



CONVENTION DE BÂLE

DIRECTIVES TECHNIQUES

**Directives techniques révisées
pour la gestion écologiquement
rationnelle des pneus usés
et des déchets de pneus**



CONVENTION DE BALE

Directives techniques révisées
pour la gestion écologiquement
rationnelle des pneus usés
et des déchets de pneus

Version finale révisée (31 octobre 2011)

Adoptées par la dixième réunion de la
Conférence des Parties à la Convention de Bâle
sur le contrôle des mouvements transfrontières
de déchets dangereux et de leur élimination
(décision BC-10/6)

Cartagena, Colombie, octobre 2011



CONVENTION DE BALE



PNUE

Table des matières

Table des matières.....	3
Définitions.....	4
I. Introduction.....	6
A. Aperçu général et champ d'application	6
B. Propriétés générales des pneus.....	6
1. Structure : éléments constitutifs des pneus et définitions des termes techniques ..	6
2. Composition	7
3. Propriétés physiques	9
C. Étapes du cycle de vie d'un pneu	10
1. Pneus usés.....	10
2. Pneus rechapés.....	11
3. Déchets de pneus	11
D. Risques potentiels pour la santé et l'environnement.....	11
1. Risques pour la santé publique	12
2. Risques environnementaux.....	13
II. Dispositions pertinentes de la Convention de Bâle	17
A. Dispositions générales	17
B. Dispositions applicables aux pneumatiques.....	18
III. Orientations en matière de gestion écologiquement rationnelle.....	19
A. Considérations générales	19
1. Convention de Bâle	20
2. Critères de performance de base pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets	21
B. Cadre législatif et réglementaire	22
1. Exigences en matière de mouvements transfrontières	22
C. Approches de gestion des pneus usés et déchets de pneus.....	23
1. Considérations générales	23
2. Systèmes de gestion environnementale	24
3. Systèmes nationaux de gestion des pneus usés et déchets de pneus	24
D. Prévention et réduction au minimum de la production de déchets.....	25
E. Collecte, transport et stockage	25
F. Élimination écologiquement rationnelle	28
1. Rechapage	34
2. Recyclage à température ambiante ou cryogénique.....	35
3. Dévulcanisation et régénération	38
4. Produits industriels et de consommation	39
5. Applications en génie civil	41
6. Pyrolyse.....	43
7. Co-traitement.....	43
8. Co-incinération en centrale électrique	47
Bibliographie.....	49
Appendice I Informations relatives à la santé publique.....	53
Appendice II Documentation relative à la lixiviation.....	55
Partie A : Résumé des essais de lixiviation en conditions naturelles passés en revue	55
Partie B : Déterminants de la lixivibilité applicables au Royaume-Uni pour les matériaux destinés à des applications techniques	58
Notes :	59
Appendice III Incendies de pneus documentés dans les publications	60

Définitions

Système de réduction des émissions atmosphériques	Tout système conçu pour capter les polluants contenus dans les flux de matières gazeuses et particulaires résultant de la production ou de la consommation avant leur rejet dans l'atmosphère.
Broyage à température ambiante	Comminution mécanique à une température égale ou supérieure à la température ambiante.
Pelouse artificielle	Surface couverte de gazon synthétique utilisant des granulats de pneus comme matériau de remplissage.
Remblayage	Comblement d'une excavation avec des déchets pour niveler le terrain, prévenir les accidents, remodeler le paysage ou enfouir les déchets en question.
Modificateurs de bitume	Additifs – polypropylène atactique, styrène-butadiène-styrène (SBS), caoutchouc synthétique ou autres agents – généralement utilisés dans l'asphalte pour obtenir une matrice plus uniforme et améliorer ainsi les propriétés physiques de ce matériau d'étanchéité traditionnel.
Copeaux	Fragments de forme irrégulière et de taille généralement comprise entre 10 et 50 mm obtenus par morcellement ou déchiquetage mécanique de pneus en fin de vie.
Applications en génie civil	Utilisation de déchets de pneus entiers, en balles, découpés, en copeaux ou plus ou moins finement broyés pour le remblayage dans des projets de construction
Recyclage cryogénique	Recyclage à basse température consistant à utiliser de l'azote liquide ou d'autres réfrigérants pour fragiliser le caoutchouc.
Pneus découpés	Fragments de forme irrégulière et de taille généralement supérieure à 300 mm obtenus par morcellement ou déchiquetage mécanique de pneus en fin de vie.
Produits de dévulcanisation	Matériaux obtenus après la dévulcanisation, qui réduit la réticulation des molécules du caoutchouc. Le caoutchouc régénéré peut être classé dans cette catégorie.
Dévulcanisation	Traitement du caoutchouc visant à réduire la réticulation de ses molécules.
Pneus en fin de vie	Autre nom des déchets de pneus.
Fines (de carbone)	Agglomérats ou granulats de divers calibres normalisés séparés par criblage.
Poudrette fine	Caoutchouc broyé en particules finement dispersées de granulométrie <500 µm, à l'inclusion de celles à surface modifiée.
Granulat	Caoutchouc broyé en particules finement dispersées de granulométrie généralement comprise entre 0,8 mm et 20 mm.
Autres pneus	Terme générique désignant les pneus équipant les machines agricoles, avions, et autres véhicules extraroutiers.
Poudrette	Caoutchouc broyé en particules finement dispersées de granulométrie généralement inférieure à 0,8 mm.
Pyrolyse	Décomposition thermique en l'absence d'oxygène donnant, dans le cas du caoutchouc, de l'huile, du gaz et un résidu carboné. La gazéification est une forme de pyrolyse en présence d'une quantité limitée d'oxygène.
Rechapage	Terme générique désignant la remise à neuf d'un pneu usé par remplacement de sa surface d'usure. Il peut inclure la réfection de la surface extérieure du flanc et le remplacement de la fausse ceinture ou de la nappe de protection.
Caoutchouc régénéré	Caoutchouc traité par dévulcanisation et revulcanisation, de manière à lui rendre certaines de ses caractéristiques initiales. Il est de moins bonne qualité que le caoutchouc d'origine.
Pneus en fin de vie	Autre nom des déchets de pneus.
Broyats	Fragments de forme irrégulière et de taille généralement comprise entre 20 et 400 mm obtenus par morcellement ou déchiquetage mécanique de pneus en fin de vie.
Broyage	Tout morcellement ou déchiquetage mécanique (y compris cryogénique) de pneus en fin de vie produisant des fragments de forme irrégulière mesurant entre 20 et 400 mm dans toutes les dimensions. Le terme « broyage primaire » désigne généralement le déchiquetage ou la fragmentation des pneus en fin de vie sans aucune modification ultérieure de leur composition globale moyenne.
Test TCLP (Toxicity characteristics)	Test utilisé aux Etats-Unis pour déterminer le taux de lixiviation de certains métaux et substances organiques.

<i>leaching procedure)</i>	
<i>Recyclage de pneus</i>	Tout traitement permettant d'obtenir de nouveaux produits, matériaux ou substances à partir de pneus usés. Il n'inclut pas la valorisation énergétique, qu'elle soit directe ou indirecte, et l'utilisation comme matériau de remblai.
<i>Pneu usé</i>	Pneu qui a fait l'objet d'une utilisation et/ou présente une usure quelconque.
<i>Déchets de pneus</i>	Pneus qu'on élimine, qu'on a l'intention d'éliminer ou qu'on est tenu d'éliminer en vertu des dispositions du droit national.
<i>Applications faisant appel à des pneus entiers</i>	Utilisation de pneus entiers n'ayant subi aucun traitement physique ou chimique pour la construction de récifs artificiels, murs anti-bruit, routes temporaires, ouvrages de stabilisation, etc.

I. Introduction

A. Aperçu général et champ d'application

1. Compte tenu des effets nocifs que les pneus usés et déchets de pneus peuvent avoir sur la santé humaine et l'environnement, les Parties à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination se sont penchées sur les difficultés rencontrées dans le domaine de leur identification et de leur gestion. Cela a conduit à l'établissement d'un document intitulé « Directives techniques pour l'identification et la gestion des pneus usés ». Ces directives, que la Conférence des Parties a adoptées par sa décision V/26, ont fait l'objet d'une première publication en octobre 2000 et d'une réédition en novembre 2002.

2. Au cours des sept premières années qui ont suivi la publication de ce document, de nombreux pays ont acquis des connaissances théoriques et pratiques supplémentaires sur le traitement des pneus usés et déchets de pneus et l'attention s'est portée sur des considérations techniques, économiques et écologiques débordant du cadre des directives initiales. En conséquence, la Conférence des Parties a adopté la décision VIII/17 demandant un réexamen et une mise à jour des directives, afin d'aider les autorités nationales à assurer la gestion écologiquement rationnelle des pneus usés et déchets de pneus sur leur territoire.

3. Les présentes directives techniques révisées fournissent des orientations pour la gestion écologiquement rationnelle des pneus usés et déchets de pneus conformément aux décisions VIII/17, IX/14 et BC-10/6 de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle, et aux décisions VI/3 et VII/6 du Groupe de travail à composition non limitée de la Convention de Bâle.

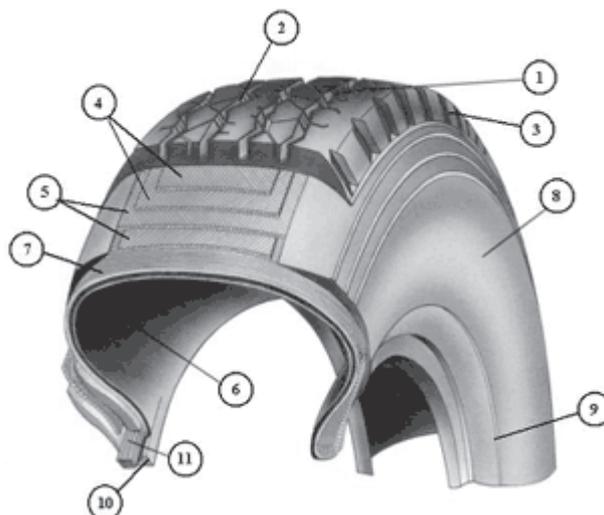
B. Propriétés générales des pneus

1. Structure : éléments constitutifs des pneus et définitions des termes techniques

4. Les pneus comportent différentes parties contenant des éléments en acier et en caoutchouc de diverses compositions. Les définitions correspondantes figurant dans les présentes directives ne sont que des informations générales destinées à ceux qui s'occupent de la gestion des pneus usés et déchets de pneus. On trouvera des définitions plus précises dans les normes et les règlements internationaux, y compris ceux établis par la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) au sujet des pneus neufs.

5. Les principaux éléments constitutifs des pneus et les termes techniques utilisés pour permettre aux consommateurs d'identifier leurs caractéristiques sont présentés dans la figure I ci-après

Figure I
Éléments constitutifs d'un pneu



Notes :

1. Les structures diagonale (nappes croisées), diagonale ceinturée et radiale sont les plus courantes.
2. Près de 80 % de tous les pneus vendus sont à carcasse radiale.

3. Les pneus portent sur leurs flancs des informations, qui varient d'une législation nationale et d'un fabricant à l'autre, pour permettre aux acheteurs de vérifier que le produit répond bien à leurs besoins

- a) « **Bande de roulement** » (1) : partie du pneu conçue pour entrer en contact avec le sol;
- b) « **Rainure** » (2) : espace entre deux nervures ou deux pavés adjacents des sculptures du pneu;
- c) « **Flanc** » (1) : partie située entre la bande de roulement et la zone de contact du pneu avec le rebord de la jante;
- d) « **Nappe** » ou « **pli** » (4, 5) : couche de gomme armée de câbles disposés parallèlement les uns aux autres. Dans les pneus à carcasse radiale, les nappes jouent un rôle de stabilisation;
- e) « **Câbles** » (6) : faisceaux de fils toronnés constituant la « trame » ou « toile » des nappes.
- f) « **Carcasse** » (7) : élément structural autre que la bande de roulement et la couche extérieure de gomme recouvrant les flancs qui, lorsque le pneu est gonflé, supporte la charge;
- g) « **Largeur du boudin** » ou « **largeur (de section) du pneu** » (8) : dimension extérieure mesurée d'un flanc à l'autre du pneu lorsque celui-ci est monté sur la jante de mesure spécifiée et gonflé, épaisseurs des marquages, décorations et bandes ou bourrelets de protection non compris;
- h) « **Ceinture** » (9) : nappe(s) à armature sensiblement parallèle au plan de rotation de la roue qui, située(s) en dessous de la bande de roulement, enserre(nt) le pourtour de la carcasse des pneus à architecture radiale ou diagonale ceinturée pour limiter leur dilatation circonférentielle;
- i) « **Talon** » (10) : partie permettant au pneu, grâce à sa forme et à sa structure, d'épouser le contour de la jante et de se maintenir sur celle-ci;
- j) « **Bande de renfort du talon** » ou « **bandelette talon** » (11) : partie du talon servant à protéger la carcasse contre l'usure par frottement ou abrasion sur le rebord de la jante.

2. Composition

6. Le tableau 1 montre la composition des pneus neufs et le tableau 2 les matériaux utilisés pour les fabriquer.

Tableau 1

Composition générale des pneus tourisme et poids lourd (en %)

Matériau	Voiture de tourisme (%)	Poids lourd (%)
Caoutchouc/élastomères	45	42
Noir de carbone et silice	23	24
Métaux	16	25
Textiles	6	
Oxyde de zinc	1	2
Soufre	1	1
Additifs	8	

Source: *pneus tourisme: ETRMA- LCA¹; pneus poids lourd: informations fournies par les fabricants*

7. Parce que leurs conditions de service sont différentes, les pneus poids lourd ont un ratio caoutchouc naturel/caoutchouc synthétique plus élevé que les pneus tourisme.

1 Life-cycle assessment of an average European car tyre. Préconsult pour le compte de la ETRMA, 2001.

Tableau 2

Matériaux entrant dans la fabrication des pneus

Matériau	Source	Application
Caoutchouc naturel	Sève de l'hévéa (<i>Hevea brasiliensis</i>), dans la plupart des cas.	De manière générale, le caoutchouc naturel constitue actuellement environ 30 à 40 % du contenu total en élastomères d'un pneu tourisme et 60 à 70 % de celui d'un pneu poids lourd
Caoutchouc synthétique	Substances pétrochimiques	En général, le caoutchouc synthétique constitue environ 60 à 70 % du contenu total en élastomères d'un pneu tourisme et 20 à 40 % de celui d'un pneu poids lourd
Câbles et tringles en acier, enduits et activateurs inclus, cuivre, étain, zinc et chrome	Pour les câbles, acier de très haute qualité que seules quelques usines de par le monde sont capables de manufacturer	L'acier sert à rigidifier et à renforcer la carcasse.
Matériaux de renfort	Polyester, rayon ou nylon	Servent à renforcer la carcasse
Noir de carbone, silice amorphe	Dérivés pétroliers pour le noir de carbone; silicium et carbonate de sodium pour la silice amorphe. Celle-ci peut être naturelle ou synthétique.	Servent à améliorer la durabilité et la résistance à l'usure.
Oxyde de zinc	L'oxyde de zinc s'obtient par un procédé de transformation utilisant du zinc extrait de minerais ou provenant de la filière recyclage.	Sert à activer la vulcanisation. À l'issue de celle-ci, le zinc se trouve lié au caoutchouc.
Soufre (y compris les composés)	S'obtient à partir de minerais, mais peut également être extrait du gaz ou du pétrole.	Principal agent de vulcanisation.
Résorcinol Formaldéhyde		Éléments constitutifs des systèmes adhésifs utilisés pour assurer la liaison entre la gomme et les fibres textiles de renfort et améliorer la cohésion entre la gomme et les câbles en acier couvert de laiton des nappes de ceinture.
Huiles : Huiles aromatiques, Huiles MES (huiles aromatiques spéciales purifiées), Huiles naphthéniques, Huiles TDAE (huiles aromatiques spéciales purifiées), Huiles paraffiniques.		
Autres additifs et solvants Composés hétérocycliques, Dérivés de phénylènediamines, Stabilisateurs phénoliques, Sulfénamides, Dérivés de la guanidine, Thiazoles, Dithiophosphates, Thiurames,	Substances synthétiques ou naturelles.	D'autres additifs sont utilisés dans les divers mélanges de gomme pour modifier leur comportement lors de la fabrication et dans le produit final : antioxydants, adjuvants de fabrication, accélérateurs, agents de vulcanisation, plastifiants, et charges.

Matériau	Source	Application
Dithiocarbamates, Thiourées, Autres		
Caoutchouc recyclé	Vieux pneus et autres produits en caoutchouc mis au rebut	S'utilise dans certains mélanges de gomme destinés à la fabrication de produits neufs et de matériaux de rechapage

Source: Adapté de « A National Approach to Waste Tyres » (2001), ETRMA (2001) et “State of knowledge report for tire materials and tire wear particles”, ChemRisk Inc (30 juillet 2008).

3. Propriétés physiques

8. Le poids d'un pneu varie en fonction de sa composition et de l'utilisation à laquelle il est destiné. Le tableau 3 contient des informations sur les catégories les plus courantes.

Tableau 3

Poids moyen des pneus selon leur catégorie

Catégorie	Poids moyen (kg)	Unités par tonne
Tourisme	6,5–10	154
Utilitaire (4x4 inclus)	11	91
Poids lourd	52,5	19

Source : Hylands et Shulman (2003)

9. L'industrie cimentière allemande chiffre le pouvoir calorifique des pneus usés en co-incinération à 26 MJ/kg (VDZ 2008).², ce que confirme la valeur moyenne de 25,83 MJ/kg obtenue par l'Office fédéral allemand de l'environnement (Umweltbundesamt (UBA), 2006)³ pour les pneus utilisés comme combustible secondaire.

10. Le tableau 4 compare la densité énergétique de différents combustibles et leurs émissions de CO₂.

Tableau 4

Densité énergétique et émissions de CO₂ de quelques combustibles

Combustible	Densité énergétique (GJ/t)	Émissions (kgCO ₂ /t)	Émissions (kgCO ₂ /GJ)
Pneus	25–35	2,72	85
Carbone	27	2,43	90
Coke de pétrole	32,4	3,24	100
Gazole	46	3,22	70
Gaz naturel	39	1,989	51
Bois	10,2	1,122	110

Source : World Business Council on Sustainable Development (Conseil mondial des entreprises pour le développement durable), 2005 – CO₂ Emission Factors of Fuels.

11. De même que certaines de leurs autres propriétés, le pouvoir calorifique des pneus dépend de leur nature (tourisme/poids lourd), taux d'usure (quantité de caoutchouc restante) et éventuel traitement physique préalable (entiers ou déchetés). Il varie en outre d'un pays et d'un fabricant à l'autre.

12. Comme ils ne s'enflamment pas spontanément, les pneus ne sont pas classés comme inflammables au sens des caractéristiques de danger H4.1 à 4.3 figurant dans l'Annexe III de la Convention de Bâle. Les études sur des balles de pneus réalisées au Royaume-Uni par le Building Research Establishment⁴ ont donné les résultats suivants :

a) Une température minimale de 182° C maintenue pendant 65,4 jours est nécessaire pour provoquer l'inflammation;

2 VDZ (2008).

3 UBA (2006).

4 HR Wallingford (2005).

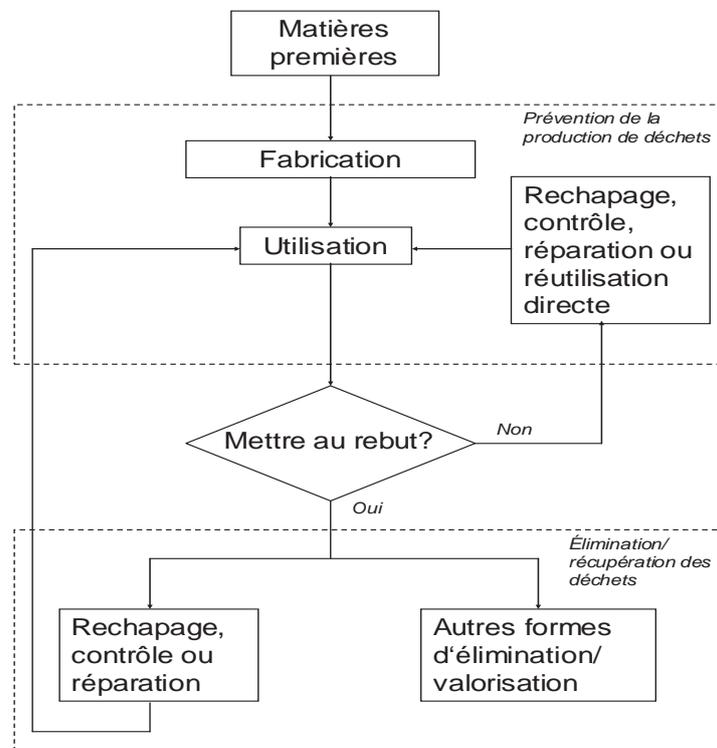
b) À 350° C, l'inflammation spontanée ne se produit qu'après cinq minutes et à 480° C, après une minute.

13. Il faut toutefois savoir que certains phénomènes naturels (tels que la foudre, si les pneus ne sont pas correctement entreposés) et actes délibérés (comme, par exemple, les incendies criminels) peuvent créer des conditions propices à un embrasement. Une fois allumés, ces feux sont difficiles à maîtriser en raison de la chaleur qu'ils dégagent. Des exemples d'incendies qui se sont produits dans des dépôts de vieux pneus sont fournis dans l'annexe III.

C. Étapes du cycle de vie d'un pneu

14. La figure II montre les différentes étapes du cycle de vie d'un pneu, depuis l'acquisition des matières premières et la fabrication jusqu'à l'utilisation et à l'élimination définitive. Elle fait en particulier ressortir le fait le rechapage, puisqu'il permet de réutiliser les pneus, ce qui accroît leur durée de vie utile, peut intervenir aussi bien dans la phase de prévention de la production que dans celle de récupération et d'élimination des déchets, où les pneus mis au rebut peuvent soit subir ce traitement, soit faire l'objet d'autres opérations d'élimination écologiquement rationnelle.

Figure II
Étapes du cycle de vie d'un pneu



1. Pneus usés

15. Certains pays autorisent la revente de pneus partiellement usés comme pneus d'occasion. Il convient toutefois de signaler que vu les risques, l'achat de tels pneus devrait se faire avec une grande prudence. En effet, ils peuvent provenir de voitures accidentées, avoir été endommagés par les nids-de-poule, les chocs contre des obstacles ou un mauvais gonflage, ou avoir été incorrectement réparés.

16. Les pneus partiellement usés peuvent se réutiliser tels quels, par exemple dans les cas suivants :

- a) Pneus montés sur les voitures achetées d'occasion ou provenant de voitures mises au rebut;
- b) Pneus de fabrication ancienne utilisés pour des applications moins exigeantes;

c) Pneus échangés pour des raisons autres que la fin de leur vie utile (par exemple, remplacement par des pneus haute performance ou utilisation de jantes de dimensions différentes).

17. Au Royaume-Uni, la vente et la distribution de pneus d'occasion sont régies par une loi faisant partie du "Motor Vehicle Tyre Safety Regulations" (règlement concernant la sécurité des pneumatiques des véhicules à moteur) de 1994, selon laquelle :

a) Les pneus en question ne doivent comporter sur leur surface externe aucune entaille mesurant plus de 25 mm ou plus de 10 % de leur largeur de section, que ce soit en longueur ou en profondeur, ou pénétrant jusqu'à la toile;

b) Ils ne doivent présenter aucune protubérance, déformation ou déchirure externe causée par une rupture ou une défaillance de la carcasse;

c) Aucune toile ne doit apparaître en surface, ni à l'intérieur ni à l'extérieur;

d) Ils ne doivent présenter aucun des défauts précités lorsqu'ils sont gonflés à leur pression maximale d'utilisation;

e) Le fond de toutes les rainures figurant à l'origine dans les sculptures de la bande de roulement doit être clairement visible;

f) La profondeur des sculptures doit être d'au moins 2 mm sur toute la largeur et toute la circonférence de la bande de roulement.

18. On est actuellement en train d'étudier la possibilité d'implanter dans les pneus des puces électroniques d'identification par radiofréquence permettant de collecter des informations sur leurs conditions d'utilisation. S'ils s'avèrent efficaces, ces dispositifs pourraient servir à déterminer les paramètres corrects pour la réutilisation éventuelle des pneus usés.

2. Pneus rechapés

19. Le rechapage, terme désignant le remplacement de la surface d'usure d'un pneu, est considéré comme un moyen de prolonger la vie utile de ce dernier et peut être classé comme une réutilisation dans la hiérarchie de gestion des déchets. Des informations supplémentaires sur les techniques de rechapage sont disponibles dans la section F du chapitre III des présentes directives.

