisation et Élimination
C	Symbole chimique du carbone
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CCX	Chicago Climate Exchange
CDM	Clean development mechanism
CH ₄	Méthane
CIWMB	California Integrated Waste Management Board
CO ₂	Dioxyde de carbone
CP ₁	Première conférence des parties
CSA	Canadian Standard Association
D _{Hydro}	Combustion des hydrocarbures contenus dans le caoutchouc
ECX	European Climate Exchange
E _{MV}	Émissions générées par les opérations de mise en valeur des pneus hors d'usage
E _B	Émissions qui auraient été occasionnées par la combustion du Bunker « c »
E _{BP}	Émissions qui auraient été engendrées par la combustion du Bunker « c » sans le remplacement par des pneus hors d'usage
E _C	Émissions évitées qui auraient été produites par la valorisation énergétique du coke de charbon
E _{CP}	Émissions qui auraient été produites par la valorisation énergétique du coke de charbon sans le remplacement par des pneus usés
E _{Diesel}	Émissions liées à la consommation de diesel pour le recyclage des pneus hors d'usage
E _F	Émissions produites par la combustion des fibres textiles
E _{GazNaturel}	Émissions liées à la consommation de gaz naturel pour une année pour le recyclage des pneus hors d'usage
E _{kW}	Émissions liées à l'usage d'électricité pour une année pour le recyclage des pneus hors d'usage
E _P	Émissions de GES produites par la combustion des pneus
E _{Propane}	Émissions liées à la consommation de propane pour une année pour le recyclage des pneus hors d'usage
EPA	Environmental Protection Agency
ÉPA	Équivalent pneu automobile (9,1 kg)
FCS	Fraction de caoutchouc de la semelle du pneu remplacée par du nouveau caoutchouc
FE	Facteur d'émissions de CO ₂ eq pour le noir de carbone brûlé
FE _B	Facteur d'émission de GES pour la combustion du bunker « c »
FE _C	Facteur d'émission de GES pour la combustion du coke de charbon
FE _{FT}	Facteur d'émission de GES pour la combustion des fibres textiles
FEA	Facteur d'émission de la production d'acier au Canada
FNCS	Fraction de noir de carbone de la semelle du pneu remplacée par du nouveau noir de carbone
GEF	Grands émetteurs finaux
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GJ	Giga Joule
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
I	Indice d'émission pour la production du caoutchouc
I _C	Indice d'émission lors de la création de nouveau caoutchouc strictement du point de vue énergétique
I _{NC}	Indice d'émission lors de la création de nouveau noir de carbone strictement du point de vue énergétique
IPCC	Intergovernmental panel on climate exchange
ISO	International Organization for Standardization
kg	Kilogramme
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-heure

m ³	Mètre cube
MBTU	Million British thermal units
MDP	Mécanismes de développements propres
MF	Masse de fibres textiles envoyées dans les fours à cimenterie
MP	Masse de pneus (tonne)
NIMBY	Not in my back' yard
N ₂ O	Oxyde nitreux
NO _x	Oxydes d'azote
OTR	Off the road
P ₁	Pourcentage de caoutchouc (synthétique et naturel) contenu dans un pneu moyen de camion ou de voiture
P ₂	Pourcentage moyen de noir de carbone dans un pneu
P ₃	Pourcentage moyen de fibres textiles dans un pneu
P _A	Pourcentage d'acier contenu dans un pneu moyen de camion ou de voiture
QA	Quantité d'acier annuellement recyclée
QD	Quantité de litres de diesel
QGN	Quantité de gaz naturel en m ³
QPR	Quantité de propane en litres
RE _{AR}	Réduction des émissions en recyclant l'acier
RE _{CR}	Réduction des émissions de GES en utilisant du caoutchouc recyclé
RE _{CV}	Réduction des émissions en empêchant la création de caoutchouc vierge pour le réemploi
RE _{NC}	Réduction des émissions en empêchant la création de noir de carbone vierge
RE _{RA}	Réduction des émissions en réemployant l'acier
RE _T	Réduction des émissions totale
RE _V	Réduction des émissions dues à la valorisation énergétique des fibres textiles
RE _{VP}	Réduction des émissions dues à la valorisation énergétique de pneus
SO ₂	Dioxyde de soufre
t	Tonne
tCO ₂ eq	Tonne de dioxyde de carbone équivalent
UE	Union européenne
URCE	Unités de Réduction Certifiées des Émissions
URE	Unités de Réduction des Émissions
UQA	Unités de Quantités des Émissions
VC _B	Valeur calorifique du bunker « c »
VC _C	Valeur calorifique du coke
VC _F	Valeur calorifique des fibres textiles

Introduction

La mise en valeur des différentes matières résiduelles prend de plus en plus d'ampleur sous les conditions qui prévalent actuellement dans nos sociétés. Certes, la dégradation accentuée des milieux naturels engendrée par une surexploitation des ressources naturelles non renouvelables, ou en voie de l'être, pousse les sociétés actuelles à prolonger le cycle de vie des matières secondaires. D'autre part, l'émergence de certains pays parmi les puissances économiques mondiales augmente significativement le nombre de consommateurs et la mondialisation des marchés accélère le processus d'épuisement des ressources naturelles.

Les pneus hors d'usage constituent une fraction importante des matières résiduelles générées par nos sociétés. Le pneu d'aujourd'hui est un matériau plus complexe que par les décennies passées. Depuis les années 70, il est constitué d'une jante en acier en plus des fibres textiles, des mélanges de caoutchouc synthétique et naturel ainsi que des nombreux agents augmentant la résistance du pneu aux intempéries (Olivier 2005; Germain 2006). En outre, le caoutchouc est une composante très stable et durable ayant une valeur calorifique élevée. Bref, le pneu est grandement utilisé dans notre société et il renferme des composés essentiels dans la fabrication de nombreux produits industriels, principalement l'acier et le caoutchouc; c'est pourquoi il est intéressant de le valoriser.

Dans un souci de concilier les différents aspects du développement durable, comment serait-il possible de permettre une seconde utilisation des pneus en accord avec la réalité des marchés, de la société et du respect de l'environnement? Même si une technique de traitement des pneus hors d'usage est la plus efficace du point de vue environnemental (zéro déchet), elle n'est peut être pas économiquement viable et alors la société ne sera pas prête à déboursier des frais exorbitants pour le traitement de ses pneus usés. Certains incitatifs économiques existent pour soutenir les entreprises de valorisation des pneus hors d'usage dans leurs choix du mode de gestion à préconiser, par exemple le marché des crédits de carbone.

Plusieurs pays se sont engagés à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) en ratifiant le protocole de Kyoto, et depuis, certains marchés d'échange ont vu le jour. Suite à cet accord, une entreprise diminuant les émissions de GES et faisant partie des pays

signataires de l'Annexe 1, peut avoir droit à un certain nombre de crédits de carbone qui ont une valeur sur ces marchés; à condition que la réduction soit plus importante que le scénario de base en place pour ce type d'industrie (additionnalité). En outre, le scénario de base est la tendance observée dans l'industrie selon les lois en places. Par conséquent, pour se démarquer et avoir droit à des crédits de carbone, une entreprise devra réduire davantage les émissions de GES que ce qui est observé comme tendance dans le milieu. Le premier objectif général de cette étude est d'identifier le mode de gestion des pneus hors d'usage qui est le plus efficace afin de réduire les émissions de GES au Québec. Pour ce faire, plusieurs objectifs spécifiques seront à atteindre :

1. Identification et description des différents modes de gestion des pneus usés,
2. Identification du scénario de base québécois,
3. Élaboration de matrices de calcul des GES,
4. Élaboration de critères d'analyses environnementaux, sociaux et économiques,
5. Création d'une grille d'analyse des différents modes de gestion,
6. Justifications de la pratique de gestion préconisée.

Chacun de ces sous objectifs sera traité tout au long du travail dans le même ordre que celui présenté ci-dessus, mais avant de les aborder, une mise en contexte est nécessaire. La première section de ce travail dressera un portrait de la gestion des pneus usés au Québec, pour donner un aperçu des pratiques actuelles reliées à l'élimination des pneus usés. Il s'agit d'une analyse de la situation actuelle de l'industrie de la valorisation des pneus hors d'usage. Après quoi, les modes de gestion présents sur le territoire québécois seront identifiés et décrits, suivi de l'analyse de ces pratiques de traitement afin de déceler celle qui est utilisée le plus fréquemment (scénario de base). Puis, avant de procéder au calcul de la réduction des émissions, une brève mise en contexte avec le protocole de Kyoto et le fonctionnement des marchés d'échanges de crédits de carbone sera réalisée.

Le deuxième objectif général de cette étude est de vérifier si les avenues de gestion les plus intéressantes pour la réduction des émissions de GES le sont aussi pour les impacts environnementaux et sociaux. Une comparaison entre le mode de gestion permettant la plus importante réduction d'émissions de GES et le plus respectueux des générations futures (développement durable) sera accomplie dans l'espoir d'orienter le lecteur vers le mode de gestion adéquat à appliquer. Enfin, un volet portant sur l'attribution des crédits de

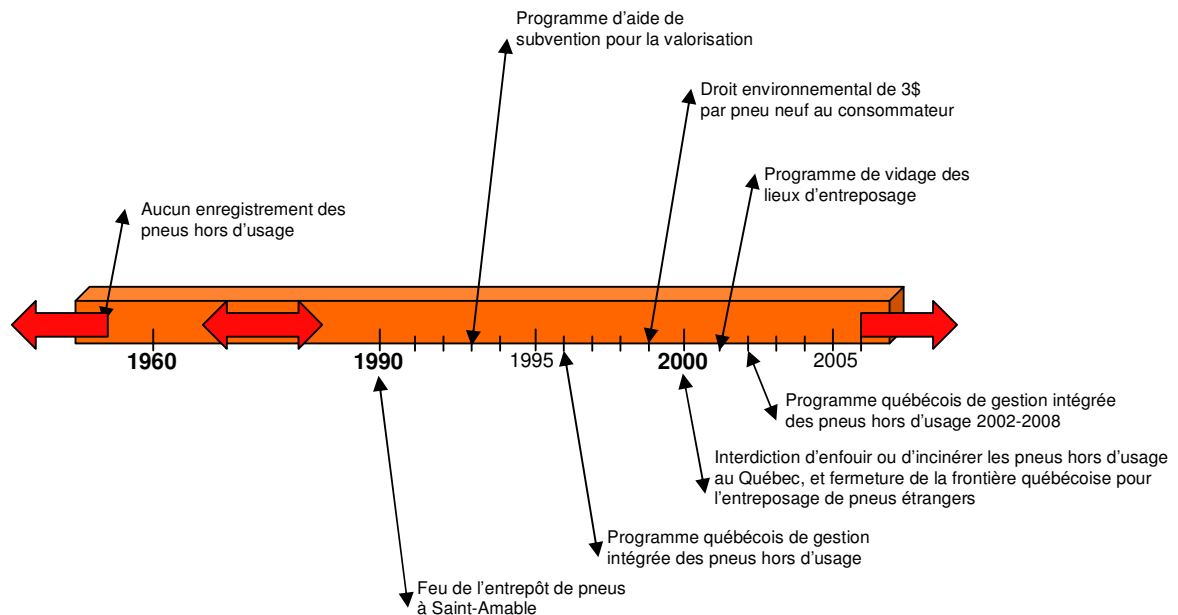
carbone mettra en valeur le ou les modes de gestion les plus performants quant à la réduction des émissions.

Il faut cependant ajouter que des études plus approfondies permettront éventuellement de valider et de compléter les méthodologies de calculs proposées dans cet ouvrage. Les calculs utilisés ont pour objectif d'observer une divergence entre les modes de gestion sans toutefois avoir la prétention d'être parfaitement précis. Bref, ce sont des estimations dans la mesure où ce sera toujours le même raisonnement qui déterminera la méthodologie : estimer la réduction des émissions (RE) en effectuant la somme de toutes les étapes évitant des émissions (ex. limiter la production d'acier à l'état vierge) et en soustrayant celles produisant des émissions (ex. consommation d'énergie par l'usine de mise en valeur). Par la suite, afin de savoir si cette pratique aurait le droit de recevoir des crédits de carbone, il faut soustraire la réduction qui aurait été faite par le scénario de base (additionnalité) et s'assurer qu'elle respecte les conditions du système boursier. Par contre, cette démarche n'est pas conforme avec celle proposée par ISO 14064, car l'estimation de la réduction est calculée en considérant chaque projet par rapport à ne rien faire. Donc, au lieu de comparer les émissions de chaque mode de gestion par rapport aux émissions du scénario de base dans un processus normal d'ISO, les émissions évitées par rapport à ne rien faire sont également incluses. Cette nouvelle marche à suivre est nécessaire dans ce travail, car la mise en valeur des matières résiduelles permet de donner une seconde vie aux matériaux et ainsi ralentir indirectement la production de matériaux vierges, qui génèrent évidemment des GES. En somme, cette étude portera sur les procédés de traitement des pneus hors d'usage seulement, et dans le cas présent, car dans quelques années, le scénario de base pourrait changer ou une technique de traitement des pneus usés plus efficace pourrait apparaître sur le marché.

1. Portrait québécois de la gestion des pneus hors d'usage

Les pneus font partie de la vie quotidienne depuis l'ère industrielle et le Québec ne fait pas exception à la règle. Il est important d'avoir une vision provinciale au Canada de la gestion des pneus hors d'usage, car il n'y a pas de programme réglementaire d'encadrement des matières résiduelles au niveau national. L'environnement est une compétence de juridiction fédérale et provinciale, mais les matières résiduelles ne sont pas couvertes par le gouvernement fédéral. Donc, c'est à l'intérieur des règles définies dans chaque province canadienne que se développe la valorisation des matières résiduelles, comme les pneus hors d'usage. Cette section a pour objectif de présenter le portrait de la gestion des pneus hors d'usage au Québec, ainsi que de comparer son encadrement légal et son développement avec celui des autres provinces canadiennes afin de se situer au niveau mondial.

1.1 Historique des événements relatifs à la gestion des pneus hors d'usage au Québec



Inspiré de Recyc-Québec (2006b, p.3)

Figure 1.1. Diagramme illustrant l'ordre chronologique des événements

- **Avant 1960** : Aucun enregistrement des pneus hors d'usage n'est effectué. Les pneus usés sont soit envoyés dans les dépotoirs avec les autres ordures, soit abandonnés sous forme de dépôt sauvage ou brûlés avec ou sans récupération de la chaleur dégagée (Olivier 2005).
- **1990** : Catastrophe dans la localité de Saint-Amable, le dépôt de pneus brûle (3,5 millions de pneus) pendant 6 jours et les dommages environnementaux sont considérables (12 millions \$ pour décontaminer le sol), sans compter les grandes quantités de polluants rejetés dans l'atmosphère (Olivier 2005). Cet événement est sans précédent pour les Québécois et une réforme complète est à prévoir. Suite à cet accident, tous les sites d'entreposages ont été sécurisés par îlotage et clôturés rapidement (voir figure 2).



tiré de CATRA (2006)

Figure 1.2. Photographie d'un site d'entreposage organisé en îlots

- **1993** : *Programme de subvention pour la valorisation des pneus hors d'usage*. La distribution de l'aide est décrite au tableau 1.1.
- **1996** : *Programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage*. Les objectifs définis dans cette première version seront repris dans la version 2002-2008.
- **1999** : Imposition d'un droit environnemental de 3 \$ par pneu neuf facturé aux consommateurs québécois. Ce droit permet de recueillir des fonds pour les programmes de subventions avancés par Recyc-Québec. En faisant un calcul rapide, on peut estimer le montant recueilli chaque année, car les Québécois achètent environ 7,2 millions de pneus chaque année (CATRA 2006); $7,2 \text{ millions de pneus} * 3 \$ = 21,6 \text{ millions}$ approximativement.

Tableau 1.1. Subventions accordées par le programme d'aide à la valorisation des pneus hors d'usage de Recyc-Québec envers les différentes entreprises de mise en valeur

Type de valorisation	Montant octroyé
Rechapage et remoulage	3 \$/pneu
Recyclage primaire	
- Granulation grossière	50 \$/tonne
- Granulation fine (poudrette)	125 \$/tonne
Recyclage secondaire	
- À partir des gros morceaux	35 \$/tonne
- À partir de la poudrette	50 \$/tonne
Valorisation énergétique	50 \$/tonne

Tiré de Olivier (2005, p.153)

- **2000** : Interdiction d'enfouir ou d'incinérer les pneus hors d'usage au Québec à partir de cette date. Fermeture de la frontière québécoise pour l'importation de pneus usés destinés à être entreposés; cette interdiction permet d'avoir un plus grand contrôle sur le flux de pneus à gérer sur le territoire.
- **2001** : *Programme de vidage des lieux d'entreposage*. Les dépôts anciens devront être éliminés d'ici 2008. Bref, l'objectif du gouvernement est d'éradiquer tous les sites d'entreposage de pneus usés au Québec : 674 petites réserves de pneus et 12 grands sites de dépôts de pneus hors d'usage (Recyc-Québec 2006a).
- **2002** : *Programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage 2002-2008*. Ce programme reprend les mêmes objectifs de valorisation que dans l'ancienne version (1996). Les points saillants du programme sont tout d'abord la mention du cheminement des pneus usés vers les trois types de mise en valeur présents au Québec, dans l'ordre suivant : 1 - Remoulage et rechapage, 2 - Recyclage et 3 – Valorisation (Recyc-Québec 2002a). Cette disposition de la distribution des pneus récupérés est inspirée des 3 RV-E. Certes, si la distribution des pneus passait directement à la valorisation énergétique, il est peu probable que les matériaux composants le pneu puissent à jamais être valorisés à nouveau. Les autres points saillants du document sont : l'objectif du déchet zéro, en interdisant l'enfouissement

depuis 2000 et l'entreposage des pneus à partir de 2008, et l'atteinte de 85 % de récupération des pneus à chaque année (Recyc-Québec 2006b).

1.2 Cadre réglementaire

Règlement sur l'entreposage des pneus hors d'usage (c. Q-2, r.6.1)

Ce règlement est rattaché à la Loi sur la qualité de l'environnement et la première version date de 1992. Plusieurs points importants sont à retenir de ce règlement et il complète l'encadrement de la gestion des pneus hors d'usage au Québec avec les programmes de Recyc-Québec.

Tableau 1.2. Obligations découlant du règlement sur l'entreposage des pneus hors d'usage

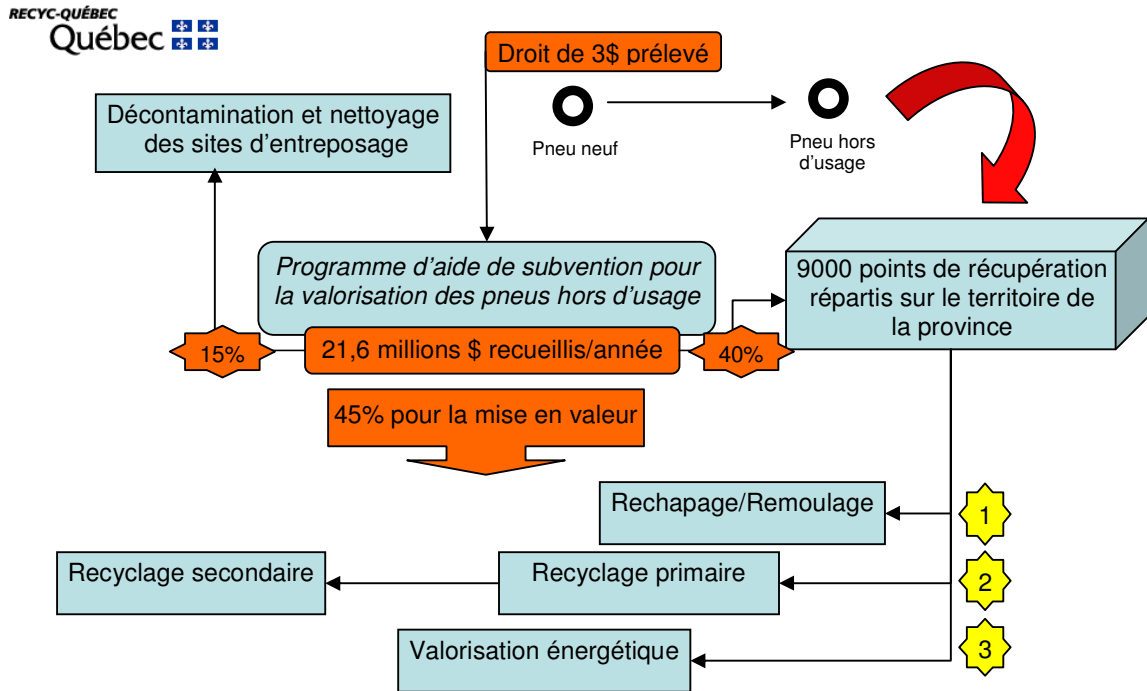
Sections	Points saillants
I.1 Dispositions relatives à l'entreposage permanent de pneus hors d'usage	<ul style="list-style-type: none"> - Interdiction de créer ou d'agrandir un site d'entreposage - Interdiction d'accumuler des pneus hors d'usage dans un site d'entreposage, à l'exception de ceux qui, le 30 avril 2000, avaient déjà un certificat d'autorisation ou un certificat de conformité pour un lieu d'entreposage de pneus hors d'usage. - D'ici le 31 décembre 2008, tous ceux qui détiennent un site d'entreposage devront le vider et le remettre dans l'état dans lequel il était avant l'entreposage des pneus hors d'usage.
I.2 Dispositions particulières aux entreprises de valorisation	<ul style="list-style-type: none"> - Une entreprise de valorisation ne peut entreposer des pneus usés plus qu'elle n'en a besoin pour son exploitation pour une période allant jusqu'à 6 mois.
II Plan de Prévention d'incendies et de mesures d'urgence	<ul style="list-style-type: none"> - Ceux qui entreposent des pneus hors d'usage doivent avoir un plan de prévention d'incendies et de mesures d'urgence.
VI Normes d'aménagement	<ul style="list-style-type: none"> - Ceux qui entreposent des pneus hors d'usage doivent aménager les lieux en suivant certaines conditions : avoir un système de drainage des eaux de ruissellement selon la topographie du terrain, disposer les pneus en îlots, clôturer le site, aménager une zone tampon et une aire de circulation.
VIII Registre	<ul style="list-style-type: none"> - La tenue d'un registre est obligatoire pour ceux qui entreposent les pneus usés. - Ce registre doit tenir à jour la quantité totale de pneus hors d'usage du site, en plus des quantités qui sont apportées ou enlevées périodiquement.

Tiré de Publication Québec 2006

Le règlement sur l'entreposage des pneus hors d'usage est accessible au lien suivant : http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R6_1.htm (Publication Québec 2006).