20. Alors que le rechapage de pneus mis au rebut constitue une récupération, celui de pneus usés dont on ne s'est pas encore débarrassé relève de la prévention de la production de déchets. Dans un cas comme dans l'autre, il permet aux pneus d'être réutilisés, ce qui accroît leur durée de vie utile.

3. Déchets de pneus

21. À défaut d'un rechapage, on peut soumettre les pneus usés à un découpage, déchiquetage ou broyage permettant de récupérer leurs matériaux, dont on peut ensuite se servir dans diverses applications telles que la fabrication de chaussures, revêtements de terrains de sport, tapis de sol, etc. ou la production d'énergie.

D. Risques potentiels pour la santé et l'environnement

22. Comme ils ne présentent pas de propriétés dangereuses, les éléments constitutifs des pneus ne sont pas intrinsèquement nocifs. Toutefois, ils peuvent comporter des risques pour la santé publique et l'environnement s'ils ne sont pas convenablement gérés et éliminés.

23. Les pneus ne sont pas biodégradables dans la mesure où le temps qu'il leur faut pour se décomposer est indéterminé. Les pneus usés sont des déchets volumineux qui sont difficiles à compacter, à collecter et à éliminer. Incorrectement traités, ils défigurent le paysage et peuvent bloquer les canaux de circulation, les ruisseaux et les déversoirs d'orages, entraînant ainsi des modifications de l'écoulement des eaux qui peuvent à leur tour être des facteurs d'érosion, d'envasement et d'inondation.

24. Parce qu'ils retiennent la chaleur et ont une structure ouverte, les amoncellements de pneus accroissent le risque qu'un incendie causé par un acte délibéré ou un accident comme, par exemple, la foudre, se déclare. Un tel incendie est difficile à maîtriser et à éteindre et peut rejeter pendant plusieurs mois des fumées, huiles et autres produits toxiques qui polluent l'air, les sols et les cours d'eau⁵. Dans les décharges, les pneus prennent beaucoup de place, constituent une cause possible d'incendie, ne se

⁵ Health Protection Agency (Royaume-Uni), Chemical Hazard and Poisons Report 8 (2003) ("UK – Chemical Hazard Report")

biodégradable pas et remontent fréquemment à la surface, ce qui crée une nouvelle série de problèmes compliquant la gestion de ces sites⁶. C'est pour cette raison que l'Union européenne a interdit leur mise en décharge⁷.

25. Des informations plus détaillées sur les aspects touchant à la santé publique sont disponibles dans l'appendice I.

1. Risques pour la santé publique

26. Incorrectement gérés, les déchets de pneus constituent un gîte idéal pour les rongeurs et des sites de reproduction pour les moustiques vecteurs de la dengue et de la fièvre jaune, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales. Leur forme arrondie, à laquelle s'ajoute leur imperméabilité, leur permet de retenir l'eau et d'autres débris (par exemple, des feuilles en décomposition) durant de longues périodes, offrant ainsi des conditions idéales pour la croissance des larves des moustiques. Leur importance par rapport aux autres sites de reproduction est encore indéterminée et peut dépendre des conditions locales. Il convient de noter que ces larves peuvent également se multiplier dans d'autres réceptacles de fabrication humaine : récipients alimentaires en plastique mis au rebut, poteries, fûts métalliques, citernes à eau en béton, etc.

27. Les pneus usés sont particulièrement susceptibles de favoriser la propagation des espèces *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*, qui sont les principaux vecteurs de la dengue et de la fièvre jaune dont souffrent des millions d'habitants des tropiques. Dans les régions tempérées, d'autres espèces, telles que *Aedes triseriatus* et *Aedes atropalpus* prédominent.

28. Les pneus usés transportés d'un endroit à l'autre facilitent non seulement la dissémination de moustiques qui, sans eux, auraient une aire de répartition limitée, mais aussi la pénétration d'espèces allogènes qui sont souvent plus difficiles à contenir, ce qui accroît le risque de maladies. La propagation rapide de *Aedes albopictus* a été, entre autres, largement attribuée au commerce international de pneus usés.

29. C'est en effet par ce moyen, en l'occurrence dans des pneus usés importés d'Asie, que ce moustique s'est introduit dans le Sud-Est des Etats-Unis vers la fin des années 80. De là, il s'est rapidement répandu sur un axe nord-sud, le long des voies de transport, aidé par les déplacements de marchandises et de personnes. Dans certaines régions, il a supplanté les espèces autochtones. On le trouve maintenant aussi loin au nord qu'à Chicago, mais il ne survit pas aux hivers de ces latitudes. Il n'a jamais été vu au Canada⁸.

30. Cela montre de manière conclusive que l'accumulation incontrôlée et le transport inapproprié de pneus usés et déchets de pneus posent un risque réel de transmission de maladies par les moustiques. Les entreprises impliquées dans le transport et la gestion de tels pneus devraient en être conscientes et les traiter de manière à réduire la propagation de maladies. On trouvera dans l'appendice I des informations supplémentaires sur les maladies en question et les mesures que les entreprises précitées peuvent prendre en la matière.

31. Dans le chapitre 5, consacré à la surveillance entomologique et à la lutte antivectorielle, de sa publication intitulée « Dengue hémorragique : diagnostic, traitement, prévention et lutte »⁹, l'OMS indique que l'arme la plus efficace contre les moustiques est l'aménagement de l'environnement, qui comprend des activités de planification, d'organisation, de mise en œuvre et de surveillance visant à modifier ou manipuler les paramètres environnementaux de manière à prévenir ou réduire la propagation du vecteur et les contacts homme-vecteur-agent pathogène. Dans les zones urbaines, les déchets sont souvent abandonnés près des zones d'habitation au lieu d'être ramassés, ce qui contribue considérablement à de tels contacts. À cela se rajoute le fait que d'aucuns utilisent des pneus usés pour planter des fleurs, lester leur toiture ou fabriquer des jouets pour enfants. Ces pneus peuvent alors devenir des sites de ponte pour les moustiques. Les mesures de surveillance et de lutte suggérées dans ces cas sont de les remplir, couvrir ou rassembler pour recyclage ou élimination. Cela montre l'importance de la sensibilisation et de la mise en place d'un système de collecte et de gestion bien conçu et opérationnel.

⁶ Directive 1999/31/CE.

⁷ Voir la Directive 1999/31/CE, qui fait état de la mise en décharge des pneus.

⁸ Santé Canada.

⁹ OMS, deuxième édition. (1997).

2. Risques environnementaux

32. L'impact environnemental de diverses technologies et méthodes de traitement et l'élimination écologiquement rationnelle des pneus sont examinés dans la section F du chapitre III. Dans la présente section, qui traite des risques environnementaux que les pneus peuvent globalement présenter, nous nous penchons sur les questions plus générales de l'écotoxicité, du lessivage et des feux non maîtrisés. Les méthodes d'élimination possibles, les principaux problèmes environnementaux qu'elles posent et les moyens suggérés pour éviter ces problèmes sont examinés dans l'annexe aux présentes directives.

a) Écotoxicité

33. L'écotoxicité des pneus usés et déchets de pneus est difficile à évaluer. Elle est liée aux rejets de particules résultant de l'utilisation ainsi qu'à la mise en décharge et à l'élimination non réglementées des pneus. S'agissant de la toxicité et des risques pour la santé humaine, les conclusions tirées par diverses études varient considérablement. Étant donné le large éventail de substances entrant dans la composition des pneus, les résultats dépendent d'un grand nombre de paramètres tels que le type de pneus et les produits chimiques étudiés et la méthode d'évaluation utilisée. Les connaissances scientifiques sur l'écotoxicité des pneus présentent encore des lacunes. On trouvera ci-après certaines des conclusions des études précitées.

34. En 1995, l'Institut Pasteur de Lille (France) a procédé à des études de la toxicité de la poudrette de caoutchouc provenant de carcasses de pneus pour *S. capricornutum* (algue), *Daphnia magna* (crustacé), et *Brachydanio rerio* (poisson), conformément aux normes ISO 8692, 6341 et 7346. Une étude complémentaire de détermination de la toxicité aiguë selon la norme ISO 11268/1, menée cette fois-ci par l'Institut Pasteur de Lyon (France), a examiné les effets de la poudrette de caoutchouc obtenue à partir de pneus sur des vers de terre placés dans un substrat défini. Aucun de ces essais n'a mis en évidence une quelconque toxicité.

35. En 2003, des essais effectués par Birkholz en Californie¹⁰ sur des fragments de caoutchouc provenant d'une décharge de pneus ont montré que ceux-ci exerçaient des effets toxiques sur des bactéries, invertébrés, poissons et algues vertes mais que leur toxicité baissait de 59 % après trois mois.

36. Il convient en outre de tenir compte non seulement de la toxicité aiguë ou à court terme mais aussi de la toxicité à long terme. Les études portant sur cette dernière montrent que certains types de pneus, par exemple ceux qui possèdent une forte teneur en huiles aromatiques peuvent, dans certaines conditions, laisser échapper des quantités considérables d'hydrocarbures aromatiques polycycliques qui, s'infiltrant dans l'environnement aquatique¹¹, influent, entre autres, sur la dynamique démographique des grenouilles des bois¹².

37. En 2005, Wik et Dave se sont penchés sur la possibilité d'utiliser l'essai de toxicité sur *Daphnia magna* selon la norme ISO 6341 comme test de présélection pour l'éco-étiquetage des pneus tourisme. À la base, le problème visé était les effets toxiques sur les organismes aquatiques que peuvent produire les particules d'usure des pneus et, en particulier, les huiles fortement aromatiques qu'elles contiennent, (à la différence des études mentionnées au paragraphe 33, qui avaient pour objet les produits chimiques se trouvant dans les lixiviats des gazons synthétiques). Les essais se sont effectués avec des râpures de gomme provenant de la bande de roulement de 12 pneus tourisme choisis au hasard, pour simuler les particules arrachées à ces derniers lors de leur utilisation. Les résultats obtenus après 24 et 48 h d'exposition montrent que tous les pneus sont toxiques pour *Daphnia magna* et que la toxicité peut varier d'un facteur de 100 d'un pneu à l'autre. Étant donné que ce chiffre a été obtenu avec 12 pneus choisis au hasard, la variance totale pour l'ensemble des pneus présents sur le marché devrait être beaucoup plus élevée. La différence de toxicité entre les pneus d'été et les pneus d'hiver était considérable¹³.

38. Des études antérieures ont fait état de la toxicité des particules d'usure des pneus pour les organismes aquatiques mais peu ont évalué leur toxicité dans les sédiments, forme sous laquelle elles finiront probablement dans l'environnement. Dans une étude, la toxicité aiguë d'élutriats de sédiments contenant 100, 500, 1 000 et 10 000 mg/l de particules d'usure de pneus a été mesurée pour *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Daphnia magna* et *Pimephales promelas*. Dans les conditions normales de température, aucun lien entre la concentration et les effets n'a été observé et les valeurs de

¹⁰ California Integrated Waste Management Board (CIWMB) (2007).

¹¹ Stephensen, Eirikur et autres (2003).

¹² Camponelli, Kimberly M., et autres (2009).

¹³ Wik A. et Dave G. (2005)

la CE/CL₅₀ étaient supérieures à 10 000 mg/l. Des essais supplémentaires sur *Daphnia magna* utilisant des éluviats avec et sans sédiments soumis à un chauffage visant à faciliter la libération de substances chimiques par la gomme ont été réalisés pour déterminer les facteurs environnementaux pouvant influencer sur la toxicité des particules. Seuls les éluviats obtenus à des températures élevées se sont révélés toxiques, avec une CE/CL₅₀ minimale de 5 000 mg/l. Des études selon la méthode Toxicity Identification Evaluation (TIE) accompagnées d'analyses chimiques (chromatographie liquide avec double spectrométrie de masse [CL/SM/SM] et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif [SM/PCI]) ont également été menées pour identifier les éventuels constituants chimiques toxiques. Il en est ressorti que le zinc et l'aniline pourraient en faire partie. Toutefois, puisque leur CE/CL₅₀ est élevée et qu'elles ne sont toxiques que dans certaines conditions, il convient de considérer les particules d'usure des pneus comme présentant un faible risque pour les écosystèmes aquatiques dans les scénarios d'exposition aiguë.

b) Lixiviation

39. Les lixiviats de pneus peuvent contaminer les sols et les eaux aussi bien superficielles que souterraines d'un site et de ses alentours. À partir de la littérature spécialisée et de ses propres constatations, le Ministère de l'environnement néo-zélandais¹⁴ a identifié plusieurs facteurs susceptibles d'influer sur les taux lixiviation des composés contenus dans les pneus et/ou leurs concentrations dans les sols et les eaux superficielles et souterraines.

40. D'autres études ont montré que les concentrations de métaux lourds et de composés organiques tels que les hydrocarbures aromatiques cycliques dans les lixiviats provenant de gazons synthétiques qui utilisent des pneus recyclés comme matériau de remplissage sont bien en deçà des limites fixées par les Pays-Bas pour la qualité des sols et des eaux superficielles. Le zinc constitue une exception. Les taux de carbone et d'azote organique dissous semblent baisser d'abord très rapidement, puis selon une courbe temporelle de moindre pente propre à chaque substance, jusqu'à leur niveau minimal. Au cours des essais, les granulats et l'échantillon témoin (une couche de gravier sans surfacage) se sont révélés avoir la même très faible teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques, qui correspond au niveau de fond (niveau de contamination ambiant). Des informations sur les travaux de terrain menés dans ce domaine sont disponibles dans l'appendice II.

41. Les impacts environnementaux de l'utilisation de granulats de pneus comme matériau de remplissage dans les terrains de sport en gazon synthétique ont été examinés dans trois études récentes¹⁵. Axées sur les éléments et substances chimiques présents dans les matériaux de remplissage, en particulier ceux provenant de pneus usés, ces études se sont penchées sur les 42 paramètres physico-chimiques suivants : cyanures totaux, indice phénol, hydrocarbures totaux, 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques, carbone organique total, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn, fluorures, nitrates, ammonium, chlorures, sulfates, pH et conductivité. Elles ont conclu que, d'après les résultats des analyses physico-chimiques des percolats, la cinétique des substances potentiellement polluantes est comparable pour tous les types de granulats, que ce soit *in situ* ou en laboratoire. Les lixiviats contiennent des traces détectables de substances et composés arrachés de la surface et de la matrice polymère des granulats qui s'amenuisent au fil du temps. Dans les essais lysimétriques et d'éluvation, les taux des diverses substances mesurées et ceux de carbone et d'azote organique dissous baissent d'abord très rapidement, puis selon une courbe temporelle de moindre pente propre à chaque substance, jusqu'à leur niveau minimal. Dans l'état actuel des recherches, les résultats des mesures faites sur les 42 paramètres physico-chimiques identifiés et des essais écotoxicologiques montrent qu'après une année d'expérimentation, les percolats des gazons synthétiques utilisant des granulats en élastomère vierge ou issus de pneus usés ne sont pas susceptibles d'avoir des effets à court ou moyen terme sur les ressources en eau.

42. Dans une étude menée en 2007, Wik a suivi une approche inédite pour déterminer les éléments toxiques pouvant s'échapper de la gomme des pneus au contact de l'eau. Plusieurs formulations de gommages utilisant différents additifs ont été préparées, dont on a tiré des lixiviats aqueux que l'on a ensuite soumis à des essais de toxicité normalisés avec *Daphnia magna*. Les résultats ont montré une forte influence des additifs chimiques choisis sur la toxicité des lixiviats dont il convient de tenir compte à l'avenir, lors de l'élaboration de nouvelles gommages, pour réduire leur impact potentiel sur l'environnement.

¹⁴ Ministère de l'environnement : « *End-of-Life Tyre Management : Storage Options Final Report for the Ministry of Environment* ». MWH, juillet 2004.

¹⁵ Aliapur et autres (2007).

43. Trois études menées par INTRON en 2008 et 2009 fournissent des informations utiles sur l'impact à long terme du zinc que les percolats des gazons synthétiques utilisant des matériaux de remplissage tirés de vieux pneus peuvent contenir¹⁶. L'une de ces études se penchait sur la question de savoir si une telle infiltration constituait dans le long terme un risque pour l'environnement au cas où les quantités libérées augmenteraient au fil du temps, en raison du vieillissement du caoutchouc. Les résultats de cette étude, qui a été réalisée par SGS INTRON et vérifiée par Verschoor et Cleven de l'Institut national pour la santé publique et l'environnement des Pays-Bas (RIVM), ont montré que les valeurs limites fixées par le décret sur la qualité des sols actuellement en vigueur aux Pays-Bas ne seront atteintes qu'après plus de 60 ans pour les terrains de sport dotés d'une sous-couche de lave sur une fondation en sable et après 7 à 70 ans pour ceux qui ne comportent que la sous-couche de lave. Les données de surveillance recueillies en 2008 montrent qu'aucune différence systématique n'existe entre les concentrations de zinc dans les eaux de drainage et les eaux de pluie, qui sont faibles dans les deux cas. Sur la base de ces nouvelles observations, INTRON a conclu à l'absence d'infiltrations de zinc dans les sous-couches au bout de 7 ans d'usage. Ces résultats concordent avec ceux obtenus en laboratoire en 2009, qui ont été calculés à partir de la capacité d'adsorption réelle de la couche de sable au lieu de la valeur théorique utilisée dans une étude antérieure. De même, rien ne permet d'affirmer, après ces 7 ans, que l'utilisation de caoutchouc comme matériau de remplissage comporte des risques liés à une éventuelle infiltration de zinc par lixiviation et les résultats indiquent qu'une gestion écologiquement rationnelle permet de limiter ce risque pendant la durée de vie technique de la surface, qui est de 15 ans.

44. Dans l'état actuel des recherches, les résultats des mesures faites sur les 42 paramètres physico-chimiques identifiés et des essais écotoxicologiques montrent qu'après une année d'expérimentation, les percolats des gazons synthétiques utilisant des granulats en élastomère vierge ou issus de pneus usés ne sont pas susceptibles d'avoir des effets à court ou moyen terme sur les ressources en eau¹⁷.

45. Selon certaines publications traitant de la lixiviation potentielle de substances chimiques à partir de pneus usés, l'impact de ces derniers sur le sous-sol des routes et les eaux superficielles dans des conditions environnementales neutres serait négligeable du point de vue de la qualité des eaux superficielles et souterraines et de l'environnement aquatique¹⁸.

c) **Incendie incontrôlé à l'air libre**

46. Les pneus ne s'enflamment pas spontanément. Si toutefois un incendie provoqué accidentellement ou délibérément vient à se déclarer dans un amas de pneus, la composition de ce dernier influera sur l'intensité et la direction du feu. S'il s'agit de pneus entiers, le feu se propage généralement vers le centre du tas, où les poches d'air entretiennent la combustion. Les copeaux ou broyats ont plutôt tendance à brûler en surface.

47. La combustion donne lieu à des dégagements de divers produits de décomposition, dont :

- a) Des cendres (qui contiennent généralement du carbone, de l'oxyde de zinc, du dioxyde de titane, des dioxydes de silicone, du cadmium, du plomb et d'autres métaux lourds);
- b) Des composés sulfurés;
- c) Des hydrocarbures aromatiques polycycliques;
- d) Des huiles aromatiques;
- e) Des oxydes de carbone et d'azote;
- f) Des particules;
- g) Divers hydrocarbures aromatiques légers (tels que le toluène, le xylène, le benzène, etc.)

48. Les produits pyrolytiques sont très nombreux et varient en fonction de facteurs tels que :

- a) Le type de pneu;
- b) La vitesse de combustion;

¹⁶ Rapport INTRON A845090/R20090029, "Adsorption of zinc to synthetic turf underlays", (2009)

¹⁷ Aliapur et autres (2007).

¹⁸ *Literature study on substances leached from shredded and whole tyres* (publié en juin 2005 par l'European Association of the Rubber Industry (BLIC)).

- c) La taille des empilements;
- d) La température ambiante;
- e) L'humidité.

49. Certains produits de décomposition, en particulier ceux résultant d'une combustion incomplète, sont des polluants organiques persistants. La réduction et l'élimination des émissions non intentionnelles de telles substances sont régies par l'article 5 et l'Annexe C de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants.

50. En France, le Syndicat national du caoutchouc et des polymères (SNCP) a mené un certain nombre d'expériences sur le terrain pour déterminer la composition des fumées produites en cas d'incendie par les pneus entreposés dans des locaux dotés ou non d'extincteurs automatiques à eau de type sprinkler¹⁹. Les résultats figurent dans le tableau 5.

Tableau 5

Composition des fumées produites par les pneus

Composé	Taux de production en l'absence d'arrosage (g/kg de pneu brûlé)	Taux de production en présence d'arrosage (g/kg de pneu brûlé)
Dioxyde de carbone	1450	626
Monoxyde de carbone	35	42
Dioxyde d'azote	0,9	0,75
Monoxyde d'azote	3,2	1,6
Dioxyde de soufre	15	4
Acide cyanhydrique	4	0,6
Acide chlorhydrique	Non détectable	2
Imbrûlés organiques totaux (dont benzène et toluène, en équivalent toluène)	23	61
Suies	285	20
Métaux (total), dont aluminium et zinc > 99 %	31,9	22,74
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (total)	0,0633	0,093
Biphényles polychlorés (total)	$2,66 \times 10^{-4}$	$2,16 \times 10^{-5}$
Dioxines/furanes (total)	$6,44 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-7}$
Composés recherchés mais pas détectés (taux inférieurs à la limite de détection analytique)	Formaldéhyde, acide chlorhydrique, acide bromhydrique, acroléine, ammoniac, étain	Formaldéhyde, acide bromhydrique, acroléine, ammoniac, étain

51. Dans les installations dotées de sprinklers, la baisse de température provoquée par l'arrosage entraîne une plus forte production de monoxyde de carbone et de composés organiques imbrûlés. Par contre, les émissions d'autres substances sont moins importantes, en particulier pour les suies, celles-ci étant éliminées par les gouttes d'eau. Les concentrations de biphényles polychlorés et de dioxines et furanes mesurées sont généralement comparables à celles présentes dans l'air ambiant. Cela peut ne pas se vérifier pour les stocks de très grand volume et les mono-décharges de pneus.

52. Les incendies incontrôlés ont, quant à eux, des incidences écologiques importantes sur l'air, les eaux et les sols.

i) Pollution de l'air

53. Lorsqu'ils brûlent à l'air libre, les pneus dégagent une fumée noire, du dioxyde de carbone (qui contribue à l'effet de serre), des composés organiques volatils et des polluants atmosphériques

¹⁹ Incendie dans un entrepôt de stockage de pneumatiques équipé d'une installation sprinkler. Impact environnemental sur l'air et sur l'eau (SNCP, 2007).

dangereux (hydrocarbures aromatiques polycycliques, dioxines, furanes, chlorure d'hydrogène, benzène, biphényles polychlorés, arsenic, cadmium, nickel, zinc, mercure, chrome, vanadium, etc..²⁰).

54. Entraînés par la pluie, qui peut les rabattre mécaniquement ou les piéger dans les gouttes, ces polluants peuvent contaminer les sols et les eaux.

ii) Pollution des eaux

55. La combustion d'un million de pneus produit, par pyrolyse, quelque 200 000 litres d'un déchet huileux hautement polluant et inflammable qui, outre les problèmes causés par son écoulement, peut être emporté par l'eau, si on en utilise pour éteindre le feu, ou percoler à travers le sol et atteindre les eaux souterraines ou les cours d'eau voisins. Les ruissellements peuvent également entraîner d'autres résidus de combustion tels que le zinc, le cadmium et le plomb ainsi que divers contaminants (arsenic, benzène, mercure, cuivre, dioxines, biphényles polychlorés et hydrocarbures aromatiques polycycliques, entre autres).

iii) Pollution des sols

56. Les résidus d'un feu peuvent causer une pollution immédiate résultant de la pénétration des produits de décomposition liquides dans le sol ou une pollution progressive résultant du lessivage des cendres et des imbrûlés. Ces deux phénomènes sont principalement dus à la pluie et à l'infiltration d'eau sur le site.

II. Dispositions pertinentes de la Convention de Bâle

A. Dispositions générales

57. La Convention de Bâle entrée en vigueur le 5 mai 1992 stipule qu'un mouvement transfrontière de déchets (exportation, importation ou transit) n'est autorisé qu'à la condition que le mouvement lui-même et l'élimination des déchets dangereux ou autres déchets en question soient assurés de façon écologiquement rationnelle.

58. Au paragraphe 1 de son article 2 (« Définitions »), la Convention définit les déchets comme « des substances ou objets qu'on élimine, qu'on a l'intention d'éliminer ou qu'on est tenu d'éliminer en vertu des dispositions du droit national ». Au paragraphe 4, elle définit l'élimination comme « toute opération prévue à l'Annexe IV » de la Convention. Au paragraphe 8, elle définit la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux ou d'autres déchets comme « toutes mesures pratiques permettant d'assurer que les déchets dangereux ou d'autres déchets sont gérés d'une manière qui garantisse la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets ».

59. Le paragraphe 1 de l'article 4 (« Obligations générales ») définit la procédure par laquelle les Parties exerçant leur droit d'interdire l'importation de déchets dangereux ou d'autres déchets en vue de leur élimination doivent informer les autres Parties de leur décision. L'alinéa a) de ce paragraphe stipule que « les Parties exerçant leur droit d'interdire l'importation de déchets dangereux ou d'autres déchets en vue de leur élimination en informent les autres Parties conformément aux dispositions de l'article 13 ». L'alinéa b) prévoit que « les Parties interdisent ou ne permettent pas l'exportation de déchets dangereux et d'autres déchets dans les Parties qui ont interdit l'importation de tels déchets, lorsque cette interdiction a été notifiée conformément aux dispositions de l'alinéa a) ».

60. Les alinéas a) à e) et g) du paragraphe 2 de l'article 4 énoncent les principales dispositions de la Convention de Bâle concernant la gestion écologiquement rationnelle des déchets, la réduction au minimum de leur production et les pratiques d'élimination atténuant leurs effets nocifs sur la santé humaine et sur l'environnement. Selon ce paragraphe :

Chaque Partie doit prendre les dispositions voulues pour :

- a) Veiller à ce que la production de déchets dangereux et d'autres déchets à l'intérieur du pays soit réduite au minimum, compte tenu des considérations sociales, techniques et économiques;
- b) Assurer la mise en place d'installations adéquates d'élimination qui devront, dans la mesure du possible, être situées à l'intérieur du pays, en vue d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux et d'autres déchets en quelque lieu qu'ils soient éliminés;

²⁰ Reisman, Joel. I. (1997).

- c) Veiller à ce que les personnes qui s'occupent de la gestion des déchets dangereux ou d'autres déchets à l'intérieur du pays prennent les mesures nécessaires pour prévenir la pollution résultant de cette gestion et, si une telle pollution se produit, pour en réduire au minimum les conséquences pour la santé humaine et l'environnement;
- d) Veiller à ce que les mouvements transfrontières de déchets dangereux et d'autres déchets soient réduits à un minimum compatible avec une gestion efficace et écologiquement rationnelle desdits déchets et qu'ils s'effectuent de manière à protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets nocifs qui pourraient en résulter;
- e) Interdire les exportations de déchets dangereux ou d'autres déchets à destination des États ou groupes d'États appartenant à des organisations d'intégration politique ou économique qui sont Parties, particulièrement les pays en développement, qui ont interdit par leur législation toute importation, ou si elle a des raisons de croire que les déchets en question n'y seront pas gérés selon des méthodes écologiquement rationnelles telles que définies par les critères que retiendront les Parties à leur première réunion;
- g) Empêcher les importations de déchets dangereux et d'autres déchets si elle a des raisons de croire que les déchets en question ne seront pas gérés selon des méthodes écologiquement rationnelles.

B. Dispositions applicables aux pneumatiques

61. L'article premier (« Champ d'application de la Convention ») définit les types de déchets soumis à la Convention de Bâle. L'alinéa a) du paragraphe 1 de cet article présente une méthode permettant de déterminer en deux étapes l'applicabilité de la Convention à un déchet donné : celui-ci doit, premièrement, appartenir à l'une des catégories visées à l'Annexe I (« Catégories de déchets à contrôler ») et, deuxièmement, présenter au moins l'une des caractéristiques indiquées à l'Annexe III (« Liste des caractéristiques de danger »).

62. Le fait qu'une Partie n'est pas liée par la définition des déchets (et autres résidus) dangereux donnée par la Convention constitue un élément important. Chaque Partie est libre de décider, compte tenu de sa législation nationale, si elle considère un certain déchet comme « dangereux » aux fins de la Convention. Elle doit alors signifier sa décision au secrétariat, qui informera à son tour les autres Parties à la Convention que le mouvement transfrontière de ce déchet est interdit.

63. Les pneus en tant que tels ne tombent dans aucune des catégories de déchets (Y1 à Y8) figurant dans la première partie de l'Annexe I à la Convention, mais ils contiennent des éléments ou composés mentionnés dans ladite Annexe. Ces ingrédients, qui se trouvent incorporés dans le caoutchouc ou les matériaux de renfort, sont énumérés dans le tableau 6.

Tableau 6

Constituants inscrits à l'Annexe I présents dans les pneus

Catégorie du constituant	Nom	Remarques	Teneur (en % du poids)	Teneur* (kg)	Caractéristiques de danger selon l'Annexe III
Y22	Composés du cuivre	Élément d'alliage des câbles de renfort en acier	Environ 0,02	Environ 0,14 g	Ces composés sont présents dans l'acier sous forme métallique non susceptible de dispersion, ce qui les met dans la catégorie B1010 de l'Annexe IX. Ils ne présentent aucune caractéristique de danger figurant à l'Annexe III.
Y23	Composés du zinc	Oxyde de zinc contenu dans la matrice de caoutchouc	Environ 1	Environ 70 g	Les pneus entiers ne présentent aucune des caractéristiques de danger H1 à H12 de l'Annexe III. La caractéristique H13 n'est évaluée que pour les produits de lixiviation, par rapport aux seuils (voir chapitre III).
Y26	Cadmium	Trouvé à l'état de traces sous forme de	Maximum 0,001	Maximum 0,07 g	Les quantités dont il s'agit ne sont pas suffisantes pour conférer au déchet une des caractéristiques de danger de

Catégorie du constituant	Nom	Remarques	Teneur (en % du poids)	Teneur* (kg)	Caractéristiques de danger selon l'Annexe III
		composés accompagnant l'oxyde de zinc			l'Annexe III.
Y31	Composés du plomb	Composés à l'état de traces accompagnant l'oxyde de zinc	Maximum 0,005	Maximum 0,35 g	Les quantités dont il s'agit ne sont pas suffisantes pour conférer au déchet une des caractéristiques de danger de l'Annexe III.
Y34	Solutions acides ou acides sous forme solide	Acide stéarique sous forme solide	Environ 0,3	Environ 21 g	De très faible acidité, ce corps gras naturel ne présente aucun danger permettant de le classer dans la catégorie Y34 de l'Annexe I
Y45	Composés organohalogénés autres que les matières figurant dans l'Annexe I de la Convention	Caoutchouc butylique halogéné	Teneur maximale en halogènes : 0,10	Teneur maximale en halogènes : 7 g	Ce produit ne présente aucune caractéristique de l'Annexe III.

64. Les déchets inscrits à l'Annexe I sont considérés comme présentant une ou plusieurs des caractéristiques de danger de l'Annexe III dont, éventuellement, les caractéristiques H11 « Matières toxiques (effets différés ou chroniques) », H12 « Matières écotoxiques » et H6.1 « Matières toxiques (aiguës), sauf si des « tests nationaux » permettent d'établir qu'ils ne possèdent pas ces caractéristiques. Les tests nationaux peuvent être utiles pour identifier une caractéristique de danger particulière, en attendant sa définition complète. Des documents d'orientation concernant chacune des caractéristiques de danger énumérées à l'Annexe III sont en cours d'élaboration au titre de la Convention de Bâle.

65. La liste A de l'Annexe VIII de la Convention énumère les déchets « considérés comme des déchets dangereux en vertu de l'alinéa a) du paragraphe 1 de l'article premier de la Convention », mais l'inscription d'un déchet à l'Annexe VIII n'exclut pas le recours à l'Annexe III (caractéristiques de danger) pour démontrer que ledit déchet n'est pas dangereux (Annexe I, paragraphe b)). La liste B de l'Annexe IX énumère les déchets qui « ne sont pas couverts par l'alinéa a) du paragraphe 1 de l'article premier de la Convention, à moins qu'ils ne contiennent des matières de l'Annexe I à des concentrations telles qu'ils présentent une caractéristique de danger figurant à l'Annexe III ».

66. Comme indiqué au paragraphe 1 b) de l'article premier, « les déchets auxquels les dispositions de l'alinéa a) ne s'appliquent pas, mais qui sont définis ou considérés comme dangereux par la législation interne de la Partie d'exportation, d'importation ou de transit » relèvent également de la Convention.

67. La rubrique B3140 de l'Annexe IX traite des pneumatiques usés, à l'exclusion de ceux destinés aux opérations citées à l'Annexe IV A. Certains pays ont interdit l'importation de pneus usés et déchets de pneus.

III. Orientations en matière de gestion écologiquement rationnelle

A. Considérations générales

68. La gestion écologiquement rationnelle est un concept de politique générale pour lequel il n'existe pas, à l'heure actuelle, de définition universelle claire. Néanmoins, les dispositions des conventions de Bâle et de Stockholm relatives à la gestion écologiquement rationnelle des pneus usés et déchets de pneus, ainsi que les critères de performance de base de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (qui sont examinés dans les trois sous-sections suivantes) fournissent des orientations internationales à l'appui des efforts de gestion écologiquement rationnelle entrepris dans différents pays et secteurs industriels.

1. Convention de Bâle

69. Le paragraphe 8 de l'article 2 de la Convention de Bâle définit la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux ou d'autres déchets comme « toutes mesures pratiques permettant d'assurer que les déchets dangereux ou d'autres déchets sont gérés d'une manière qui garantisse la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets ».

70. Le paragraphe 2 b) de l'article 4 exige que chaque Partie prenne les dispositions voulues pour « assurer la mise en place d'installations adéquates d'élimination qui devront, dans la mesure du possible, être situées à l'intérieur du pays, en vue d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux ou d'autres déchets en quelque lieu qu'ils soient éliminés » et le paragraphe 2 c) stipule que chaque Partie doit « veiller à ce que les personnes qui s'occupent de la gestion des déchets dangereux ou d'autres déchets à l'intérieur du pays prennent les mesures nécessaires pour prévenir la pollution résultant de cette gestion et, si une telle pollution se produit, pour en réduire au minimum les conséquences pour la santé humaine et l'environnement ».

71. Le paragraphe 8 de l'article 4 exige « que les déchets dangereux ou d'autres déchets dont l'exportation est prévue soient gérés selon des méthodes écologiquement rationnelles dans l'État d'importation ou ailleurs ». Les présentes directives ont pour objet de fournir une définition plus précise de la gestion écologiquement rationnelle dans le cas du co-traitement de déchets dangereux en cimenterie, en précisant notamment le traitement et les méthodes d'élimination appropriés pour ces flux de déchets.

72. Le Document-cadre de 1994 sur l'établissement de directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets visés par la Convention de Bâle expose les principes appliqués par les pays dans leurs stratégies de gestion des déchets, dont les suivants :

- a) *Principe de réduction à la source* : les volumes de déchets produits et la pollution qu'ils peuvent causer devraient être réduits au minimum. Cela peut se faire au moyen de procédés et d'installations appropriés;
- b) *Principe du cycle de vie intégré* : les substances et produits devraient être gérés de façon à ce que l'impact écologique de leur production, utilisation, réutilisation et élimination soit minime;
- c) *Principe de précaution* : des mesures de prévention devraient être prises en tenant compte des coûts et avantages de l'intervention et de l'inaction lorsqu'existent des éléments scientifiques, aussi limités soient ils, permettant de penser que les émissions de substances, de déchets et d'énergie dans le milieu pourraient porter atteinte à la santé humaine et à l'environnement;
- d) *Principe de proximité* : les déchets dangereux devraient être éliminés aussi près que possible de leurs sources, tout en sachant que les installations permettant de les éliminer de manière écologiquement et économiquement rationnelle peuvent, dans certains cas, être éloignées de ces sources;
- e) *Principe du moindre mouvement transfrontière* : les mouvements transfrontières de déchets dangereux devraient être réduits au minimum compatible avec une gestion écologiquement rationnelle et efficace;
- f) *Principe du pollueur payeur* : les pollueurs potentiels devraient prendre des mesures pour éviter la pollution, et ceux qui polluent devraient payer pour résoudre les problèmes qui en résultent;
- g) *Principe de souveraineté* : chaque pays devrait, lorsqu'il définit une politique de gestion des déchets, prendre en considération la conjoncture politique, sociale et économique nationale. Un pays pourrait, par exemple, interdire l'importation de déchets dangereux en application de sa législation sur l'environnement.

73. Dans les présentes directives, le terme « élimination » s'entend de toute opération figurant dans les sections A et B de l'Annexe IV de la Convention de Bâle, comme indiqué dans l'article 2 de la Convention (« Définitions »). On notera que dans certains pays, les définitions peuvent être différentes, « élimination » désignant, par exemple, les opérations qui ne permettent pas la récupération, le recyclage, la réutilisation, le réemploi direct ou une autre utilisation, et « valorisation » celles qui en donnent la possibilité.

74. Le terme « recyclage en boucle fermée » n'a pas été inclus parmi les opérations d'élimination possibles, étant donné qu'il n'est pas possible de transformer les matériaux récupérés sur les pneus usés en pneus neufs, car contrairement au papier, aux métaux, aux plastiques et au verre, ils ne

conservent pas leurs propriétés initiales. La gomme des pneus possède des qualités particulières d'une grande complexité étudiées pour assurer une adhérence optimale sur route sèche ou humide, une grande longévité, une faible résistance au roulement, une bonne maniabilité et de bonnes performances à un coût relativement bas. Malheureusement, les produits recyclés actuellement disponibles n'améliorent en rien les performances et sont plus coûteux. Dans les pneus d'automobiles, ils sont, par certains de leurs effets, particulièrement néfastes pour la durabilité et la résistance au roulement (qui influe sur la consommation de carburant). Ils sont donc inévitablement très peu utilisés²¹.

75. Le document cadre de 1994 mentionné précédemment énonce plusieurs principes essentiels concernant la gestion écologiquement rationnelle des déchets. Pour assurer une telle gestion, il recommande qu'un certain nombre de conditions (critères de gestion écologiquement rationnelle) soient remplies dans les domaines juridique, institutionnel et technique, notamment :

- a) Qu'il existe une infrastructure réglementaire et coercitive garantissant le respect des règles applicables;
- b) Qu'il existe des sites ou installations agréés possédant les moyens techniques et le savoir-faire en matière de lutte antipollution nécessaires pour traiter les déchets dangereux de la manière envisagée, compte tenu notamment des technologies et des mesures de lutte antipollution disponibles dans le pays exportateur;
- c) Qu'il soit exigé des exploitants des sites ou installations gérant des déchets dangereux qu'ils surveillent, le cas échéant, les effets de ces activités;
- d) Que des mesures appropriées soient prises dans les cas où la surveillance montre que la gestion de déchets dangereux a entraîné des rejets inacceptables;
- e) Que les personnes s'occupant de la gestion de déchets dangereux aient les compétences et la formation requises pour exercer leurs fonctions.

76. La gestion écologiquement rationnelle fait également l'objet de la Déclaration de Bâle adoptée en 1999 par la Conférence des Parties à la Convention à sa cinquième réunion. Cette déclaration appelle les Parties à intensifier et renforcer leurs efforts de coopération pour parvenir à une gestion écologiquement rationnelle, notamment dans les domaines suivants : prévention, réduction, recyclage, récupération et élimination des déchets dangereux et autres déchets visés par la Convention de Bâle, en tenant compte des aspects sociaux, technologiques et économiques; et réduction plus poussée des mouvements transfrontières de déchets dangereux et autres déchets visés par la Convention de Bâle.

77. Selon la Déclaration, un certain nombre d'activités devraient être menées dans ce contexte, notamment les suivantes :

- a) Identification et quantification des types de déchets produits au niveau national;
- b) Recours aux meilleures pratiques, telles que l'adoption de méthodes ou démarches de production moins polluantes, pour éviter ou réduire au minimum la production de déchets dangereux et réduire leur toxicité;
- c) Mise en place de sites ou d'installations agréés pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets et, en particulier, des déchets dangereux.

2. Critères de performance de base pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets

78. En mai 2004 l'Organisation de coopération et de développement économiques a adopté la recommandation C(2004)100²² sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets, selon laquelle dans le cadre des lois, règlements et pratiques administratives des pays dans lesquels elles opèrent et compte tenu des accords, principes, normes et objectifs internationaux en vigueur, les installations de traitement des déchets, y compris les installations de valorisation, devraient prendre en considération la nécessité de protéger l'environnement ainsi que la santé et la sécurité publiques, et généralement mener leurs activités de façon à contribuer aux objectifs plus vastes du développement durable. Les critères de performance de base pour ces installations, compte tenu de la taille de l'entreprise, en particulier dans le cas des PME, du type et de la quantité de déchets, de la nature de l'opération et de la législation nationale, seraient notamment les suivants :

- a) L'installation devrait s'inscrire dans un système de management environnemental;

²¹ California Environmental Protection Agency (États-Unis d'Amérique), "Integrated Waste Management Board, Increasing the Recycled Content in New Tyres 21" (2004).

²² OCDE (2004).

- b) L'installation devrait prendre les mesures permettant de garantir l'hygiène et la sécurité au travail et dans l'environnement;
- c) L'installation devrait avoir un programme adapté de mesures, de relevés et de rapports;
- d) L'installation devrait disposer d'un programme de formation adapté pour le personnel;
- e) L'installation devrait avoir un plan d'intervention d'urgence approprié;
- f) L'installation devrait avoir un plan de fermeture et de suivi.

Des informations supplémentaires sur les critères de performance de base sont disponibles dans le manuel d'orientation pour la mise en œuvre de la recommandation ²³.

B. Cadre législatif et réglementaire

79. Les Parties à la Convention devraient se pencher sur les réglementations, normes et procédures nationales afin de s'assurer qu'elles répondent pleinement aux obligations créées par la Convention, y compris celles qui ont trait aux mouvements transfrontières et à la gestion écologiquement rationnelle des pneus usés.

80. Les textes d'application devraient donner aux gouvernements le pouvoir de promulguer des règles et règlements spécifiques, de les faire respecter, de procéder à des inspections et de sanctionner les violations. La législation pourrait définir ce qu'est une gestion écologiquement rationnelle et exiger le respect des principes de cette dernière afin de faire en sorte que les pays satisfassent aux dispositions concernant la gestion écologiquement rationnelle des pneus usés, en particulier leur élimination écologiquement rationnelle telle que définie dans les présentes directives.

1. Exigences en matière de mouvements transfrontières

81. Les déchets dangereux et autres déchets devraient, pour autant que cela soit compatible avec leur gestion écologiquement rationnelle, être éliminés dans le pays où ils ont été produits. Les mouvements transfrontières de ces déchets ne sont autorisés que :

- a) S'ils se déroulent dans des conditions qui ne menacent ni la santé humaine ni l'environnement;
- b) Si les déchets ainsi exportés sont gérés de façon écologiquement rationnelle dans le pays importateur ou ailleurs;
- c) Si le pays exportateur ne dispose pas des capacités techniques et installations nécessaires pour éliminer les déchets en question de façon efficace et écologiquement rationnelle;
- d) Si le pays importateur a besoin des déchets en question pour ses industries de recyclage ou de récupération; ou
- e) Si les mouvements transfrontières envisagés répondent à d'autres critères arrêtés par les Parties.

82. Conformément à l'article 6 de la Convention, tout mouvement transfrontière de déchets dangereux et autres déchets est soumis à notification écrite préalable du pays d'exportation et au consentement écrit préalable du pays d'importation et, s'il y a lieu, des pays de transit. Les Parties doivent interdire l'exportation de déchets dangereux et autres déchets si le pays d'importation interdit leur importation. La Convention exige également que des informations relatives à tout mouvement transfrontières envisagé soient fournies en utilisant le formulaire de notification agréé et que l'expédition approuvée soit accompagnée d'un document de mouvement depuis le point de départ du mouvement transfrontière jusqu'au lieu d'élimination. En outre, les déchets dangereux et autres déchets faisant l'objet de mouvements transfrontières devraient être emballés, étiquetés et transportés conformément aux règles et normes internationales²⁴.

83. Lorsqu'un mouvement transfrontière de déchets dangereux et autres déchets auquel les pays concernés ont consenti ne peut pas être mené à terme, le pays exportateur doit veiller à ce que les déchets lui soient retournés en vue de leur élimination si d'autres dispositions ne peuvent pas être prises. En cas de trafic illicite (tel que défini au paragraphe 1 de l'article 9), le pays exportateur doit

²³ OCDE (2007).

²⁴ À cet égard, il conviendrait d'utiliser les Recommandations de l'Organisation des Nations Unies relatives au transport des marchandises dangereuses (Règlement type) (UNECE, 2003a – voir annexe V, bibliographie) ou des versions ultérieures.

veiller à reprendre les déchets en question en vue de leur élimination ou à ce qu'ils soient éliminés d'une autre manière conformément aux dispositions de la Convention.

84. Aucun mouvement transfrontière de déchets dangereux ou d'autres déchets n'est autorisé entre une Partie et une non-Partie à la Convention, sauf dans le cadre d'un accord bilatéral, multilatéral ou régional conclu conformément aux dispositions de l'article 11 de la Convention.

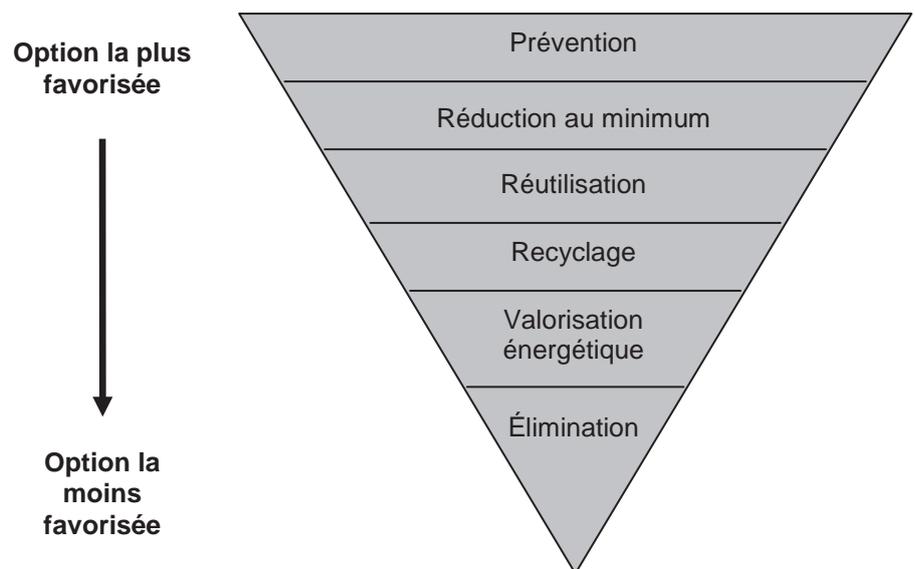
C. Approches de gestion des pneus usés et déchets de pneus

85. Bien que les pneus soient des articles de consommation essentiels pour l'économie de tout pays, leur élimination incorrecte peut avoir une incidence sur l'environnement et la santé humaine. Les déchets étant inévitables, il importe au plus haut point de mettre en place des systèmes de gestion rationnelle permettant d'en produire le moins possible et de maximiser leur réutilisation et leur recyclage ainsi que la récupération de leurs matériaux ou leur valorisation énergétique.

1. Considérations générales

86. La Convention de Bâle oblige les Parties à gérer les déchets dangereux et autres déchets de manière écologiquement rationnelle. À cet égard, le principe directeur généralement accepté pour avoir un système de gestion plus durable des déchets est la hiérarchie des pratiques de gestion, qui accorde la priorité à la prévention de la production et à la réutilisation, avant le recyclage, les autres opérations de récupération et l'élimination définitive, dans cet ordre. Cet ordre de préférence, tel que présenté dans la figure III, devrait être appliqué dans les législations et politiques de prévention et de gestion des déchets pour éviter les impacts indésirables sur l'environnement et la santé humaine.

Figure III
Hiérarchie de gestion des pneus usés et déchets de pneus



87. Les mesures de réduction et de réutilisation sont présentées dans la section D du chapitre III. L'élimination écologiquement rationnelle est traitée dans la section F du même chapitre. Elle est constituée de mesures classées dans les catégories suivantes :

- a) Rechapage
- b) Recyclage à température ambiante ou cryogénique;
- c) Dévulcanisation et régénération;
- d) Produits industriels et de consommation;
- e) Applications en génie civil;
- f) Pyrolyse;
- g) Co-traitement;
- h) Co-incinération en centrale électrique.

88. Tous les autres procédés actuels d'élimination des pneus usés et déchets de pneus sont susceptibles d'avoir des impacts négatifs sur l'environnement et ne sont donc pas considérés comme écologiquement rationnels.