De plus, il y a les nombreux programmes instaurés par Recyc-Québec mentionnés précédemment qui donnent un cadre à la gestion des pneus hors d'usage dans la province québécoise : le droit environnemental de 3 \$ par pneu neuf, le *Programme de vidage des lieux d'entreposage*, le *Programme d'aide de subvention pour la valorisation des pneus hors d'usage* ainsi que le *Programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage 2002-2008*, qui peut être consulté au lien suivant :

http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzzzzzProgr_134.pdf (Recyc-Québec 2002a).



Inspiré de Germain (2006) et Recyc-Québec (2002a)

Figure 1.3. Schéma représentant le fonctionnement du système mis en place par Recyc-Québec quant à la gestion des pneus hors d'usage

Le fonctionnement du système instauré par Recyc-Québec est représenté à la figure 1.3.. Il est à noter que la bougie d'allumage d'un tel système vient du consommateur qui paie un droit « environnemental » de 3 \$ par pneu neuf acheté, et par conséquent des revenus d'environ 21,6 millions dollars par année sont générés; les Québécois consomment

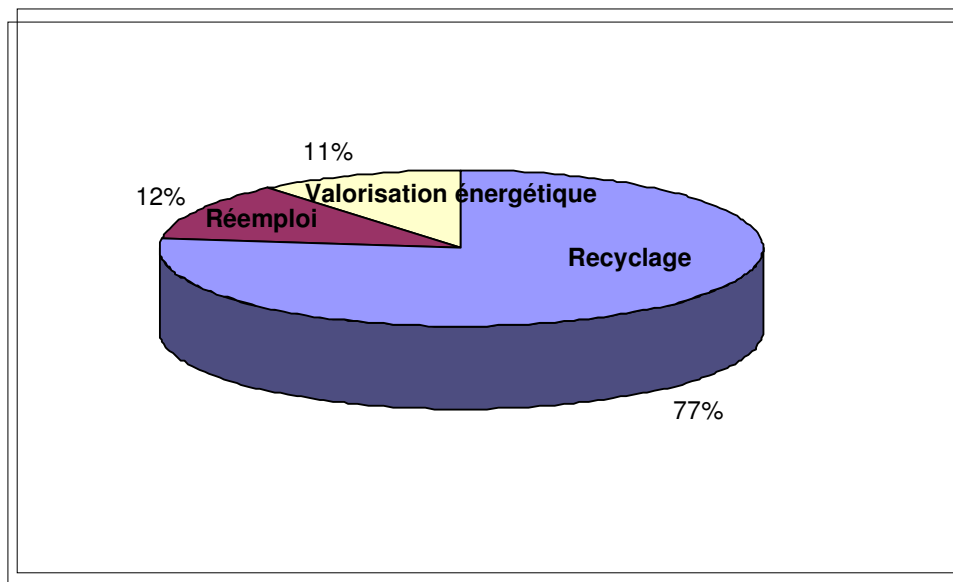
approximativement 7,2 millions de pneus par année (Recyc-Québec 2006b). Ce revenu est départagé entre la décontamination et le nettoyage des sites d'entreposage, qui devraient tous être vidés et remis dans leur état d'origine d'ici 2008, entre la récupération des pneus usés dans les différents centres inscrits au programme (détaillants ou garagistes) et entre l'aide versée aux entreprises de mise en valeur. Les pneus en bon état sont tout d'abord envoyés au réemploi, ensuite vers le recyclage et les pneus en moins bon état sont finalement transportés vers la valorisation énergétique (fours à cimenteries principalement) (Recyc-Québec 2002a). En suivant ce raisonnement, la valorisation énergétique devrait être délaissée dans les prochaines années, car lorsque les 686 sites d'entreposages seront tous vidés en 2008, il ne restera que des pneus usés en bon état. En effet, les pneus hors d'usage provenant des consommateurs immédiats sont moins abîmés que ceux entreposés depuis fort longtemps dans les sites d'entreposages. Bref, d'ici quelques années, Recyc-Québec ne devrait plus déterrer de pneus vieux de 50 ans!

1.3 Performance du système de gestion des pneus hors d'usage mis en place

Notre système de gestion des pneus hors d'usage favorise les 3 RV-E et semble très simple pour le consommateur qui doit seulement payer un droit environnemental de 3 \$ par pneu neuf, mais est-il le meilleur?

Le système implanté par Recyc-Québec a permis de vider 644 des 674 petits sites d'entreposage de pneus hors d'usage à ce jour, ainsi que 7 des 12 gros sites (CATRA 2006). Le gouvernement estime à 22 millions le nombre de pneus récupérés de ces sites jusqu'à présent sur approximativement 25 millions de pneus entreposés. L'objectif de récupération de 85 % des pneus hors d'usage produit chaque année fut atteint en 2002, six ans avant la date d'échéance, et Recyc-Québec estime à plus de 50 millions le nombre de pneus qui ont été récupérés depuis 1993; incluant les pneus provenant des sites d'entreposage et ceux du flux annuel (Recyc-Québec 2006b). En 2005-2006, plus de 7 millions de pneus hors d'usage étaient générés au Québec, équivalent à 8,4 ÉPA (équivalent pneu automobile), et sur ce chiffre, plus de 6,3 millions d'ÉPA étaient recyclés ou valorisés énergiquement et 1 million d'ÉPA étaient destinés au réemploi (voir figure 1.4.). Le reste, environ 1,1 ÉPA, était exporté dans les pays en voie de développement pour être valorisé énergiquement (CATRA 2006). Par contre, le réseau de récupération actuel

ne pourra jamais atteindre la note parfaite de 100 % de récupération, car il ne couvre pas les pneus surdimensionnés, donc les entreprises désirant valoriser ce type de pneu doivent déboursier de leur poche pour le transport (TERR 2004). Toutefois, le programme de subvention, instauré par Recyc-Québec, alloue un montant pour la mise en valeur de tous les pneus (voir tableau 1.1.). Alors, sans aide monétaire pour la récupération des pneus surdimensionnés, seulement 18 % de ce type de pneu est recyclé actuellement au Québec (TERR 2004).



Inspiré de CATRA (2006)

Figure 1.4. Représentation graphique de la gestion des pneus hors d'usage au Québec en 2005-2006

À présent, comparons notre système avec ceux implantés dans le reste du Canada. Parmi les neuf provinces affichant un programme de récupération des pneus hors d'usage, ainsi que le territoire du Yukon, le Québec détient le plus important et il a été le premier à se doter d'un programme de vidage des sites d'entreposage (Recyc-Québec 2006b). L'Ontario est la seule province à ne pas être encore dotée d'un programme de récupération des pneus hors d'usage, mais elle est sur le point d'en émettre un (CATRA 2006). Parmi toutes les provinces et le territoire à être pourvus d'un tel programme, un droit environnemental est demandé aux consommateurs; ce droit varie de 2 à 5 \$ pour le pneu neuf de voiture (CATRA 2006). Certaines provinces ont des tarifs plus élaborés selon le type de pneu. Par exemple, en Saskatchewan, le droit appliqué aux consommateurs est de 3,5 \$ pour les pneus de 20,32 à 49,53 cm, 5 \$ pour ceux de 49,53 à 62,23 cm, 10 \$ pour les

pneus de camions en agriculture de 62,23 à 123 cm et 35 \$ pour les pneus surdimensionnés, aussi appelés *off the road* (OTR) (SSTC 2006; Love 2006). La Saskatchewan est la seule province canadienne à récupérer les OTR. Par contre, elle n'est pas dotée de règlements particuliers quant au vidage des sites d'entreposage des pneus hors d'usage comme au Québec et cette province n'a pas un aussi grand volume de pneus à gérer qu'au Québec; ayant une population approximative d'un million de citoyens contre 7 millions au Québec. L'Alberta est également doté d'un système efficace, mais ne traite pas les pneus OTR (TRMA 2006).

Aux États-Unis, 36 états ont un système en place qui fonctionne avec diverses sources de financement : taxe, consigne, droit (comme au Québec), etc. (Recyc-Québec 2006b). De plus, d'autres sources monétaires sont disponibles pour les entreprises de recyclage et de transport des pneus usés : subventions, prêts, crédits d'impôt pour l'achat d'équipements, etc. En prenant l'exemple de la Californie, pourvue de la plus grande flotte de véhicules enregistrés de tous les états américains, elle doit gérer approximativement 40,2 millions de pneus hors d'usage par année et elle en valorise environ 30 millions (74,6 %) (CIWMB 2006a). C'est le CIWMB, California Integrated Waste Management Board, qui gère les pneus usés en Californie. Cet organisme de contrôle a implanté un système de droit environnemental à l'achat de pneus neufs en plus d'encourager, par un système de subvention, le développement des activités de recyclage dans cet état. Il est doté d'un plan de recyclage des pneus hors d'usage mis à jour tous les deux ans. Bref, le CIWMB a pour objectif immédiat d'entreposer de façon sécuritaire les pneus qui ne sont pas récupérés et valorisés jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment de marchés pour englober le flux annuel total de pneus hors d'usage générés en Californie; soit 40,2 millions de pneus hors d'usage (CIWMB 2006b). La pratique la plus couramment utilisée aux États-Unis pour valoriser les pneus hors d'usage est la combustion et captage d'énergie. En 2000, 47 % des 273 millions de pneus hors d'usage étaient envoyés à la valorisation énergétique (Division of recycling & litter prevention 2005).

Outremer, en Europe occidentale, les pneus hors d'usage sont surtout utilisés pour leur valeur calorifique dans les fours énergétiques. Bien sûr, les pneus sont reconnus pour leur grande valeur comme carburant de remplacement dans les fours à cimenterie. De plus, le manque d'espace en Europe poussent les différents pays à gérer les pneus de cette manière plutôt que de favoriser les 3R avant le V (Division of recycling & litter prevention 2005).

Donc, le programme de récupération des pneus hors d'usage implanté au Québec est l'un des plus complets si on le compare à ce qui se fait en Amérique du Nord et en Europe. Notre programme intègre le concept des 3 RV-E, développe le marché de la mise en valeur par ses subventions et crée des lois qui obligeront les détenteurs de sites d'entreposage de les vider d'ici 2008. Bref, le Québec s'est doté d'outils afin de réaliser l'objectif du « déchet zéro » quant à la gestion des pneus hors d'usage. Notre système pourrait par contre s'améliorer du point de vue du droit environnemental imposé aux consommateurs. Une charte de prix pour le droit environnemental selon la dimension des pneus, comme dans le programme provenant de la Saskatchewan, permettrait de récupérer tous les types de pneus sur le marché.

1.4 Particularités des pneus

La composition des pneus est plus hétérogène que par le passé (ajout d'agents augmentant les performances des pneus, etc.), ce qui peut rendre plus complexe la valorisation d'un tel produit. Il est donc important de connaître sa composition, car dans la prochaine section, les différents modes de gestion des pneus hors d'usage seront détaillés.

1.4.1 Composition des pneus

Les pneus d'aujourd'hui renferment des composantes beaucoup plus complexes que par le passé les rendant plus résistants sur nos routes, et plus performants selon les conditions du milieu (pluie, hivers rigoureux, etc.). Voici les principaux matériaux qui se retrouvent dans les pneus d'aujourd'hui : caoutchouc (naturel et synthétique), noir de carbone, acier, fibres textiles, oxyde de zinc, soufre (Germain 2006). La proportion de ces composantes varie selon le type de pneus (automobiles, camions/autobus et surdimensionnés).

Les éléments ayant la plus grande valeur sur le marché sont l'acier et le caoutchouc. L'acier est une ressource complexe à extraire des mines et nécessite beaucoup d'efforts (IPCC 1997). Le caoutchouc est un matériau important dans notre société, car il est utile dans la conception de bon nombre de produits industriels. D'autre part, la majorité des caoutchoucs synthétiques d'aujourd'hui sont produits à l'aide de dérivés pétroliers. Donc, la production de caoutchouc vierge est relativement dispendieuse, ce qui augmente la valeur du caoutchouc résiduel.

1.4.2 Types de pneus

La taille des pneus récupérés au Québec a un diamètre de jantes inférieur à 62,23 cm et moins de 123 cm de diamètre externe (Recyc-Québec 2006b). Donc, les pneus surdimensionnés (plus de 123 cm hors tout) ne sont pas couverts par le réseau comme il a été dit à la section 1.3. Toutefois, 18 % de ces pneus sont récupérés par certaines entreprises de valorisation des pneus hors d'usage pour la grande quantité de caoutchouc qu'ils renferment. Le tableau 1.3. présente les trois classes de pneus et leurs caractéristiques respectives.

Tableau 1.3. Caractéristiques intrinsèques à chaque classe de pneus

Composition	Classe de pneus		
	Automobiles	Camions/Autobus	Surdimensionnés
Caoutchouc	47 %	43 %	—
Noir de carbone	21,5 %	21 %	—
Acier	16,5 %	27 %	—
Oxyde de zinc	1 %	2 %	—
Soufre	1 %	1 %	—
Fibres textiles	5,5 %	0%	
Autres*	7,5 %	6 %	—
Diamètre externe	20,32 à 49,53 cm	49,53 à 123 cm	≥ 123 cm
Poids moyen	9,1 kg	45,5 kg	240 kg
ÉPA	1	5	26

* La section « Autres » inclut les différents agents utilisés par les fabricants de pneus.

Inspiré de Germain (2006) et Recyc-Québec (2002b)

La classe des pneus surdimensionnés est une catégorie très vaste, car elle regroupe une grande diversité de pneus ayant un diamètre total externe de plus de 123 cm : pneus de ferme, de génie industriel, de foresterie et d'aviation (Recyc-Québec 2002b). Dans le tableau 1.3., la composition des pneus surdimensionnés n'est pas détaillée, car elle varie beaucoup parmi les différentes sortes de pneus surdimensionnés énumérées précédemment. Mais une chose est sûre, c'est que ces pneus sont très souvent composés d'une grande quantité de caoutchouc naturel pour augmenter la rigidité du pneu (Germain 2006).



Tiré de CATRA (2006)

Figure 1.5. Illustration de la dimension des pneus surdimensionnés

2. Identification et description des différents modes de gestion des pneus usés

Au Québec, les pneus hors d'usage sont acheminés, selon la hiérarchie des 3 RV-E, vers les différentes entreprises de valorisation réparties sur le territoire de la province. Dans l'ordre, les pneus récupérés qui sont dans un meilleur état vont vers le réemploi (1), soit le remoulage ou le rechapage, ensuite les autres pneus sont dirigés aux recycleurs primaires (2), qui enverront leurs produits aux recycleurs secondaires, et finalement, les pneus dans un trop piteux état vont à la valorisation énergétique (3) (Recyc-Québec 2002a). Cette section se répartit comme suit : description des modes de valorisation des pneus, suivie de leurs fréquences d'utilisation.

2.1 Remoulage et rechapage des pneus hors d'usage

Tout d'abord, les pneus usés peu endommagés sont envoyés soit au remoulage ou au rechapage; deux formes de réemploi (Olivier 2005). Le remoulage consiste au remplacement de la semelle de caoutchouc et de la couche sur les côtés du pneu radial (Recyc-Québec 2002a). Les nouvelles composantes de caoutchouc sont remoulées et le tout est suivi d'une nouvelle cuisson (Olivier 2005). Depuis l'instauration du programme de récupération des pneus hors d'usage en 1993, plus de 400 000 pneus ont été remoulés (Recyc-Québec 2006b). Le rechapage est une technique de valorisation dépassée, elle consiste à remplacer la semelle usée et à coller une nouvelle semelle thermiquement ; bref, ce procédé est moins complet que le remoulage. Le rechapage est souvent utilisé pour donner une seconde vie aux pneus de camions, tandis que le remoulage sert davantage pour les pneus automobiles et de camionnettes.



Tiré de Recyc-Québec (2006a)

Figure 2.1. Illustration d'une étape du remoulage : le changement de semelle usée

2.2 Recyclage primaire

Au Québec, la majorité des pneus hors d'usage récupérés sont envoyés au recyclage (CATRA 2006). Le recyclage primaire est une opération qui permettra de produire principalement de la poudrette de caoutchouc, qui sera ensuite destinée aux recycleurs secondaires afin de fabriquer de nouveaux objets à base de caoutchouc (réutilisation), décrits à la section 2.3. Le recyclage permet également de recueillir les fibres textiles, destinées aux valorisateurs énergétiques, et l'acier composant le pneu, qui sera envoyé aux fonderies métallurgiques. Bref, le recyclage primaire est un procédé de broyage qui permet de retirer les trois composantes ayant une valeur sur le marché (caoutchouc, acier et fibres textiles).

Certaines usines peuvent également faire du recyclage primaire lorsqu'elles effectuent le découpage des pneus, mais les granules produites contiennent tous les éléments du pneu mélangés et elles sont destinées majoritairement à la valorisation énergétique ou dans les travaux de génie civil plutôt qu'au recyclage secondaire (Recyc-Québec 2002a); le pneu a une très bonne valeur calorifique et il peut donc être utilisé comme combustible de remplacement dans certaines usines (pâtes et papiers, cimenteries, etc.) comme il sera vu à la section 2.4.

La qualité des sous-produits découlant du recyclage primaire est très importante pour leur intégration dans les procédés de recyclage secondaire et elle dépend directement des équipements faisant partie de la chaîne de séparation des pneus usés. D'ailleurs, ce ne sont pas toutes les entreprises qui sont pourvues de la machinerie à la fine pointe de la technologie permettant de retirer l'acier du pneu sans laisser de souillure. Selon les normes établies par Recyc-Québec, la poudrette de caoutchouc devrait contenir moins de 1 % de fibres, de métaux et d'autres agents (Recyc-Québec 2002a). En somme, les procédés de recyclage primaire des pneus hors d'usage pour la production de poudrette de caoutchouc ressemblent à ceci :

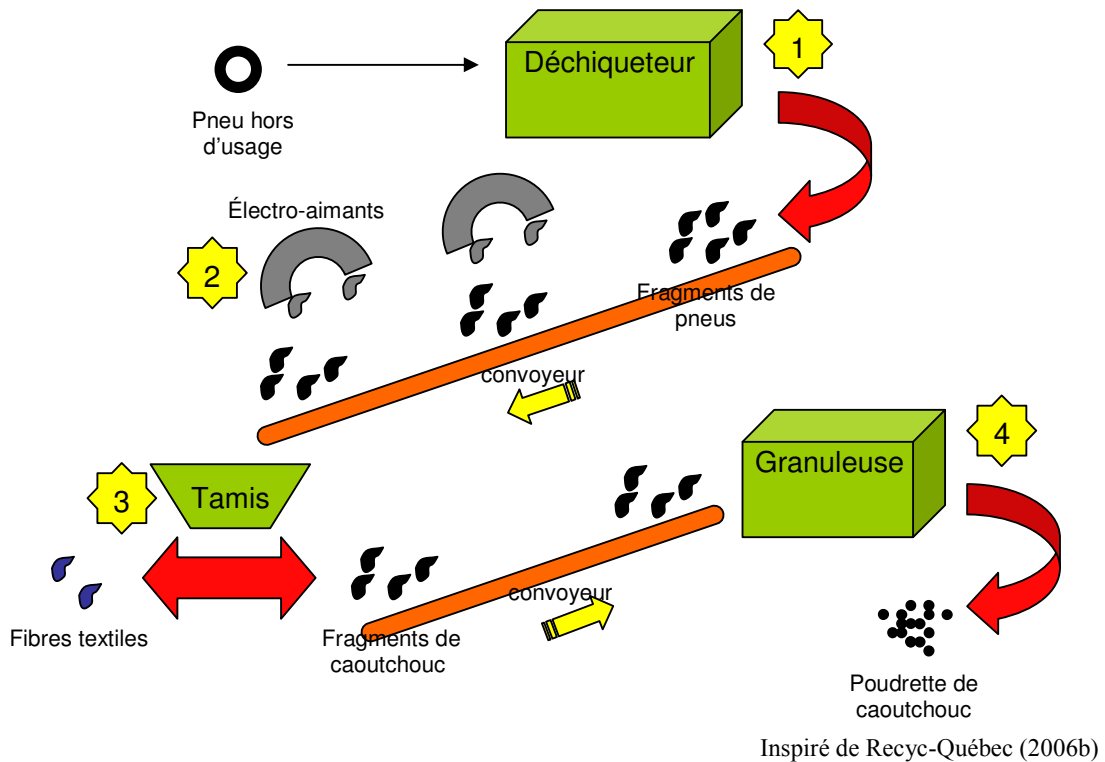


Figure 2.2. Étapes générales du recyclage primaire : Le pneu passe tout d'abord dans des déchiqueteurs (1), ensuite l'acier est retenu par des électro-aimants (2), des tamis permettent de retirer les fractions de textiles (3) et finalement le caoutchouc passe à travers un système de granuleuses (4) afin de produire de la poudrette.

Il est à noter que les procédés actuels de production de poudrettes sont assez avancés et donnent des résultats très proches de la poudrette de caoutchouc vierge. Plus la poudrette est fine et pure, plus elle a une grande valeur sur le marché, car elle peut être utilisée dans son procédé d'origine, la fabrication de pneus, mais elle doit d'abord être dévulcanisée (Olivier 2005).

2.3 Recyclage secondaire

Le recyclage secondaire consiste à utiliser la poudrette de caoutchouc générée lors du recyclage primaire (section 2.2) dans des procédés de fabrication de divers produits fait à base de caoutchouc. Parmi les nombreux produits en vente sur le marché, les principaux sont :

Tableau 2.1. Produits fabriqués à base de caoutchouc recyclé

Produits	
Tapis pour animaux de ferme	Panneaux d'insonorisation
Tapis d'exercice et de terrains de jeux	Dos d'âne
Tapis de travail	Sous-tapis
Poubelles	Garde-boue
Roues de bac roulant	Bacs à fleurs

Inspiré de Recyc-Québec (2006b)

En outre, l'incorporation de la poudrette de caoutchouc usée dans la création d'asphalte ou de pavé est une autre forme de recyclage secondaire (Olivier 2005); le caoutchouc est une composante qui augmente la durabilité et la flexibilité des routes. Le recyclage secondaire n'est pas nécessairement une forme de « recyclage » à proprement parler, selon les 3 R-V-E, car dans la plupart des cas, la poudrette de caoutchouc est réintroduite dans des procédés différents d'où elle est issue (Olivier 2005). En fait, le seul cas de « recyclage » consiste à réintroduire de la poudrette de caoutchouc dans la fabrication de pneus neufs, mais seulement après avoir dévulcanisé la poudrette; ce procédé est très dispendieux et c'est pourquoi il est rarement utilisé.