2. Systèmes de gestion environnementale

89. Un système de gestion environnementale se compose d'un ensemble de procédures et pratiques qui permettent à une organisation de réduire ses impacts sur l'environnement et de fonctionner plus efficacement. Conçu pour améliorer la performance environnementale, il inclut la structure, les arrangements et les ressources prévus par l'organisation pour élaborer, mettre en œuvre et maintenir une politique en matière de protection de l'environnement. Il donne aux organisations la possibilité, par l'allocation de ressources, l'attribution de responsabilités et l'évaluation continue des pratiques, procédures et processus, d'assurer la permanence des méthodes de résolution des problèmes environnementaux. Dans de nombreux cas, son introduction permet de faire des économies et peut conduire à des réductions des obligations environnementales.

3. Systèmes nationaux de gestion des pneus usés et déchets de pneus

90. Les paragraphes qui suivent décrivent des systèmes actuellement utilisés pour gérer les pneus usés et déchets de pneus. Le tableau 7 montre ceux adoptés par un certain nombre de pays.

a) Système reposant sur la responsabilité du producteur

91. La « responsabilité élargie des producteurs (REP) » est définie comme un instrument de politique de l'environnement qui étend les obligations du producteur à l'égard d'un produit jusqu'au stade de son cycle de vie situé en aval de la consommation. Le « producteur » est considéré être le détenteur de marque ou l'importateur, sauf lorsque ceux-ci n'assurent que le conditionnement ou que le propriétaire d'une marque n'est pas clairement identifié, comme dans le secteur de l'électronique, où le producteur serait le fabricant (ou importateur) (OCDE, 2001a). Les programmes REP transfèrent la responsabilité de gérer les produits en fin de vie, autrefois assumée par les municipalités, à ceux qui ont initialement mis ces produits sur le marché et incitent les producteurs à tenir compte des considérations écologiques dans la conception de leurs produits de façon à incorporer les coûts environnementaux liés au traitement et à l'élimination de ces derniers dans les coûts de production. La REP peut être obligatoire, négociée ou volontaire. Elle peut inclure des programmes de reprise des produits.

92. Selon la façon dont ils ont été conçus, les programmes REP peuvent : 1) délivrer les collectivités locales du fardeau financier et, parfois, opérationnel de l'élimination des déchets, produits et matériaux; 2) encourager les entreprises à concevoir des produits réutilisables, recyclables, plus économes en matériaux ou utilisant des matériaux moins dangereux; 3) aboutir à l'incorporation des frais de gestion des déchets dans le prix des produits; 4) stimuler l'innovation technologique dans le domaine du recyclage. Ils favorisent ainsi l'instauration d'un marché reflétant l'impact des produits sur l'environnement (OCDE 2001a). On trouvera des descriptions détaillées de tels programmes dans plusieurs publications de l'OCDE.

93. Les responsables de l'environnement devraient élaborer des cadres réglementaires définissant les responsabilités des diverses parties concernées, les normes en matière de teneur en mercure et de gestion des produits, et les éléments des programmes REP qui encouragent la participation des parties concernées et du public. Ils devraient également se charger du suivi des résultats des programmes REP (par exemple : quantité de déchets collectés, quantité de mercure récupéré et frais de collecte, de recyclage et de stockage) et recommander d'éventuels changements. Les resquilleurs (les producteurs qui n'assument pas leur part de responsabilité) ne devraient pas être tolérés, vu qu'ils obligent d'autres producteurs à encourir des frais disproportionnés par rapport à leur part de marché.

b) Système reposant sur la fiscalité

94. Dans ce système, les producteurs ou les consommateurs paient une taxe à l'État, auquel il revient alors d'établir un système de collecte et d'élimination dont l'exploitation est, par exemple, confiée à des sociétés que l'on rémunère au moyen des recettes fiscales ainsi engrangées.

95. Aux États-Unis, la réglementation de la gestion des pneus usés relève, par exemple, de divers organismes au niveau des États, plutôt que du gouvernement fédéral. La plupart des États prélèvent une taxe sur les ventes de pneus pour aider à financer la gestion de ces derniers à la fin de leur vie utile. Certains dépensent de considérables sommes sur la mise en œuvre de programmes se rapportant aux pneus usés et quelques-uns s'en remettent au marché pour la collecte et l'élimination de ces déchets.

c) **Système reposant sur le libre jeu du marché**

96. Dans un système reposant sur le libre jeu du marché, la responsabilité d'éliminer ou de récupérer les pneus à l'état de déchets incombe à leur dernier propriétaire. De plus, la législation peut définir des objectifs à atteindre mais sans préciser qui est chargé de les réaliser. Tous ceux qui interviennent dans la succession des opérations sont ainsi libres de recruter aux conditions du marché sans sortir du cadre de la législation.

Tableau 7

Systèmes de gestion de la collecte et du triage des pneus adoptés par divers pays

Responsabilité du producteur	Système fondé sur la fiscalité	Système s'appuyant sur le marché
Europe (Belgique, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Suède), Turquie	Europe (Danemark, Lettonie, Slovaquie)	Europe (Allemagne, Autriche, Irlande, Royaume-Uni, Suisse)
Brésil, Colombie	Canada (dans les provinces), États-Unis (majorité des États)	États-Unis (certains États)
Afrique du Sud, Canada (certaines provinces), Israël		Australie

D. Prévention et réduction au minimum de la production de déchets

97. La priorité devrait être de prévenir et réduire la production de déchets, c'est-à-dire d'accroître la vie utile des pneus.

98. A cette fin, il convient de suivre les instructions et recommandations des fabricants concernant l'étalonnage et l'entretien. Parallèlement, les autorités compétentes devraient lancer des campagnes de sensibilisation du public à l'importance de maintenir les pneus en bon état (entre autres par un gonflage optimal) du point de vue non seulement de la sécurité routière et de la consommation de carburant mais aussi de la longévité de ces derniers. En particulier dans les pays disposant de réseaux de chemins de fer, de navigation et autres bien développés, l'utilisation de ces moyens de transport pourrait constituer une contribution à la réduction au minimum de la quantité des déchets de pneus produits.

99. Les divers problèmes que les pneus usés et déchets de pneus continuent de poser aux pays aussi bien développés qu'en développement montrent clairement qu'il vaut mieux en avoir le moins possible à gérer.

E. Collecte, transport et stockage

100. La collecte, le transport et le stockage des déchets de pneus sont des étapes importantes de leur gestion. Leur collecte exige une logistique ainsi que des plans tenant compte de la diversité des endroits où ils sont produits. Il est également nécessaire d'exposer à la population les bonnes raisons de les faire éliminer de manière écologiquement rationnelle.

101. Pour pouvoir les gérer de manière écologiquement rationnelle, il convient de collecter les déchets de pneus là où ils sont produits pour les emmener à un site de stockage.

102. Ils devraient, autant que possible, être pré-découpés pour améliorer le rapport poids/volume et réduire les coûts de transport.

103. Le transport de pneus usés des divers endroits où ils se trouvent jusqu'aux installations de triage représente une charge financière supplémentaire, en particulier lorsque les distances entre les points de collecte et l'installation de triage sont grandes, dans la mesure où les pneus occupent beaucoup d'espace dans les camions qui les transportent. La sécurité durant le transport est un autre facteur qu'il convient de prendre en compte, ce qui impose l'application rigoureuse de règles en matière d'empilement et d'emballage.

104. Puisqu'il s'agit d'une question de logistique, les éventuelles mesures d'optimisation doivent porter sur les coûts et les considérations environnementales. En fonction du modèle économique et juridique utilisé, différentes options se présentent. Les deux principaux types d'optimisation envisageables consistent à :

- a) Collecter le maximum de pneus par voyage (éventuellement avec plusieurs arrêts);

b) Réduire au minimum les opérations manuelles lors de la collecte.

105. Le meilleur moyen de collecter un maximum de pneus tout en réduisant considérablement la main d'œuvre requise est souvent d'utiliser le plus possible des bennes spéciales.

106. Un triage est nécessaire pour séparer les pneus se prêtant à un rechapage de ceux qui peuvent être utilisés à d'autres fins et des déchets de pneus. Ce triage exige des installations couvertes et une main d'œuvre spécialisée. Le stockage est également un point critique du processus de collecte. Si la gestion du flux global est bien maîtrisée, il peut être considéré comme une étape intermédiaire dans la chaîne des opérations, plutôt qu'un élément permanent.

107. Pour ne pas faire courir de risque à la santé humaine et à l'environnement, l'installation de stockage des pneus doit répondre à certaines exigences spécifiques qui, dans la plupart des cas, font partie de la réglementation nationale en la matière. Des recommandations sur la capacité de stockage et le matériel appropriés pour prévenir les risques majeurs sont disponibles (voir tableau 9 pour des exemples).

108. Des directives à cet effet figurent, par exemple, dans un ouvrage publié conjointement en 2000 par l'International Association of Fire Chiefs, la Rubber Manufacturers Association et la National Fire Protection Association.

109. Lors du choix et de l'exploitation d'un site de stockage de pneus, il est nécessaire de ²⁵

a) Choisir un site approprié;

b) Prévenir ou réduire le plus possible les risques d'incendie et de propagation des éventuels feux en mettant en place des mesures de protection et en se conformant aux exigences en la matière (par exemple, distance minimum entre deux lots);

c) Réduire au minimum la lixiviation (par exemple en couvrant les empilements);

d) Réduire au minimum la contamination des sols et des eaux souterraines par les lixiviats (par exemple en prévoyant une surface d'argile compactée);

e) Dans certains pays, il peut également être important d'empêcher la reproduction des moustiques et d'autres vecteurs de maladies pour réduire au minimum les impacts sur la santé publique (voir section D et appendice I).

110. Les tableaux 9 et 10 et la figure IV présentent des informations sur les meilleures pratiques en matière de conception de sites de stockage temporaire recommandées dans le présent ouvrage. La figure IV montre les deux modes d'empilement les plus courants pour les pneus. Le tableau 10 présente une étude comparative établie à partir d'informations fournies par des associations privées et des spécialistes ayant plus de vingt ans d'expérience dans le domaine du retraitement des pneumatiques.²⁶

111. Bien que l'étude ne soit pas concluante en ce qui concerne la durée du stockage, il est recommandé de ne stocker les pneus qu'en cas de besoin et pendant un minimum de temps.

25 MHW (juillet 2004).

26 Ibid.

Tableau 9
Meilleures pratiques en matière de stockage temporaire des pneus

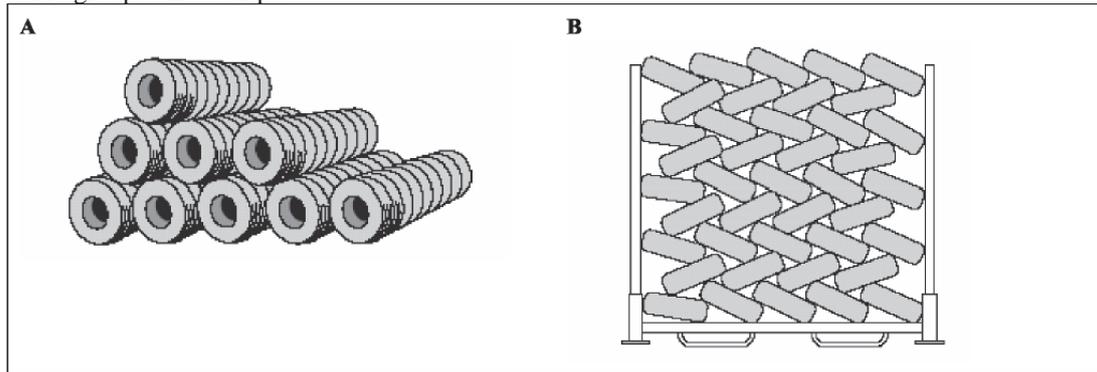
Critère	Directives IAFC, RMA et NFPA	Recommandations du spécialiste*27
Durée	Aucune recommandation	Aucune recommandation
Dimensions maximales des piles	6 m de haut / 76 m de long / 15 m de large	4,5 m de haut / 60 m de long / 15 m de large
Pente des parois des piles	Aucune recommandation	30° dans le cas d'un empilement aléatoire 90° dans le cas d'un empilement oblique (voir figure III)
Dégagements	Espace de 15 m entre la clôture d'enceinte et la pile la plus proche Pas de végétation, débris ou bâtiments dans un rayon de 60 m autour de la pile.	Espace de 15 m entre la clôture d'enceinte et la pile la plus proche
Couloirs pare-feu	18 m entre chaque pile	15 m à la base entre chaque pile
Choix du site	Éviter les zones humides, plaines alluviales, ravins, canyons, pentes, surfaces inclinées et lignes électriques	Sujet non abordé
Sol	Dans l'idéal, sol plat en béton ou argile compacté; ni asphalté ni gazonné	Surface compactée
Couverture	Aucune recommandation	Non applicable
Eaux de ruissellement	Collecte et rétention	Diguette autour de chaque pile pour, en cas d'incendie, réduire au minimum les écoulements d'eau d'extinction
Sources d'inflammation	Pas de feu à ciel ouvert dans un rayon de 300 m Interdiction d'utiliser un poste de soudure ou tout autre appareil chauffant dans un rayon de 60 m	Sujet non abordé
Alimentation en eau	63 l/s pendant 6 h pour un volume de pneus > 1400 m ³ 126 l/s si surface de stockage > 1400 m ²	Sujet non abordé
Autres moyens de lutte anti-incendie	Mousses, produits chimiques, terre de remblai Accès à des engins et matériaux de terrassement	Sujet non abordé
Véhicules à moteur à combustion	Extincteur de bord	Sujet non abordé
Périmètre du site	Clôture de plus de 3 m de haut avec systèmes anti-intrusion	Sujet non abordé
Signalisation	Visible, avec règles et horaires	Sujet non abordé
Sécurité	Personnel qualifié	Sujet non abordé
Voies d'accès pour les véhicules de secours	Bien entretenues et praticables en permanence Dégagements : plus de 18 m en largeur et 4 m en hauteur	Sujet non abordé
Portails	6 m de large verrouillés lorsqu'ils se trouvent en position fermée	Sujet non abordé

Source: « *The Prevention and Management of Scrap Tire Fires* » IAFC, STMC, NFTA, 2000

27 Spécialiste : Michael Playdon, Columbus McKinnon, février 2004. Voir bibliographie pour de plus amples informations.

Figure IV
Modes d'empilement les plus courants pour les pneus

A : groupé / B : oblique



Source : National Fire Protection Association, 2003 – Standard No. 230: Standard for the Fire Protection of Storage

Tableau 10
Distance minimale entre les piles

Dimension de la face exposée (m)	Hauteur des piles (m)						
	2,4	3	3,7	4,3	4,9	5,5	6,1
7,6	17,1	18,9	20,4	22,3	23,5	25,0	25,9
15,2	22,9	25,6	28,3	30,5	32,6	34,4	36,0
30,5	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0
45,7	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0
61,0	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0
76,2	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0

Source : National Fire Protection Association, 2003 – Standard No. 230: Standard for the Fire Protection of Storage

F. Élimination écologiquement rationnelle

112. Les méthodes et applications décrites dans les présentes directives sont les plus importantes options d'élimination écologiquement rationnelle actuellement disponibles ou à l'étude pour les pneus. Elles respectent la hiérarchie de gestion mentionnée plus haut (réduction, réutilisation, recyclage et valorisation énergétique). Le tableau 11 présente certains des avantages et inconvénients de diverses technologies d'élimination écologiquement rationnelle et le tableau 12 les problèmes posés par certaines méthodes ainsi que des moyens de les éviter ou de les résoudre.

Tableau 11
Avantages et inconvénients des moyens d'élimination écologiquement rationnelle

Mode d'élimination	Application / Produit	Avantages	Inconvénients
Rechapage	Pneu rechapé	Étant donné que le rechapage prolonge la durée de vie du pneu et réutilise une grande partie des matériaux et de la structure d'origine de ce dernier, le résultat net est une consommation de matériaux et d'énergie moins élevée que pour un pneu neuf. L'énergie consommée par les opérations de rechapage est d'environ 400 MJ contre 970 MJ pour la fabrication d'un pneu neuf.	Les principaux sujets de préoccupation sont les composés organiques volatils dégagés par les solvants, les liants et la gomme lors de la vulcanisation. L'odeur peut également constituer un problème dans certains endroits. Le processus produit une quantité appréciable de déchets. La gomme retirée du pneu avant la pose de la chape neuve peut généralement se vendre sous forme de granulats pour d'autres usages.
Produits industriels et de	Gazon synthétique	<input type="checkbox"/> Antidérapant <input type="checkbox"/> Grande résistance à l'impact	<input type="checkbox"/> Risque d'infiltrations accrues de zinc

consommation		<input type="checkbox"/> Durable <input type="checkbox"/> Grande résilience <input type="checkbox"/> Entretien facile <input type="checkbox"/> N'a pas besoin d'irrigation	
	Revêtement de terrain de sport et d'aire de jeu	<input type="checkbox"/> Lisse, épaisseur constante <input type="checkbox"/> Grande résistance à l'impact <input type="checkbox"/> Durable <input type="checkbox"/> Ne se fissure pas facilement <input type="checkbox"/> Disponible dans diverses couleurs	<input type="checkbox"/> Risque d'infiltrations accrues de zinc
	Béton modifié au caoutchouc	<input type="checkbox"/> Module d'élasticité plus faible, ce qui réduit les risques de cassure <input type="checkbox"/> Absorption d'énergie améliorée, ce qui le rend apte à l'utilisation dans les glissières de sécurité, etc. <input type="checkbox"/> Convient à des structures portant de faibles charges <input type="checkbox"/> Peut être régénéré en le broyant et en le mélangeant de nouveau avec du ciment	<input type="checkbox"/> Produit relativement nouveau : les fabricants devront convaincre les professionnels du secteur du bâtiment qu'il répond aux attentes
	Revêtement routier	<input type="checkbox"/> Plus grande durabilité <input type="checkbox"/> Résilience de la surface <input type="checkbox"/> Entretien réduit <input type="checkbox"/> Plus grande résistance à la déformation et à la fissuration <input type="checkbox"/> Plus grande résistance à la fissuration aux basses températures <input type="checkbox"/> Contribue à la réduction des bruits de roulement <input type="checkbox"/> Remplace des matériaux vierges tels que le styrène-butadiène-styrène <input type="checkbox"/> Présente des avantages écologiques appréciables aux plans du potentiel de réchauffement global, de l'acidification et de la consommation totale d'énergie	<input type="checkbox"/> Très sensible aux variations des conditions durant le mélange – exige des connaissances techniques spécialisées <input type="checkbox"/> Difficile à appliquer par temps humide <input type="checkbox"/> Impossible à appliquer lorsque la température ambiante ou superficielle est inférieure à 13° C <input type="checkbox"/> Possibilité de problèmes de santé pour les travailleurs en raison des émissions <input type="checkbox"/> Ne peut pas être régénéré comme l'asphalte traditionnel
	Tapis ferroviaire	<input type="checkbox"/> Plus grande durée de vie, comparé au bois (20 ans contre 3–4 ans pour le bois ou l'asphalte) <input type="checkbox"/> Écologique <input type="checkbox"/> Meilleur affleurement avec la route <input type="checkbox"/> Utilise des copeaux ou broyats comme couche antivibratoire sous le ballast	<input type="checkbox"/> Plus cher que les matériaux traditionnels <input type="checkbox"/> Produit relativement nouveau : les fabricants devront convaincre les professionnels du secteur qu'il répond aux attentes

Revêtement de sécurité pour sol intérieur	<input type="checkbox"/> Antidérapant <input type="checkbox"/> Grande résistance à l'impact <input type="checkbox"/> Durable <input type="checkbox"/> Disponible dans diverses couleurs <input type="checkbox"/> Entretien facile	<input type="checkbox"/> Plus cher que les solutions conventionnelles <input type="checkbox"/> La gamme de couleurs peut être limitée <input type="checkbox"/> Marché limité
Revêtement intérieur d'emballage de transport	<input type="checkbox"/> Possibilité d'utilisation pour d'autres problèmes d'emballage	<input type="checkbox"/> Plus cher que les solutions conventionnelles
Tapis roulant	<input type="checkbox"/> Possibilité d'utilisation comme convoyeur pour caisse de supermarché	<input type="checkbox"/> Plus cher que les solutions conventionnelles <input type="checkbox"/> Ne peut s'utiliser dans des endroits où le tapis subit des contraintes importantes puisqu'il peut être enclin à casser
Chaussure	<input type="checkbox"/> Résiste à l'eau <input type="checkbox"/> Durée de vie importante <input type="checkbox"/> En variant l'épaisseur de la semelle, on peut changer l'usage de la chaussure	<input type="checkbox"/> Pourrait se révéler plus cher à fabriquer que les produits conventionnels
Thibaude	<input type="checkbox"/> Utilisation facile <input type="checkbox"/> Recyclable <input type="checkbox"/> Économise les ressources naturelles	<input type="checkbox"/> Production industrielle limitée
Tuile	<input type="checkbox"/> A l'apparence des tuiles traditionnelles <input type="checkbox"/> Durable (40–50 ans de garantie pour les tuiles américaines et canadiennes) <input type="checkbox"/> Plus légère <input type="checkbox"/> Moins chère à long terme	<input type="checkbox"/> Production industrielle limitée
Revêtement de sol	<input type="checkbox"/> Résilient <input type="checkbox"/> Antidérapant <input type="checkbox"/> Grande résistance à l'impact <input type="checkbox"/> Entretien facile <input type="checkbox"/> Recyclable	<input type="checkbox"/> Production industrielle limitée
Charbon actif (noir de carbone)	<input type="checkbox"/> Préserve le matériau vierge	<input type="checkbox"/> Procédé de fabrication très coûteux du fait qu'il fait appel à la pyrolyse <input type="checkbox"/> Consomme beaucoup d'énergie <input type="checkbox"/> Charbon actif de médiocre qualité <input type="checkbox"/> Encore en phase de recherche
Litière pour animaux	<input type="checkbox"/> Durée de vie importante <input type="checkbox"/> Facile à désinfecter	<input type="checkbox"/> Pourrait se révéler plus chère à fabriquer que les produits conventionnels

		<input type="checkbox"/> Réutilisable <input type="checkbox"/> Est à long terme moins chère que les autres produits	<input type="checkbox"/> Potentiel commercial inconnu
	Élastomère thermoplastique TPE	<input type="checkbox"/> Propriétés similaires à celles des élastomères typiques	<input type="checkbox"/> Très peu de sites en service
Applications en génie civil	Applications techniques en centre de stockage de déchets	<input type="checkbox"/> Matériau de remplissage léger de faible densité <input type="checkbox"/> Bonne capacité portante <input type="checkbox"/> Moins cher que le gravier <input type="checkbox"/> Ne nécessite pas une main d'œuvre qualifiée	<input type="checkbox"/> Possibilité de lessivage de métaux et d'hydrocarbures <input type="checkbox"/> Les fils d'acier du pneu peuvent percer l'écran d'étanchéité <input type="checkbox"/> Compressibilité du matériau <input type="checkbox"/> Risque accru d'incendies
	Remblai léger	<input type="checkbox"/> Poids total réduit par rapport aux autres options <input type="checkbox"/> Souple, avec bonne capacité portante <input type="checkbox"/> Bon drainage	<input type="checkbox"/> Possibilité de lessivage de métaux et d'hydrocarbures <input type="checkbox"/> Déformation sous charge verticale si la couche de sol de surface n'est pas suffisamment épaisse <input type="checkbox"/> Difficile à compacter (nécessite six passes avec un rouleau compresseur de plus de 10 tonnes possédant une garde au sol de 300 mm)
	Lutte contre l'érosion	<input type="checkbox"/> Faible densité, ce qui permet la mise en place de structures flottantes servant de barrières contre les vagues <input type="checkbox"/> Les balles de pneus sont légères et faciles à manipuler <input type="checkbox"/> Durabilité	<input type="checkbox"/> Les pneus doivent être ancrés fermement pour les empêcher de bouger en cas d'inondation <input type="checkbox"/> Les pneus peuvent retenir des débris (nécessité d'un entretien) <input type="checkbox"/> Les ancrages peuvent se déplacer au fil du temps, sous l'action des vagues, ce qui compromet la solidité des structures <input type="checkbox"/> L'action de l'eau et la flottabilité des pneus rendent très difficile le positionnement de toute protection subaquatique permanente <input type="checkbox"/> Tôt ou tard, les pneus eux-mêmes deviendront des déchets
	Mur anti-bruit	<input type="checkbox"/> Léger et, donc, utilisable en terrain peu solide, là où les matériaux traditionnels s'avèreraient trop lourds <input type="checkbox"/> Autodrainant et durable	<input type="checkbox"/> Surveillance nécessaire pour éviter l'accumulation de débris <input type="checkbox"/> Impact visuel
	Isolation thermique	<input type="checkbox"/> Faible conductivité thermique <input type="checkbox"/> Coût globalement moins élevé que celui des matériaux traditionnels	<input type="checkbox"/> Compressibilité <input type="checkbox"/> Produit relativement nouveau : les fabricants devront convaincre les professionnels du secteur du bâtiment qu'il répond aux attentes
Pyrolyse	Pyrolyse	<input type="checkbox"/> Réutilise les sous-produits de la	<input type="checkbox"/> Capacité limitée en raison de problèmes opérationnels

		pyrolyse (huile et gaz)	causés par les pneus <input type="checkbox"/> Très peu de sites en service <input type="checkbox"/> La boue produite par le procédé contient des métaux et d'autres déchets qui, pour le moment, sont déposés dans des mines abandonnées, ce qui pose un problème environnemental
Co-traitement	Combustible de remplacement (par exemple dans les fours à ciment ou centrales électriques)	<input type="checkbox"/> Pouvoir calorifique élevé <input type="checkbox"/> Peut absorber des volumes considérables <input type="checkbox"/> Valorisation énergétique et récupération d'acier	<input type="checkbox"/> Exige des équipements de surveillance spéciaux pour contrôler les émissions <input type="checkbox"/> Nécessite un système pour fournir les fractions séparées des déchets de pneus <input type="checkbox"/> Accroissement de la charge de zinc des poussières retenues sur les filtres et/ou du clinker
Co-incinération en centrale électrique	Combustible de remplacement dans les centrales électriques	<input type="checkbox"/> Valorisation énergétique <input type="checkbox"/> Possibilité de récupérer des métaux dans les cendres	<input type="checkbox"/> Exige des équipements de mesure pour contrôler les émissions <input type="checkbox"/> Accroissement de la charge de zinc des poussières retenues sur les filtres et/ou des cendres lourdes

Source : Adapté de Questor Centre (2005), Hylands & Shulman (2003) et Aliapur (2007.)

Tableau 12
Problèmes liés à l'élimination écologiquement rationnelle et moyens de les éviter ou de les résoudre

Mode d'élimination	Problèmes	Mesures de prévention et de lutte
Rechape	<input type="checkbox"/> Résidus de gomme	
Broyage à température ambiante/cryogénique	<input type="checkbox"/> Bruit, poussière	<input type="checkbox"/> Installer des systèmes d'extraction; <input type="checkbox"/> Combiner le recyclage à température ambiante et cryogénique pour l'obtention de matériaux de grande qualité <input type="checkbox"/> Prévoir des écrans acoustiques dans les zones de travail.
Dévilcanisation / régénération	<input type="checkbox"/> Effluents liquides; <input type="checkbox"/> Émissions atmosphériques.	<input type="checkbox"/> Installer des systèmes de recirculation de l'eau; <input type="checkbox"/> Installer des systèmes d'extraction et de traitement de l'air.
Utilisation dans des produits industriels et de consommation	<input type="checkbox"/> Résidus de gomme	
Applications en génie civil	<input type="checkbox"/> Lixiviation; <input type="checkbox"/> Émissions atmosphériques; <input type="checkbox"/> Hygiène du travail; <input type="checkbox"/> Incendies.	<input type="checkbox"/> Utiliser d'autres matériaux insensibles à la lixiviation ou une barrière imperméable; <input type="checkbox"/> Porter des équipements de protection individuelle; limiter les quantités utilisées
Pyrolyse	<input type="checkbox"/> Émissions atmosphériques; <input type="checkbox"/> Résidus dangereux;	<input type="checkbox"/> Installer des systèmes de traitement de l'air/eau; utiliser des technologies de gestion

Mode d'élimination	Problèmes	Mesures de prévention et de lutte
	<input type="checkbox"/> Effluents liquides.	écologiquement rationnelle des déchets dangereux;
Co-traitement	<input type="checkbox"/> Risque d'émissions atmosphériques supérieures aux limites légales.	<input type="checkbox"/> Surveiller et stabiliser les paramètres critiques du processus, à savoir l'homogénéité du mélange cru et l'alimentation en combustible; <input type="checkbox"/> Assurer un dosage régulier et un excédent d'oxygène; <input type="checkbox"/> Utiliser un dispositif de réduction des émissions fonctionnant à des températures inférieures à 200° C; <input type="checkbox"/> Optimiser la conduite des opérations, notamment au moyen de systèmes de contrôle informatisés; <input type="checkbox"/> Utiliser des systèmes modernes d'alimentation en combustible; <input type="checkbox"/> Réduire au minimum la consommation d'énergie en recourant le plus possible au préchauffage et à la précalcination; <input type="checkbox"/> Prendre des mesures de prévention en cas d'arrêt inattendu.

Observations concernant les tableaux 11 et 12

1. Sans prétendre être exhaustives, ces listes illustrent les options de traitement et applications les plus importantes actuellement en usage ou à l'étude.
2. Toutes les applications susmentionnées nécessitent des matières premières se présentant sous forme de copeaux, broyats ou granulats qui s'obtiennent à partir de pneus en fin de vie. Les procédés de comminution et d'élimination utilisés à cette fin exigent des équipements de prévention environnementale et sanitaire appropriés. Des équipements de sécurité et d'intervention adéquats doivent être installés, le cas échéant.
3. À titre de recommandation générale en matière de sécurité, le port d'un masque individuel, d'un casque, de chaussures avec renforts en acier, de gants, de lunettes et de protecteurs auditifs devrait être obligatoire pour assurer la santé et la sécurité des travailleurs.
4. Les normes ci-après contiennent des informations détaillées sur toutes les applications et les procédures opérationnelles. Il est fortement recommandé de les consulter pour toute décision :
 - a) ASTM International – American Society for Testing Materials: "Standard Practice for Use of Scrap tyres in Civil Engineering Applications – Designation D- 6270 – 98" (Reapproved, 2004)
 - b) CEN/TS 14243:2010 – Matériaux produits à partir de pneumatiques en fin de vie. Spécification de catégories basées sur leur(s) dimension(s) et impuretés et méthodes pour déterminer leur(s) dimension(s) et impuretés, avril 2010

113. Les techniques de récupération les plus répandues sont le recyclage et la valorisation énergétique. Des techniques d'élimination qui ne débouchent pas sur une récupération sont également disponibles.

114. Il importe de garder à l'esprit que les réglementations en matière de gestion des pneus usés et déchets de pneus et le contexte économique détermineront souvent les méthodes de gestion choisies.

115. Dans l'actuel contexte énergétique mondial, on peut considérer les déchets de pneus comme un combustible de remplacement. Pour un tel usage, on peut se servir de pneus entiers, en morceaux ou broyés. Les broyats, qui sont plus faciles à manier et moins volumineux, peuvent être utilisés pour la plupart des applications. Comme ils ont une masse volumique de 0,5 t/m³, contre 0,15 t/m³ pour les pneus entiers, ils occupent trois fois moins d'espace que ces derniers pour le même poids, permettant ainsi d'optimiser les capacités de transport, ce qui se répercute directement sur les besoins en la matière et, donc, les coûts. Ils réduisent également la possibilité d'une prolifération des moustiques.

116. Les pneus en fin de vie peuvent servir à assurer l'alimentation en énergie des fours à ciment, ce qui revêt une grande importance étant donné que ce secteur est actuellement en train de chercher des combustibles de remplacement sur le marché des déchets et, de plus en plus, d'apporter des modifications techniques à leurs fours pour qu'ils puissent utiliser des déchets de pneus.

117. Il en est de même des centrales électriques. La valorisation énergétique des pneus usés ne devrait toutefois se faire que dans des installations pourvues d'un système adéquat de réduction des émissions.

118. La production de granulats et de poudrette de caoutchouc ainsi que d'autres matériaux, qui font l'objet d'une demande croissante, consomme un pourcentage important des pneus en fin de vie. Le potentiel commercial de ces matières premières de récupération est considérable. Pour les produire, on commence généralement par déchiqueter les pneus avant de les broyer pour obtenir des particules de plus petite taille. Le processus permet également de récupérer d'autres éléments, en particulier des métaux.

119. Les granulats et la poudrette de caoutchouc peuvent s'utiliser pour diverses applications : remplissage de gazon synthétique, rouleaux lisses, protection acoustique, litière pour bétail, revêtement amortissant d'aire de jeu et revêtement routier. L'utilisation en construction routière consomme de grandes quantités de poudrette et améliore les caractéristiques de la chaussée.

120. En raison de leur teneur en carbone, les pneus peuvent remplacer l'antracite dans les fours à arc électrique et les fours de fonderie. La plupart de ces installations peuvent utiliser des broyats relativement grossiers. La récupération des matériaux des pneus se fait maintenant à divers niveaux de technologie allant du déchiquetage élémentaire en morceaux ou copeaux en vue de la valorisation énergétique ou d'une utilisation comme matériau de remblayage au traitement dans des usines très sophistiquées entièrement automatisées.

121. Les installations de recyclage de première génération ont souvent fait l'objet de critiques en raison des poussières, du bruit et de la forte proportion de déchets qu'elles produisent mais les plus récentes, des usines entièrement automatisées à forte intensité de capital faisant appel aux meilleures techniques disponibles, répondent aux normes d'émission les plus rigoureuses et sont capables de récupérer non seulement le caoutchouc, qu'elles peuvent transformer en granulats ou poudrette, mais aussi l'acier des pneus. L'uniformité et le degré de pureté des matériaux qu'elles produisent sont tels qu'ils peuvent s'utiliser à la place du caoutchouc et de l'acier vierges pour fabriquer des pneus neufs.

122. Le tableau 13 montre les quantités de broyats de caoutchouc, d'acier, de fibres et de résidus qu'on peut obtenir des pneus tourisme et poids lourd.

Tableau 13
Produits réutilisables obtenus à partir des pneus

Produit	Pneus poids lourd	Pneus tourisme
Caoutchouc	70%	70%
Acier	27%	15%
Fibres et déchets	3%	15%

Adapté de Reschner (2006)

1. **Rechapage**

123. Dans le présent document, trois types de rechapage sont décrits, à savoir :

- a) Le rechapage de sommet, qui consiste à enlever la bande de roulement du pneu et à la remplacer par une neuve;
- b) Le rechapage de sommet avec chevauchement, qui consiste à remplacer une zone plus large comprenant la bande de roulement et une partie des flancs du pneu;
- c) Le rechapage intégral ou « talon à talon », dans lequel toutes les parties extérieures, d'un côté à l'autre du pneu, y compris la zone basse et les flancs, sont remplacées.

124. Le rechapage devrait être entrepris de manière strictement conforme aux prescriptions des règlements techniques par une entreprise agréée respectant les lois et la réglementation en vigueur.

125. Le nombre de rechapages qu'un pneu a le droit de subir est, dans certains cas, un élément déterminant pour sa remise à neuf. Selon les règlements No. 108 (Prescriptions uniformes relatives à l'homologation de la fabrication de pneumatiques rechapés pour les véhicules automobiles) et 109 (Prescriptions uniformes relatives à l'homologation de la fabrication de pneumatiques rechapés pour les véhicules utilitaires et leurs remorques) de la CEE-ONU, il n'est permis qu'une seule fois pour les pneus tourisme mais, du fait de leur structure plus robuste, peut être répété pour les autres (généralement jusqu'à quatre fois dans le cas des pneus poids lourd et, bien souvent, jusqu'à 10 fois pour les pneus aviation), pourvu que les normes de qualité soient respectées. De plus, il convient de tenir compte de l'âge de la carcasse, qui ne doit pas avoir plus de sept ans de service.

126. Certains pays interdisent le rechapage des pneus moto pour des raisons de sécurité. Afin de garantir le respect des normes de qualité et de sécurité, la réparation ne devrait être faite que par des entreprises qualifiées et les pneus ainsi produits devraient être certifiés. Il importe donc que les consommateurs se les procurent auprès de sociétés qui se conforment aux règles en vigueur pour les procédés de rechapage établis et les fassent certifier.

127. Les impacts écologiques du rechapage sont généralement positifs. Le rechapage consomme beaucoup moins de matériaux et d'énergie que la fabrication de pneus neufs, ce qui réduit proportionnellement les autres impacts. Divers auteurs ont publié des données montrant en gros les économies d'énergie et de matériaux qu'il permet de faire. Lors du rechapage, une grande partie de la gomme et la totalité des fibres textiles et métalliques du pneu sont réutilisées. L'énergie utilisée est apparemment moindre que celle requise pour la fabrication d'un pneu neuf, quoique les économies réelles dépendent du procédé adopté (rechapage à froid ou à chaud, ou remoulage). D'après les estimations, s'il est correctement exécuté au plan technique, le rechapage permet de réduire appréciablement la consommation totale d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre et les quantités de déchets de pneus produites²⁸.

128. Le rechapage est bénéfique pour l'environnement car il réduit la production de déchets et prolonge la durée de vie utile des pneus, repoussant ainsi l'échéance de leur élimination. Il faut toutefois noter que, comme l'opération ne peut se répéter qu'un nombre limité de fois, l'utilisation de carcasses de mauvaise qualité peut, à long terme, se traduire par un accroissement du volume total des pneus usés se trouvant dans un pays.

129. Le rechapage permet d'éviter la consommation de matières premières liée à la fabrication de pneus neufs et prolonge la durée de vie utile des pneus, repoussant ainsi l'échéance de leur élimination définitive. L'utilisation de pneus rechapés sur les véhicules officiels et les inspections techniques périodiques qui encouragent le maintien des pneus dans un état permettant leur rechapage sont des exemples de mesures permettant de réduire au minimum les déchets.

2. Recyclage à température ambiante ou cryogénique

130. Les pneus usés entiers peuvent se réutiliser de différentes manières mais la plupart des opérations de recyclage font appel à des broyats car le caoutchouc possède alors des propriétés viables pour diverses applications. Il est possible de réduire les pneus en morceaux ou particules de différents calibres, selon les besoins.

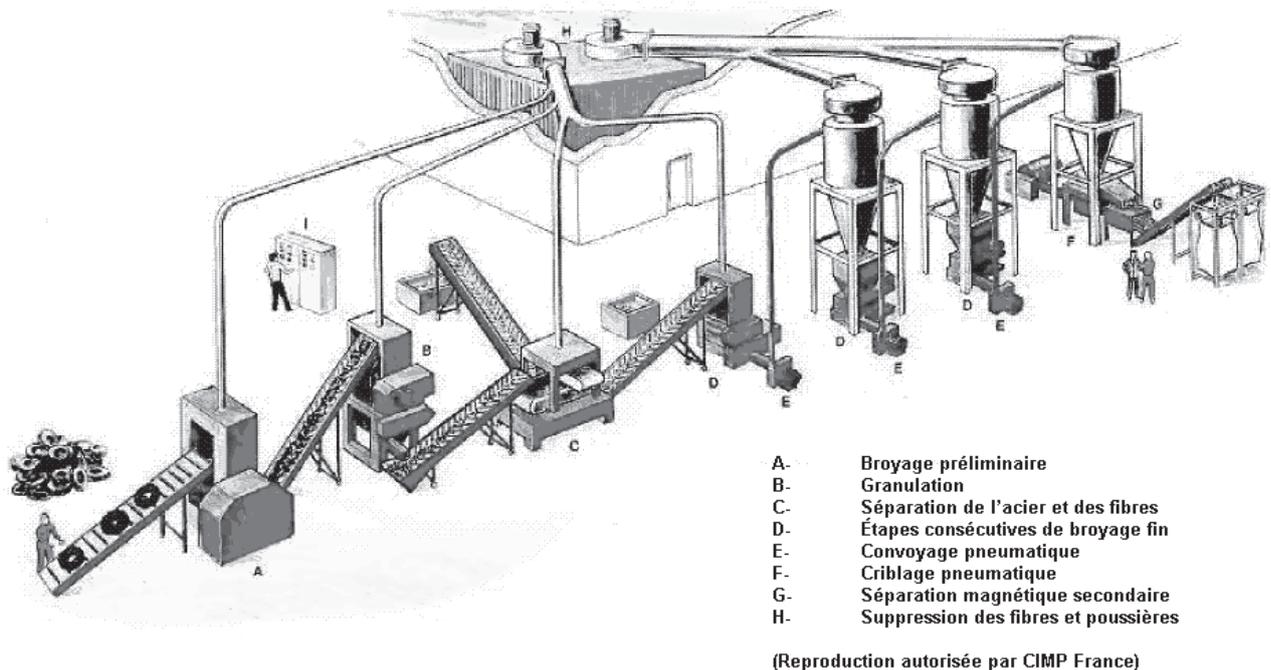
131. La figure V montre la configuration schématique d'une installation typique de recyclage à température ambiante de pneus usés, avec les différentes étapes du traitement et les systèmes de contrôle correspondants. Comme son nom l'indique, ce traitement se fait sans aucun refroidissement destiné à fragiliser le caoutchouc.

²⁸

A National Approach to Waste Tyres, (2001)

Figure V
Schéma d'une installation de recyclage de pneus usés à température ambiante

EXEMPLE D'INSTALLATION DE RECYCLAGE À TEMPÉRATURE AMBIANTE DE PNEUS USÉS



Source : Reschner (2006)

132. Dans ce schéma, les pneus subissent plusieurs opérations :

- a) Ils sont d'abord déchiquetés en copeaux de 50 mm;
- b) Ces derniers passent dans un broyeur-granulateur qui réduit leur taille à moins de 10 mm;
- c) L'acier et les fibres sont ensuite retirés, magnétiquement pour le premier et au moyen d'une combinaison de tamis vibrants et de séparateurs à air pour les deuxièmes;
- d) Enfin, une série de broyeurs ramènent les granulats au calibre voulu, qui est, le plus souvent, de 0,6 à 2 mm.

133. Le recyclage à température ambiante peut se faire dans de grandes usines entièrement automatisées capables de traiter jusqu'à 65 000 tonnes de pneus de tout genre par an (y compris les pneus de voitures de tourisme, de véhicules utilitaires lourds, et d'engins de terrassement). Ces installations produisent des granulats et de la poudre de caoutchouc d'une grande uniformité et pureté ainsi qu'une fraction d'acier qu'il est possible de refondre tel quel. Les granulats peuvent être produits à un calibre inférieur à 2,0 mm.

134. Le recyclage à température ambiante s'accompagne d'émissions de bruit et de poussières et consomme beaucoup d'énergie (120–125 Kwh/t). Pour garantir la santé et la sécurité des travailleurs, il faudrait que les installations qui le pratiquent soient équipées de systèmes de ventilation, de protection incendie et d'arrêt d'urgence. Le port de chaussures avec renforts en acier, de gants, de lunettes, d'un casque et de protecteurs auditifs devrait y être obligatoire. Un endroit approprié pour le stockage du caoutchouc, qui devrait être à l'abri de la lumière du soleil, devrait en outre être disponible

135. Ces mesures auront un impact sur les coûts d'exploitation et d'entretien du système. En ce qui concerne la santé et la sécurité des travailleurs, il convient de mettre en place des mesures de protection collective avant d'appliquer celles de protection individuelle.

136. Le recyclage cryogénique consiste à ramener les pneus, entiers ou préalablement déchiquetés, à des températures inférieures à -80°C en utilisant de l'azote liquide, ce qui rend leur gomme presque aussi cassante que du verre, avant de les broyer. Cela facilite non seulement leur comminution,

laquelle se fait par pilage ou mouture, mais aussi la libération de l'acier et des fibres textiles qu'ils contiennent, ce qui permet d'obtenir des broyats de plus grande pureté.

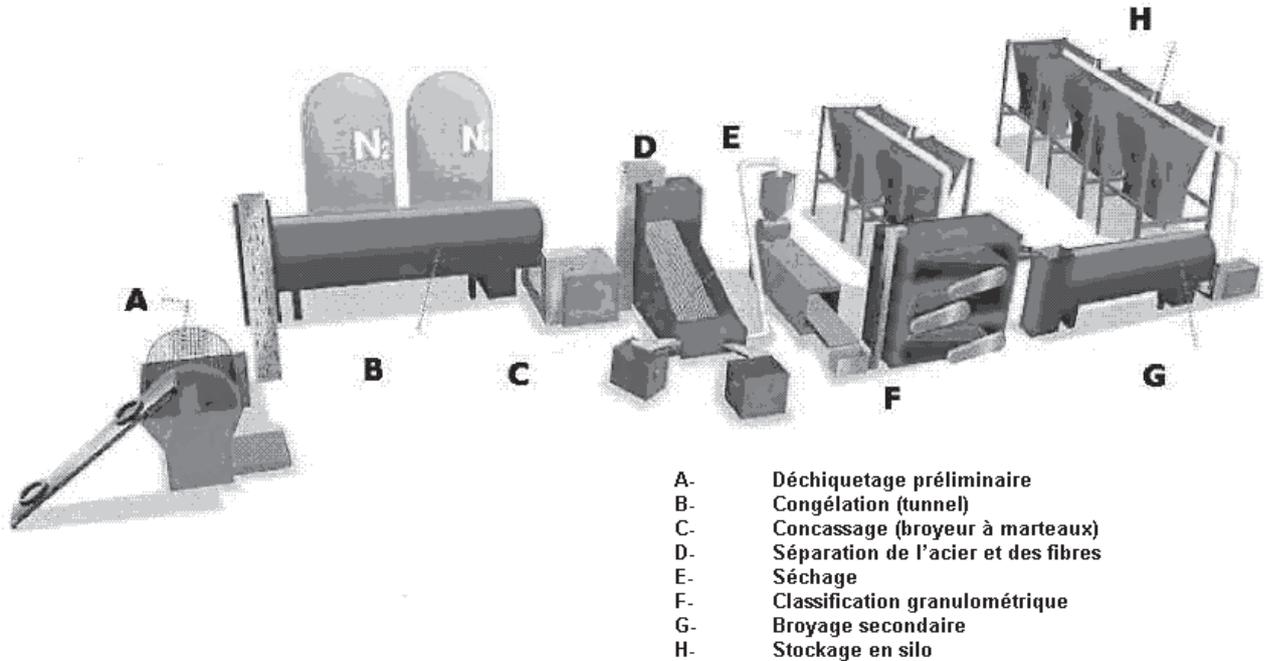
137. Le principal inconvénient de cette méthode est son coût, car aux dépenses qu'implique le déchetage préalable se rajoutent le coût élevé de l'azote liquide et des procédures de sécurité nécessaires durant l'opération pour prévenir les accidents du travail.

138. Le processus est illustré dans la figure VI.

Figure VI

Recyclage cryogénique des pneus usés

EXEMPLE D'INSTALLATION DE RECYCLAGE CRYOGÉNIQUE DE PNEUS USÉS



Source : Reschner (2006)

139. L'opération se déroule comme suit :

- Les pneus sont d'abord déchetés en copeaux de 50 mm;
- Ces derniers passent dans un tunnel de congélation qui abaisse leur température à -120°C ;
- Un broyeur à marteaux installé à la sortie du tunnel les réduit en particules de diverses tailles;
- L'acier et les fibres sont éliminés;
- Le matériau est séché;
- On lui fait subir un tri granulométrique;
- A l'issue du processus, on obtient des poudrettes fines.

140. Le tableau 14 compare les caractéristiques du recyclage à température ambiante du recyclage cryogénique.

Tableau 14

Comparaison entre le recyclage à température ambiante et le recyclage cryogénique

Paramètre	Recyclage à température ambiante	Recyclage cryogénique
Température de fonctionnement	Ambiante, max. 12 ⁰ C	Inférieure à -80° C
Mode de comminution	Découpage, déchiquetage, cisailage	Fragmentation après fragilisation par le froid
Morphologie des particules	Spongieuse et irrégulière, surface spécifique élevée	Lisse, faible surface spécifique
Répartition granulométrique des particules	Fourchette de répartition relativement étroite, réduction limitée de la taille des particules à chaque étape	Large gamme de calibres (de 10 mm à 0,2 mm) en une seule étape
Consommation d'azote liquide	Sans objet	0,5 – 1,0 kg par kg de pneus

Source : Reschner (2006)

141. Il est possible de faire suivre le recyclage à température ambiante d'un broyage cryogénique pour réduire les granulats obtenus à l'issue du premier en poudrette de granulométrie inférieure à 0,2 mm, qui peut s'utiliser dans des applications plus sophistiquées telles que la fabrication de mélanges de gomme pour pneus neufs.

142. Le tableau 15 montre la nomenclature utilisée pour classer les produits obtenus à partir des pneus usés selon leur taille.