Tiré de SSTC (2006)

Figure 2.3. Photographie d'un tapis de terrain de jeux fait à base de caoutchouc recyclé

2.4 Valorisation énergétique

La mise en valeur des pneus hors d'usage la plus répandue dans le monde est la valorisation énergétique. Ce type de valorisation a l'avantage de créer une source d'énergie par la combustion complète des pneus hors d'usage (entre 1500 et 2000 °C). La combustion complète du pneu est importante pour empêcher qu'il n'y ait relâchement dans

l'atmosphère de composés toxiques : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Recyc-Québec 2006b). Certes, une combustion à plus faible température que dans les fours à cimenterie, inférieur à 1500 °C, peut entraîner la formation d'HAP, car le matériel n'est pas brûlé complètement. C'est justement ce qui s'est passé lors de l'incendie de Saint-Amable où plus de 3,5 millions de pneus usés avaient brûlé (Olivier 2005). Bref, la règle des trois T est respectée (Température, Turbulence et Temps) dans les fours à cimenterie, ce qui assure une combustion complète. Les autres gaz (SO_x, NO_x) dont les quantités sont réduites par des unités de traitement des gaz de cheminées et les GES sont les seuls gaz s'échappant à l'atmosphère. Bien entendu, jusqu'à tout récemment ces gaz n'avaient pas une grande importance. Dans les dernières décennies, les problèmes environnementaux provenant des cimenteries étant davantage reliés aux pluies acides (oxydes de soufre et d'azote) et à la formation de smogs chimiques urbains causés par la libération de NO_x, mais les normes se sont resserrées depuis. Il est à noter que les pneus sont entièrement minéralisés lors de la valorisation énergétique; matières organiques et acier (Olivier 2005). De même, les poussières captées sont chargées en métaux et en particules fines (PM10), il faut donc en disposer convenablement dans des cellules d'enfouissement à hautes sécurités pour limiter la lixiviation et la contamination du milieu naturel.

Cette méthode est une option particulièrement valable comme source d'énergie dans des pays qui n'ont pas accès à des ressources hydroélectrique, nucléaire ou au charbon. La chaleur peut être récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité dans les différents types d'usine de valorisation énergétique, mais la combustion n'est pas toujours complète et il peut en demeurer des composés solides (mâchefers) qui, dans certain cas, sont récupérés et envoyés aux valorisateurs de ces matières. Bref, deux types d'applications sont possibles : production d'énergie (très haute température) ou récupération des résidus imbrûlés (plus basse température). Les pneus ont une valeur calorifique se rapprochant de celle du mazout et deviennent donc un combustible d'appoint intéressant; en plus de sa grande abondance dans le monde. Par contre, la valorisation énergétique est la dernière étape dans la hiérarchie des 3 RV-E et ne devrait être choisie qu'en dernier recours selon ce principe. Il serait préférable de remouler le pneu usé, ensuite l'envoyer dans les deux stades de recyclage et finalement envoyer le caoutchouc en fin de vie utile dans les fours à cimenterie. Par contre, la valorisation énergétique des pneus hors d'usage a l'avantage de réduire les émissions de GES comme il sera discuté dans les sections à venir, car les pneus

sont des dérivés du pétrole, mais ne produisent pas autant de GES que certains autres combustibles d'appoints comme le mazout, les huiles ou du coke.

D'autres procédés thermiques existent (pyrolyse, gazéification, traitement par plasma), mais ne sont pas employés au Québec. Ces méthodes de mise en valeur sont soumises aux conditions strictes de Recyc-Québec pour qu'elles soient acceptées et subventionnées par le programme d'aide financière. Les produits résultants de traitements thermiques sont : des gaz et des huiles qui servent de combustibles par la suite (Recyc-Québec 2006b).

2.5 Comparaison des différents modes de gestion des pneus hors d'usage

Maintenant que les différents types de valorisation des pneus usés ont été décrits, il faut les comparer entre eux pour connaître les forces et les faiblesses de chacun au niveau économique, environnemental et social. Cette comparaison n'est pas aussi élaborée et exhaustive que dans la section *Comparaison des différents modes de gestion intégrée*, elle se veut une analyse préliminaire pour donner une piste des caractéristiques à approfondir pour chacune des options de mise en valeur.

La société sera toujours moins tolérante envers les grosses usines ayant de grandes cheminées dégageant une fumée noire. Le syndrome « pas dans ma cour » sera surtout rattaché à la valorisation énergétique des cimenteries qui doivent brûler toutes sortes de matériaux. Les fumées qui s'échappent de ces entreprises sont beaucoup plus réglementées qu'auparavant, ce qui réduit considérablement les émissions de contaminants dans l'environnement. Alors, le recyclage primaire et secondaire ainsi que le réemploi des pneus hors d'usage ont un avantage au niveau social sur la valorisation énergétique. D'ailleurs, d'un point de vue éthique, le recyclage et le réemploi sont beaucoup mieux acceptés que la combustion et la disparition d'une ressource non renouvelable. Bref, le choix de société québécois ne prône pas le gaspillage et la valorisation énergétique siège en avant-dernier dans le concept des 3 RV-E.

La valorisation énergétique par contre a l'avantage de produire de l'énergie contrairement aux deux autres types de mise en valeur. D'un point de vue environnemental, la combustion des pneus usés ne nécessite pas d'énergie et n'émet donc pas de GES indirectement; si on fait abstraction du transport des pneus hors d'usage qui est nécessaire

dans les trois cas. En contrepartie, la valorisation énergétique libérera des GES directement. Une analyse plus en profondeur des émissions de GES est nécessaire à cause de la complexité des processus. Aucun des trois modes de mise en valeur ne produit des déchets toxiques. Le recyclage et le réemploi nécessitent de l'énergie (hydroélectrique, gaz naturel, diesel ou propane).

D'un point de vue économique, les cimenteries ne pourraient se procurer les pneus hors d'usage sans l'aide apportée par Recyc-Québec, car la récupération génère des coûts supérieurs au remplacement des combustibles conventionnels (Olivier 2005); bref, sans aide monétaire de Recyc-Québec, les cimenteries ne feraient pas de valorisation énergétique mais utiliseraient seulement le mazout, l'huile ou le coke de charbon. Le recyclage ainsi que le réemploi sont dispendieux quant à l'achat d'équipements spécialisés et d'installations multiples. Le seuil de rentabilité dépend directement de la valeur de leur produit. Par exemple, est-ce que les sous tapis sont aussi durables que ceux faits à partir de poudrette de caoutchouc vierge et est-ce que les pneus remoulés s'usent à la même vitesse que des pneus neufs?

Les trois modes de gestion des pneus hors d'usage sont présents dans la province et leur fréquence relative est fonction du système de distribution des pneus par Recyc-Québec, de la demande en produits recyclés, ainsi que de la valeur des matériaux remplacés dans les cimenteries. Durant la période 2005-2006, 77 % des pneus hors d'usage générés étaient envoyés au recyclage, 12 % au réemploi et 11 % à la valorisation énergétique (CATRA 2006).

3. Identification du scénario de base québécois de la gestion des pneus hors d'usage

Afin de savoir si une entreprise de mise en valeur des pneus usés réduit les émissions de GES ou non, il faut connaître le scénario avec lequel se comparer (principe d'additionnalité). Bien sûr, si en prenant l'exemple d'une entreprise qui voudrait faire un changement d'énergie au Québec ou en Alberta, en passant du gaz naturel à l'électricité, les conditions du Québec permettraient à l'entreprise de réduire ses émissions de GES, car 97 % de l'électricité est produit par l'hydroélectricité, contrairement en Alberta, où la majorité de l'électricité est produite par des combustibles fossiles. Tout d'abord, le concept de scénario de base sera défini et ensuite le scénario de base spécifique de la gestion des pneus hors d'usage au Québec en 2006.

3.1 Définition d'un scénario de base

Le scénario de base est la notion clé pour connaître la réduction des émissions de GES. Il est par conséquent important de bien définir ce concept fondamental, du fait qu'il sera comparé avec le moyen employé par une entreprise pour réduire ses émissions de GES. Alors, si le scénario de base génère peu d'émissions, il sera d'autant plus difficile d'avoir un impact sur la quantité réduite.

Le scénario de base se définit comme étant *la situation normale actuelle qui aurait lieu en l'absence d'intervention particulière qui viserait à atténuer les changements climatiques* (IPCC 2001a; IPCC 2001b). Cette situation dépend directement des tendances, des lois et des règlements qui sont en place. Les lois et les règlements dictent en quelques sortes la situation minimale à respecter en matière environnementale (ex. concentration des contaminants dans les effluents industriels). En plus, la détermination d'un scénario de base va dépendre de plusieurs facteurs selon les règles d'ISO 14064 :

- Identification d'un scénario de base propre à un seul projet ou pour un secteur donné (ex. énergie, foresterie, etc.);
- Les émissions indirectes et directes qui sont incluses dans le scénario de base (ex. transport, consommation d'électricité, quels types de GES, etc.);
- Durée de vie du scénario de base défini (ex. mise à jour tous les 5 ans) (OECD 2001);

Une autre variable est à intégrer dans la détermination du scénario de base : l'échelle. Une vision micro est préférable à une vision macro, car les tendances des industries ainsi que les lois changent d'un pays à l'autre; même d'une province à l'autre dans certains cas (ex. production de l'électricité au Canada, Québec = 0,000022 tCO₂ eq/kWh vs Alberta = 0,000985 tCO₂ eq/kWh (CSA 2005b)). Alors, pour être le plus précis possible et trouver la réelle réduction des émissions de GES, il faut prendre des données qui s'appliquent à un projet type. D'où l'importance de prendre des valeurs qui sont homogènes pour une région donnée. Bref, on pourrait prendre les tendances planétaires pour la gestion des pneus hors d'usage si elles étaient soumises à la même réglementation, mais ce n'est pas le cas.

La tendance est fonction de la majorité qui applique ce type de situation pour que l'on parle d'un scénario de base. Par exemple, si plus de 80 % des fermes porcines du Québec, soumis à des lois spécifiques de la province, traitent le lisier par décomposition anaérobie dans de grands bassins et qu'ils épandent la fraction liquide en surface du bassin sur leurs terres agricoles, cette situation sera considérée comme un scénario de base. Bref, il faut garder en tête que l'objectif du scénario de base est de favoriser une réduction des émissions de GES. Ainsi, si tout le monde effectue une diminution de la même façon au courant d'une année, l'année suivante, il faudra être plus efficace que la majorité pour avoir une réduction. La tendance observable dans un secteur détermine la situation qu'il faut surpasser pour réduire les émissions de GES, car si une entreprise est comparable à la majorité, il n'y aura pas de changement. Pour une entreprise qui désire acquérir des crédits de carbone sur les différents marchés actuels (CCX, ECX), il lui faudra être plus efficiente dans sa réduction des émissions que la majorité des entreprises oeuvrant dans le même domaine. La plupart des marchés fonctionnent selon un système de récompense pour un effort de réduction (voir section *Marchés de crédits de carbone*).

La tendance du marché est un facteur influençant le choix du scénario de base, mais il faut également considérer les lois et règlements en vigueur. Si des normes obligent l'industrie à changer ses habitudes en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, une entreprise se conformant à cette diminution ne devrait pas recevoir de crédits de carbone pour son effort. Certes, le scénario de base est directement influencé par la loi et doit respecter les nouvelles lois en vigueur. Par exemple, en Californie, le gouverneur Arnold Schwarzenegger fera passer une loi sur la réduction des émissions de GES dans l'industrie

agricole d'ici peu. Cette loi obligera les fermiers à traiter plus efficacement le fumier de leurs animaux de fermes (séparation solide-liquide, aérateurs, etc.).

La détermination du scénario de base aura une incidence sur les moyens à employer pour réduire les émissions de GES dans le futur. La réduction des émissions sera alors évaluée par le principe d'additionnalité (TEAM 2006; Halsnaesh et coll. 1999; CCNUCC 2006). Les tendances ainsi que la réglementation peuvent changer au cours des années; une raison de plus pour préciser la durée d'application d'un scénario de base.

3.2 Scénario de base de la gestion des pneus hors d'usage au Québec en 2006

La mise en valeur d'une matière résiduelle, comme les pneus hors d'usage, permet en quelque sorte de réduire les émissions de GES de plusieurs façons comme il sera abordé à la section *Calcul de la réduction des émissions de GES dans la gestion des pneus hors d'usage*. Le recyclage primaire par exemple, permet de produire de la poudrette de caoutchouc qui remplacera la poudrette vierge dans la fabrication de certains produits. Par conséquent, ce type de mise en valeur empêche qu'il y ait consommation d'énergie pour la production de matériaux neufs. La mise en valeur d'une matière résiduelle, comme les pneus usés, est une exception en soi, car elle réduit déjà les émissions peu importe le choix de gestion; c'est une activité qui réduit davantage les émissions qu'elle n'en émet. Contrairement à l'industrie du transport, par exemple, où les émissions de GES seront toujours positives. Cette partie du travail énoncera le scénario de base de la gestion des pneus hors d'usage au Québec en 2006, ainsi que la justification des principes soutenant ce choix.

Scénario de base : Les pneus hors d'usage au Québec sont envoyés au **recyclage primaire et secondaire** pour la période **2006-2008**. Le recyclage implique la consommation d'électricité, de gaz naturel et de diesel. Le transport ne sera pas considéré comme une source indirecte de GES, car ce service est également offert aux autres formes de mise en valeur des pneus usés. Les seuls GES impliqués sont le **CO₂**, **CH₄** et **N₂O**, et l'unité fonctionnelle qui servira à comparer les résultats sera en tonne de CO₂ équivalent (**tCO₂ eq**) par quantité de pneus récupérés. Ce scénario n'est applicable que pour des projets de gestion des pneus hors d'usage.

Ce scénario de base n'est pas surprenant, si on se fie aux tendances actuelles de l'industrie, 77 % des pneus sont recyclés, et aux règlements mis en place par Recyc-Québec qui permettent aux entreprises de bénéficier d'aide supplémentaire pour le traitement des pneus. Les deux autres scénarios de base alternatifs sont : valorisation énergétique et remoulage/rechapage. Le réemploi des pneus usés (remoulage/rechapage) ne peut pas devenir le scénario de base, car même s'il est préféré par Recyc-Québec, selon les 3 RV-E, il n'y a pas assez de pneus usés qui sont en bon état pour être remis sur le marché; seulement 12 % de réemploi. En effet, le remoulage ne deviendra jamais une tendance pour cette dernière raison. Par contre, la valorisation énergétique pourrait en devenir une, car le pneu n'a pas besoin d'être en très bon état pour être valorisé. D'ailleurs, plusieurs pays (dont les États-Unis) favorisent encore ce type de valorisation comme source d'énergie d'appoint. Dans les années passées (1994-1998), si on se fie aux statistiques de Recyc-Québec, cette forme de mise en valeur était plus utilisée que les autres au Québec, mais il faut tenir compte du fait que le marché des pneus hors d'usage débutait avec l'arrivée des programmes de Recyc-Québec. Le seul avantage que la valorisation énergétique détient sur les autres formes de mise en valeur des pneus usés, c'est qu'elle valorise les pneus peu importe leur état. Contrairement au réemploi, où le pneu ne doit pas être fissuré, et au recyclage, où le caoutchouc doit être en suffisamment bon état. Cet avantage ne l'est plus à présent, car les pneus les plus endommagés provenaient des sites d'entrepôts où ils étaient déterrés; il ne reste que 5 gros sites et 30 petits sites à vider d'ici 2008. Bref, le scénario de base le plus plausible est celui du recyclage primaire et secondaire pour la situation québécoise. Certes, les tendances et les règlements quant à la gestion des pneus hors d'usage ailleurs au Canada sont différents, alors le choix d'un scénario de base doit se faire dans des conditions homogènes, soit pour la province du Québec.

La période d'application de ce scénario de base est valable pour 2006-2008, car à partir de 2008, le flux total de pneus hors d'usage récupéré par Recyc-Québec, provenant des sites d'entreposage et de la génération des consommateurs par année, sera différent étant donné que les sites d'entreposage devraient tous être vidés. Une mise à jour sera donc à faire quant aux tendances du marché des pneus hors d'usage. Les normes mises en place par Recyc-Québec ne devraient pas changer au cours des ans, car l'objectif du déchet zéro est presque atteint et celui de récupérer 85 % du flux par année est déjà atteint depuis 2002. On pourrait s'attendre qu'en 2009, le scénario de base remis à jour serait acceptable pour une plus longue période, comme 5 ou 10 ans.

Le recyclage primaire et secondaire nécessite l'utilisation de divers équipements qui consomment de l'énergie. Les trois formes d'énergie les plus souvent retrouvées pour le fonctionnement de ces machines sont l'électricité, le gaz naturel et le diesel (Margeson 2006). L'électricité est une forme d'énergie de plus en plus souvent utilisée de nos jours dans les procédés industriels, car elle est bon marché et, au Québec, elle est produite principalement à partir de centrales hydroélectrique (97 %), donc il y a peu de GES provenant de son utilisation (RetScreen International 2006). Les trois principaux types de GES qui seront émis lors de l'usage d'énergie due au recyclage sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O) (CSA 2005a).

Le transport des pneus hors d'usage vers une usine de recyclage n'est pas une variable à considérer dans ce scénario de base, car ce service est offert par Recyc-Québec à toutes les entreprises de mise en valeur, que ce soit du réemploi ou de la valorisation énergétique. La faiblesse de cette hypothèse sera observée plus tard dans le travail, car le réemploi est souvent effectué dans des garages qui récupèrent les pneus usés, ainsi il n'y a nul besoin du transport des pneus par Recyc-Québec vers l'usine de remoulage.

Comme dernier commentaire relatif au choix de ce scénario de base, c'est qu'il ne s'applique que pour le secteur de la gestion des pneus hors d'usage. Les autres secteurs d'activités ayant le potentiel d'obtenir des crédits de carbone (ex. transport, mise en valeur du plastique résiduel, traitement du lisier des animaux de fermes, etc.) devront développer leur propre scénario de base dépendant des normes et des tendances du milieu.

4. Kyoto et les marchés de crédits de carbone

Les changements climatiques sont à l'origine de bouleversements majeurs dans les milieux naturels. Les impacts généraux observables d'un tel phénomène sont la fonte et le recul des glaces, un réchauffement global de la température atmosphérique, une hausse du niveau de la mer et une augmentation des événements climatiques extrêmes dans certaines régions du globe. Ces impacts auront des répercussions importantes pour les écosystèmes qui n'ont pas suffisamment de temps pour s'adapter. On a qu'à penser aux végétaux qui ne peuvent se déplacer aisément ou à certaines espèces animales, comme l'ours polaire, qui dépendent de la stabilité de l'état du milieu naturel; sans banquise de glace, l'ours polaire ne pourra plus chasser le phoque, ni mettre bas. Les impacts des changements climatiques ne se font pas seulement sentir pour les espèces animales, mais également pour l'humain. La hausse du niveau de la mer et la dégradation des milieux riverains causent de sérieux problèmes pour les gens qui habitent ces milieux. Les Pays-Bas doivent construire de nouvelles digues pour survivre, car le pays est sous le niveau de la mer. Les ouragans de plus en plus nombreux, avec une hausse d'intensité, provoquent d'énormes dommages à notre société; la reconstruction de la Louisiane suite au passage d'un ouragan s'évalue à plus de 40 milliards de dollars. Ce bouleversement planétaire s'accroît depuis quelques années, avec l'utilisation en masse des combustibles fossiles, et une réaction corrective envers ce changement se forme depuis les années 1970. Dans cette section, le plus important engagement international de réduction des émissions de GES, le protocole de Kyoto, sera abordé, suivi du rôle que joue le Canada dans ce protocole et finalement les marchés d'échanges de crédits de carbone existants.

4.1 Protocole de Kyoto

Plusieurs événements majeurs ont provoqué l'émergence du protocole de Kyoto dans les années passées. Les circonstances de son apparition seront détaillées ainsi que la description du protocole en soi; les attentes et les obligations qui en découlent.

4.1.1 Ordre chronologique de l'émergence du protocole de Kyoto

Tableau 4.1. Suite d'événements politiques qui ont engendré l'apparition du protocole de Kyoto

Années	Événements	Description
1972	Première Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain. (Stockholm)	Les changements climatiques occasionnés par les activités industrielles anthropiques sont identifiés comme étant une question urgente.
1979	Première Conférence mondiale sur les enjeux du climat. (Genève)	Lancement d'un programme climatologique qui vise le regroupement et coordination de la recherche sur les changements climatiques planétaires.
1987	Publication du rapport Brundtland	La notion de développement durable est définie.
1988	Adoption d'une première résolution des Nations Unies quant aux changements climatiques : « Protection du climat mondial pour les générations présentes et futures ».	Cette résolution des Nations Unies témoigne de la volonté politique qui existe pour en arriver à un accord international futur.
1990	Production d'un premier rapport d'évaluation du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).	Ce rapport accentue la pression pour conclure une entente internationale quant au réchauffement planétaire.
1992	La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement. (Rio de Janeiro)	154 pays signent la <i>Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC)</i> . Les signataires s'engagent à stabiliser les émissions de GES au même niveau qu'en 1990 d'ici l'an 2000.
1995	— 2 ^e rapport du GIEC — Rencontre de la Conférence des Parties à Berlin (CP1).	— Ce deuxième rapport apporte les résultats suivants : les activités anthropiques exercent une influence discernable sur le climat de la planète, et la réduction des émissions apportera des avantages nets comparés aux coûts dans plusieurs pays. — Durant cette rencontre entre les pays signataires de la CCNUCC, on met l'accent sur l'inefficacité des mesures volontaires de cette convention.
1997	Signature du protocole de Kyoto.	Les pays de l'Annexe B du protocole s'engagent à réduire leurs émissions totales de 5,2 % en deçà de 1990, avant 2012. Bref, ce sont les pays développés

		qui prennent la responsabilité de ralentir les changements climatiques; eux qui génèrent la majorité des émissions de GES.
--	--	--

Tiré de Webster (2006)

Durant 20 ans, entre 1972 et 1992, peu d'actions majeures ont été entreprises quant aux changements climatiques pour deux raisons : peu de volonté politique et présence d'une incertitude que les changements climatiques sont dus aux activités de l'homme; mésententes entre les scientifiques. Ce n'est que lors de la parution du premier rapport du GIEC en 1990 que l'on ressent une urgence d'agir et de se mobiliser mondialement afin de ralentir les effets néfastes de l'activité de l'homme sur le climat. Une première solution est apparue en 1992 avec la CCNUCC, mais les mesures volontaires de réduction des émissions de GES n'étaient pas efficaces. Par conséquent, en 1997, dans la ville de Kyoto, un protocole volontaire de réduction des émissions de GES plus réaliste a été signé par de nombreux pays développés, sous-développés et en processus de développement. Par contre, deux pays d'importance ne s'engageaient pas à réduire leurs émissions : les États-unis et l'Australie (Wikipédia 2006).