Tableau 15

Traitement des pneus usés – taille des matériaux

Appellation	Minimum (mm)	Maximum (mm)
Poudrette	0	1
Granulat	1	10
Morceaux en mélange	0	40
Copeaux	10	50
Broyats (petit calibre)	40	75
Broyats (grand calibre)	75	300
Pneus découpés	300	% pneu

Source : Rapport SR 669 HR Wallingford (2005)

3. Dévulcanisation et régénération

143. La régénération est une procédure de traitement du caoutchouc par une combinaison d'actions mécaniques, thermiques et chimiques dont le but est de faire en sorte qu'il puisse être mélangé et transformé, puis revulcanisé. Elle repose sur le principe de la dévulcanisation, qui consiste à rompre les liaisons carbone-soufre (C-S), soufre-soufre (S-S) ou autres qui assurent la réticulation des molécules et confèrent aux pneus leurs qualités de durabilité, d'élasticité et de résistance aux solvants. Du fait que ses propriétés mécaniques sont moins bonnes que celles du matériau d'origine, le caoutchouc régénéré sert à manufacturer des produits à faible demande dont les applications sont limitées.

144. La dévulcanisation exige un broyage du caoutchouc avant le clivage des liaisons chimiques, lequel peut s'obtenir par quatre méthodes (chimique, par ultrasons, par micro-ondes et biologique) très différentes du point de vue du coût et de la technologie²⁹.

145. La dévulcanisation chimique est une méthode de traitement par lots consistant à mélanger dans une cuve la poudrette de caoutchouc (calibre 10 à 30) et des réactifs, à une température d'environ

²⁹ Calrecovery Inc. (2004).

180° C, sous 15 bars de pression. À l'issue de la réaction, le produit est filtré et séché afin de le débarrasser des éléments chimiques indésirables, puis conditionné en vue de sa commercialisation.

146. Dans la méthode par ultrasons, la poudrette (calibre 10 à 30) est introduite, via une trémie, dans une extrudeuse où le caoutchouc est soumis à des efforts mécaniques de poussée et de traction qui le chauffent et l'amollissent. Il est ensuite bombardé par des ultrasons. Cette combinaison de chaleur, de pression et de trituration mécanique suffit pour provoquer une dévulcanisation à des degrés différents.

147. La dévulcanisation par micro-ondes consiste à exposer les déchets très rapidement et uniformément à la chaleur. Le caoutchouc à traiter doit toutefois avoir une structure suffisamment polaire pour absorber l'énergie des micro-ondes à un taux permettant une dévulcanisation viable. Les seuls produits pour lesquels l'utilisation de ce procédé se justifie sont les composés contenant un caoutchouc polaire, ce qui limite son application. La société américaine Global Resource Corporation a ainsi mis au point une technique consistant à exposer des matériaux d'origine pétrochimique comme, par exemple, de la gomme provenant de pneus usés, à des micro-ondes de fréquence spécifique pendant un temps suffisant pour les décomposer partiellement en une combinaison d'huiles et de gaz consommables³⁰.

148. Les informations disponibles sur les impacts écologiques de la dévulcanisation se limitent à ceux des traitements par voie chimique et par ultrasons qui, l'un et l'autre, conduisent à des émissions de polluants atmosphériques et d'effluents liquides.

149. Dans un rapport publié en 2004, la société Calrecovery Inc. donne une liste d'environ 50 composés organiques, dont le benzène, le toluène et des heptanes, détectés dans les émissions provenant de la zone de vulcanisation et de la ligne d'extrusion d'une entreprise de rechapage de pneus. Il se peut également que des émissions d'hydrogène sulfuré, et de dioxyde de soufre résultant de l'oxydation de ce dernier, se produisent. L'utilisation de filtres et de laveurs de gaz pour limiter ces différentes émissions et éliminer le dioxyde de soufre s'impose donc. Les effluents liquides en provenance des laveurs de gaz devraient, quant à eux, être traités convenablement avant qu'ils ne soient rejetés dans une étendue d'eau.

150. Le tableau 16 contient des informations sur les coûts de la dévulcanisation et les capacités en la matière.

Tableau 16

Coûts estimés de la production de caoutchouc dévulcanisé

	Dévulcanisation chimique	Dévulcanisation par ultrasons
Capacité (kg/h)	34	34
Investissements initiaux (10 ³ dollars)	166	163
Coûts d'exploitation et d'entretien (10 ³ dollars)	172	136

Source : Calrecovery Inc. « California Integrated Waste Management Board » (2004)

4. Produits industriels et de consommation

151. La demande de poudrette et de granulats de caoutchouc sur le marché tant industriel que grand public s'est dramatiquement accrue au cours des dernières années. Ils s'utilisent dans un éventail important et croissant d'applications : gazon synthétique, aires de jeu, terrains de sport, asphalte et bitume modifiés, revêtement de sol de sécurité, revêtements intérieurs d'emballages de transport, tapis roulants, tapis de voiture, chaussures, thibaudes, tuiles, revêtements de sol, charbon actif, litière pour le bétail et élastomères thermoplastiques. Les plus importantes de ces applications sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

a) Gazon synthétique

152. Dans les terrains de sport recouverts de gazon synthétique, les granulats de caoutchouc s'utilisent comme matériau de remplissage et, éventuellement, comme sous-couche amortissante, laquelle peut également se présenter sous forme de nattes préfabriquées. Un terrain standard consomme de 100 à 130 tonnes de granulats pour le remplissage et de 60 à 80 tonnes supplémentaires pour la sous-couche, s'il y en a une.

³⁰ Gert-Jan van der Have (2008).

153. Les granulats de caoutchouc remplacent les granulats d'éthylène-propylène-diène monomère et autres élastomères thermoplastiques vierges auxquels on recourt pour le remplissage du gazon synthétique des terrains de football, football américain, hockey et autres sports de contact. La filière connaît depuis 2001 une croissance annuelle mondiale supérieure à 25 % et, selon les prévisions, devrait continuer à croître à des taux supérieurs à 10 %.

154. La Fédération Internationale de Football Association recommande chaudement le recours au gazon synthétique, entre autres, parce que celui-ci possède d'excellentes qualités du point de vue du comportement du ballon, est économique à l'entretien, n'a pas besoin d'eau et est bien vu par la population (du fait qu'il peut être produit à moindre coût).

b) Aires de jeu et terrains de sport

155. Les propriétés élastiques et réductrices de bruit des granulats de caoutchouc sont évidentes lors de l'installation d'aires de jeu, de pistes d'athlétisme et d'autres sols sportifs. Dans cette application, les granulats s'utilisent mélangés à du polyuréthane. La couche superficielle est souvent teintée. L'Union européenne a édicté des normes obligatoires (EN 1177) concernant les capacités amortissantes des sols d'aires de jeu.

c) Béton modifié au caoutchouc

156. Le béton modifié au caoutchouc possède une capacité améliorée d'absorption de l'énergie d'impact ainsi qu'une meilleure résistance à la fissuration. Les travaux menés au Brésil ont principalement porté sur son utilisation dans des barrières d'autoroute et la fabrication d'autres produits à partir d'un matériau mélangeant le béton traditionnel, des agrégats en caoutchouc et des fibres de verre.

157. D'autres applications dans le domaine des produits industriels et de consommation sont mentionnées dans les travaux de Hylands et Shulman (voir note de bas de page No. 29) et du Questor Centre (2005), dont les suivantes :

- a) Sols sportifs;
- b) Revêtements de sol de sécurité pour l'intérieur;
- c) Revêtements d'aires de jeu;
- d) Revêtements intérieurs d'emballages de transport;
- e) Tapis roulants;
- f) Tapis de voiture;
- g) Chaussures;
- h) Thibaudes;
- i) Tuiles;
- j) Revêtements de sol;
- k) Charbon actif (noir de carbone);
- l) Litière pour animaux;
- m) Élastomères thermoplastiques.

d) Construction routière

158. Aux États-Unis, en Europe de l'Ouest et au Brésil, des granulats de pneus ont été utilisés pour élaborer des revêtements routiers en asphalte caoutchouté qui s'obtiennent de deux façons, à savoir par voie sèche ou humide³¹.

159. Le procédé par voie sèche consiste à rajouter des miettes de caoutchouc directement à l'asphalte, où il réagit dans une certaine mesure avec le bitume. Toutefois, cette méthode ne convient qu'aux revêtements en béton bitumineux préparés et posés à chaud pour traitement de surface.

160. Dans le procédé traditionnel par voie humide, le caoutchouc s'utilise comme un modificateur du bitume qu'on incorpore à ce dernier avant de le mélanger avec l'agrégat. Il devrait idéalement avoir une granulométrie comprise entre 0,6 et 1,5 mm. Le matériau doit être chauffé à 149 - 190° C avant

³¹ Caltrans (janvier 2003).

d'être compacté. Il revient, de ce fait, plus cher que l'asphalte traditionnel et peut produire des émissions de substances toxiques tant à la fabrication que durant l'application. Toutefois, il s'est avéré avoir de meilleures propriétés physiques que l'asphalte caoutchouté produit par voie sèche.

161. Le taux d'acceptation de l'asphalte caoutchouté est encore faible et ses impacts sur l'environnement encore incomplètement analysés. Par ailleurs, c'est une technique qui nécessite des investissements initiaux importants. En Europe, la construction de routes ne consomme que 1 % de granulats de caoutchouc produits, ce qui représente une contribution d'un peu plus de 0,25 % au recyclage des pneus usés que le continent génère. Aux États-Unis, le Congrès a, en 1991, exigé l'emploi d'asphalte caoutchouté pour tous les projets financés par le Gouvernement fédéral mais des préoccupations ayant trait à l'environnement et à la santé publique l'ont conduit à revenir sur sa décision cinq années plus tard³². Plusieurs États se servent de ce revêtement dans leurs projets autoroutiers mais l'étude de ses impacts sur l'environnement et la santé des travailleurs se poursuit³³. Les déchets de pneus éliminés par ce moyen s'élèvent à l'heure actuelle à 2 % du total³⁴.

162. Une nouvelle génération de modificateurs de bitume obtenus à partir de poudre de caoutchouc provenant de pneus recyclés et d'un matériau vierge (un polyocténonère semi-cristallin) est sur le marché depuis quelques années. Destinés à remplacer les modificateurs de bitume traditionnels tels que le styrène-butadiène-styrène, ils sont vendus au même niveau de prix. Leur avantage réside dans le fait qu'ils permettent d'éviter les problèmes tels que les émissions de substances toxiques durant leur production et application, les autres impacts environnementaux, l'incompatibilité avec le matériel de construction routière existant, la température de compactage, la glissance et les émissions lors du recyclage de l'asphalte³⁵.

163. Aux États-Unis, le rapport du National Institute for Health and Occupational Safety mentionné plus haut a conclu que les émissions produites par l'asphalte caoutchouté sont inférieures aux plafonds déterminés par les organismes chargés de la réglementation en matière de santé et de sécurité³⁶. La composition de ces émissions peut varier mais elles proviennent de l'asphalte, plutôt que du caoutchouc. En tout cas, elles ne dépassent pas les limites fixées par les autorités assurant la délivrance des autorisations et l'établissement des règlements.

164. Une récente analyse du cycle de vie qui a fait l'objet d'un examen par les pairs a également montré que, comparée à la co-incinération en cimenterie, l'utilisation de pneus usés dans des modificateurs de bitume de nouvelle génération procure des avantages écologiques appréciables dans des catégories d'impact telles que le potentiel de réchauffement global, l'acidification et la consommation d'énergie cumulée (DTC & IFEU 2008)³⁷.

165. Aux États-Unis, l'asphalte caoutchouté revient extrêmement cher et ne répond pas toujours aux normes en vigueur dans les différents États. Certains États n'ont pas encore élaboré de normes pour les enrobés contenant du caoutchouc provenant de pneus usés. Dans les États où ce matériau est courant, sa teneur en caoutchouc de récupération oscille entre 10 et 85 %. La construction routière offre des possibilités d'utiliser les pneus usés de façon économiquement avantageuse et bénéfique, ce qui en fait un débouché prometteur. La gomme des pneus constitue un excellent additif permettant de réduire le durcissement de l'asphalte avec l'âge ainsi que sa fissuration et, donc, d'accroître la longévité du revêtement.

5. Applications en génie civil

166. L'utilisation de déchets de pneus en génie civil est traitée dans la norme 6270/1998B de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et la spécification technique CEN/TS 14243 :2010 du Comité européen de normalisation.

167. Les applications dont il s'agit très diverses. Les déchets de pneus s'utilisent souvent à la place de matériaux de construction tels que la terre ou le sable mais peuvent aussi servir d'agrégats ou matériaux de remblayage dans les couches de base et remblais routiers, les tranchées d'épandage de fosses septiques, les centres de stockage de déchets, et d'autres ouvrages.

³² Intermodal Surface Transportation Efficiency (1995).

³³ United States Department of Transportation, Federal Highway Administration, Crumb Rubber Modifier.

³⁴ Sheerin, John (2004).

³⁵ FABES (2006).

³⁶ National Institute for Occupational Safety and Health (2001).

³⁷ DTC et IFEU (2008).

168. Des principes directeurs, pratiques normalisées et déterminants de la lixivabilité sont disponibles et en usage dans certains pays pour l'utilisation de pneus usés en génie civil. Aux États-Unis, les principes directeurs élaborés par le gouvernement de l'État de Tennessee décrivent les applications indiquées pour les déchets de pneus.

169. La norme 6270/1998B de l'ASTM contient des orientations portant sur le contrôle des propriétés physiques, la conception, les pratiques de construction et le potentiel de production de lixiviats pour l'utilisation de pneus usés entiers ou de matériaux provenant de déchets de pneus à la place de matériaux traditionnels tels que moellons, gravier, terre, sable, agrégats légers et autres dans les ouvrages de génie civil.

170. La Environment Agency of England and Wales a défini des déterminants de la lixivabilité pour les matériaux destinés à être utilisés dans des murs anti-bruit, remblayages des centres d'enfouissement technique et autres applications techniques (voir appendice II, partie B), avec des valeurs limites pour les propriétés chimiques de ces matériaux.

a) Applications techniques en centre de stockage de déchets

171. L'utilisation de déchets de pneus dans les centres d'enfouissement technique devrait être temporaire et ne devrait en aucun cas faire partie des pratiques courantes, du fait qu'elle peut facilement faire du site une décharge cachée de tels déchets et constitue un facteur de risque inacceptable en cas d'incendie. Les applications temporaires envisageables sont, entre autres, les suivantes :

- a) Collecte des lixiviats;
- b) Couche de protection des géotextiles;
- c) Couche drainante de couverture;
- d) Matériau de remplissage pour les réseaux de drainage des gaz;
- e) Recouvrement journalier des déchets;
- f) Routes temporaires;
- g) Voies de desserte.

172. Ces applications font appel à des pneus entiers, des pneus découpés (jusqu'à 300 mm), des broyats (50 mm à 300 mm), et des copeaux (10 mm à 50 mm). Le choix de la taille des morceaux dépendra des coûts de transformation et de transport ainsi que de la disponibilité des pneus et des exigences en matière d'environnement applicables au site. Il dépendra aussi du type de centre de stockage envisagé et des contraintes juridiques en la matière.

b) Remblai léger et renforcement de sol

173. Les pneus s'utilisent comme matériau léger de remplissage dans divers ouvrages de travaux publics tels que structures de soutènement, remblais et culées intégrales de pont ainsi que comme matériau de réparation et de stabilisation de talus, remplaçant en partie les agrégats, y compris dans les gabions. En fonction du projet, ces applications utilisent des pneus entiers, des pneus découpés (jusqu'à 300 mm), des broyats (50 mm à 300 mm), et des copeaux (10 mm à 50 mm).

c) Ouvrages anti-érosion

174. En raison de leur durabilité et de leur stabilité, les pneus usés sont idéaux pour les ouvrages anti-érosion et ont été utilisés dans des travaux de protection des côtes et des berges pour absorber l'énergie des marées et des courants ainsi que celle des eaux de ruissellement. On les a également employés pour combler des ravines et de petits canyons creusés par l'eau, ainsi que pour construire des barrières anti-érosion destinées à s'intégrer dans des paysages érodés que l'on compte végétaliser.

d) Murs anti-bruit

175. En bordure d'autoroute, on peut atténuer les bruits de circulation au moyen de murs construits avec des pneus usés entiers, des broyats ou des panneaux spéciaux fabriqués à partir de granulats. Plusieurs types d'écrans acoustiques de ce genre sont actuellement à l'étude.

e) Isolation thermique

176. Dotés d'une résistivité thermique sept à huit fois plus grande que celle du gravier, les pneus peuvent s'utiliser sous forme de pneus découpés, broyats et copeaux dans les pays à climat tempéré et dans les pays froids comme sous-couche isolante de chaussée destinée, entre autres, à protéger le revêtement contre la fissuration par le gel et comme isolant intercalaire pour les pipelines et autres

canalisations, en particulier, les conduites d'eau. Les canaux de drainage autoroutiers construits avec ces matériaux se sont révélés résistants au gel, même par temps très froid.

177. L'utilisation de pneus usés comme matériau de remblai léger s'est également révélée bénéfique, par exemple, dans les chemins forestiers sur terrain meuble³⁸. Leur légèreté constitue un considérable avantage dans de telles applications, la charge supportée par le sol sous-jacent étant alors beaucoup moins élevée que dans le cas des agrégats naturels³⁹.

6. Pyrolyse

178. La pyrolyse est une dégradation thermique en l'absence d'oxygène ou à une concentration d'oxygène suffisamment basse pour qu'aucune combustion ne se produise.

179. Certaines techniques de pyrolyse permettent d'obtenir de l'huile combustible à faible densité énergétique (par rapport au gazole), un gaz de synthèse à faible pouvoir calorifique appelé syngas, du noir de carbone et de l'acier. Les techniques modernes de dégradation thermique dans une atmosphère pauvre en oxygène produisent toutefois, à partir des plastiques des pneus, des huiles possédant une viscosité et un pouvoir calorifique comparables à ceux du gazole et de l'essence.

180. Le syngas obtenu par ces techniques peut avoir un pouvoir calorifique équivalent à celui du propane et possède d'excellentes propriétés thermiques. L'acier produit peut être un acier de grande qualité à haute résistance mécanique dont on peut se servir pour fabriquer des câbles neufs de pneus.

181. La valeur commerciale du résidu carboné ("char") produit par certains procédés est peu élevée, étant donné qu'il se compose d'un mélange des noirs de carbone contenus dans les différents pneus. Ce mélange ne possède pas les mêmes qualités que les produits initiaux. Les méthodes modernes permettent toutefois d'obtenir du noir de carbone comparable au produit vierge.

182. Afin de pouvoir exploiter ce matériau pour l'élaboration de nouveaux produits, il est parfois nécessaire d'améliorer ses caractéristiques par comminution. La désintégration par résonance produit, à cet égard, de très bons résultats : les puissantes ondes de choc auxquelles ses granules sont soumises au cours de ce processus conduisent à la formation de particules primaires de carbone d'un diamètre moyen de 38 nm qui s'assemblent en agrégats et agglomérats d'une taille allant de 100 nm à 10 µm⁴⁰.

183. Une autre possibilité consiste à le traiter avec de la vapeur, qui est un sous-produit normal du processus, pour obtenir charbon actif.

184. Comme c'est le cas pour tout autre processus, une mauvaise pyrolyse peut comporter des risques. L'acier et les autres métaux récupérés à l'issue de l'opération peuvent, par exemple, être contaminés par du carbone, devenant ainsi invendables sur le marché du retraitement. De plus, l'acier se présente généralement sous la forme d'une masse enchevêtrée occupant un volume important, ce qui le rend difficile à manipuler et à transporter.

185. Aux États-Unis, la pyrolyse ne s'est pas encore révélée économiquement viable. Elle a fait l'objet de plus de 30 tentatives d'exploitation à grande échelle, qui ont toutes échoué, entraînant la perte de millions de dollars d'investissements et obligeant les États à procéder à un coûteux nettoyage car le processus peut produire des huiles pyrolytiques constituant des déchets dangereux qu'il faut gérer en conséquence.

186. La pyrolyse, qui est une décomposition thermique, permet généralement de récupérer des huiles comparables au gazole et à l'essence, du gaz comparable au propane, de l'acier et du noir de carbone raffiné qui peuvent s'utiliser pour fabriquer de nouveaux produits.

7. Co-traitement

187. On entend par « co-traitement » l'utilisation de déchets dans des processus industriels tels que la production de ciment, de chaux ou d'acier. Il peut faire intervenir aussi bien une valorisation énergétique qu'une valorisation matière des déchets⁴¹. Dans cette section, seul le co-traitement en cimenterie est abordé. Des renseignements supplémentaires sur ce sujet sont disponibles dans les Directives techniques sur le co-traitement écologiquement rationnel des déchets dangereux dans les fours à ciment.

³⁸ United States Environmental Protection Agency, "Wastes – Resource Conservation – Common Wastes & Materials – Scrap Tires".

³⁹ Reid, J. M., et M. G. Winter (2004)

⁴⁰ Karpetsky, Timothy, 2001.

⁴¹ Holcim, GTZ (2006).

188. Les résultats des diverses études menées sur l'utilisation de pneus dans les fours à ciment diffèrent quant à l'impact de cette pratique sur les concentrations détectables de substances dangereuses. Il convient donc d'étudier au cas par cas s'il est opportun de l'autoriser, étant donné que son application sans risque dépend, d'une part, des pratiques adoptées et, d'autre part, des caractéristiques des pneus et des fours employés.

189. En Europe, l'industrie cimentière valorise des quantités considérables de déchets dont elle se sert comme substituts de combustibles fossiles et/ou matières premières traditionnelles. Après un traitement approprié, les diverses fractions de ces déchets se prêtent à une réutilisation en cimenterie compatible avec les exigences environnementales.

190. Les pneus usés sont maintenant bien établis dans l'industrie cimentière comme combustible d'appoint permettant d'économiser les combustibles fossiles. Leur utilisation est régie par les autorités nationales compétentes, qui les considèrent comme une option acceptable, du moment qu'on observe les règles spécifiées pour la conduite des opérations et les critères d'admission, et que les exigences de la législation pertinente sont remplies (dans l'Union européenne, ces exigences sont définies dans la Directive 2000/76/CE sur l'incinération des déchets).

191. Le co-traitement permet une valorisation énergétique et matière des déchets. Ceux-ci peuvent remplacer une partie du combustible et des matières premières utilisés dans la production de clinker. Les caractéristiques du processus de clinkérisation permettent fondamentalement une récupération de l'énergie et des matériaux des déchets qui est bénéfique pour l'environnement. Elles peuvent se résumer comme suit :

- a) Température maximale : environ 2 000° C (température de flamme du brûleur principal);
- b) Temps de séjour des gaz : environ 8 s à des températures supérieures à 1 200° C pour les fours rotatifs;
- c) Température des matériaux dans la zone de clinkérisation : environ 1 450° C pour les fours rotatifs;
- d) Atmosphère oxydante pour les fours rotatifs;
- e) Dans le brûleur secondaire, temps de séjour des gaz supérieur à 2 s à des températures supérieures à 850° C et dans le précalcinateur, temps de séjour proportionnellement plus longs, avec des températures plus élevées;
- f) Température des solides dans la zone de clinkérisation et/ou le calcinateur : 850° C.
- g) Brûlage uniforme même en cas de fluctuations de la charge grâce aux températures élevées et aux temps de séjour suffisamment longs;
- h) Destruction des polluants organiques grâce aux températures élevées et aux temps de séjour suffisamment longs;
- i) Adsorption d'éléments gazeux tels que l'acide fluorhydrique, l'acide chlorhydrique et le dioxyde de soufre sur les réactifs alcalins;
- j) Forte capacité de rétention des métaux lourds liés aux particules;
- k) Court temps de séjour des gaz de combustion dans la gamme de températures concernée, ce qui empêche la reformation des polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofuranes.
- l) Incorporation intégrale des minéraux des combustibles et des déchets dans le clinker et, donc, valorisation énergétique et matière (y compris en tant qu'éléments constitutifs du cru) simultanée, quel que soit le pouvoir calorifique des déchets considérés;
- m) Aucune production de déchets spécifiques à un produit donné grâce à l'intégration complète des matériaux dans le clinker; toutefois, certaines cimenteries européennes se débarrassent des poussières de dérivation par incorporation chimico-minéralogique de métaux lourds non volatils dans le clinker.

a) Exigences en matière de qualité

192. Il est essentiel que la qualité des déchets soit uniforme. Pour garantir les caractéristiques de ces derniers, il est nécessaire de mettre en place un système d'assurance qualité. En règle générale, les déchets acceptés comme combustibles et/ou matières premières doivent pouvoir fournir de la chaleur

et/ou apporter une valeur ajoutée. Le fait que les pneus possèdent un pouvoir calorifique élevé (de 25 à 35 MJ/kg) qui dépasse celui du charbon (de 18,6 à 27,9 MJ/kg) leur donne beaucoup d'attrait.