Le protocole de Kyoto est la première tentative sérieuse de contrôle des émissions anthropiques de GES mondialement. Depuis cette date, il y a eu une certaine adaptation des pays signataires du protocole et d'autres pays sont venus s'y rajouter. Voici une liste des événements concernant les changements climatiques suite à Kyoto en 1997 :

Tableau 4.2. Suite d'événements politiques qui sont survenus après l'apparition du protocole de Kyoto

Années	Événements	Description
2001	— Les États-Unis ne ratifient pas le protocole de Kyoto — Accords de Marrakech	— Ce pays demeure un spectateur du protocole, étant le plus grand émetteur de GES par habitant. — Définis les Mécanismes de développement propre.
2002	Le Canada ratifie le protocole de Kyoto	Son objectif d'ici 2012 est de réduire ses émissions de 6 % en deçà de 1990.
2004	Ratification de la Russie	Avec cet ajout, 37 pays de l'Annexe B ont ratifié le protocole, ce qui équivaut à 61,4 % des émissions des pays de l'Annexe B (aussi appelé Annexe 1).
2005	— Mise en marche du protocole	— 90 jours après l'intégration de la

	— Sommet de Montréal	Russie au protocole, celui-ci peut procéder, car au moins 55 pays de l'Annexe B ont ensemble au moins 55 % des émissions totales de GES de cette Annexe. — Préparation de l'après Kyoto.
--	----------------------	---

Tiré de Webster (2006)

4.1.2 Description du protocole de Kyoto

En février 2006, le protocole de Kyoto a été approuvé, ratifié, adhéré ou accepté par 161 pays. Les pays industrialisés (Annexe B) qui ont ratifié le protocole s'engagent ensemble à réduire les émissions de GES de 5,2 % par rapport à 1990 et d'ici la période 2008-2012 (Environnement Canada 2006). Chaque pays était libre de décider de son taux de réduction par rapport à 1990 pour atteindre cet objectif; donc, le Canada aurait pu viser de réduire ses émissions au seuil de 1990. Cet élément du protocole est très important, car le caractère volontaire n'est pas aussi contraignant; la décision du taux de réduction sera surtout politique. De plus, le protocole spécifie la possibilité de recourir à un système d'échange de permis (crédits) entre les pays de l'Annexe B. Le protocole prévoit également trois mécanismes de flexibilité qui optimiseront les politiques nationales de lutte contre les changements climatiques au niveau international.

Tableau 4.3. Mécanismes favorisant la lutte contre les changements climatiques

Mécanisme	Description
Système d'échange international de crédits de carbone (article 17)	Système d'échange entre les Parties de l'Annexe B, d'un pays qui a dépassé ses objectifs de réductions vers un pays qui n'a pas encore atteint sa cible. <i>Unités employées : Unités de Quantités d'émissions (UQA).</i>
Application conjointe AC)	Mécanisme qui favorise l'investissement des pays de l'Annexe B vers un autre pays de l'Annexe B pour des projets de réduction des émissions de GES. <i>Unités employées : Unités de Réduction d'Émissions (URE).</i>
Mécanisme de développement propre (MDP)	Mécanisme qui favorise l'investissement des pays de l'Annexe B vers d'autres pays signataires du protocole qui ne font pas partie de l'Annexe B pour un projet de réduction des émissions de GES. Bref, dans des pays en développement. <i>Unités employées : Unités de Réduction Certifiées des Émissions (URCE).</i>

Tiré de Webster (2006)

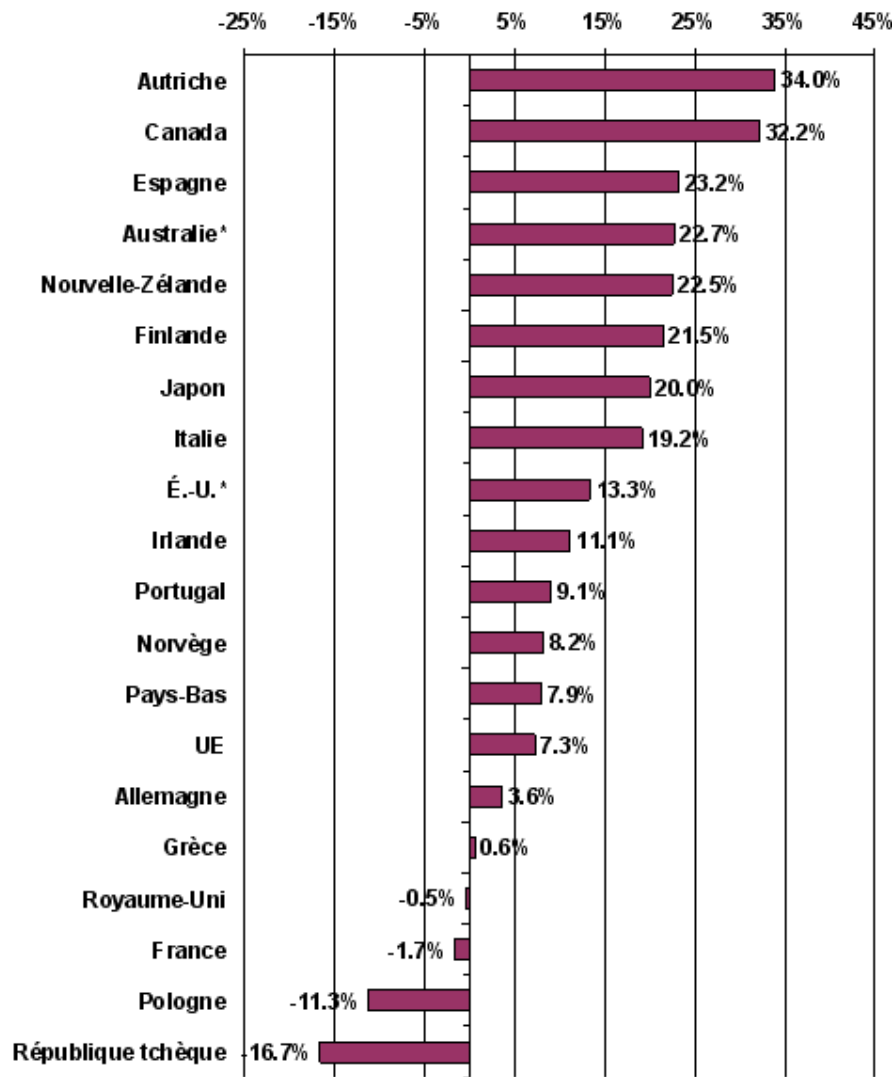
La responsabilité des objectifs du protocole de Kyoto incombe aux pays industrialisés (Annexe B) qui sont responsables de la majorité des émissions de GES sur la planète et qui ont la capacité de s'ajuster financièrement à de telles contraintes. Les pays en

développement et sous-développés ne sont pas engagés à réduire leurs émissions, car ils doivent prioriser des enjeux plus importants : pauvreté, éducation, etc.

4.2 Objectifs du Canada

Le Canada a ratifié le protocole de Kyoto en décembre 2002, et compte réduire ses émissions de GES de 6 % sous le seuil de 1990 durant la période d'engagement 2008-2012 (Environnement Canada 2006). La cible est alors de 572 millions de tonnes, car les émissions de 1990 étaient de 609 millions de tonnes, mais d'ici 2010, si la tendance se maintient, les Canadiens devraient produire 840 millions de tonnes de GES. Il faut par conséquent réduire nos émissions de 270 millions de tonnes. Tel est le défi qui attend le Canada dans les prochaines années.

Le Canada, parmi tous ces pays, à un objectif noble, mais peu enviable, car il veut diminuer de 6 % ses émissions de GES même si le pays connaît une forte croissance, surtout dans l'industrie pétrolière. Conséquemment, l'effort de réduction des émissions du Canada est le 2^e plus élevé de tous les pays signataires pour atteindre la cible de Kyoto en 2003 (voir figure 4.1.); le Canada arrive 2^e après l'Autriche avec un effort de réduction de 34 %. Le Canada devra donc acheter des crédits compensatoires s'il veut respecter son engagement dans le cadre du protocole de Kyoto.



^{*}Ces parties n'ont pas d'objectif de réduction. Le pourcentage représente la variation entre 1990 et 2003.

Tiré de Environnement Canada 2006

Figure 4.1. Effort relatif de réduction des émissions de GES en 2003 selon les objectifs fixés par les parties de l'Annexe B du protocole de Kyoto

Par contre, avant le début de la période d'engagement, un refus de l'entente canadienne face au protocole de Kyoto serait possible, car actuellement, c'est un parti politique qui n'est pas en faveur des efforts pour la réduction des GES qui est au pouvoir. Ce nouveau gouvernement en place pourrait par conséquent se retirer des engagements canadiens exprimés en 2002.

4.3 Marchés de crédits de carbone

Le protocole de Kyoto provoque actuellement la création d'une nouvelle sorte de marché : les crédits de carbone. Par le passé, il a déjà été observé ce type de marché pour le dioxyde de soufre (SO_2) qui joue un rôle de premier plan dans la formation d'acide sulfurique (H_2SO_4) (Olivier 2003). D'ailleurs, c'est à la suite de l'application de règlements aux États-Unis qu'un système d'échange de crédits de soufre est apparu (unité en SO_2). Sous le même principe, le protocole de Kyoto contraint les pays de l'Annexe B à se conformer à leur engagement de réduction de GES par rapport à 1990. Sinon ces pays perdront toutes crédibilités au niveau international! Un pays qui ne respecte pas ses engagements n'est pas un exemple à suivre et encore moins à s'associer de quelque façon que ce soit. Alors, le pilier de ce système repose sur l'offre et la demande : certaines entreprises devront réduire durant la période d'engagement 2008-2012, tandis que d'autres, qui ont déjà atteint leurs objectifs, pourront réduire davantage pour en vendre sur le marché.

Les Européens ont déjà une longueur d'avance sur les autres pays ayant ratifié le protocole de Kyoto. Effectivement, l'UE a déjà mis en place un système d'échange permettant de tester son fonctionnement en Europe, et ainsi apporter des corrections si nécessaire avant le début de la période d'engagement (2008-2012); année de la mise en marche du protocole de Kyoto. En fonction depuis 2005, le *European Climate Exchange* (ECX) est un système de plafonnement et d'échange des crédits compensatoires qui semble pouvoir s'intégrer dans le protocole de Kyoto. Il tient compte particulièrement des grands émetteurs finaux (GEF) et son application est surtout à l'échelle de l'Europe, mais en utilisant des mécanismes de développement propre (MDP), ce système pourrait réduire les émissions de GES dans le reste du monde. Actuellement, il est observé à la loupe par les autres pays. Au commencement, la valeur du crédit était fixée à 8 €, mais présentement les échanges sur le marché européen auraient fait osciller sa valeur autour de 8,95 € (Point carbon 2006).

Le Canada est encore à l'étape de planifier son système de réduction. Une des différences de ce système avec celui de l'Europe serait le prix garanti de 15 \$ la tonne du gouvernement fédéral; ce qui ne faciliterait pas l'intégration du système canadien avec un système international. Toutefois, l'étape la plus importante actuellement est d'établir un prix pour les crédits de compensations, car les différentes entreprises pourront mieux planifier les réductions de leurs émissions.

Les États-Unis font bande à part. Ce pays est responsable d'environ 25 % des émissions mondiales de GES, avec une population de 5 %, et ils ne veulent pas se joindre à un système de réduction international comme Kyoto. Les États-Unis préfèrent créer leur propre système de réduction, car le gouvernement américain croit que Kyoto ralentirait l'économie du pays et coûterait trop cher. Le système présentement en place est le *Chicago Climate Exchange* (CCX) et certains états y ont déjà adhéré. Ce marché est ouvert à tous et les conditions sont moins contraignantes qu'en Europe, ce qui explique en partie une moins grande valeur des crédits de carbone : 4,35 \$ US (CCX 2006).

Ces deux systèmes d'échange, ECX et CCX, sont les deux principaux en place qui peuvent être accessibles pour les industries canadiennes qui désirent déjà vendre des crédits ou en acheter pour se faire une réserve. Le stockage des crédits est une autre stratégie en vue de l'imposition future de règlements sur la réduction des GES au Canada. D'ici quelques années, 2007-2008, Montréal pourrait devenir un marché d'échange de crédits de carbone associé au CCX.

Les entreprises canadiennes peuvent accéder à des marchés d'échanges de crédits compensatoires même si le Canada n'en offre pas un présentement. De plus, le Québec s'est doté d'un plan stratégique qui met de l'avant la réduction des émissions de GES. C'est dans ce contexte que les prochaines sections présentent le calcul et la comparaison de la réduction des émissions de GES pour les différents modes de gestion des pneus hors d'usage.

5. Calcul de la réduction des émissions de GES dans la gestion des pneus hors d'usage

L'élaboration d'une méthodologie de calcul doit considérer l'ensemble du processus et les émissions tant directes qu'indirectes au cours d'une année; l'attribution des crédits se fait pour une année complète. Les émissions directes sont celles qui sont émises ou sauvées lors des procédés de mise en valeur, tandis que les émissions indirectes ne font pas partie du procédé en soi (ex. transport).

En premier, il faut regarder si une méthodologie est déjà existante ou s'il faut en créer une nouvelle. Dans le cas des pneus hors d'usage, aucune méthodologie n'existe en se référant aux principales méthodologies acceptées : mécanismes de développement propre (CDM 2006) et au registre canadien (CSA 2005c). Alors, une nouvelle méthodologie devra être élaborée pour les projets ayant attrait à la gestion des pneus hors d'usage. La création de ces calculs se référera, dans la mesure du possible, à des organismes spécialisés dans le calcul des émissions de GES : IPCC, EPA, CDM et CSA.

Cette section a pour objectif le calcul de la réduction occasionnée par le procédé de traitement des pneus hors d'usage sans tenir compte du scénario de base; qui se fera à la section *Attribution des crédits de carbone*. Donc, en rappelant que cette démarche ne respecte pas celle d'ISO 14064, car le principe de « réduction » n'est pas seulement imputable à la soustraction des émissions de GES du projet à celle du scénario de base, mais bien en considérant les émissions évitées par rapport à ne rien faire. En favorisant les différentes formes de mise en valeur des 3 RV, les ressources naturelles voient leurs cycle de vie prolongé et ainsi peuvent remplacer la formation de matières vierge ou l'utilisation de certains combustibles; comme il sera vu dans les prochaines sections.

Les unités employées sont des tCO₂ eq, c.-à-d. des tonnes de GES en équivalents de CO₂, car tous les gaz ont un potentiel de réchauffement climatique différent (CH₄ = 21 fois celui du CO₂ et N₂O = 310 fois celui du CO₂) et le dioxyde de carbone détient le plus bas. Bref, c'est une unité standard permettant de comparer les crédits de carbone en tonnes de CO₂.

Pour les besoins de l'étude, certaines sources d'information ne peuvent être divulguées, car les droits de la recherche appartiennent à la firme de consultants *Lagacé et Legault International*. Pour de plus amples détails sur ces données, il serait nécessaire de contacter directement cette firme (LL 2006).

5.1 Méthodologie de calcul pour le remoulage/rechapage des pneus usés

5.1.1 Établissement de la formule

Le rechapage et le remoulage permettent de faire un réemploi de la majeure partie du pneu; seule la semelle usée est remplacée, car la structure du pneu n'est pas fissurée ou endommagée. Ce processus implique que l'on remplace de nouveaux pneus sur le marché, ainsi certains matériaux ne seront pas produits et les principaux sont : le caoutchouc, l'acier et le noir de carbone. Ipso facto, pour chaque tonne de matériau réemployé, une tonne de ce même matériau ne sera pas produit à l'état vierge, et par la même occasion, l'énergie qui aurait été requise à leur fabrication sera sauvée. Il faudra également inclure les émissions qui sont engendrées par ce procédé de mise en valeur. Il n'y a pas de données exactes pour le calcul de l'énergie nécessaire pour le rechapage/remoulage des pneus usés, mais celle-ci est sûrement similaire ou inférieure à celle du recyclage (à titre de comparaison).

Émissions directes évitées

5.1.1.1

Réemploi du caoutchouc contenu dans le pneu usé rallongeant ainsi son cycle de vie.

$$\mathbf{RE_{CV} = MP * (P_1 - FCS) * I_C}$$

RE_{CV} = Réduction des émissions en empêchant la création de caoutchouc vierge pour le réemploi, exprimé en tonne de CO₂ eq;

MP = Masse de pneus (tonne);

P₁ = Pourcentage de caoutchouc (synthétique et naturel) contenu dans un pneu moyen de camion (43 %) ou de voiture (47 %) (Germain 2006);

FCS = Fraction de caoutchouc de la semelle du pneu remplacée par du nouveau caoutchouc; approximativement le quart (25%) du caoutchouc total est retiré, alors $P_1 * 0,25$ (EPA 2006);

I_C = Indice d'émission lors de la création de nouveau caoutchouc strictement du point de vue énergétique; 0,38 t de CO₂ eq par tonne de caoutchouc. Si une tonne de caoutchouc nécessite environ 15 GJ de vapeur et 1400 kWh d'électricité pour être créée, et que 0,0199 tCO₂ eq est générée par MBTU. 15 GJ et 1400 kWh vont être égal à 14,2 + 4,78 MBTU (18,98 MBTU), alors $18,98 * 0,0199 = 0,38$ tCO₂ eq par tonne de caoutchouc produit (LL 2006).

Émissions indirectes évitées

5.1.1.2

Réemploi de l'acier contenu dans les pneus lors du remoulage ou du rechapage de ceux-ci.

$$RE_{RA} = MP * P_A * FEA$$

RE_{RA} = Réduction des émissions en réemployant l'acier, exprimé en tonnes de CO₂ eq;

P_A = Pourcentage d'acier contenu dans un pneu moyen de camion (27 %) ou de voiture (16,5 %) (Germain 2006);

FEA = Facteur d'émission de la production d'acier au Canada; 1,6 tCO₂ eq/ t d'acier (IPCC 1997).

5.1.1.3

Réemploi du noir de carbone lors du remoulage ou rechapage du pneu, ce qui empêche la production de noir de carbone à l'état vierge.

$$RE_{NC} = MP * (P_2 - FNCS) * I_{NC}$$

RE_{NC} = Réduction des émissions en empêchant la création de noir de carbone vierge, exprimé en tonne de CO₂ eq;

MP = Masse de pneus (tonne);

P_2 = Pourcentage moyen de noir de carbone dans un pneu; 21,5 % pour les pneus automobiles et 21 % pour les pneus de camions/autobus (Germain 2006);

$FNCS$ = Fraction de noir de carbone de la semelle du pneu remplacée par du nouveau noir de carbone; environ 25 % est remplacé, c.-à-d. $P_2 * 0,25$ (EPA 2006);

I_{NC} = Indice d'émission lors de la création de nouveau noir de carbone strictement du point de vue énergétique; 0,23 t de CO_2 eq par tonne de noir de carbone. La production d'une tonne de noir de carbone génère environ 11 kg de CH_4 , alors en multipliant par son potentiel de réchauffement planétaire (21) et en ramenant en tCO_2 eq, on obtient : $0,011 * 21 = 0,23$ t de CO_2 eq par tonne de noir de carbone (IPCC 1997).

Émissions directes produites

5.1.1.4

Le remoulage/rechapage des pneus nécessite de la machinerie qui produira une certaine quantité de GES selon l'énergie utilisée (électricité, gaz naturel, propane et diesel).

$$E_{MV} = E_{kW} + E_{Diesel} + E_{GazNaturel} + E_{Propane}$$

E_{MV} = Émissions occasionnées par le réemploi de pneus hors d'usage, exprimé en tonnes de CO_2 eq;

E_{kW} = Émissions reliées à la consommation d'électricité durant une année pour le réemploi des pneus usés : E_{kW} = quantité d'électricité consommée pour une année (kW) * 0,000022 (tCO_2 eq/kWh) (CSA 2005b);

E_{Diesel} = Émissions reliées à l'utilisation de diesel pour une année pour le réemploi des pneus hors d'usage : E_{Diesel} = quantité de diesel (QD) consommée pendant une année en litres * 0,00273 (coefficient d'émissions du CO_2) + QD*0,00000012*21 (coefficient d'émissions du N_2O) + QD*0,0000004*310 (coefficient d'émissions du CH_4) (CSA 2005a); le tout exprimé en tCO_2 eq/litre de diesel;

$E_{GazNaturel}$ = Émissions reliées à l'usage de gaz naturel pour une année pour le réemploi des pneus hors d'usage : $E_{GazNaturel}$ = quantité de gaz naturel (QGN) utilisée pour une année en cube métrique * 0,001891 (coefficient d'émission du CO_2) + QGN 0,000000037 21 (coefficient d'émissions du N_2O) + QGN*0,000000033*310 (coefficient d'émissions du CH_4) (CSA 2005a); le tout exprimé en tCO_2 eq/m³ de gaz naturel;

E_{Propane} = Émissions reliées à la consommation de propane pour une année pour le réemploi des pneus hors d'usage : E_{Propane} = quantité de Propane (QPR) utilisé pour une année en litres * 0,0015 (coefficient d'émission du CO₂) + QPR*0,00000024*21 (coefficient d'émissions du CH₄) + QPR*0,000000108*310 (coefficient d'émissions du N₂O) (CSA 2005a); ainsi, QPR*0,001534; le tout exprimé en tCO₂ eq/litre de propane;

Total des émissions créditées

$$RE_T = \Sigma \text{Émissions évitées} - \text{Émissions produites}$$

$$RE_T = RE_{CV} + RE_{RA} + RE_{NC} - E$$

5.1.2 Explication de la méthodologie

Le premier calcul sur les GES évités implique seulement le caoutchouc (naturel et synthétique). En fait, deux valeurs sont multipliées : la masse de caoutchouc réemployée et l'indice d'émissions rattaché à la fabrication de caoutchouc vierge. La première est obtenue en multipliant la masse de pneus (MP) par le pourcentage moyen de caoutchouc contenu dans les pneus lors du remoulage/rechapage ($P_1 - FCS$). La masse de pneus hors d'usage est fournie par l'entreprise de réemploi, tandis que le pourcentage de caoutchouc (P_1) est celui des pneus de camions/autobus (43 %), des pneus automobiles (47 %) (Germain 2006); aucun pourcentage moyen des pneus surdimensionnés n'est disponible étant donné la grande variabilité à travers les différents types de pneu (voir tableau 1.3.). La fraction de caoutchouc du pneu usé qui est enlevé et remplacé par du nouveau caoutchouc doit être soustraite du pourcentage de caoutchouc dans le pneu afin de connaître la proportion de caoutchouc réellement réemployé; $FCS = P_1 * 0,25$. Ensuite, l'indice (I_C) d'émissions de GES pour le réemploi du caoutchouc tient compte de la quantité d'énergie économisée en empêchant de produire du caoutchouc vierge. Cet indice représente la quantité de CO₂ eq évitée pour une tonne métrique de caoutchouc réemployée ($I_C = 0,38$ tCO₂ eq/ t de caoutchouc).

La deuxième équation tient compte du prolongement de la vie utile d'une matière qui a une grande valeur sur le marché : l'acier. Ce métal est conservé dans le pneu lors du remoulage ou rechapage ce qui permettra de réduire les émissions de carbone considérablement, car on évite de produire d'autre acier pour la confection de nouveaux pneus. La formule requiert la quantité d'acier sauvegardée ($MP * P_A$) et le facteur d'émission de la production d'acier (FEA). La masse de pneus est fournie par le garage qui effectue la mise en valeur, le pourcentage d'acier est connu par Recyc-Québec, et le facteur d'émission pour la production d'acier provient du comité intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC 1997). Cette dernière donnée tient compte de la production d'acier au Canada.

La troisième formule permet de calculer les émissions sauvées dues à la conservation du noir de carbone dans les pneus au lieu de produire ce matériel à l'état vierge pour la fabrication des pneus. Comme dans le cas de la première formule portant sur le caoutchouc, deux variables sont multipliées : la masse de noir de carbone réemployée et l'indice d'émissions rattaché à la fabrication de noir de carbone vierge. La première est obtenue en multipliant la masse de pneus (MP) par le pourcentage moyen de noir de carbone contenu dans les pneus lors du remoulage/rechapage ($P_2 - FNCS$). La masse de pneus hors d'usage est fournie par l'entreprise de réemploi, tandis que le pourcentage de noir de carbone (P_2) est celui des pneus de camions/autobus (21 %) et des pneus automobiles (21,5 %) (Germain 2006); aucun pourcentage moyen des pneus surdimensionnés n'est disponible étant donné la grande variabilité à travers les différents types de pneu (voir tableau 1.3.). La fraction de noir de carbone du pneu usé enlevée et remplacée par du nouveau noir de carbone doit être soustraite du pourcentage de noir de carbone dans le pneu afin de connaître la proportion réellement de noir de carbone réemployé; $FNCS = P_2 * 0,25$. Ensuite, l'indice (I_{NC}) d'émissions de GES pour le réemploi du noir de carbone tient compte de la quantité d'énergie économisée en empêchant de produire du noir de carbone vierge. Cet indice représente la quantité de CO_2 eq évitée pour une tonne métrique de noir de carbone réemployée ($I_{NC} = 0,23$ t CO_2 eq/ t de noir de carbone).

Les émissions directement produites par le réemploi des pneus usés se résument à l'addition des différentes sources d'énergie utilisées. Tout d'abord, la quantité d'émissions provenant de la consommation d'énergie électrique est fournie en multipliant la quantité d'énergie (kW) par le coefficient d'émission (0,000022 en t CO_2 eq) spécifique au Québec.

Les données régionales sont indispensables pour une meilleure précision, car une entreprise du Québec va se procurer son électricité ici même. Il va sans dire que le Québec produit son électricité en grande partie avec de l'énergie verte (barrage hydroélectrique), alors les émissions sont plus basses que les autres provinces canadiennes. Ensuite, l'usage de diesel émet des GES, qui sont comptabilisés par la multiplication de la quantité de diesel (litre) avec les coefficients d'émission du diesel (0,00273 pour le CO₂, 0,00000012 pour le CH₄ et 0,0000004 pour le N₂O); tous ces chiffres sont en tCO₂ eq. Une troisième source d'énergie qui peut être utilisée, le gaz naturel, émet également des GES qui sont obtenus en multipliant la quantité de gaz naturel (m³) par les coefficients d'émission du gaz naturel (0,001891 pour le CO₂, 0,000000037 pour le CH₄ et 0,000000033 pour le N₂O) ; tous ces chiffres sont en tCO₂ eq. (CSA 2005a). Même chose pour le propane en se référant aux coefficients fournis par CSA : (0,0015 pour le CO₂, 0,000000024 pour le CH₄ et 0,000000108 pour le N₂O); tous ces chiffres sont en tCO₂ eq. (CSA 2005a).

La formule finale de la réduction des émissions de GES provenant du réemploi des pneus hors d'usage se résume à l'addition des émissions évitées (caoutchouc, acier et noir de carbone) et par la soustraction des émissions provoquées par la consommation d'énergie de la machinerie du remoulage ou rechapage. L'activité de réemploi des pneus hors d'usage occasionne de faibles émissions de CO₂ eq comparées à ce qu'elle permet d'économiser.

5.2 Méthodologie de calcul pour le recyclage des pneus usés

5.2.1 Établissement de la formule

Le recyclage des pneus usés permet de réduire les émissions de GES de trois façons. Premièrement, le caoutchouc extrait des pneus usés est un matériel essentiel dans les activités industrielles d'aujourd'hui. Bref, sans la production de poudrette de caoutchouc par les recycleurs primaires et leur intégration dans la fabrication de nouveau produit par les recycleurs secondaires, il y aurait la création de caoutchouc vierge, et par le fait même, des émissions de GES; liées au type d'énergie utilisé (ex. électricité, diesel, gaz naturel, propane, etc.). Ensuite, l'acier retiré des pneus est envoyé aux fonderies métallurgiques, comme mentionné précédemment, et on empêche ainsi de produire d'autres aciers. La production de ce métal implique seulement des émissions de CO₂ (IPCC 1997). Et finalement, les fibres textiles récupérées remplaceront des combustibles comme le coke de charbon et le bunker « c »; des substances émettant beaucoup de GES. Cette dernière étape

est une forme de valorisation énergétique qui n'est possible que par la récupération des fibres au cours des procédés de recyclage primaire. C'est pourquoi il y a une part de valorisation énergétique imputable au recyclage. Par contre, les procédés de recyclage nécessitent de l'énergie, et produisent du CO₂, mais également deux autres GES : N₂O et CH₄. Alors, le calcul de la réduction totale des émissions de GES par le recyclage des pneus hors d'usage se fera en additionnant les émissions évitées (caoutchouc, acier et fibres textiles) et en soustrayant les émissions provoquées par les activités du recyclage de pneus usés.

Émissions directes évitées

5.2.1.1

Réutilisation du caoutchouc recyclé dans la fabrication de nouveau produit rallongeant ainsi son cycle de vie.

$$RE_{CR} = MP * P_1 * I_C$$

RE_{CR} = Réduction des émissions en utilisant du caoutchouc recyclé, exprimé en tonne de CO₂ eq;

MP = Masse de pneus (tonne);

P₁ = Pourcentage de caoutchouc (synthétique et naturel) contenu dans un pneu moyen de camion (43 %) ou de voiture (47 %) (Germain 2006);

I_C = Indice d'émission lors de la création de nouveau caoutchouc strictement du point de vue énergétique; 0,38 t de CO₂ eq par tonne de caoutchouc. Si une tonne de caoutchouc nécessite environ 15 GJ de vapeur et 1400 kWh d'électricité pour être créée, et que 0,0199 tCO₂ eq est générée par MBTU. 15 GJ et 1400 kWh vont être égal à 14,2 + 4,78 MBTU (18,98 MBTU), alors 18,98*0,0199 = 0,38 tCO₂ eq par tonne de caoutchouc produit (LL 2006).

Émissions indirectes évitées

5.2.1.2

Recyclage de l'acier récupéré dans les pneus hors d'usage.

$$RE_{AR} = QA * FEA$$

RE_{AR} = Réduction des émissions en recyclant l'acier, exprimée en tonnes de CO₂ eq;

QA = Quantité d'acier annuellement recyclé (tonne);

FEA = Facteur d'émission de la production d'acier au Canada; 1,6 tCO₂ eq/ tonne d'acier (IPCC 1997).

5.2.1.3

Réduction des émissions en réutilisant les fibres textiles contenues dans les pneus comme combustible de remplacement dans les fours à cimenterie (valorisation énergétique). Les substances remplacées sont le coke de charbon et l'huile no.6 (bunker « c »). Par la valeur calorifique des fibres textiles, du bunker « c » et du coke, il est possible de comparer les quantités remplacées. Les fibres remplacent normalement 70 % de coke de charbon et 30 % de bunker « c » (Bernardin 2006).

$$RE_V = E_B + E_C - E_F$$

RE_V = Réduction des émissions dues à la valorisation énergétique; c.-à-d. remplacement du coke de charbon et de l'huile no.6 par les fibres textiles, exprimée en tonnes de CO₂ eq;

E_B = Émissions qui auraient été engendrées par la combustion du Bunker « c »;

E_C = Émissions évitées qui auraient été produites par la valorisation énergétique du coke de charbon;

E_F = Émissions produites par la combustion des fibres textiles.

A) Les émissions de GES occasionnées par la combustion des fibres textiles provenant des pneus hors d'usage dans les fours à valorisation énergétique.

$$E_F = MF * FE_{FT}$$

MF = Masse de fibres textiles envoyées dans les fours à cimenterie exprimée en tonnes; peut être également calculé théoriquement (sans données réelles) en multipliant le

pourcentage moyen de fibres textiles dans un pneu (automobile = 5,5 % et camions/autobus = 0%) par la masse de pneu (MP) ;

FE_{FT} = Facteur d'émission des fibres textiles (2,28 tCO₂ Eq par tonne de fibres brûlées) (LL 2006).

B) Les émissions qui auraient été produites par la combustion du bunker « c » lors de la valorisation énergétique.

$$E_B = (MF * VC_F) * 0,3 * FE_B / VC_B$$

VC_F = Valeur calorifique des fibres textiles; 32 GJ par tonne de fibres (LL 2006).

VC_B = Valeur calorifique du bunker « c »; 0,0405 GJ par litre de cette huile (LL 2006).

FE_B = Facteur d'émission de GES pour le bunker « c » ; 0,003 tCO₂ Eq par litre d'huile no.6 (UNEP 2000).

C) Les émissions qui auraient été produites par la combustion du coke sans être remplacées par les fibres textiles dans les fours à valorisation énergétique.

$$E_C = (MF * VC_F) * 0,7 * FE_C / VC_C$$

VC_C = Valeur calorifique du coke; 26,17 GJ par tonne de coke (LL 2006).

FE_C = Facteur d'émission de GES pour le coke (3,09 tCO₂ Eq par tonne de coke) (LL 2006).

Émissions directes produites

5.2.1.4

Le recyclage des pneus hors d'usage nécessite l'utilisation de différentes sources d'énergie pour faire fonctionner la machinerie adéquate. L'utilisation de cette énergie (électricité, diesel, gaz naturel et propane) génère des émissions de GES. Le calcul est similaire à celui de la section 5.1.1.4 sur la méthodologie de calcul du réemploi des pneus usés.

Total des émissions créditées

$$RE_T = \Sigma \text{Émissions évitées} - \text{Émissions produites}$$

$$RE_T = RE_{CR} + RE_{AR} + RE_V - E$$

5.2.2 Explication de la méthodologie

La première étape du scénario de recyclage sur les GES évités implique seulement le caoutchouc (naturel et synthétique). En fait, deux valeurs sont multipliées : la masse de caoutchouc et l'indice d'émissions rattaché à la fabrication de caoutchouc vierge. La première est obtenue en multipliant la masse de pneus (MP) par le pourcentage moyen de caoutchouc contenu dans les pneus (P_1). La masse de pneus hors d'usage est fournie par l'entreprise de recyclage, tandis que le pourcentage de caoutchouc (P_1) est celui des pneus de camions/autobus (43 %), des pneus automobiles (47 %) ou des pneus surdimensionnés (Germain 2006); aucun pourcentage moyen n'est disponible étant donné la grande variabilité à travers les différents types de pneu (voir tableau 1.3.). Ensuite, l'indice (I_C) d'émissions de GES pour le recyclage du caoutchouc tient compte de la quantité d'énergie économisée en empêchant de produire du caoutchouc vierge. Cet indice représente la quantité de CO₂ Eq évitée pour une tonne métrique de caoutchouc recyclé ($I_C = 0,38$ tCO₂ eq par tonne de caoutchouc).

La deuxième équation tient compte du prolongement de la vie utile d'une matière qui a une grande valeur sur le marché : l'acier. Ce métal est retiré des pneus usés sans qu'il soit contaminé par d'autres composantes du pneu. Ce critère doit être respecté, car les fonderies n'accepteront pas de l'acier souillé par les autres composantes du pneu; bref, les coûts de décontamination peuvent s'avérer élevés. Ce faisant, l'acier récupéré est revendu, ce qui permettra de réduire les émissions de carbone considérablement, car on évite de produire d'autre acier. La formule requiert la quantité d'acier récupérée (QA) et le facteur d'émission de la production d'acier (FEA). La première valeur est transmise par l'entreprise de recyclage, tandis que le facteur d'émission pour la production d'acier provient du comité intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC). Cette dernière donnée tient compte de la production d'acier au Canada (IPCC 1997).

La troisième formule permet de calculer les émissions sauvées dues au remplacement de différents types de carburants par les fibres textiles des pneus hors d'usage. Les fibres remplacent normalement 70 % de coke de charbon dans les fours et 30 % d'huile bunker « c » (huile no.6). La réduction des émissions de GES engendrée par la valorisation énergétique (RE_V) se calcule comme suit : on additionne les émissions du bunker « c » (E_B) et du coke (E_C) qui auraient eu lieu et on soustrait celles provenant de la combustion des textiles (E_F). Le raisonnement aurait pu être différent dans le cas où les fibres textiles des pneus se décomposeraient rapidement dans l'environnement, car même si ces matériaux ne sont pas envoyés en valorisation énergétique, il y aurait libération de GES dans l'atmosphère. La formule aurait par conséquent seulement inclus l'addition des émissions du bunker « c » et du coke sans la soustraction des émissions des fibres dans les fours, mais avec l'ajout des émissions de la décomposition des textiles. Par ailleurs, le résultat pourrait être négatif si les émissions des fibres textiles étaient supérieures à celles des deux autres constituants, mais ce n'est pas le cas!

A. Les tCO₂ eq générées par la combustion des fibres se résument à la multiplication de la masse de textile (MF) et du facteur d'émission (FE_{FT}). Après consultation infructueuse de plusieurs sources d'information reconnues (voir la section *Protocole de recherche d'informations*), le facteur d'émission de la combustion des fibres textiles se calcule ainsi : multiplication de la teneur en carbone du matériel avec le rapport stœchiométrique du gaz carbonique et du carbone (CO_2/C); cette méthode est approuvée par Environnement Canada (Environnement Canada 2006).

B. Ensuite, les émissions provoquées par la combustion du bunker « c » sont calculées comme suit (E_B) : tout d'abord, il faut trouver la quantité d'huile (litres) équivalente à la quantité de pneus (tonnes) à l'aide des valeurs calorifiques respectives de chacun (en GJ). Alors, si on sait ce que les fibres produisent en énergie ($MF * VC_F$), et que 30 % de cette énergie remplace l'huile no.6, on divise simplement cette énergie par la valeur calorifique du bunker ($VC_B = 0,0405$ GJ par litres) et on multiplie par le facteur d'émission d'un litre d'huile no.6 ($FE_B = 0,003$ tCO₂ Eq par litre de bunker « c » brûlé).

C. Pour calculer les émissions de GES dues au coke (E_C), il suffit de suivre le même raisonnement que pour le remplacement de l'huile no.6, à l'exception que 70 % de l'énergie des textiles remplace le coke.

Les émissions directement produites par le recyclage des pneus usés se résument à l'addition des différentes sources d'énergie utilisées. Pour en savoir davantage sur

l'élaboration de cette formule, se référer à l'explication de la méthodologie pour les émissions produites à partir des sources d'énergie utilisées (électricité, diesel, gaz naturel et propane) à la section 5.1.2.

La formule finale de la réduction des émissions de GES provenant du recyclage des pneus hors d'usage se résume à l'addition des émissions évitées (caoutchouc, acier et fibres textiles) et par la soustraction des émissions provoquées par les procédés de recyclage. L'activité de recyclage de pneus hors d'usage occasionne de faibles émissions de CO₂ eq comparées à ce qu'elle permet d'économiser. Pour une entreprise de recyclage secondaire, la production aurait lieu avec ou sans poudrettes de caoutchouc provenant des pneus usagés. À vrai dire, les recycleurs secondaires peuvent se procurer les matériaux autrement que par les pneus (retailles de caoutchouc dans d'autres types de manufactures, caoutchouc neuf, etc.).

5.3 Méthodologie de calcul pour la valorisation énergétique des pneus usés

5.3.1 Établissement de la formule

Lorsque les pneus hors d'usage sont envoyés dans des fours pour la valorisation énergétique, cette matière permet de remplacer d'autres carburants qui auraient généré davantage de GES; par exemple, les pneus usés peuvent remplacer l'huile no.6 et le coke de charbon dans les fours à cimenterie.

Émissions directes évitées

Réduction des émissions en envoyant les pneus usés dans des fours en remplacement de différentes substances qui émettent plus de GES. Par la valeur calorifique des pneus, du bunker « c » (huile no.6) et du coke, il est possible de comparer les quantités remplacées. En présumant que les pneus remplacent 70 % de coke et 30 % de bunker « c ».

$$\mathbf{RE_{VP} = E_{BP} + E_{CP} - E_P}$$

RE_{VP} = Réduction des émissions dues à la valorisation énergétique de pneus; c.-à-d. remplacement de certaines matières par des pneus hors d'usage; exprimé en tCO₂ eq;

E_{BP} = Émissions qui auraient été occasionnées par la combustion du Bunker « c » sans le remplacement par des pneus hors d'usage;

E_{CP} = Émissions qui auraient été produites par la valorisation énergétique du coke de charbon sans le remplacement par des pneus usés;

E_P = Émissions de GES produites par la combustion de pneus.

A. Les émissions de GES générées par la combustion des pneus hors d'usage dans les fours à valorisation énergétique.

$$E_P = MP * ((P_1 * D_{Hydro}) + (P_2 * FE) + (P_3 * FE_{FT}))$$

MP = Masse de pneus (tonnes);

P₁ = Pourcentage de caoutchouc (synthétique et naturel) contenu dans un pneu moyen de camion (43 %) ou de voiture (47 %) (Germain 2006);

D_{Hydro} = Combustion des hydrocarbures contenus dans le caoutchouc; facteur d'émissions pour le caoutchouc, 3 tCO₂ eq par tonne de caoutchouc brûlé (LL 2006);

P₂ = Pourcentage moyen de noir de carbone dans un pneu; 21,5 % pour les pneus automobiles et 21 % pour les pneus de camions/autobus;

FE = Facteur d'émissions de CO₂ eq pour le noir de carbone, 3,7 tCO₂ eq par tonne de noir de carbone brûlé (LL 2006);

P₃ = Pourcentage moyen de fibres textiles dans un pneu; 5,5 % pour les pneus automobiles et 0 % pour les pneus de camions selon Recyc-Québec (Germain 2006);

FE_{FT} = Facteur d'émission des fibres textiles, 2,28 tCO₂ Eq par tonne de fibres brûlées (LL 2006).

B. Les émissions qui auraient été produites par le bunker « c » dans les fours à valorisation énergétique.

$$E_{BP} = (MP * VC_P) * 0,3 * FE_B / VC_B$$

VC_P = Valeur calorifique des pneus; 34 GJ par tonne de pneus (LL 2006).;

FE_B = Facteur d'émission de GES pour le bunker « c » (0,003 tCO₂ Eq par litre d'huile no.6) (UNEP 2000);

VC_B = Valeur calorifique du bunker « c »; 0,0405 GJ par litre de cette huile (LL 2006).

C. Les émissions qui auraient été produites par la combustion du coke de charbon.

$$E_{CP} = (MP * VC_P) * 0,7 * FE_C / VC_C$$

FE_C = Facteur d'émission de GES pour le coke (3,09 tCO₂ Eq par tonne de coke) (LL 2006).

VC_C = Valeur calorifique du coke; 26,17 GJ par tonne de coke (LL 2006).

5.3.2 Explication de la méthodologie

Cette formule permet de calculer les émissions sauvées dues au remplacement de différents types de carburants par des pneus hors d'usage. Il est sous-entendu que les pneus remplacent 70 % de coke dans les fours et 30 % d'huile bunker « c » (huile no.6) (Bernardin 2006). La réduction des émissions de GES occasionnée par la valorisation énergétique (RE_{VP}) se calcul comme suit : on additionne les émissions du bunker « c » (E_{BP}) et du coke (E_{CP}) qui auraient eu lieu et on soustrait celles des pneus usés (E_P). Les tCO₂ eq générées par la combustion des pneus se résument à la multiplication de la masse de pneus (MP) avec la proportion de caoutchouc/textiles/noir de carbone et leurs facteurs d'émissions respectifs (D, FE et FE_{FT}). Ensuite, les émissions provoquées par la combustion du bunker « c » sont calculées comme suit (E_{BP}) : tout d'abord, il faut trouver la quantité d'huile (litres) équivalente à la quantité de pneus (tonnes) à l'aide des valeurs calorifiques respectives de chacun (en GJ). Alors, si on sait ce que les pneus produisent en énergie ($MP * VC_P$), et que 30 % de cette énergie remplace l'huile no.6, on divise simplement cette énergie par la valeur calorifique du bunker ($VC_B = 0,0405$ GJ par litres) et on multiplie par le facteur d'émission d'un litre d'huile no.6 ($FE_B = 0,003$ tCO₂ eq par litre d'huile brûlé). Pour calculer les émissions de GES dues au coke (E_C), il suffit de suivre le même raisonnement, à l'exception que 70 % de l'énergie des pneus remplace le coke.

5.4 Limite des calculs

Ces méthodologies de calcul ne sont pas applicables pour d'autres secteurs d'activités (ex. transport, agriculture, recyclage de plastique, etc.), mais il serait possible d'interchanger d'autres variables dans leur cas. Ce calcul est fidèle à la réalité dans la mesure où les données sont disponibles et selon l'exactitude des différents coefficients calculés. La plupart des facteurs d'émissions, d'indices et de coefficients sont basés sur des données antérieures et une mise à jour est à prévoir chaque année. Certes, l'élaboration de coefficient d'émission nécessite une cueillette d'information assez ardue qui peut s'échelonner sur plusieurs années. Les calculs qui sont avancés dans ce document sont vérifiables par les références qui les appuient, mais pour les données qui ont été trouvées par la firme Lagacé et Legault international, mieux vaut les contacter pour en savoir davantage (LL 2006). Les sources d'information sont pour la plupart récentes et validées par des spécialistes dans le domaine (Recyc-Québec, Industrie Canada).

Une usine de valorisation énergétique qui n'insère pas les pneus entiers dans ses fours, mais qui les fragmente préalablement, devrait avoir une moins grande réduction des émissions de GES que dans la section 5.3. La méthodologie de calcul présentée dans cet ouvrage n'inclut pas l'énergie nécessaire à la fragmentation des pneus hors d'usage par les déchiqueteurs. Donc, dans ce cas, il faudrait rajouter un calcul considérant la consommation d'énergie pour la fragmentation; similaire à la section 5.1.1.4 de la méthodologie de calcul pour le recyclage des pneus usés.