193. Les déchets utilisés comme combustibles et/ou matières premières en cimenterie doivent répondre à différentes normes de qualité afin de réduire au minimum les effets néfastes sur le produit final et les émissions atmosphériques, étant donné que leurs cendres se retrouvent entièrement dans le clinker.

b) Émissions

194. Dans la partie II de l'Annexe C de la Convention de Stockholm, le co-traitement de déchets dangereux dans des fours à ciment est cité comme source industrielle présentant un potentiel relativement élevé de production et de rejet de polychlorodibenzodioxines, de polychlorodibenzofuranes, d'hexachlorobenzène et de polychlorobiphényles dans l'environnement.

195. Les directives révisées sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales en liaison avec l'article 5 et l'Annexe C de la Convention de Stockholm adoptées en 2007 par la Conférence des Parties à la Convention aborde cette question et fournit de précieuses informations. Elles indiquent que :

Le procédé de combustion dans le four peut mener à la formation, puis au rejet, de substances chimiques inscrites à l'Annexe C de la Convention de Stockholm. De plus, il est possible qu'il se produise des rejets à partir des sites de stockage. Des conditions de procédé bien conçues, ainsi que la mise en place de mesures primaires dans les fours à ciment sont suffisantes pour minimiser la formation et le rejet de substances chimiques inscrites à l'Annexe C, et pour atteindre des concentrations de PCDD/PCDF dans les flux de gaz inférieures à 0,1 ng TEQ/Nm³ (teneur en oxygène de 10%), en fonction de facteurs tels que l'utilisation de combustibles propres, les matières chargées à l'entrée, la température et l'élimination des poussières. Quand nécessaire, des mesures secondaires additionnelles pour réduire de telles émissions devront être appliquées.

196. Les résultats d'une étude réalisée par la Foundation for Scientific and Industrial Research (Fondation norvégienne pour la recherche scientifique et industrielle - SINTEF) à partir de 1 700 mesures des taux de polychlorodibenzodioxines et de polychlorodibenzofuranes faites entre 1990 et 2004 montrent toutefois que la plupart des fours à ciment sont capables de respecter le plafond de 0,1 ng TEQ/Nm³. Il s'agit des émissions des fours à ciment des pays développés et en développement utilisant divers déchets, dont des déchets dangereux et des pneus, comme combustibles⁴². Le Conseil canadien des ministres de l'environnement est arrivé à la même conclusion, précisant que « les données d'essai disponibles sur le sujet indiquent que les rejets de dioxines et de furanes des fours à ciment sont inférieurs à 80 pg/m³, à une exception près. Jusqu'à présent, 80 pg/m³ constitue la plus basse limite d'émission déterminée par un standard pancanadien d'après la faisabilité et la technologie disponible »⁴³.

197. Des données sur les différents niveaux d'émission observés en cas d'utilisation de déchets (y compris les pneus usés) comme matières premières et/ou combustibles et sur les meilleures techniques disponibles dans le domaine de la réduction des émissions figurent dans le Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans les industries de fabrication du ciment, de la chaux et de la magnésie⁴⁴.

198. Les données fournies par un certain nombre d'études techniques sur les émissions produites durant le co-traitement de pneus usés dans des fours à ciment prêtent toutefois à controverse. Les partisans de l'utilisation de pneus comme combustible font valoir qu'avec des procédés optimisés et des équipements améliorés fonctionnant correctement et de façon stable, il ne devrait y avoir aucune différence entre les émissions résultant du co-traitement de pneus et d'autres déchets dangereux et celles dues du charbon. En matière de réduction des émissions, il est également essentiel de faire appel à des dispositifs modernes, bien conçus et bien entretenus.

c) Techniques de surveillance et de mesure pour la réduction des émissions

199. Il est essentiel de contrôler et de surveiller les opérations pour limiter les émissions. En vue de réduire ces dernières, on peut installer du matériel additionnel. Des mesures spéciales de contrôle et de gestion de l'exploitation sont nécessaires pour maintenir un bon niveau en matière d'environnement,

⁴² Foundation for Scientific and Industrial Research (2006)

⁴³ Conseil canadien des ministres de l'environnement (2004).

⁴⁴ Commission européenne (mai 2010).

de sécurité et de qualité. Le point d'introduction des déchets dans le four doit également être étudié en fonction de leur nature et de leurs caractéristiques, étant donné que le mode d'alimentation en combustible peut influencer sur les émissions.

200. Les principaux problèmes environnementaux se rapportant à la production de ciment sont les émissions atmosphériques et la consommation d'énergie. En effet, le processus donne lieu à des émissions des produits suivants : poussières, oxyde d'azote, oxyde de soufre, monoxyde de carbone, carbone organique total, polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofuranes, et métaux lourds.

201. Si les données de surveillance indiquent un dépassement des limites légales d'émission, il convient d'arrêter l'utilisation du combustible jusqu'à ce que la cause de l'instabilité a été déterminée et rectifiée. L'utilisation de pneus comme combustible ne devrait être autorisée de façon permanente que si les données issues de l'essai de combustion montrent que le co-traitement ne présentera aucun risque supplémentaire pour l'environnement. En Europe, les études menées dans le secteur cimentier ont conclu que cette application est rarement une source notable de PCDD/PCDF car :

a) La plupart des fours à ciment de l'Union européenne sont capables de rester en dessous du plafond d'émission de 0,1 ng TEQ/Nm³ si des mesures primaires sont mises en place;

b) L'introduction de déchets comme combustibles ou comme matières premières dans le brûleur principal, à l'entrée du four ou dans le précalcinateur ne semble avoir aucune influence sur les émissions de polluants organiques persistants (88, SINTEF, 2006).

202. Il est possible de prendre des mesures pour réduire au minimum les émissions de polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofuranes de manière à ce qu'elles ne dépassent pas la valeur de 0,1 ng TEQ/Nm³. L'une de ces mesures consiste à veiller à ce que le four fonctionne correctement et de manière stable et que les paramètres d'exploitation ne s'éloignent pas des valeurs fixées, ce qui a des effets bénéfiques sur toutes les émissions et sur la consommation d'énergie. Cela peut se faire en appliquant les principes suivants :

a) Optimisation de la conduite des opérations, notamment au moyen de systèmes de contrôle informatisés;

b) Utilisation de systèmes modernes d'alimentation en combustible;

c) Réduction au minimum de la consommation d'énergie en utilisant dans la mesure du possible le préchauffage et la précalcination.

d) Sélection et contrôle minutieux des substances introduites dans le four, qui doivent être, dans la mesure du possible, des matières premières et combustibles homogènes à faible teneur en soufre, azote, chlore, métaux et composés organiques volatils.

203. Pour réduire au minimum la possibilité d'une reformation des polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofuranes, les mesures primaires ci-après sont considérées comme les plus importantes :

a) Refroidir rapidement les gaz de combustion afin de ramener leur température à moins de 200°C dans le cas des fours hauts par voie humide et par voie sèche sans préchauffage. Les fours modernes à préchauffage et précalcination possèdent intrinsèquement cette capacité;

b) Limiter le temps de séjour des gaz de combustion et le taux d'oxygène dans les zones où la température se situe entre 300 et 450° C.

c) Limiter ou éviter l'utilisation de matières premières de substitution dans le mélange cru si celles-ci contiennent des matières organiques;

d) Éviter l'utilisation de combustibles de substitution durant les phases de démarrage et d'arrêt;

e) Surveiller et stabiliser les paramètres critiques d'exploitation (homogénéité des flux de mélange cru et de combustibles, dosage régulier et excédent d'oxygène)⁴⁵.

204. Des informations plus détaillées sur les meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions de substances telles que l'oxyde d'azote, l'oxyde de soufre, le monoxyde de carbone, le carbone organique total, les polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofuranes, et les métaux sont disponibles dans le Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans les

⁴⁵ World Business Council on Sustainable Development/Foundation for Scientific and Industrial Research, "Formation and Release of POP's in the Cement Industry" (janvier 2006).

industries de fabrication du ciment, de la chaux et de la magnésie⁴⁶. Cette solution a toutefois été mise en doute, essentiellement pour deux raisons, en l'occurrence :

a) La valorisation énergétique des pneus, qui réduit la possibilité de les utiliser pour fabriquer des produits à plus forte valeur ajoutée, ce dont il faudrait tenir compte dans la hiérarchie des options de traitement des déchets. Il est évident que la réutilisation ou la valorisation matière sont préférables lorsqu'elles sont possibles, mais qu'elles devraient être évaluées selon une méthodologie axée sur le cycle de vie tenant compte des autres possibilités de traitement et de la substitution de ressources naturelles;

b) Les préoccupations au sujet des émissions qui peuvent se produire durant la combustion.

205. Dans les pays de l'Union européenne, la directive 2000/76/CE sur l'incinération des déchets, qui a institué une baisse des limites d'émission à partir de 2008, a conduit à la mise hors service des fours qui n'ont pas réussi à s'y conformer. Les fours fonctionnant selon le procédé par voie humide ont été particulièrement touchés par ces limites plus strictes. Ces fours consomment environ 20 % des pneus usés utilisés dans l'industrie du ciment.

206. Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) constituent un argument qui commence à peser contre l'utilisation de combustibles fossiles traditionnels tels que le coke de pétrole. Actuellement, les combustibles fossiles sont responsables d'environ 40 % du CO₂ émis par l'industrie du ciment. Selon les prévisions, la demande de ciment augmentera, d'ici à 2020, de 180 % par rapport à son niveau de 1990. Dans le cadre de la « Cement Sustainability Initiative », l'industrie du ciment s'est fixé l'objectif de maintenir ses émissions de CO₂ à leur niveau de 1990 en dépit de cette hausse de la demande, ce qui équivaut à une réduction de 40 %⁴⁷.

8. Co-incinération en centrale électrique

207. Selon Menezes⁴⁸, l'incinération est un processus d'oxydation thermique à des températures allant de 800° C à 1 300° C qui sert à éliminer des déchets organiques et réduire leur volume et leur toxicité. Quelles que soient les raisons de recourir à cette opération, il convient de contrôler strictement les émissions conformément à la loi.

208. Lors de l'incinération, il est essentiel de contrôler rigoureusement les variables telles que la température de combustion, le temps de séjour, la turbulence (qui indique le degré de mélange entre l'oxygène et les déchets et qui devrait être maximisée pour accroître la destruction moléculaire), la concentration d'oxygène et le diamètre des particules.

209. Les installations où des élastomères tels que les pneus et d'autres matériaux sont incinérés devraient utiliser des technologies de pointe pour éviter les émissions de substances dues à la grande variété et aux quantités importantes d'additifs qu'ils contiennent. Les gaz que les élastomères dégagent en brûlant doivent être traités car ils peuvent donner naissance à des dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques et autres éléments très toxiques qui, de par les graves dégâts sanitaires qu'ils peuvent causer, nécessitent tous des mesures spéciales.

210. L'incinération est donc une technologie qui exige des investissements considérables en matériel et qui se heurte à une forte opposition de la part du public. Plusieurs centrales ont connu des difficultés d'ordre opérationnel qui les ont empêchées d'assurer une production fiable d'électricité. Les centrales thermiques sont des installations à forte intensité de capital. Dans celles qui utilisent des combustibles solides, le remplacement de ces derniers par des pneus ne demande qu'un investissement restreint dans des équipements appropriés pour mesurer le taux de mélange des combustibles. Les systèmes alimentés exclusivement par des pneus sont très rares et, dans le cas des centrales électriques, nécessitent des investissements importants, principalement parce que les économies d'échelle qu'ils permettent de réaliser sont relativement peu importantes. Certaines de ces centrales se sont heurtées à des problèmes de viabilité économique, de même que celles fonctionnant au bois et d'autres sources d'énergie renouvelables.

⁴⁶ Commission européenne (mai 2010).

⁴⁷ « Climate Change, Final Report », Battelle Institute/ World Business Council for Sustainable Development (2002), p. 24.

⁴⁸ Menezes (2006).

211. Un certain nombre d'incinérateurs, dont ceux de Gummi-Mayer (Allemagne), Sita-Elm Energy (Royaume-Uni) et Modesto tyres (Californie) ont dû fermer en raison de ces problèmes. Au nombre des installations qui continuent de fonctionner, on trouve celles d'Exeter (États-Unis), de Marangoni (Italie) et d'Ebara (Japon).

Bibliographie

- ALIAPUR et al. (2007). Environmental and health assessment of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf. ALIAPUR, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), Fieldturf Tarkett, EEDEMS.
- BORGES, Sonia Marta dos Anjos Alves, "Importância Epidemiológica do Aedes albopictus nas Américas", Master's Thesis, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2001.
- California Environmental Protection Agency (US), "Integrated Waste Management Board, Increasing the Recycled Content in New Tyres 21" (2004).
- California Integrated Waste Management Board – CIWMB, 2007. "Evaluation of Health Effects of Recycled Waste Tires in Playground and Track Products ". Contractor's Report to the Board. January, 2007.
- Calrecovery Inc. – "Evaluation of Waste Tyre Devulcanization Technologies", December 2004
<http://www.ciwmb.ca.gov/Publications/Tires/62204008.pdf>.
- Caltrans. Asphalt Rubber Usage Guide. "Materials Engineering and Testing Services-MS #5." Office of Flexible Pavement Materials. January 2003.
http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/pubs/Caltrans_Aspphalt_Rubber_Usage_Guide.pdf
- CAMPONELLI, Kimberly M. et al. - Impacts of weathered tire debris on the development of *Rana sylvatica* larvae. *Chemosphere* 74 (2009) 717-722.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2004). Status of Activities Related to Dioxins and Furans Canada-wide Standards. www.ccme.ca/assets/pdf/d_f_2004_sector_status_rpt_e.pdf.
- CHESTER, G. Moore & Carl J. Mitchell, "Aedes albopictus in the United States: Ten-Year Presence and Public Health Implications", *Emerging Infectious Diseases*, Volume 3, No. 1 (1997).
<ftp://ftp.cdc.gov/pub/EID/vol3no3/adobe/moore.pdf>.
- Climate Change /Final Report 8 / 2002 /Pg 24 - Battelle Institute / World Business Council for Sustainable Development.
- Directive 1999/31/CE.
- DTC & IFEU 2008: Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: recycling in asphalt and incineration in cement kilns. Executive summary.
- Environmental Health Practitioner, "Biting Back", quoting Jolyon Medlock, Health Protection Agency, UK, when referring to the dissemination of *Aedes albopictus* in the United States. December 2004, at 368-371.
http://shop.cieh.org/ehp/public_health/articles/biting_back.htm.
- ETRMA – "Lifecycle assessment of an average European car tyre". Préconsult for ETRMA, 2001.
- European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control – Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries. May, 2010.
http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/bref/download/download_CLM.cfm
- FABES 2006: Emission study on asphalt with 'Road+'. Investigation Report. FABES 2005: Migration Study on Asphalt Modified with Rubber. Heiden Labor 2007: Untersuchungsbefund. (Emissions from recycled rubber modified asphalt).
- FIGUEIREDO, Luiz Tadeu Moraes, "Dengue in Brazil: Past, Present and Future Perspective", *Dengue Bulletin*, World Health Organization, Volume 27, p. 25, at 29 (2003); World Health Organization, Case Fatality Rate (%) of DF/DHF in the South-East Asia Region (1985–2004) (2004).
- Foundation for Scientific and Industrial Research (SINTEF). (2006). Formation and Release of POPs in the Cement Industry: 2nd Edition. Prepared for the World Business Council for Sustainable Development – Cement Sustainability Initiative.
http://www.wbcso.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation_release_pops_second_edition.pdf.
- Gert-Jan van der Have, Recycling International, April 2008, p. 40-43.
- Health Canada, on http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/media/advisories-avis/_2001/2001_75-eng.php.
- Health Protection Agency (UK), Chemical Hazard and Poisons Report 8 (2003) ("UK – Chemical Hazard Report").
- Holcim, GTZ - 2006.

HR Wallingford. "Sustainable Re-use of Tyres in Port, Coastal and River Engineering - Guidance for planning, implementation and maintenance". March 2005. <http://www.aircrafttyres.com/images/Hergebruik%20banden.pdf>.

HYLANDS, K.N. Shulman, V. "Civil Engineering Applications of Tyres". Reporting VR 5. Viridis. 2003. Copyright® <http://www.viridis.co.uk/>.

Impact environnemental sur l'air et sur l'eau. SNCP 2007. "Incendie dans un entrepôt de stockage de pneumatiques équipé d'une installation sprinkler". The study can be found on http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat_sprinkle.pdf. The publication on the same subject for installations without sprinkler installation can be found on http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat_non_sprinkle.pdf.

Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991, § 1038(d), Pub. L. 102-240, 105 Stat. 1914 (1991); NHS Designation Act of 1995, § 205(b), Pub. L. 104-59, 109 Stat. 588 (1995). <http://owr.ehnr.state.nc.us/ref/35/34652.pdf>.

INTRON 2008: Follow-up study of the environmental aspects of rubber infill. A laboratory study (perform weathering tests) and a field study. Rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf. <http://www.syntheticurfCouncil.org/associations/7632/files/Environmental%20Study%20Report-FieldTurf-2007.pdf>.

INTRON et al. (2007) - "Environmental and Health Risks of Rubber Infill: rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf."

Källqvist, T. (2005). "Environmental risk assessment of artificial turf systems". Norwegian Institute for Water Research: Oslo.

KARPETSKY, Timothy. "Resonance disintegration produces ultrafine carbon products from pyrolysis char for use in printing inks", *Paint India* vol. 51, no12, pp. 73-80, 2001.

KENNEDY, Donald & Marjorie Lucks, "Rubber, Blight, and Mosquitoes: Biogeography Meets the Global Economy", *Environmental History*, Volume 4 at 369 (1999) http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3854/is_199907/ai_n8871885/print.

KOBAYASHI, M. et al., "Analysis of Northern Distribution of *Aedes albopictus* (Diptera culidae) in Japan by Geographical Information System", *Journal of Medical Entomology*, Volume 39, No. 1, at 9 (2002). <http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/esa/00222585/v39n1/s2.pdf?expires=1213041982&id=0000&titleid=10266&checksum=478931A74C1B3266EC5E097FF28C6C3E>.

Literature Study on substances leached from shredded and whole tyres (published June 2005 by BLIC – European Association of the Rubber Industry).

Marwood, C., Kreider, M., Ogle, S., Finley, B., Sweet, L., Panko, J.. "Acute aquatic toxicity of tire and road wear particles to alga, daphnid, and fish". *Ecotoxicity*. 2011.

MENEZES, "Evaluation of the Emissions from the Thermal Degradation of Tires". 2006 – Rio de Janeiro. http://fenix2.ufrj.br:8991/F/NKH1811JC51JABCEP5X6DQ59UMF15M1EE11KIIEAMK2XN71AQE-01259?func=short-0&set_number=851764.

Müller, E. (2007). Investigations into the behaviour of synthetic surfaces exposed to natural weather conditions. Swiss Federal Office of Sport BASPO, BASF, Qualifloor, Gezolan AG, Institut für Sportbodentechnik, Swiss Federal Office for Environment BAFU, Lörrach, Office of Water Conservation and Waste Management, WALO.

MWH. July 2004. Ministry for the Environment. "End-of-Life Tyre Management: Storage Options Final Report for the Ministry for the Environment". <http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/end-of-life-tyre-management-jul04/end-of-life-tyre-management.pdf>.

National Approach to Waste Tyres, 2001 (<http://www.environment.gov.au/settlements/publications/waste/tyres/national-approach/pubs/national-approach.pdf>).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Department of Health and Human Services, "Crumb-Rubber Modified Asphalt Paving: Occupational Exposures and Acute Health Effects" vi (2001). http://www.asphaltrubber.org/ari/Emissions/NIOSH_2001.pdf.

O'SHAUGHNESSY VO, Garga VK. (2000) "Tire-Reinforced Earthfill". Part 3: Environmental Assessment. *Canadian Geotechnical Journal* 37: 117-131. https://article.pubs.nrc-cnrc.gc.ca/RPAS/RPViewDoc?_handler_=HandleInitialGet&journal=cgj&volume=37&calyLang=fra&articleFile=t99-086.pdf&secure=true (<http://ieg.or.kr:8080/abstractII/M0203701008.html>).

OECD (2004): Draft Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management (ESM) of Waste. C(2004)100. [http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C\(2004\)100](http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C(2004)100).

OECD (2007); Guidance manual for the implementation of the OECD recommendation C92004)100 on environmentally sound management of waste. <http://www.oecd.org/dataoecd/23/31/39559085.pdf>.

Ohio Department of Natural Resources, “Recycling Tyres : Problems with wasting scrap tyres: Disease” Center for Disease Control and Prevention, *Aedes albopictus* Infestation – United States, Brazil, Morbidity and Mortality Weekly Report, 8 August 1986.

Questor Centre – “New Products Incorporating Tyre Materials”, Investment Belfast, 2005. <http://www.investmentbelfast.com/downloads/Full%20Circle%20Final%20Report.pdf>.

Recyc-Quebec. 2001-2008 “Program for the Emptying of Scrap Tire Storage Sites in Québec - Normative Framework” (http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzzzzzzcn_pro182.pdf).

REID, J M and M G Winter (2004). “The Use of Post-Consumer Tyres in Civil Engineering”. Used/Post Consumer Tyres, Editors MC Limbachiya and JJ Roberts, 195-202. London Thomas Telford. <http://www.northerntyre.com/01%20The%20Use%20of%20Post-Consumer%20Tyres%20in%20Civil%20Engineering.PDF>.

REISMAN, Joel. I. “Air Emissions from Scrap tyre Combustion”. United States National Risk Management Environmental Protection Research Laboratory. Agency Cincinnati, OH 45268. November 1997.

RIAZ AK, Ahmed S. (2001) “Recycling of Shredded Rubber Tires as Road Base in Manitoba: A Case Study”. 2001 An Earth Odyssey. University of Manitoba, Canada.

Scrap Tire Recycling in Canada: From Scrap to Value/Recyclage des pneus hors d’usage au Canada : La transformation des pneus hors d’usage en produits à valeur ajoutée http://www.catraonline.ca/pdf/Recyc_2006_Pneus.pdf.

SHEEHAN, P.J. et al (2006) - “Evaluating The Risk To Aquatic Ecosystems Posed By Leachate From Tire Shred Fill In Roads Using Toxicity Tests, Toxicity Identification Evaluations, And Groundwater Modeling”.

SHEERIN, John, Chair of Scrap tyre Committee of Rubber Manufacturers Association, “Markets & Trends in the US Scrap tyre Industry”, presentation at a meeting of the Canadian Rubber Association, 20 October 2004, at slides 13, 23

SINTEF – “Formation and Release of POPs in the Cement Industry (Second Edition)”. World Business Council on Sustainable Development Foundation for Scientific and Industrial Research (SINTEF). January, 2006.

SIQUEIRA, João Bosco et al., “Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever, Brazil, 1981-2002”, *Emerging Infectious Diseases*, Center for Disease Control and Prevention (US), Volume 11, No. 1 (2005).

Solari, Alfredo. BID America, <http://www.iadb.org/idbamerica/index.cfm?thisid=1403>.

Specialist: Michael Playdon, Columbus McKinnon, February 2004. <http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/end-of-life-tyre-management-jul04/html/table8-1.html>.

STEPHENSON, Eiríkur et al., *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 22, No. 12, pp. 2926–2931, 2003.

TEXEIRA, Maria da Glória. “Dengue and dengue hemorrhagic fever epidemics in Brazil: What research is needed based on trends, surveillance and control experiences,” *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 15, Pg 1307 - 1315, 2005.

Tyres in the Environment, at § 4.4 (“The properties of the recycled rubber are not as good as the virgin material, as it has already been vulcanized. The use of recycled rubber limits the properties of the final product .. [and causes] a one-percent reduction in the properties of the final product for every one-percent of substitution ...”).

U.S. Environmental Protection Agency – Wastes – Resources Conservation – Common wastes & Materials – Scrap Tires http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/tires/civil_eng.htm#roads.

UBA (2006) Einsatz von Sekundärbrennstoffen (UBA texte 07-06) <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3011.pdf>.

United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods (Model Regulations) (UNECE, 2003a – see annex V, Bibliography) or later versions should be used.

University of Rhode Island, Office of Mosquito Abatement Coordination, Mosquitoes, “Disease and Scrap Tyres”.

US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Crumb Rubber Modifier.

VDZ(2008) Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2007. http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/Umweltdaten/Umweltdaten2007_d_Final_WEB.pdf.