Pour le réemploi des pneus hors d'usage, d'autres matériaux auraient pu être retenus dans le calcul. Bien entendu, il y a des fibres textiles, du soufre et divers autres composants qui n'auront pas besoin d'être produit à l'état vierge lorsque réemployés. Mais cet aspect n'est pas retenu dans cet ouvrage étant donné la faible importance de ces matériaux dans le bilan de masse du pneu. Bref, la formule serait beaucoup trop complexe en incorporant toutes les composantes du pneu qui sont réemployées sans impact significatif sur le résultat final. Par conséquent, la réduction des émissions de GES par le réemploi des pneus est légèrement sous-estimée par la formule présentée en 5.1.1.

Dans le cas du recyclage, c'est la combinaison du recyclage primaire et secondaire qui permet de réduire les émissions. Alors, si une entreprise fait seulement du recyclage primaire, elle ne peut pas être la seule à recevoir le mérite quant à la réduction des

émissions de GES; il peut donc y avoir des ambiguïtés lors de l'attribution des crédits de carbone. Dans les faits, seul le calcul pour le caoutchouc (5.2.1.1) pourrait être attribué aux deux types de recycleurs, car les autres étapes sont directement reliées à la ségrégation des différents composant du pneu (recyclage primaire).

5.5 Protocole de recherche des coefficients d'émissions

La majorité des coefficients d'émissions ont été fournis par Recyc-Québec, l'EPA, l'IPCC, CSA et Industrie Canada. Plusieurs informations n'ont été disponibles qu'en contactant des personnes ressources : M. Benoît Germain de Recyc-Québec, M. Gilles Bernardin de Ciment St-Laurent et M. John Margeson d'Industrie Canada. La plupart des chiffres utilisés dans cet ouvrage proviennent de ces cinq sources d'information et des contacts, mais pas tous. Par exemple, la quantité de GES émise lors de la combustion des fibres textiles et des pneus dans les fours à cimenterie, ainsi que la valeur calorifique respective de chacun. La recherche s'est faite par les différentes sources mentionnées précédemment, mais sans succès. La recherche s'est faite à l'aide du moteur de recherche « google » et les données ont seulement été recueillies dans des organismes scientifiques sérieux et le plus souvent validés par une deuxième étude similaire.

6. Comparaison des différents modes de gestion intégrée

À présent que les équations pour les calculs de réductions d'émission de GES des différentes caractéristiques des trois modes de gestion des pneus hors d'usage préconisés au Québec ont été établies, quel est le plus réducteur d'émissions de GES, et par la même occasion qui pourra bénéficier de crédits de carbone sur les marchés internationaux, et quelle est l'option optimale dans une optique de développement durable. Le mode de gestion le plus réducteur des émissions de GES n'est pas nécessairement celui qui serait à favoriser au niveau social, économique et même environnemental; d'autres dommages sur le milieu naturel pourraient être plus significatifs que la simple réduction des émissions de GES. Cette section cherchera à éclaircir les choix à l'aide d'une analyse comparative autant du point de vue de la réduction des émissions de GES que de l'intégration des trois sphères du développement durable.

Tout d'abord, une comparaison des modes de gestion des pneus usés quant à la réduction des émissions de GES sera faite, mais pas dans le même sens qu'ISO, car le calcul des émissions pour les trois solutions s'est fait en comparaison avec rien faire. Le principe d'additionnalité sera appliqué dans la section *Attribution des crédits de carbone*. Ensuite, une seconde comparaison entre les trois solutions se fera en fonction de critères issus du développement durable; le choix des critères et leur importance seront justifiés. Les analyses comparatives à base de critères prédéterminés ont souvent eu le défaut d'être subjectives. Alors, pour réduire la subjectivité de l'analyse dans la comparaison des solutions, l'analyse se fera en deux niveaux : avantages-inconvénients et pondération des critères. Finalement, une discussion sera faite quant aux deux types d'analyse.

6.1 Évaluation des répercussions des différentes méthodes de gestion sur la réduction des émissions de GES

Ce premier type de comparaison s'effectuera en utilisant un exemple fictif sur la quantité de pneus hors d'usage à traiter.

Exemple fictif : 30 000 ÉPA sont recueillis par le système de récupération des pneus hors d'usage de Recyc-Québec et envoyés à trois types de mise en valeur : recyclage, réemploi et valorisation énergétique. De ce chiffre, 10 000 ÉPA sont distribués à chaque type d'usine et la composition de chaque part se répartie comme suit : 5 000 ÉPA de pneus automobiles et 5 000 ÉPA de pneus de camions/autobus.

Cet exemple fictif veut ainsi dire, en se référant au tableau 1.3., que chaque mode de gestion devra traiter 5 000 pneus automobiles (5 000 * 0,0091 t = 45,5 t) et 1 000 pneus de camions/autobus (1 000 * 0,0455 t = 45,5 t). Pour chacune des techniques de traitement des pneus hors d'usage, voici le calcul des réductions d'émissions de GES en se basant sur les formules élaborées au chapitre précédent :

6.1.1 Calcul et explication de la réduction pour le réemploi

Étapes	Calculs	Réduction (tCO2 eq)
5.1.1.1	$RE_{CV} = MP * (P_1 - FCS) * I_C$ $RE_{CV} = (45,5 * (0,47 - (0,47*0,25)) * 0,38) + (45,5 * (0,43 - (0,43*0,25)) * 0,38)$	11,671
5.1.1.2	$RE_{RA} = MP * P_A * FEA$ $RE_{RA} = (45,5 * 0,165 * 1,6) + (45,5 * 0,27 * 1,6)$	31,668
5.1.1.3	$RE_{NC} = MP * (P_2 - FNCS) * I_{NC}$ $RE_{NC} = (45,5 * (0,215 - (0,215*0,25)) * 0,23) + (45,5 * (0,21 - (0,21*0,25)) * 0,23)$	3,335
5.1.1.4	$E_{MV} = E_{kW} + E_{Diesel} + E_{GazNaturel} + E_{Propane}$ $E_{MV} = (50\ 785*0,000022) + ((331*0,00273 + (331*0,00000012*21) + (331*0,0000004*310)) + ((5549*0,001891) + (5549*0,000000037*21) + (5549*0,000000033*310)) + ((127*0,0015) + (127*0,000000024*21) + (127*0,000000108*310))$	12,814
Total	$RE_T = \Sigma \text{Émissions évitées} - \text{Émissions produites}$ $RE_T = RE_{CV} + RE_{RA} + RE_{NC} - E$ $RE_T = 11,671 + 31,668 + 3,335 - 12,814$	33,86

Explication des résultats :

Dans la première formule (RE_{CV}), la réduction des émissions due à l'empêchement de la création de caoutchouc vierge doit considérer la semelle remplacée; bref, une fraction du caoutchouc du pneu usé doit être remplacée par du caoutchouc vierge dont les caractéristiques sont optimales pour les conditions de la route. Le pourcentage moyen de caoutchouc (FCS) et de noir de carbone (FNCS) retiré est de 25 % du pourcentage de chacune de ces composantes dans le pneu. Pour l'énergie consommée (E) par le procédé de

remoulage/rechapage, en se référant à une usine standard de recyclage, le réemploi doit être inférieur à cette valeur (voir calcul recyclage), car il y a moins d'équipements sollicités par ce type de mise en valeur.

Il est à souligner que dans les trois premières formules il a fallu considérer la catégorie des pneus automobiles et camions/autobus séparément, car les variables P_1 , P_2 et P_A diffèrent selon la catégorie de pneu.

6.1.2 Calcul et explication de la réduction pour le recyclage

Étapes	Calculs	Réduction (tCO2 eq)
5.2.1.1	$RE_{CR} = MP * P_1 * I_C$ $RE_{CV} = (45,5 * 0,47 * 0,38) + (45,5 * 0,43 * 0,38)$	15,561
5.2.1.2	$RE_{AR} = QA * FEA$ $RE_{AR} = (45,5 * 0,165 * 1,6) + (45,5 * 0,27 * 1,6)$	31,668
5.2.1.3	$RE_V = E_B + E_C - E_F$ $RE_V = 1,7795 + 6,6187 - 5,7057$ $RE_V = 2,6925$ $E_F = MF * FE_{FT}$ $E_F = (45,5 * 0,055 * 2,28) + (45,5 * 0 * 2,28)$ $E_F = 5,7057$ $E_B = (MF * VC_F) * 0,3 * FE_B / VC_B$ $E_B = (((45,5 * 0,055) + (45,5 * 0)) * 32) * 0,3 * 0,003 / 0,0405$ $E_B = 1,7795$ $E_C = (MF * VC_F) * 0,7 * FE_C / VC_C$ $E_C = (((45,5 * 0,055) + (45,5 * 0)) * 32) * 0,7 * 3,09 / 26,17$ $E_C = 6,6187$	2,693
5.2.1.4	$E_{MV} = E_{kw} + E_{Diesel} + E_{GazNaturel} + E_{Propane}$ $E_{MV} = (50\ 785 * 0,000022) + ((331 * 0,00273 + (331 * 0,00000012 * 21) + (331 * 0,0000004 * 310)) + ((5549 * 0,001891) + (5549 * 0,000000037 * 21) + (5549 * 0,000000033 * 310)) + ((127 * 0,0015) + (127 * 0,000000024 * 21) + (127 * 0,000000108 * 310))$	12,814
Total	$RE_T = \Sigma \text{Émissions évitées} - \text{Émissions produites}$ $RE_T = RE_{CV} + RE_{RA} + RE_{NC} - E$ $RE_T = 15,561 + 31,668 + 2,693 - 12,814$	37,11

Explication des résultats :

Normalement la quantité d'acier (QA) et la masse de fibres textiles (MF) qui sont récupérées durant le processus de recyclage sont disponibles directement par le recycleur qui tient un registre des produits vendus. Les véritables quantités devraient se rapprocher d'un modèle théorique où QA est calculé en multipliant la masse de pneus (MP) par le pourcentage moyen d'acier présent dans les pneus (P_A), mais dans la réalité, il faudrait se baser sur les quantités recueillies par le recycleur, car d'un manufacturier à l'autre la

proportion peut varier légèrement. La variable MF est calculée selon le même concept : multiplication de la masse de pneus (MP) par la proportion moyenne de fibres textiles dans un pneu (P₃); il y a 5,5 % de fibres textiles pour les pneus automobiles et 0 % pour la catégorie de pneus de camions/autobus (Germain 2006). Pour les émissions produites (E), en se basant sur un cas réel d'usine de recyclage primaire et secondaire (LL 2006) il est possible d'extrapoler sa consommation à notre cas. Conséquemment, si cette usine consommait 14 337 000 kWh, 1 566 713 m³ de gaz naturel, 35 850 litres de propane et 93 436 litres de diesel pour recycler 25 690 tonnes de pneus hors d'usage, notre usine qui traitera 91 tonnes (10 000 ÉPA) de pneus consommerait :

- 14 337 000 kWh * 91 tonnes de pneus/25 690 tonnes de pneus = **50 785 kWh**
- 1 566 713 m³ * 91 tonnes de pneus/25 690 tonnes de pneus = **5 549 m³ de gaz naturels**
- 35 850 litres de propane * 91 tonnes de pneus/25 690 tonnes de pneus = **127 litres de propane**
- 93 436 litres de diesel * 91 tonnes de pneus/25 690 tonnes de pneus = **331 litres de diesel**

D'une usine à l'autre, l'utilisation d'énergie peut varier par le type d'équipement utilisé et l'efficacité énergétique globale de l'usine, mais dans le cadre de cette étude cette estimation est suffisante.

6.1.3 Calcul et explication de la réduction pour la valorisation énergétique

Étapes	Calculs	Réduction (tCO ₂ eq)
Total	$RE_{VP} = E_{BP} + E_{CP} - E_P$ $RE_{VP} = 68,7555 + 255,7250 - 200,1044$ $RE_{VP} = 124,38$	124,38
	$E_P = MP_V * ((P_1 * D) + (P_2 * FE) + (P_3 * FE_{FT}))$ $E_P = (45,5 * ((0,47*3) + (0,215*3,7) + (0,055*2,28))) + (45,5 * ((0,43*3) + (0,21*3,7) + (0 * 2,28)))$ $E_P = 200,1044$	
	$E_{BP} = (MP_V * VC_P) * 0,3 * FE_B/VC_B$ $E_{BP} = (91 * 34) * 0,3 * 0,003/0,0405$ $E_{BP} = 68,7555$	
	$E_{CP} = (MP_V * VC_P) * 0,7 * FE_C/VC_C$ $E_{CP} = (91 * 34) * 0,7 * 3,09/26,17$ $E_{CP} = 255,7250$	

Explication des résultats :

Le calcul de la réduction des émissions de GES par la valorisation énergétique est beaucoup plus simple que les autres, car la combustion des pneus hors d'usage ne requiert

pas la consommation d'une source d'énergie autre que celle produite à l'intérieur des fours. Bref, le procédé de valorisation énergétique s'auto alimente en énergie et la venue d'un matériau comme les pneus usés ne nécessitent pas une opération supplémentaire; à l'exception des pneus fragmentés (voir la section 5.4 *Limite des calculs*). La formule sur les émissions des pneus (E_P) doit considérer les deux catégories de pneus (automobiles et camions/autobus), parce que la proportion des composantes varie (P_1 , P_2 et P_3).

6.1.4 Comparaison de la réduction des émissions de GES

Tableau 6.1. Comparaison de la réduction des émissions de GES entre les trois types de mise en valeur des pneus hors d'usage pour l'exemple des 10 000 ÉPA

	Mode de gestion		
	Réemploi	Recyclage	Valorisation énergétique
Réduction (tCO ₂ eq)	33,86	37,11	124,38

En comparant les résultats du tableau 6.1., la valorisation énergétique termine bonne première au niveau de la réduction des émissions de GES. Ce résultat est surprenant compte tenu du fait qu'on brûle les pneus et que des émissions s'en libèrent comparativement aux deux autres modes de gestion. Par contre, les émissions se libérant des 10 000 ÉPA, dans l'exemple précédent, sont largement inférieures à ce qu'elle remplace ($E_P = 200,1044$ tCO₂ eq vs $E_{BP}+E_{CP} = 324,481$ tCO₂ eq); d'où l'importance de valider la quantité de coke et d'huile no.6 qui sera réellement remplacée. Pour les besoins de l'étude, une proportion de 30 % d'huile no.6 et 70 % de coke de charbon sont remplacés. Bref, les procédés utilisés dans les fours à cimenterie ne requièrent pas particulièrement l'usage de pneus hors d'usage, car si c'était le cas, il n'y aurait pas de réduction des émissions de GES; les pneus ne remplaceraient pas de matériaux comme le coke ou le bunker « c ».

Le recyclage et le réemploi des pneus hors d'usage sont quant à eux quasi ex æquo, car les deux sont basés sur un raisonnement similaire : empêcher la production de matériaux vierge en prolongeant le cycle de vie utile de ces derniers (caoutchouc, acier et fibres textiles). La réduction des émissions de GES prend en compte la non consommation des sources d'énergie qui auraient été utilisées lors de la production de matériaux bruts. Les

deux réductions des émissions sont très similaires, mais le réemploi pourrait s'avérer avoir une plus grande diminution que le recyclage en comparant les quantités d'énergie consommées réelles; le réemploi devrait, en principe, consommer moins d'énergie (moins de machineries).

Malgré quelques incertitudes dévoilées lors de l'élaboration des trois méthodologies, il n'en demeure pas moins l'émergence d'une tendance qui démontre clairement que la valorisation énergétique est la technique de traitement des pneus usés la plus efficace pour réduire les GES ($RE_T = 124,38 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$) étant approximativement trois fois plus réductrices que les autres.

À présent, voyons si cette solution en matière de gestion des pneus hors d'usage est la plus respectueuse des générations futures dans une optique de développement durable.

6.2 Évaluation des répercussions des différentes méthodes de gestion dans une perspective de développement durable

Le développement durable est un concept mis de l'avant avec la parution du rapport Bruntland en 1987 (André, Delisle et Revêrêt 2003). Ce concept amène une vision respectueuse des générations futures, tout en comblant les besoins du présent, au niveau environnemental, social et économique. Bref, avec l'avancée des technologies et la complexité des procédés industriels, il n'est plus possible de faire du développement strictement du point de vue économique; capitalisme pur et dur. La qualité de vie et l'environnement sont deux facettes qui viennent se rajouter au concept de développement économique. Les pays industrialisés et leurs institutions peuvent croître et prendre de l'ampleur, mais en considérant les écosystèmes en place et l'équité sociale. Ce nouveau concept est accepté unanimement, par contre son application peut devenir complexe. Le Québec est une province canadienne qui a sa propre stratégie de développement durable pour les prochaines années. Des projets tels l'utilisation d'énergies renouvelables (éolien, géothermique) et l'efficacité énergétique sont promus. Le *Programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage* en est un fort bon exemple!

Parmi les trois types de mise en valeur des pneus usés, lequel est celui qui répond le mieux aux conditions du développement durable (la solution optimale)? Une comparaison par critères environnementaux, sociaux et économiques devra se faire. Ce type de comparaison doit tout d'abord s'accomplir en élaborant des critères issus des trois sphères du développement durable (environnement, social et économique). Ensuite, ces critères seront regroupés sous la forme d'un tableau d'analyse, et comme il a été mentionné précédemment, deux niveaux d'analyses seront effectués : avantages-inconvénients et pondération justifiée.

6.2.1 Élaboration des critères d'analyses

Environnementaux

Qualité de l'air : Plusieurs types de contaminants peuvent être relâchés dans l'air, mais les quatre impacts d'importance dans notre société sont : les GES, le smog, les pluies acides et l'amincissement de la couche d'ozone.

Qualité de l'eau : Des rejets liquides chargés en contaminants peuvent altérer la qualité des cours d'eau. Ce milieu est très réglementé au Québec et sa préservation est une priorité.

Qualité du sol : Une dégradation des sols en dépassant la capacité de support peut entraîner la contamination des nappes phréatiques, une affectation de l'écosystème et des espèces vivantes dans le milieu.

Ressources non renouvelables : La consommation d'une ressource non renouvelable entraîne une perte irréparable d'une richesse pour les générations futures (ex. pétrole et ses dérivés).

Ressources renouvelables : L'usage d'une ressource naturelle renouvelable ne provoque pas la perte irréparable d'une richesse, mais il ne faut pas que son utilisation compromette la capacité de régénération du milieu.

Sociaux

Santé publique (travailleurs et public) : La santé de la population ne doit pas être en péril par l'implantation d'une usine de traitement des pneus hors d'usage. La sécurité des travailleurs dans l'usine doit être étroitement surveillée pour ne pas brimer leur droit.

Volonté politique : Les engagements du gouvernement dans la gestion de matières résiduelles, comme les pneus usés, reflètent l'opinion de la société. C'est souvent par la volonté politique qu'il y a des changements importants dans une société.

Acceptabilité sociale : La vision de la population et leur consultation peut être importante dans la prise de décision. Le phénomène « NIMBY » (*Not in my backyard*) est un comportement souvent observé. Personne ne veut d'une usine qui émet de grandes quantités de contaminants à proximité de sa maison!

Fardeau des responsabilités : La société d'aujourd'hui doit assumer ses responsabilités en regard des dommages qu'elle impute aux générations futures.

Économiques

Investissements initiaux : Les sommes à ramasser pour l'implantation du mode de gestion des pneus hors d'usage. Plus le montant est élevé, plus la décision à s'engager dans le projet est difficile pour le promoteur.

Coûts d'exploitation et d'entretien : Des coûts afférents au niveau de l'entretien et de l'exploitation de l'usine de mise en valeur peuvent s'avérer être un frein pour le promoteur. Les coûts reliés à la consommation d'énergie sont également à considérer.

Coûts de démantèlement : Dans un cycle de vie complet d'un procédé, il ne faut pas oublier la dernière phase : le démantèlement. Le promoteur a la responsabilité de son bien, alors il devra prendre en charge la fin de vie utile de son usine de mise en valeur.

Emplois : Les emplois générés par la mise en place de ce mode de gestion. Tout projet de création d'emploi majeur a des impacts significatifs dans notre société.

Rentabilité et profits de la mise en valeur : La valeur du produit final de la pratique de gestion choisie doit permettre au promoteur de faire une certaine marge de profit, sinon il n'y aurait pas de volonté à implanter ce type de valorisation.

6.2.2 Analyse par avantages-inconvénients

Ce premier type d'analyse permet d'observer des tendances au premier coup d'œil. Les trois modes de gestion sont comparés entre eux pour chacun des critères du développement durable élaborés précédemment. Si une solution se démarque des autres, on lui donne un avantage, mais si elle est moins efficace que les autres, elle obtient un inconvénient. Bref, de cette manière il est possible de détecter les forces et les faiblesses des différents modes de gestions des pneus hors d'usage. Une lacune de ce type d'analyse est l'attribution du même niveau d'importance pour tous les critères, ce qui n'est pas toujours le cas. Par exemple la santé de la population aura beaucoup plus de poids que les profits du projet. C'est pourquoi il y aura un deuxième niveau de comparaison à la section 6.2.3.

Tableau 6.2. Analyse comparative des avantages et des inconvénients des trois modes de gestion des pneus hors d'usage selon des critères issus du développement durable

Critères d'analyses	Mode de gestion		
	Réemploi	Recyclage	Valorisation énergétique
Qualité de l'air	+	Neutre	Neutre
Qualité de l'eau	Neutre	Neutre	—
Qualité du sol	Neutre	Neutre	Neutre
Ressources non renouvelables	+	+	—
Ressources renouvelables	Neutre	Neutre	Neutre
Santé publique	Neutre	Neutre	—
Volonté politique	+	+	—
Acceptabilité sociale	Neutre	+	—
Fardeau des responsabilités	+	+	Neutre
Investissements initiaux	Neutre	—	+
Coûts d'exploitation et d'entretien	Neutre	—	+
Coûts de démantèlement	Neutre	Neutre	Neutre
Emplois	Neutre	+	Neutre
Rentabilité et profits	Neutre	Neutre	+
Total	4 +	5 + et 2 —	3 + et 5 —

<u>Légende</u>	Critères environnementaux : vert Critères sociaux : bleu Critères économiques : jaune	Avantage : + Inconvénient : — Neutre : aucun avantages ou inconvénients
----------------	---	---

Commentaires :

Réemploi

Le réemploi se démarque comme technique de traitement des pneus usés au niveau environnemental sous deux critères : la qualité de l'air et les ressources non renouvelables. Tout d'abord, les procédés de remoulage ou de rechapage sont moins complexes que ceux du recyclage (retire la semelle et en installe une nouvelle) et ils n'émettent pas de rejets gazeux particuliers dans l'atmosphère. Par la suite, le réemploi des pneus donne une seconde vie aux matériaux plutôt que de les éliminer ou les valoriser. Et en prolongeant le cycle de vie des matériaux, le réemploi prend en main le fardeau de garantir une plus grande disponibilité des ressources naturelles pour les générations futures. Ce type de mise en valeur est bien vu dans la société, tout comme le recyclage, mais les gens ne sont pas tous disposés à utiliser des pneus ré-usinés. La volonté politique, avec le programme mis de l'avant pas Recyc-Québec, subventionne le réemploi des matières résiduelles. Au niveau économique, le remoulage ou le rechapage des pneus usés ne se démarque pas plus des autres solutions. Néanmoins, le réemploi ne nécessite pas autant de machineries que les processus de recyclage, et par conséquent l'investissement de départ est moindre.

Recyclage

Le recyclage, tout comme le réemploi, prolonge le cycle de vie des matériaux qui sont extraits du pneu. Cette philosophie est fortement encouragée dans notre société par le gouvernement (volonté politique), car la rareté des ressources deviendra un enjeu important dans les années à venir. En utilisant le recyclage, notre société prend en charge ses responsabilités quant aux générations futures et lèguera des ressources encore disponibles. Les gens sont de plus en plus familiarisés avec le système de recyclage mis en place par Recyc-Québec, alors il n'y a pas de changement d'habitude dans la perception d'une telle mise en valeur des pneus hors d'usage. Les emplois directs et indirects créés sont nombreux étant donné la complexité des processus. Par exemple, dans l'usine même, plusieurs intervenants doivent entretenir les machines et les nettoyer périodiquement, en plus des techniciens qui ont construit ces machines (emplois indirects). Par contre, au niveau économique, la complexité du processus quant au recyclage des pneus nécessite des coûts plus élevés pour l'achat des équipements et la main-d'œuvre qualifiée pour les faire fonctionner et entretenir.

Valorisation énergétique

Il est à noter que la valorisation énergétique est considérée neutre au niveau de la qualité de l'air, car même si elle réduit davantage les émissions de GES que les deux autres solutions, ce type de mise en valeur brûle toutes sortes de matériaux et les émissions gazeuses sont relativement hétérogènes! Dans le même ordre d'idée, les cours d'eau seront affectés par les contaminants relâchés dans l'atmosphère qui ne sont pas captés par les filtres de l'usine. La valorisation énergétique représente le V dans le concept des 3 RV-E, et il n'est privilégié que dans le cas où les matières résiduelles auraient été éliminées; la valorisation énergétique est une forme d'élimination de ressources, mais en captant son énergie. Un pneu contient une proportion élevée de caoutchouc et de noir de carbone qui sont des dérivés du pétrole, donc ce type de mise en valeur ne préserve pas les ressources non renouvelables. Au niveau social, la valorisation énergétique est désavantagée pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les émissions de contaminants dans l'air et les cours d'eau augmentent les risques de développement de maladies et de problèmes de santé dans la population. Ce type d'usine comporte souvent de hautes cheminées qui relâchent une fumée compacte et cette apparence sera d'autant moins bien perçue par la population. Néanmoins, la valorisation énergétique fait meilleure figure au niveau économique. Les fours à cimenterie sont déjà en place, donc il n'y a pas d'ajout d'équipement particulier pour la combustion des pneus usés, à moins de les déchiqueter. Alors, les investissements initiaux et les coûts d'entretien seront très bas. Les pneus usés sont des matériaux de remplacement, qui sont fournis par Recyc-Québec via le système de récupération en place, la rentabilité du processus est donc assurée contrairement au recyclage qui doit se fier à la valeur de la poudrette de caoutchouc sur le marché. La valorisation énergétique des pneus usés permet de faire des économies relatives à la valeur des matériaux remplacés (coke de charbon et huiles résiduelles no.6).

6.2.3 Analyse comparative par critères pondérés

Une première analyse de la performance des trois modes de gestion des pneus hors d'usage vient d'être faite sommairement. Par contre, afin d'avoir un niveau de confiance plus élevé dans l'interprétation des résultats d'une telle analyse, une analyse plus détaillée est nécessaire, car certains critères ont une importance relativement plus élevée que d'autres selon les objectifs visés par le programme de gestion des pneus hors d'usage. Les impacts environnementaux possibles et les attentes de la société sont également à considérer. Par exemple, la création d'emploi sera préconisée dans une perspective de développement

durable sur la rentabilité et les profits du promoteur. Alors, ce deuxième niveau d'analyse par critères, issus du développement durable, donnera une valeur à chacun des critères pour ainsi donner la performance la plus précise et la moins subjective possible en justifiant adéquatement la pondération octroyée. L'importance consentie aux différents critères variera et une justification détaillée suivra le tableau 6.3..

Tableau 6.3. Grille d'analyse comparative des trois modes de gestion des pneus hors d'usage selon des critères pondérés issus du développement durable

Critères et sous critères	Quantification des modes de gestion (échelle de 0 à 1)			Pondération	Pondération des modes de gestion		
	Réemploi	Recyclage	Valorisation énergétique		Réemploi	Recyclage	Valorisation énergétique
Environnement et milieux naturels				40 %	27,5 %	22,5 %	12,5 %
Qualité de l'air	0,75	0,5	0,5	10 %	7,5 %	5 %	5 %
Qualité de l'eau	0,5	0,5	0,25	10 %	5 %	5 %	2,5 %
Qualité du sol	0,5	0,5	0,5	5 %	2,5 %	2,5 %	2,5 %
Ressources non renouvelables	1	0,75	0	10 %	10 %	7,5 %	0 %
Ressources renouvelables	0,5	0,5	0,5	5 %	2,5 %	2,5 %	2,5 %
Équité sociale				30 %	20 %	24 %	10,5 %
Santé publique	0,5	0,5	0,25	10 %	5 %	5 %	2,5 %
Volonté politique	1	1	0,5	8 %	8 %	8 %	4 %
Acceptabilité sociale	0,5	1	0,25	8 %	4 %	8 %	2 %
Fardeau des responsabilités	1	1	0,5	4 %	3 %	3 %	2 %
Économique et faisabilité financière				30 %	15 %	15 %	21,25 %
Investissements initiaux	0,5	0,25	1	5 %	2,5 %	1,25 %	5 %
Coûts d'exploitation et d'entretien	0,5	0,25	1	5 %	2,5 %	1,25 %	5 %
Coûts de démantèlement	0,5	0,5	0,5	5 %	2,5 %	2,5 %	2,5 %
Emplois	0,5	0,75	0,5	10 %	5 %	7,5 %	5 %
Rentabilité et profits	0,5	0,5	0,75	5 %	2,5 %	2,5 %	3,75 %
Somme totale				100 %	62,5 %	61,5 %	44,25 %

6.2.3.1 Justification de la quantification des modes de gestion par critère

Le système de quantification fonctionne sur une échelle de 0 à 1. La cotation de 0,5 représente une performance neutre du mode de gestion par rapport aux deux autres. La note de 0 et 0,25 correspond à une contre-performance, tandis que 0,75 et 1 représentent une plus grande efficacité du procédé pour un critère donné; 1 étant une note parfaite et 0 la moins bonne performance. Ce système de quantification des procédés de gestion est similaire au raisonnement de l'analyse comparative des avantages-inconvénients et devrait être concordant dans son analyse avec les avantages et inconvénients décelés précédemment. Voici la justification de la quantification des techniques de traitement :

Réemploi

Au niveau environnemental, la qualité de l'eau et du sol ainsi que les ressources renouvelables ne sont pas touchées de manière significative par ce type de traitement des pneus hors d'usage. D'autre part, la qualité de l'air et la préservation des ressources non renouvelables sont des avantages qui ont été identifiés dans la section 6.2.2 par rapport au recyclage et à la valorisation énergétique. La qualité de l'air est meilleure, car il y a peu d'émissions de contaminants dans l'atmosphère, mais ce mode de gestion n'est pas le plus réducteur des émissions de GES, c'est pourquoi il obtient 0,75 au lieu de 1. Le réemploi reçoit la note parfaite pour la conservation des ressources non renouvelables, car en plus de prolonger le cycle de vie des matériaux composant les pneus, il consomme peu d'énergie; par conséquent peu de dérivés de pétrole comme le diesel.

Les critères sociaux neutres pour le réemploi sont la santé publique, car il ne détériore pas la santé de la population, mais ne l'améliore pas pour autant, et l'acceptabilité sociale. Il est vrai que le réemploi est une forme de mise en valeur très acceptable socialement, néanmoins ce n'est pas tous les gens qui sont prêts à se procurer des pneus ré-usinés au lieu de pneus neufs; c'est une question de sécurité routière, la population en générale n'a pas entièrement confiance en ce produit. Les décisions politiques des dernières années en matière de gestion des pneus hors d'usage vont dans le sens du réemploi et du recyclage avant la valorisation énergétique et l'élimination (3 RV-E) (Recyc-Québec 2002a). Il est normal que cette forme de mise en valeur reçoive une note parfaite de 1. Un résultat similaire est accordé pour le réemploi quant au fardeau de responsabilité, parce qu'il permet de sauvegarder des ressources dans le pneu qui seront disponibles aux générations suivantes. De ce fait, les besoins présents sont satisfaits par la production de pneus rebutés sans compromettre ceux des générations futures.

Le réemploi ne performe pas particulièrement sous les contraintes financières. Il est alors coté à 0,5 pour tous ces critères. Une entreprise désirant investir dans ce type de projet n'aura pas à déboursier autant que pour une usine de recyclage, qui requiert de nombreux équipements diversifiés, mais plus que pour une cimenterie qui désire utiliser des pneus usés comme carburant de remplacement. Les coûts d'entretien et d'opération sont fonction de la complexité du processus et du nombre d'appareils utilisé. En fin de vie utile, les équipements de traitement des pneus usés devront être démontés ou récupérés par des ferrailleurs, aucun coût imposant n'est à prévoir dans ce cas, car les équipements ne risquent pas de contaminer le sol ou d'être susceptible de causer un tort significatif à l'environnement; donc pas de coûts supplémentaires pour décontaminer les lieux et les appareils. Le nombre d'emplois générés est plus bas que pour le recyclage, car les processus de réemploi sont moins complexes et impliquent, directement et indirectement, moins de main d'œuvre. La rentabilité et les profits de ce mode de gestion dépendent du succès de la vente des pneus ré-usinés. Ces pneus ont accaparé une certaine place sur le marché, mais leur durée de vie plus courte et le manque de confiance des consommateurs envers des pneus refaits, limite l'expansion de ce produit. Une note plus basse aurait été octroyée si le réemploi provoquait des dettes ou plus haute si des profits considérables étaient possibles.

Recyclage

Au niveau environnemental, le seul critère où le réemploi se démarque est la préservation des ressources non renouvelables en retirant la majorité des matériaux contenus dans le pneu et en leur donnant, du même coup, une seconde vie. Le réemploi est tout de même plus performant que le recyclage, car il consomme moins d'énergie par ses procédés plus simples; c'est pourquoi il obtient 0,75 et non 1. Le recyclage a une performance nulle pour les autres critères environnementaux. La qualité de l'air demeure neutre, parce que cette forme de mise en valeur n'est pas la plus réductrice de GES et qu'elle émet davantage de GES par la consommation d'énergie; ex. gaz naturel et diesel. L'utilisation des ressources renouvelables, pour les trois types de mise en valeur, ne met pas en péril la capacité de régénération du milieu et ne participe pas activement à sa régénération, ce qui explique un pointage neutre de 0,5 chacun. La qualité des sols et des cours d'eau n'est pas affectée par un tel projet; que ce soit positivement ou négativement.

Socialement, le recyclage réussit mieux que les autres modes de gestion des pneus usés, principalement parce qu'il est déjà appliqué pour d'autres types de matières résiduelles

dans la société (plastiques, carton, verre, papier, huiles usées, etc.) et que la population est sensibilisée à ses bienfaits. C'est pourquoi il récolte la note parfaite de 1 pour la volonté politique, l'acceptabilité sociale et la prise en compte de nos responsabilités actuelles envers les générations futures. Le recyclage ne cause pas de problème de santé dans la population et n'en règle pas, alors il obtient le pointage neutre de 0,5.

Les critères économiques où le recyclage est moins efficace que les autres modes de gestion, sont l'investissement initial et les coûts d'opération. Comme il a été mentionné précédemment, le processus de recyclage doit comprendre les phases de déchiquetage, d'extraction du métal à l'aide d'aimants, de tamis, et de granuleuses. Ainsi, le promoteur doit se procurer différents types de machines, et la main d'œuvre pour la faire fonctionner et l'entretenir : hauts coûts d'investissements et d'opération. Une cote de 0 aurait été attribuée pour un mode de gestion qui nécessite de très hauts coûts d'investissement (ex. usine de traitement des eaux usées). Ce qui se traduit également par la création de quelques emplois spécialisés, plus que les autres modes de gestion, mais pas suffisamment pour générer un impact dans le milieu local; équivalent à une note de 0,75 au lieu de 1. Les coûts de démantèlement ne devraient pas être trop imposants et aucune décontamination de site n'est à prévoir; pointage neutre. Tout comme le réemploi, la rentabilité et les profits générés par le recyclage sont en fonction de la valeur des matières secondaires et primaires sur le marché; par exemple, si la poudrette de caoutchouc vierge atteint des montants trop élevés, les entreprises tenteront de se procurer la poudrette issue du recyclage primaire.

Valorisation énergétique

Le pointage consenti à la valorisation énergétique en matière d'environnement est bien médiocre. Tout d'abord, même si ce mode de gestion réduit les impacts sur les changements climatiques, il émet toutes sortes de contaminants dans l'atmosphère qui ne seront pas tous retenus par les filtres des cheminées. Ces filtres employés par les cimenteries ne retiendront que ce que la loi oblige! Alors, la qualité de l'air est neutre dans ce cas. La qualité du sol et les ressources renouvelables ne sont pas affectées, positivement ou négativement, par la valorisation énergétique. On pourrait croire que les cendres produites engendreraient la création de cellules d'enfouissement sécurisées, et par conséquent la qualité du sol pourrait être compromise dans une perspective à long terme où les cellules sécurisées comportent des risques de fissures et de contamination du sol. Par contre, les cendres issues de la valorisation énergétique sont à présent introduites dans la fabrication du ciment. Les deux endroits où cette forme de mise en valeur obtient une note

basse sont la qualité de l'eau et la préservation des ressources non renouvelables. Dans un premier temps, un impact potentiel est que la qualité de l'eau peut être affectée par les divers contaminants atmosphériques relâchés par les cheminées. Par contre, l'étendue de la contamination des cours d'eau peut s'avérer très large. Par exemple, un contaminant relâché d'une usine à Sorel pourrait atteindre un cours d'eau au nord du 55^e parallèle (ex. du mercure). Par contre, un impact néfaste de la valorisation énergétique est la réduction de la disponibilité des ressources non renouvelables pour les générations à venir. Cette hypothèse est certaine et c'est pourquoi il obtient la contre-performance de 0.

La performance de la valorisation énergétique face aux critères sociaux est également faible, car la perception de la population envers une industrie qui a de grosses cheminées qui envoient diverses substances dans l'air est néfaste. Alors, l'acceptabilité sociale sera faible, mais plus élevée qu'envers l'élimination, par exemple l'incinération. La santé de la population pourrait être affectée par les polluants qui traversent les filtres des cheminées. Néanmoins, puisque les risques de santé associés à ces rejets atmosphériques ne sont pas connus et ne devraient pas être majeurs étant donné la forte réglementation qui entoure les grands émetteurs finaux, comme les cimenteries, le pointage est de 0,25. La volonté du gouvernement est considérée neutre pour ce type de mise en valeur, car même s'il fait partie du concept des 3 RV-E, elle est le dernier mode encouragée. La note de 0,5 est également octroyée quant à la responsabilité de nos activités envers les générations futures, pour la simple raison que même si cette solution réduit la disponibilité des ressources au courant des prochaines années, elle permet de réduire les impacts associés aux changements climatiques. Alors, d'une part la valorisation énergétique hypothèque la richesse des ressources pour les générations futures, mais limite les dommages et les répercussions futures liés aux émissions de GES.

Au niveau économique, la valorisation énergétique réussit assez bien. D'une part, l'insertion de pneus dans le procédé de combustion des fours ne nécessite pas l'achat de nouveaux équipements par l'entreprise et ne nécessite pas d'opérations ou d'entretiens différents que ce qui aurait été fait pour les combustibles habituels (le coke et l'huile no.6). Alors, un pointage parfait est obtenu pour l'investissement initial et l'exploitation des pneus hors d'usage dans l'usine. La rentabilité et les profits risquent d'être atteints plus rapidement que dans le cas des deux autres modes de gestion, parce que ce matériau est moins dispendieux que le coke ou l'huile no.6. C'est pourquoi il est légèrement avantage sur les deux autres types de mise en valeur et qu'il reçoit le pointage de 0,75. Pour finir, la création d'emplois et les coûts de démantèlement pour une usine de valorisation

énergétique sont deux critères neutres pour une usine qui décide d'utiliser les pneus hors d'usage comme combustible de remplacement. Certes, la création d'emplois ne sera pas affectée positivement ou négativement par cette forme de mise en valeur. De plus, les coûts de démantèlement d'une usine de valorisation pourraient être plus élevés que pour le réemploi et le recyclage, car les nombreux matériaux à avoir brûlé dans les fours ont laissé des traces qui doivent être décontaminées. Par contre, comme les impacts dus à la combustion des pneus hors d'usage ne sont pas connus, il est impossible de prévoir exactement la proportion du coût attribuable spécifiquement aux pneus.

6.2.3.2 Justification de la pondération des critères

L'environnement est la sphère du développement durable qui est priorisée dans cette étude, car elle est à la base des activités anthropiques, fournissant à la fois les ressources nécessaires à la croissance économique et le milieu propice à l'amélioration de la qualité de vie. Par ailleurs, les trois sphères du développement durable ne peuvent être clairement dissociées, car des difficultés majeures ressortent lors de la quantification d'impacts économiques ou sociaux découlant de problématiques environnementales. L'exemple des changements climatiques traduit bien cette réalité. L'augmentation de la concentration des GES dans l'atmosphère devrait entraîner des perturbations climatiques considérables affectant du même coup l'activité humaine qui sera forcée de s'adapter. Or, pour l'instant, il est très difficile de prévoir l'importance des perturbations économiques et sociales qui seront observées au sein des différentes régions du globe. Dans un tel cas et pour la plupart des critères environnementaux retenus dans cet ouvrage, il a été préféré de comptabiliser totalement les impacts au niveau environnemental, plutôt que de les répartir au sein des pôles économiques ou sociaux, où l'incertitude est énorme. Alors, en portant attention à cette grille, on remarque que l'environnement obtient 40 % des points dans l'analyse du développement durable, alors que l'économie et le social reçoivent chacun 30 % des points.

La vision à long terme sous-jacente au concept de développement durable semble permettre d'octroyer une plus grande part de la pondération à l'environnement qu'aux aspects économiques ou sociaux. Effectivement, pour assurer la pérennité des ressources ou encore pour permettre aux générations futures de satisfaire leurs besoins, il ne faut pas perdre de vue que la réponse aux besoins actuels peut avoir des conséquences sur l'environnement à très long terme. La modification des comportements économiques et

sociaux pouvant s'effectuer relativement rapidement, comparativement à la durée de certains cycles environnementaux, il apparaît important de faire certaines concessions à ces niveaux. Après tout, comme l'a déjà mentionné Kofi Annan, secrétaire des Nations Unies : « Protéger l'environnement coûte cher. Ne rien faire coûtera beaucoup plus cher » (Reeves 2003).

À présent, parmi les critères identifiés dans le cadre de ce travail, à la section 6.2.1, certains ont une importance relativement plus élevée. Voici la justification de la pondération des critères :

Tableau 6.4. Justification de la pondération octroyée pour chaque critère du développement durable

Critères	Pondération	Justification
Qualité de l'air	10 %	Les nombreux phénomènes atmosphériques attribuables aux activités anthropiques qui affectent la vie sur terre sont le smog, les changements climatiques, les pluies acides et l'amincissement de la couche d'ozone. Les impacts peuvent être temporaires ou permanents; la régénération de la couche d'ozone peut prendre quelques millénaires ou davantage! Ces enjeux sont au cœur des préoccupations des dernières décennies, mais plus particulièrement les GES avec le protocole de Kyoto.
Qualité de l'eau	10 %	L'eau potable est la ressource clé des prochaines décennies, alors il est important d'en conserver son intégrité. D'ailleurs, au Québec, c'est une priorité hautement réglementée.
Qualité du sol	5 %	La qualité du sol n'est pas une priorité dans la société, mais indirectement pour la qualité de l'eau souterraine. Si le sol est contaminé, les eaux de ruissellement et les puits souterrains peuvent être affectés. Cette facette est par contre intégrée dans la qualité de l'eau. C'est pourquoi ce critère reçoit une moins grande importance.
Ressources non renouvelables	10 %	La perte irréparable d'une richesse naturelle est considérée comme un impact majeur. Dans une optique de développement durable, il est primordial de conserver le plus possible les éléments disponibles afin de ne pas compromettre les besoins des générations futures.
Ressources renouvelables	5 %	Les ressources renouvelables ne sont pas aussi priorisées que dans le cas des ressources non renouvelables pour la simple raison qu'il se régénère de façon continue dans les milieux naturels. Il faut cependant s'assurer de ne pas profiter de cette ressource davantage que la capacité de régénération le permet.

Santé publique	10 %	La santé de la population ne doit pas être altérée négativement, car la santé fait partie des plus grands enjeux de la société depuis toujours. Tout projet de développement doit être conforme aux règlements instaurés.
Volonté politique	8 %	La gestion des pneus hors d'usage au Québec est fortement encadrée par les programmes implantés par Recyc-Québec. Donc, le mode de gestion en question doit faire partie des plans de Recyc-Québec, sinon il n'aura aucune subvention, au détriment des autres techniques.
Acceptabilité sociale	8 %	La société dans laquelle nous vivons a beaucoup évolué depuis les dernières décennies. Une industrie qui brime des droits des citoyens sera de moins en moins tolérée. D'où la grande importance de ce critère, mais moindre que la santé de la population; qui chevauche l'acceptabilité sociale.
Fardeau de responsabilités	4 %	La prise en main de nos problèmes présents afin de ne pas les léguer aux générations futures est un acte responsable et respectueux qui fait partie intégrante de la définition du développement durable. Elle est comprise indirectement dans tous les critères environnementaux, c'est pourquoi on lui accorde un plus bas pointage.
Investissement initial	5 %	Ce critère ne doit pas être oublié, car le montant initial que doit investir une entreprise de traitement des pneus hors d'usage est une contrainte à la faisabilité financière du projet.
Coûts d'exploitation et d'entretien	5 %	L'exploitation des installations en place ainsi que leur entretien est également une contrainte à la faisabilité financière.
Coûts de démantèlement	5 %	Toute compagnie qui instaure une usine de traitement en est responsable jusqu'à sa dernière étape de vie : le démantèlement. Ce critère revêt une importance relativement faible, comme les coûts initiaux et d'exploitation, car les trois combinés accaparent déjà une grande proportion de la pondération (15 %).
Emplois	10 %	La création d'emplois prend de plus en plus d'importance dans un libre marché international. Depuis quelques années, les entreprises nord-américaines battent de l'aile à cause de la compétition féroce (surtout de la Chine). La sauvegarde et la création d'emplois font donc partie des priorités dans la société occidentale de nos jours.
Rentabilité et profits	5 %	Les profits générés par le mode de gestion sélectionné faciliteront la survie de l'industrie. Avec les subventions octroyées par Recyc-Québec, les entreprises de mise en valeur des pneus usagés peuvent respirer un peu plus.

6.2.3.3 Explication des résultats de la grille d'analyse par critères pondérés

En multipliant la quantification de chacun des modes de gestion par la pondération des critères de la grille d'analyse, élaborée au tableau 6.3., la performance de chacune des pratiques de gestion par critère du développement durable est obtenue. En effectuant la somme de ces résultats, la performance globale du recyclage, du réemploi et de la valorisation énergétique au niveau du développement durable est atteinte. Ce deuxième niveau d'analyse est plus précis que l'analyse par avantages-inconvénients, parce qu'elle permet d'intégrer l'importance relative de chacun des critères par rapport aux autres. De plus, la comparaison entre les différentes techniques de traitement est semi-quantifiée au lieu d'être entièrement qualitative. La quantification a l'avantage de rendre plus claire la comparaison entre les différentes solutions envisagées. Cette deuxième analyse permet alors de valider les tendances observées durant le premier niveau et d'en arriver à une solution optimale avec le plus d'objectivité possible.

Le réemploi termine avec un pointage respectif de 27,5/40, 20/30 et 15/30 pour les pôles environnemental, social et économique. Sa performance globale de développement durable est de 62,5 % et cette solution a le plus haut pointage. Elle domine particulièrement la grille d'analyse au niveau environnemental, parce qu'elle ne consomme pas beaucoup d'énergie et qu'elle prolonge le cycle de vie des matériaux composant le pneu.

La solution qui arrive en deuxième place est le recyclage avec 61,5 %. Ce type de gestion des pneus est le plus performant au niveau social (24/30), car la société perçoit mieux le recyclage que les autres formes de mise en valeur. En outre, le recyclage est susceptible de rencontrer un appui au niveau de la volonté politique, car cette initiative témoignerait d'un désir d'agir dans le sens du développement durable.

Bon dernier, la valorisation énergétique est loin derrière avec 44,25 %. Ses contre-performances dans les pôles social (10,5/30) et environnemental (12,5/40) sont attribuables principalement à sa mauvaise réputation de grand émetteur final. De toute évidence, pour la valorisation, ce qui constitue un inconvénient important au niveau social c'est la perception négative de la cheminée, et ce, même s'il n'est pas prouvé que le procédé génère des résidus toxiques. L'environnement écope quant à lui pour l'élimination de ressources naturelles non renouvelables.

À la lumière des résultats des deux niveaux d'analyse par critères de développement durable (avantages-inconvénients et pondération des critères), le réemploi termine bon premier avec le pointage pondéré de 62,5 % et quatre avantages, dont trois majeurs. Il est donc possible d'en conclure que le mode de gestion des pneus hors d'usage optimal dans une optique de développement durable est le réemploi (remoulage ou rechapage).

6.3 Discussion quant au mode de gestion le plus réducteur d'émissions de GES vs l'optimal

Dans la section 6, deux solutions ont été identifiées : l'une permettant de réduire les émissions de GES, et possiblement d'obtenir des crédits de carbone, tandis que l'autre est celle à favoriser dans l'esprit d'un développement durable. Dans ce cas-ci, les deux solutions retenues ne sont pas les mêmes, alors laquelle devrait être recommandée?

Tout d'abord, un éclaircissement est à apporter quant au choix de la solution optimale pour un développement durable. À la lumière des résultats du tableau 6.3., aucun des deux modes de gestion, du recyclage ou du réemploi, ne ressort véritablement comme la solution à privilégier. Les résultats sont tellement rapprochés (61,5 % et 62,5 %) qu'on ne peut pas se prononcer clairement sur le choix à privilégier selon le développement durable. La pondération des résultats se fait en partie dans un processus subjectif et ne permet pas d'avoir une entière confiance dans les résultats. Autrement dit, une grille d'analyse faite indépendamment par dix personnes donnerait des résultats différents. Néanmoins, ce qui ressort distinctement de cette analyse comparative, c'est que la valorisation énergétique n'est pas le mode de gestion à favoriser (44,25 %) dans une optique de développement durable, car elle a un trop grand écart avec les autres solutions. Un argument qui donnerait un poids supplémentaire dans la prise de décision serait que le réemploi est la forme de mise en valeur qui prolonge le plus longtemps de cycle de vie des matières résiduelles. C.-à-d. que le pneu ré-usiné est en amont du recyclage dans le concept des 3 RV-E et qu'après une seconde utilisation du produit, le pneu pourrait alors se diriger vers le recyclage et finalement vers la valorisation énergétique (Olivier 2005). Le réemploi prolonge davantage le cycle de vie des matériaux du pneu et augmente par conséquent la disponibilité de ressources non renouvelables pour les générations futures, ce qui le démarque du

recyclage. Ce point soulevé viendrait appuyer sa performance globale au niveau du développement durable pour en faire le choix optimal.

La valorisation énergétique est la solution la moins enviable du point de vue du développement durable, si on se fie à sa piètre performance dans la grille d'analyse du tableau 6.3. (44,25 %), mais elle est préférable pour réduire les émissions de GES, car elle permet de régler le problème d'actualité que sont les GES. Néanmoins, à la défense de ce choix, les générations futures souffriront moins des effets néfastes des GES en diminuant l'envergure des impacts aujourd'hui.

Rien n'empêche une entreprise de faire fis des recommandations qui suivront quant au choix à faire, car si elle le veut, elle peut choisir n'importe laquelle des trois options de gestion des pneus hors d'usage décrites dans ce travail. Évidemment, si une entreprise désire recevoir des crédits de carbone, elle optera pour la valorisation énergétique plutôt que le réemploi ou le recyclage. Cette hypothèse est valable jusqu'à un certain point, c'est le système de récupération mis en place par Recyc-Québec qui contrôle la distribution des pneus hors d'usage. Alors, si elle veut favoriser davantage les R avant le V dans le concept des 3 RV-E, elle n'a qu'à octroyer moins de subventions aux cimenteries et ceux qui utilisent la valorisation énergétique; même si ces derniers réduisent davantage les émissions de GES.

Tableau 6.5. Recommandations quant au choix du mode de gestion à privilégier

Choix	Conditions	Justifications
1) Réemploi	Lorsque la qualité du pneu usé le permet	C'est le choix optimal dans une optique de développement durable. Même s'il n'est pas le plus réducteur de GES, il est plus performant que la valorisation énergétique au niveau environnemental et globalement.
2) Recyclage	Pour les pneus qui sont trop endommagés pour être envoyés au réemploi	Quoique le recyclage arrive en seconde position dans la grille d'analyse de développement durable, il n'est pas très loin du réemploi avec 61,5 % et ce ne sont pas tous les pneus qui peuvent être retournés sur la route.

Le tableau 6.5. met de l'avant les choix à privilégier selon la condition des pneus usagés. La solution optimale pour un pneu usé qui n'est pas fissuré serait le réemploi, mais pour un pneu qui n'est pas en assez bon état pour être réemployé, ce serait le recyclage qui devrait

être favorisé dans une perspective à long terme. La valorisation énergétique ne fait pas partie d'un choix à prioriser dans cette étude, car même si elle a l'avantage d'atténuer les changements climatiques, elle cause des dommages significatifs à l'environnement.

7. Attribution des crédits de carbone

Pour en revenir aux objectifs de cet ouvrage, le scénario le plus réducteur d'émissions de GES est identifié (valorisation énergétique), et il faut mesurer le potentiel d'obtention de crédits de carbone de chacun des trois modes de gestion analysé. Car contrairement à l'approche préconisée par ISO 14064, dans cet ouvrage lorsqu'il est mentionné « réduction » des émissions de GES, c'est le calcul des émissions par rapport à ne rien faire, et non l'écart des émissions entre le scénario de base et le projet. Si l'on se fit aux résultats de la section 6.1 portant sur la réduction des émissions de GES, voici ce qu'aurait droit chacune des solutions, en gardant le même exemple fictif de 10 000 ÉPA à traiter et en sachant qu'une tonne de dioxyde de carbone équivaut à un crédit :

Tableau 7.1. Potentiel d'obtention de crédits de carbone pour les trois modes de gestion et selon un exemple fictif de 10 000 ÉPA à traiter

	Réemploi	Recyclage	Valorisation énergétique
Réduction de GES	33,86 tCO2 eq	37,11 tCO2 eq	124,38 tCO2 eq
Crédits de carbone (RE-RE _{Recyclage})	-3,25	0	87,27
* Le scénario de base étant défini comme le recyclage (section 3.2)			

Malgré la faible différence de réduction des émissions entre le réemploi et le recyclage des pneus usés, aucune des deux ne permettra de récolter des crédits de carbone. Le recyclage, parce qu'il doit se comparer avec lui-même (scénario de base). Tandis que le réemploi réduit légèrement moins les émissions que le recyclage, alors en effectuant le delta des deux, un nombre de crédits de carbone négatif est observé (-3,25). Néanmoins, comme les marchés de crédits de carbone ne sont pas des processus où les entreprises doivent déboursier lorsqu'elles sont sous le scénario base, le réemploi ne recevrait aucun crédit simplement. Bref, seule la valorisation énergétique permettrait de faire des crédits (87,27 crédits); à moins que les combustibles de base dans les fours à cimenterie ne changent au cours du temps.

Ces résultats n'ont pas la prétention d'être exact, mais simplement à titre d'indicateur du potentiel d'obtention de crédits de carbone pour chacune des solutions proposées, car une certaine marge d'erreur est observée quant à la consommation d'énergie réelle du projet et,

pour la valorisation, les proportions exactes de combustibles remplacés. Pour une entreprise qui fabrique des objets à base de pneus usés (recyclage), il serait stratégique d'instaurer un programme de récupération du produit en fin de vie chez ses clients. De cette manière, le produit créé à base de caoutchouc recyclé pourrait être envoyé vers l'avant-dernière étape de mise en valeur des 3 RV-E, la valorisation énergétique, et recevoir des crédits de carbone.

Des conditions spécifiques s'appliquent à l'attribution des crédits de carbone selon le marché. Dans le cas du CCX, un projet de valorisation énergétique de 10 000 ÉPA par année qui voudrait échanger dans un tel système boursier aura deux conditions particulières à respecter. Tout d'abord, une année de référence doit être choisie (CCX 2006). On peut reculer jusqu'en 2002 pour un projet d'efficacité énergétique, le recyclage ne fait pas encore partie des domaines d'activités admis, et la réduction des émissions de GES de cette année sera retranchée à toutes les années suivantes. Ensuite, la bourse fit ses débuts en 2003, et c'est seulement à partir de cette date qu'elle alloue des crédits de carbone pour les entreprises qui font l'effort de diminuer leurs émissions. Bref, une entreprise de valorisation énergétique qui consomme 10 000 ÉPA par année depuis l'année 2002 avec les mêmes procédés n'aurait droit à aucun crédit de carbone! L'année de référence étant 2002, il faut retrancher la réduction de cette année aux années suivantes :

$$\text{Nombre de crédits} = (\text{RE}_{2003} - \text{RE}_{2002}) + (\text{RE}_{2004} - \text{RE}_{2002}) + (\text{RE}_{2005} - \text{RE}_{2002})$$

L'obtention de crédits de carbone n'est pas chose facile, car il faut satisfaire deux conditions :

- 1) Effectuer un effort de réduction des émissions de GES par rapport au scénario de base en place.
- 2) Que cet effort de réduction soit récent (2003 et +) et, si possible, en augmentation (taux de réduction positif d'une année à l'autre).

Malgré les résultats de cette section, la valorisation énergétique est la seule mise en valeur qui peut recevoir des crédits de carbone actuellement. À moins que de nouvelles techniques de recyclage ou de réemploi soient plus efficaces dans la réduction des émissions de GES que le scénario de base. L'appui financier des crédits de carbone est un atout pour cette forme de mise en valeur, mais l'aide versée par le programme de gestion

des pneus hors d'usage de Recyc-Québec est plus imposant et distribué autant aux trois formes de mise en valeur.

Conclusion

Le programme mis en place par Recyc-Québec au courant des années 90, le *Programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage*, a permis l'épanouissement d'un marché des matières résiduelles : les pneus hors d'usage. Tout débute par la taxe réclamée auprès des consommateurs, ensuite redistribuée pour décontaminer les sites d'entreposage, subventionner la récupération des pneus usés et le transfert vers les usines de mise en valeur, ainsi qu'au procédé en soi. Parmi les trois modes de gestion des pneus hors d'usage qui se sont développés au Québec (recyclage, réemploi et valorisation énergétique) le recyclage est le plus répandu avec 77 %, ce qui fait de lui le scénario de base québécois. En prenant un exemple fictif de 10 000 ÉPA à traiter, le seul mode à se démarquer du point de vue de la réduction des émissions de GES est la valorisation énergétique. Cette solution est la plus réductrice de GES et c'est la seule qui a l'opportunité de recevoir des crédits de carbone (87,27 crédits) pour son effort; dû au remplacement de combustible tels le coke de charbon et l'huile no.6 en comparant cette solution avec rien faire. Malgré cet avantage, la valorisation énergétique n'est pas recommandée comme la solution à favoriser dans cet ouvrage. En analysant la performance dans une optique de développement durable, on découvre, après deux niveaux d'analyse, que le réemploi situé en amont des 3 RV-E devrait être une technique de traitement à prioriser pour plusieurs raisons. Premièrement, elle ne cause aucun impact négatif significatif envers l'environnement, particulièrement en préservant les ressources non renouvelables du milieu naturel sur une plus longue période que ses deux rivaux. Ensuite, la volonté politique appuie le réemploi en premier (3 RV-E). Donc, il est recommandé de favoriser le réemploi dans la mesure du possible, tant qu'il y a des pneus d'assez bonne qualité, suivi du recyclage dans le cas des pneus fissurés. La valorisation énergétique est la seule technique qui peut recevoir des crédits de carbone, mais en éliminant des matériaux faits à base de ressources non renouvelables, on ne peut encourager une telle initiative.

Comme il a été mentionné au tout début de ce travail, la venue d'une technologie plus performante, ou le changement dans la fréquence d'utilisation d'un mode de gestion pourrait avoir des répercussions dans le calcul des crédits de carbone ainsi que le choix à prioriser. Afin de raffiner davantage les résultats, il serait intéressant de calculer les émissions exactes du scénario de base, car des technologies de recyclage plus efficaces

pourraient voir le jour et seraient donc aptes à recevoir des crédits de carbone selon le principe d'additionnalité.

Références

- ANDRÉ, P., DELISLE, C., ET REVÉRÊT, JP. (2003), L'évaluation des impacts sur l'environnement. Deuxième édition, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, Canada, 519 p.
- BERNARDIN, G. (2006), Communication personnelle, Ciment Saint-Laurent, consulté le 20 septembre 2006.
- CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD (CIWMB) (2006a), Tire management, <http://www.ciwmb.ca.gov/Tires/>, consulté le 17 octobre 2006.
- CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD (CIWMB) (2006b), Overview of tire management in California, <http://www.ciwmb.ca.gov/Tires/Overview>, consulté le 17 octobre 2006.
- CANADIAN ASSOCIATION OF TIRE RECYCLING AGENCIES (CATRA) (2006), Recyclage des pneus hors d'usage au Canada, <http://www.catraonline.ca/can-rel.htm>, consulté le 22 octobre 2006.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA) (2005a), Canadian GHG challenge registre guide to entité & facilité-base reporting, version 4.3, http://www.ghgregistries.ca/assets/pdf/Challenge_Guide_E.pdf, site consulté le 18 septembre 2006.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA) (2005b), Registre défi-climat canadien des GES Guide d'inscription pour les rapports présentés pour les entités et les installations, Version 4.0 [février 2005], Outil de calcul du CO₂, http://www.ghgregistries.ca/assets/tools/CO2_Calculation_Tool_F.xls, consulté le 5 novembre 2006.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA) (2005c), Canadian GHG réductions registre, http://www.ghgregistries.ca/reductions/rer_masterprojects_e.cfm, consulté le 13 octobre 2006.
- CHICAGO CLIMATE EXCHANGE (CCX) (2006), Données du marché de CCX par jour depuis 2003 <http://www.chicagoclimateexchange.com/trading/stats/daily/index.html>, consulté le 22 novembre 2006.
- CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (CDM) (2006), Registre des projets CDM acceptés par le UNFCCC, <http://cdm.unfccc.int/Projects/registered.html>, consulté le 23 octobre 2006.
- CONVENTION CADRE DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (CCNUCC) (2006), « Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate additionality », CDM Executive board, Methodological tool, Annex 9, http://cdm.unfccc.int/EB/027/eb27_repan09.pdf, consulté le 3 novembre 2006.

- DIVISION OF RECYCLING & LITTER PREVENTION (2005), Recycling tires, scrap tires as fuel,
<http://www.dnr.state.oh.us/recycling/awareness/facts/tires/tirefuel.htm>, consulté le 17 octobre 2006.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2006), Informations sur les sources et les puits de gaz à effet de serre.
http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/guidance/protocoles/2005_metal_mining/iron_steel/s3_f.cfm#fig1, consulté le 20 septembre 2006.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (2006), Management of scrap tires, <http://www.epa.gov/garbage/tires/markets.htm>, consulté le 12 décembre 2006.
- HALSNAES, K., ET COLL. (1999), Economics of greenhouse gas limitations, main reports, summary guidelines, UNEP collaborating centre and energy and environment, Risø National Laboratory, Denmark,
<http://www.uneprisoe.org/EconomicsGHG/SummGuidelines.pdf>, consulté le 5 novembre 2006.
- GERMAIN, B. (2006), Communication personnelle, Responsable du programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage 2002-2008 pour Recyc-Québec, consulté le 18 septembre 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (1997), Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre – version révisée de 1996, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/french.htm>, site consulté le 19 octobre 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMAT EXCHANGE (IPCC) (2001a), Bilan 2001 des changements climatiques : Mesures d'atténuation,
http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/french/188.htm, consultée le 3 novembre 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMAT EXCHANGE (IPCC) (2001b), Importance of Baselines, Climate change 2001: Working group III : Mitigation,
http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg3/284.htm, consultée le 3 novembre 2006.
- LAGACÉ & LEGAULT INTERNATIONAL INC. (LL) (2006), Information confidentielle, www.lagacelegault.com, consulté le 15 septembre 2006.
- LOVE, M. (2006), Provincial attitudes : Canadian provinces adjust their levers of support for tire recycling industrie, Recycling Today, USA, Cleveland,
http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0KWH/is_3_44/ai_n16130166, consulté le 17 octobre 2006.
- MARGESON, J. (2006), Communication personnelle, Industrie Canada, consulté le 2 octobre 2006.
- OECD ENVIRONMENT DIRECTORATE AND INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2001), Framework for baselines guidelines,

- <http://www.oecd.org/dataoecd/16/34/2390669.pdf>, consulté le 10 octobre 2006.
- OLIVIER, M.J. (2005), *Matières résiduelles et 3 RV-E*, Production Jacques Bernier Éditeur, Saint-Lambert-de-Lauzon (Québec), 249 pages.
- OLIVIER, M.J. (2003), *Chimie de l'environnement*, Production Jacques Bernier Éditeur, Saint-Lambert-de-Lauzon (Québec), 301 pages.
- POINT CARBON (2006), *Valeur unitaire des crédits de carbone (EUA)*, www.pointcarbon.com/, consultée le 27 novembre 2006.
- PUBLICATION QUÉBEC (2006). *Règlement sur l'entreposage des pneus hors d'usage*, http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R6_1.htm, consulté le 6 octobre 2006.
- RECYC-QUÉBEC (2002a), *Programme québécois de gestion intégrée des pneus hors d'usage 2002-2008*, http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzzzzzProgr_134.pdf, consulté le 14 octobre 2006.
- RECYC-QUÉBEC (2002b), *Valorisation des pneus hors d'usage dans le secteur de l'industrie des pâtes et papiers au Québec*, <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzRAPPOR335.pdf>, site consulté le 18 octobre 2006.
- RECYC-QUÉBEC (2006a), *Programme de vidage des lieux d'entreposage des pneus hors d'usage au Québec 2001-2008*, http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/programmes-services/vidage-pneus/virus_nil.asp, consulté le 8 octobre 2006.
- RECYC-QUÉBEC (2006b), *Les pneus hors d'usage, Fiche d'information*, http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/zFiche_466.pdf, consulté le 16 septembre 2006.
- REEVES, H. (2003), *Mal de terre, Édition du seuil*, Paris, Sciences ouvertes, 260 p.
- RETSscreen INTERNATIONAL (2006), *Outils d'analyse de projets d'énergies propres*, <http://www.retscreen.net/fr/home.php>, consultée le 17 octobre 2006.
- SASKATCHEWAN SCRAP TIRE CORPORATION (SSTC) (2006), *Achievements for 2001*, <http://www.scraptire.sk.ca/achieve.html>, consulté le 17 octobre 2006.
- TABLE D'ÉCHANGE SUR LA RÉCUPÉRATION ET LE RECYCLAGE (TERR) (2004), *Le recyclage des pneus surdimensionnés*, <http://www.environnementestrie.ca/terr/bulletin/volume3no4.html>, consulté le 7 octobre 2006.
- TECHNOLOGY EARLY ACTION MEASURES (TEAM) (2006), *Glossaire des exigences*

et directives relatives aux SAGES,
http://www.team.gc.ca/francais/publications/team_smart/chap7.asp, consulté le 12 décembre 2006.

TIRE RECYCLING MANAGEMENT AUTHORITY (TRMA) (2006),
Programme de recyclage des pneus hors d'usage en Alberta,
<http://www.trma.com/admin/documents/PostedData/ARMANewsletterprint.pdf>,
consulté le 27 octobre 2006.

UNITED NATION ENVIRONNEMENTAL PROTECTION (UNEP) (2000), The GHG
Indicator : UNEP Guidelines for calculating greenhouse gaz émissions for
businesses and non-commercial organisations,
http://www.unep.org/energy/tools/ghgin/docs/GHG_Indicator.pdf, consulté le 16
septembre 2006.

WEBSTER, A. (2006), Changements climatiques et énergie, Université de Sherbrooke,
notes du cours ENV 714 (hivers 2006).

WIKIPÉDIA (2006), Protocole de Kyoto,
http://fr.wikipedia.org/wiki/Protocole_de_Ky%C5%8Dto, consulté le 12 décembre
2006