- Verschoor, A. J. (2007). "Leaching of zinc from rubber infill on artificial turf (football pitches)-RIVM report 601774001/2007". Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Holland.
- Wik A, Dave G (2005) Environmental labeling of car tires—toxicity to *Daphnia magna* can be used as a screening method. *Chemosphere* 58:645–651
- Wik A (2007) Toxic components leaching from tire rubber. *Bull. Environ Contam Toxicol* 79:114–119.
- WHO Dengue Fact Sheet.
- WHO, 2nd edition, 1997; can be found on <http://www.who.int/topics/dengue/en/>.
- World Business Council on Sustainable Development / SINTEF, "Formation and Release of POP's in the Cement Industry". January, 2006.
http://www.wbcds.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation_release_pops_second_edition.pdf.
- World Health Organization, "Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever". (2002)" ("WHO Dengue Fact Sheet")
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>.
- World Health Organization, "Guidelines for Treatment of Dengue Haemorrhagic Fever in Small Hospitals" ix (1999) http://www.searo.who.int/LinkFiles/Dengue_Guideline-dengue.pdf
- YAMAGUCHI, E. "Waste Tyre Recycling", Master of Engineering Project, University of Illinois, Urbana-Champaign, October 2000, <http://www.p2pays.org/ref/11/10504/>.
- Zhang, J. J., Han, I. K., Zhang, L., & Crain, W. (2008). Hazardous chemicals in synthetic turf materials and their bioaccessibility in digestive fluids. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 18(6), 600-7.

Appendice I

Informations relatives à la santé publique

La dengue est transmise par des moustiques qui se reproduisent dans des récipients où s'accumulent l'eau de pluie, notamment les pneus usés.⁴⁹ Un seul pneu peut favoriser la reproduction de milliers de moustiques en un seul été.⁵⁰ Les Centers for Disease Control and Prevention des États-Unis d'Amérique pensent qu'il est possible de contenir l'infestation au moyen de programmes de surveillance, en éliminant les sites de reproduction (notamment les pneus), en empêchant la dispersion des pneumatiques par le réseau routier interétatique et par l'emploi judicieux d'insecticides sur les lieux de reproduction. Les programmes d'éradication des moustiques sont coûteux et ne font qu'atténuer la gravité du problème plus qu'ils ne le résolvent.

Le cas du moustique *Aedes albopictus* (également connu sous le nom de « moustique tigre d'Asie ») en est un exemple. Cette espèce a été accidentellement introduite dans l'hémisphère occidental au milieu des années 80 dans des cargaisons de pneus usés provenant du Japon⁵¹. Depuis, elle a colonisé plusieurs États des États-Unis et d'autres pays du continent américain dont l'Argentine, le Brésil, Cuba, le Guatemala, le Mexique et la République dominicaine⁵². Il semble donc que le transport de pneus usés entre États et pays a facilité sa propagation.

Les risques associés au transport de pneus usés et déchets de pneus sur lesquels les spécialistes et responsables de l'environnement du Canada, des États-Unis et du Royaume-Uni ont appelé l'attention sont bien connus. Un responsable de la santé publique du Royaume-Uni, parlant de la propagation d'*Aedes albopictus* aux États-Unis, a caractérisé le problème du transport des pneus usés comme suit :

« Les mouvements internes de ces pneumatiques permettent de suivre le déplacement de ces moustiques sur le réseau interétatique d'autoroutes ce qui est en vérité très astucieux ». ⁵³

Il ressort d'une étude japonaise de 2002 que les pneus transportés en vue d'être éliminés (en l'occurrence dans des fours à ciment) pourraient être infestés de moustiques :

« A Higashiyama, extrême limite septentrionale du moustique, qui se trouve à l'Est du district de Tohoku, il y a une cimenterie qui utilise des pneus usés comme combustible et matière première. Ces pneus, qui peuvent être infestés de moustiques, y sont fréquemment transportés depuis les grandes villes situées à proximité. On a montré que cette activité économique est liée de près à la propagation du moustique *Aedes Albopictus* ». ⁵⁴

Une étude des Centers for Disease Control and Prevention (Centres pour le contrôle et la prévention des épidémies) des États-Unis indique que :

« Le moustique *Aedes albopictus*, qui est un important insecte piqueur nuisible sur la plus grande partie de son aire de répartition, est en laboratoire le vecteur compétent d'au moins 22 arbovirus, y compris nombre de virus revêtant une importance du point de vue de la santé publique. Le rapport supposé entre la propagation et les principales voies de communication pourrait bien exister pour une espèce principalement déplacée par les activités humaines telles que le commerce de pneus mis au rebut pour être rechapés, recyclés ou à d'autres fins. Plusieurs des 28 sites infestés par les moustiques ne se trouvant pas sur le réseau interétatique étaient des grandes sociétés de rechapage, des entreprises faisant le commerce de grandes quantités de pneus usés ou mis au rebut ou des décharges illégales de pneumatiques ». ⁵⁵

Le nombre de personnes contractant la dengue est élevé; environ 50 millions d'individus en sont infectés chaque année, ce qui se traduit par 500 000 hospitalisations et 12 000 décès.⁵⁶

⁴⁹ Organisation mondiale de la santé, « Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever » (2002)(« Fiche d'informations de l'OMS sur la dengue »)

⁵⁰ Département des ressources naturelles et du recyclage des pneus de l'Ohio (1986).

⁵¹ Yamaguchi, E (2000).

⁵² Borges Sonia Marta dos Anjos Alves (2001).

⁵³ «*Biting Back*», Environmental Health Practitioner (2004).

⁵⁴ Kobayashi, M. et al. (2002).

⁵⁵ Chester G. Moore et Carl J. Mitchell (1997).

⁵⁶ Texeira, Maria da Glória (2005).

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) reconnaît que la dengue est la maladie virale tropicale émergente la plus importante et qu'elle suscite une grande préoccupation de santé publique au niveau international.⁵⁷ Ses symptômes sont les suivants : forte fièvre, maux de tête très douloureux et douleurs musculaires accompagnés d'hémorragies fréquemment suivies d'un gonflement du foie et d'une mauvaise circulation.⁵⁸ Les complications entraînées par cette maladie et la fièvre hémorragique qu'elle provoque se traduisent par un taux de décès de 5 à 15 % lorsqu'elles ne sont pas traitées.⁵⁹ La dengue hémorragique est l'une des principales causes de la mortalité infantile dans divers pays d'Asie où elle a son origine.

A cet égard, le cas du Brésil est exemplaire. La dengue, dont on pensait qu'elle avait été éradiquée, est réapparue au cours des années 90; selon l'OMS, elle présente aujourd'hui les caractéristiques d'une épidémie détonante.⁶⁰ L'épidémie actuelle de dengue au Brésil a empiré de 1994 à 2002, date à laquelle le plus nombre de cas a été enregistré (794 000). Contrairement aux flambées précédentes de la maladie, qui étaient localisées, aujourd'hui, l'épidémie s'étend à l'ensemble du pays.⁶¹ De 2000 à 2002,⁶² le nombre de cas de dengue a été multiplié par 45 et s'est accompagné d'une forte mortalité, de 4,3 %, soit près de 8 fois le taux enregistré en Asie du Sud-Est.⁶³ De 1998 à 2002, 70 % des cas de dengue signalés aux Amériques l'avaient été au Brésil.⁶⁴ Aujourd'hui, trois des quatre types de dengue sont présents dans 22 des 27 Etats du Brésil,⁶⁵ ce qui est inquiétant car l'Association des sérotypes de dengue accroît la probabilité des complications et le nombre de décès. L'apparition d'un quatrième sérotype (DEN-4) est imminente en raison des transports aériens et maritimes entre le Brésil et d'autres pays. Suite à une campagne de sensibilisation efficace entreprise au Brésil, 280 511 cas de dengue et 61 décès ont été signalés au cours de la période allant de janvier à octobre 2006.

La seule fumigation ne permet pas d'éliminer complètement les œufs et les larves cachés dans les amoncellements de pneus. Pour tuer les moustiques adultes, il faut recourir à des produits chimiques toxiques qui ne sont pas sans conséquence sur l'environnement. En outre, ces produits ne pénètrent généralement pas à une profondeur suffisante pour atteindre les moustiques⁶⁶, qui tendent à se concentrer dans le bas des piles où les insecticides ne leur parviennent qu'à des concentrations relativement peu élevées. Il n'est donc pas rare qu'ils développent une résistance à ces derniers. D'après Solari (2002)⁶⁷, la fumigation est coûteuse et inefficace contre la dengue. Outre le fait que sa mise en œuvre dépend de la capacité d'intervention des responsables publics, elle ne tue que les moustiques adultes, de sorte qu'au bout d'une semaine, une fois les larves arrivées à maturité, on se retrouve à la case départ.

Les pneus usés mis au rebut sont donc considérés comme un problème de santé publique, étant donné qu'ils présentent un risque de propagation de moustiques vecteurs de maladies, en particulier dans les pays tropicaux, auquel se rajoute le fait qu'ils abritent des rongeurs.

Leur combustion incontrôlée à l'air libre constitue également un risque sanitaire, vu qu'elle entraîne des émissions de composés chimiques nuisibles à la santé humaine tels que monoxyde de carbone, oxydes de soufre et d'azote, hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorodibenzodioxines et -furanes, hexachlorobenzène, biphényles polychlorés et d'autres polluants organiques persistants. La réduction ou l'élimination des émissions accidentelles de ces substances sont réglementées par l'article 5 et l'Annexe C de la Convention de Stockholm.

⁵⁷ Organisation mondiale de la santé (1999).

⁵⁸ Fiche d'informations de l'OMS sur la dengue.

⁵⁹ Donald Kennedy et Marjorie Lucks (1999).

⁶⁰ Fiche d'informations de l'OMS sur la dengue.

⁶¹ Siqueira, João Bosco et al. (2005).

⁶² *Ibid.*

⁶³ Figueiredo, Luiz Tadeu Moraes (1985–2004) (2004).

⁶⁴ Siqueira, João Bosco et al. (2005).

⁶⁵ *Ibid.*

⁶⁶ Université de Rhode Island, Office of Mosquito Abatement Coordination, Mosquitoes, Disease and Scrap Tyres.

⁶⁷ Solari, Alfredo. BID América.

Appendice II

Documentation relative à la lixiviation

Partie A : Résumé des essais de lixiviation en conditions naturelles passés en revue

Le tableau 1 ci-après résume les essais en conditions naturelles sur les lixiviats de pneus qui ont été passés en revue.

Tableau 1 : Résumé des essais de lixiviation en conditions naturelles passés en revue

Auteurs	Date	Lieu	Méthode	Caractéristiques des lixiviats
Humphrey	1997	USA	Copeaux de pneus au-dessus du niveau de la nappe phréatique, dans le Maine, Collecte d'échantillons d'eau souterraine pendant 2,5 ans, puits témoin.	Substances < PDWS. Substances < SDWS sauf pour Fe et Mn. Composés organiques non détectés.
Horner	1996	GB	Collecte d'échantillons de sol dans une décharge de pneus usés de 10 ans située dans l'Ouest de Londres.	Concentrations accrues de Cd, Pb et Zn dans les échantillons de sol prélevés à la base de la décharge, baisse exponentielle des niveaux avec la distance.
O'Shaughnessy	2000	CA	Remblai de terre renforcé par des pneus, collecte de lixiviats pendant deux ans, pas de puits témoin.	Les données de surveillance sur le terrain du prototype de remblai d'essai renforcé par des pneus construit au dessus du niveau de la nappe phréatique indiquent que les effets néfastes sur la qualité de l'eau souterraine ont été négligeables sur une période de deux ans ⁶⁸ .
Humphrey	2001	USA	Broyats en dessous du niveau de la nappe phréatique dans le Maine, collecte de lixiviats et d'échantillons d'eau souterraine prélevés en aval pendant 2,5 ans, puits témoin.	Niveau de contamination le plus élevé observé sur le site avec baisse de la contamination jusqu'à des niveaux proches des concentrations ambiantes à 3 m en aval. Substances < PDWS sur le site. Substances < SDWS sur le site, sauf pour Fe, Mn, Zn et certains composés organiques.
Humphrey	2000	USA	Copeaux de pneus au-dessus du niveau de la nappe phréatique dans le Maine, Collecte de lixiviats pendant cinq ans, puits témoin.	Substances avec PDWS inchangée. Pas d'augmentation des concentrations de Al, Zn, Cl et SO ₄ sur le site. Augmentation des concentrations de Fe et Mn sur le site. Niveaux négligeables de composés organiques sur le site.
Riaz ⁶⁹	2001	CA	Broyats en sous-couche de route dans le Manitoba, Collecte d'échantillons d'eau souterraine, pas de puits témoin.	Substances < PDWS en dessous du site. Substances < SDWS en dessous du site sauf pour Al, Fe et Mn. Composés organiques non détectés

Source: End-of-life Tyre Management – MWH, Nouvelle-Zélande (2004)

Notes:

1. Abréviations (lieux): CA – Canada; GB – Grande-Bretagne; USA – Etats-Unis d'Amérique.
2. Abréviations (autres): PDWS : norme primaire de qualité de l'eau potable (santé) utilisée aux USA; SDWS : norme secondaire de qualité de l'eau potable (esthétique) utilisée aux USA.

Comme indiqué dans la section I.D.2 b), divers facteurs peuvent influencer sur les taux de lixiviation des composés contenus dans les pneus et/ou leurs concentrations dans les sols et les eaux superficielles et souterraines. Ce sont les suivants⁷⁰ :

⁶⁸ O'Shaughnessy V.O., Garga V.K. (2000).

⁶⁹ Riaz A. K., Ahmed S. (2001).

⁷⁰ MWH (juillet 2004).

- a) **Taille du pneu :** il est probable que le lessivage soit plus lent lorsque l'on a affaire à des pneus entiers plutôt qu'à des copeaux ou des broyats de pneus. Cela tient aux différences entre les valeurs du rapport surface/volume;
- b) **Quantité d'acier exposé :** lorsque l'acier est exposé (dans le cas de copeaux ou de broyats de pneus), il est probable que le lessivage du manganèse et du fer sera plus rapide que dans le cas d'un pneu entier dont l'acier n'est pas exposé;
- c) **Environnement chimique :** le lessivage de métaux est probablement plus rapide en milieu acide, alors qu'il est probable que le lessivage des composés organiques sera plus rapide dans un milieu basique;
- d) **Perméabilité du sol :** le lessivage sera vraisemblablement plus rapide lorsque les sols sont perméables;
- e) **Distance par rapport à la nappe phréatique :** plus on sera éloigné verticalement de la nappe phréatique, moins la contamination des eaux souterraines pourra se produire;
- f) **Distance par rapport au site de stockage des pneumatiques :** plus on se trouve éloigné en aval du site de stockage des pneus, moins la concentration des contaminants dans les sols et les eaux souterraines est élevée;
- g) **Durée du contact avec l'eau :** plus le contact des pneus avec l'eau est long, plus le risque de contamination des eaux souterraines est grand;
- h) **Écoulement vertical des eaux à travers les sols :** plus l'écoulement des eaux à travers les sols est long (lorsqu'il pleut, par exemple), plus la dilution des contaminants est forte;
- i) **Écoulement horizontal des eaux souterraines :** plus l'écoulement des eaux souterraines est important, plus la dilution des contaminants est grande;
- j) **Composés lessivés sur le site :** les concentrations de manganèse et de fer sont plus élevées dans les eaux souterraines lorsque l'acier est exposé. Il peut y avoir de fortes concentrations d'aluminium, de zinc et de composés organiques dans les eaux souterraines et de fortes concentrations de zinc, de cadmium et de plomb dans les sols.

À partir d'essais de toxicité, d'une évaluation de données sur la toxicité (procédure TIE (Toxicity Identification Evaluation)) et d'une modélisation des eaux souterraines, Sheehan, P.J. et al. (2006)⁷¹ ont déterminé les circonstances dans lesquelles il est possible d'utiliser des broyats de pneus pour la réalisation de remblais routiers présentant un niveau négligeable de risque pour les écosystèmes aquatiques environnants. Ils ont trouvé des taux élevés de fer, de manganèse et de plusieurs autres substances chimiques dans les lixiviats des broyats. Les résultats étaient toutefois différents selon que les broyats se trouvaient au-dessus ou en dessous du niveau de la nappe phréatique. Ils ont conclu que dans diverses conditions hydrogéologiques présentant un faible taux d'oxygène dissous ou un faible pH, une plus grande distance tampon (> 11 m) est nécessaire, d'après les résultats de la modélisation des eaux souterraines, pour obtenir une dilution du lixiviat jusqu'à des concentrations non toxiques uniquement par advection et dispersion.

Le tableau 2 décrit les études réalisées sur l'impact environnemental des granulats de pneus utilisés dans les terrains de sport recouverts de gazon synthétique qui se sont penchées sur les lixiviats produits par ces matériaux.

Tableau 2

Études sur l'utilisation de granulats de pneus dans les terrains de sport artificiels

Auteur	Conclusion
Källqvist (2005)	<input type="checkbox"/> L'évaluation des risques montre que la concentration de zinc dans les eaux de ruissellement provenant des gazons synthétiques soumet les eaux superficielles qui les reçoivent à un risque écologique appréciable au niveau local. Par ailleurs, le scénario utilisé (dilution des eaux de ruissellement par un facteur de dix dans les eaux qui les reçoivent) prédit des concentrations d'alkylphénols et d'octylphénol dépassant les valeurs minimales susceptibles de produire des effets sur l'environnement. Théoriquement, la lixiviation devrait subir un lent affaiblissement, ce qui signifie que les effets sur l'environnement sont susceptibles de se

⁷¹ Sheehan, P.J. et autres (2006).

Auteur	Conclusion
	poursuivre pendant de nombreuses années. Les quantités totales de polluants s'échappant d'un gazon synthétique normal sont toutefois relativement faibles, de sorte que seuls des effets locaux peuvent être attendus.
Aliapur et al. (2007)	<p><input type="checkbox"/> Les résultats des analyses physico-chimiques des percolats montrent que la cinétique des substances potentiellement polluantes est comparable pour tous les types de granulats, que ce soit in situ ou en laboratoire. Les lixiviats contiennent des traces détectables de substances et composés arrachés de la surface et de la matrice polymère des granulats qui s'amenuisent au fil du temps.</p> <p><input type="checkbox"/> D'après les derniers résultats obtenus après une année d'expérimentation sur les 42 paramètres physico-chimiques identifiés et à partir des essais écotoxicologiques, les lixiviats des granulats en élastomère vierge ou issus de pneus usés utilisés comme remplissage des gazons synthétiques ne sont pas susceptibles d'avoir des effets sur les ressources en eau dans le court et le moyen terme</p>
Intron et al. (2007)	<p><input type="checkbox"/> Les concentrations de métaux lourds et de composés organiques tels que phtalates et hydrocarbures aromatiques cycliques dans les lixiviats provenant de gazons synthétiques qui utilisent des pneus recyclés comme matériau de remplissage sont bien en deçà des limites en vigueur aux Pays-Bas en matière de qualité des sols et des eaux superficielles. Le zinc constitue une exception mais on ne s'attend pas à ce que les quantités de ce métal entraînées par lixiviation dépassent les limites autorisées au cours des dix premières années;</p>
Müller, E. (2007)	<p><input type="checkbox"/> Dans les essais lysimétriques et d'élution, les taux de carbone et d'azote organique dissous baissent d'abord très rapidement, puis selon une courbe temporelle de moindre pente propre à chaque substance, jusqu'à leur niveau minimal. Vers la fin de ces essais, à savoir après un an, ils sont, pour la plupart, inférieurs aux seuils de détection;</p> <p><input type="checkbox"/> Les granulats et l'échantillon témoin (une couche de gravier sans surfacage) présentent la même très faible teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques, qui correspond au niveau de fond (niveau de contamination ambiant).</p>
Verschoor (2007)	<p><input type="checkbox"/> La charge de zinc estimée à 800 mg/m²/an se traduira par un dépassement de la charge critique définie dans le décret sur les matériaux de construction (2 100 mg/m²/100 ans) au bout de trois ans. Sur une durée de vie estimée à 10 ans pour les matériaux de remplissage, le facteur de dépassement sera de 4. Un dépassement de la charge critique implique des risques potentiels pour les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines, ce que confirme l'évaluation de l'exposition dans les divers compartiments « récepteurs ».</p>
Zhang (2008)	<p><input type="checkbox"/> Les granulats de caoutchouc, en particulier dans les gazons synthétiques de fabrication récente, contiennent des concentrations de HAP supérieures aux normes sanitaires pour les sols. Ces concentrations semblent généralement diminuer avec l'âge. Toutefois, l'ajout de nouveaux granulats pour compenser les pertes de matériaux peut compliquer la donne.</p> <p><input type="checkbox"/> Les HAP contenus dans les granulats de caoutchouc ont une faible bioaccessibilité (c'est-à-dire qu'ils se dissolvent à peine) dans les fluides digestifs artificiels, y compris la salive et les fluides gastriques et intestinaux..</p> <p><input type="checkbox"/> La teneur en zinc s'est révélée être beaucoup plus élevée que la limite pour les sols.</p> <p><input type="checkbox"/> Les concentrations de plomb mesurées dans tous les échantillons (53 ppm) étaient largement inférieures aux valeurs admissibles pour les sols. Toutefois, la bioaccessibilité de cette substance dans le fluide gastrique artificiel était élevée. L'analyse d'un échantillon de fibre de gazon synthétique a montré un taux de chrome assez inquiétant (3,93 ppm) et des fractions de plomb fortement bioaccessibles dans les fluides gastrique et</p>

Auteur	Conclusion
	intestinal artificiels.
Intron 2008	<input type="checkbox"/> Les taux dus à la lixiviation pendant la durée de vie technique d'un terrain à pelouse synthétique (de 10 à 15 ans) utilisant des granulés de pneus recyclés ne sont pas supérieurs aux valeurs limites pour le zinc dissous dans l'eau de surface ou à la valeur limite dérivée pour la pollution du sol par le zinc prévues dans le décret néerlandais sur la qualité des sols.

Partie B : Déterminants de la lixivabilité applicables au Royaume-Uni pour les matériaux destinés à des applications techniques

Le tableau 3 ci-après présente les déterminants de la lixivabilité applicables au Royaume-Uni pour les matériaux destinés à des applications techniques.

Tableau 3

Déterminants de la lixivabilité applicables au Royaume-Uni pour les matériaux destinés à des applications techniques

Application	Propriété chimique	Valeurs limites (g/l, sauf indication contraire)*
	pH	5,5–9,5
	Conductivité	1 000 μ S/cm
	Carbone organique dissous	30 mg/l
<input type="checkbox"/> Applications techniques en centre de stockage de déchets	Ammoniac	0,5 mg/l
	Arsenic	10
	Cadmium	1
<input type="checkbox"/> Remblai léger	Chrome (total)	50
	Plomb (total)	50
<input type="checkbox"/> Renforcement	Mercure	1
<input type="checkbox"/> Culées de ponts	Sélénium	10
	Bore	2 000
<input type="checkbox"/> Drainage	Cuivre	20
	Nickel	50
<input type="checkbox"/> Barrières enterrées	Zinc	500
<input type="checkbox"/> Murs anti-bruit	Cyanure (libre)	50
	Sulfate (SO ₄)	150 mg/l
<input type="checkbox"/> Isolation thermique	Sulfure	150
	Soufre (libre)	150
<input type="checkbox"/> Produits obtenus à partir des pneus et revêtements	Phénols	0,5
	Fer	100
	Chlorure	200 mg/l
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	0,2
<input type="checkbox"/> Lutte contre l'érosion (fluviale & maritime)	Comme indiqué ci-dessus (si nécessaire)	Comme indiqué ci-dessus (si nécessaire)
<input type="checkbox"/> Récifs artificiels		

* [Les valeurs limites sont les concentrations admissibles pour les matériaux mis en décharge non étanche basées sur celles adoptées par l'Environment Agency du Royaume-Uni dans ses orientations internes (Environmental Agency – www.environment-agency.gov.uk).

Notes :

Les valeurs limites des propriétés chimiques des matériaux utilisés dans des applications techniques dépendent de facteurs propres au site considéré et du type de système de confinement dont il dispose.

Les autorités compétentes adopteront une approche axée sur les risques. En général, les concentrations de contaminants devraient répondre aux exigences réglementaires locales. Les valeurs limites fournies sont basées sur celles établies par l'Environment Agency pour déterminer l'admissibilité d'un matériau contaminé dans une décharge non étanche.

Ce sont les concentrations lixiviables qui détermineront en partie la possibilité d'utiliser les pneus pour des applications techniques. De plus, on peut raisonnablement supposer qu'un matériau qui, à l'analyse chimique, donne des résultats se trouvant en dessous des seuils précédents se prêtera à l'utilisation envisagée et ne présentera aucun risque pour la santé humaine et l'environnement. Toutefois, avant qu'on puisse commencer les travaux, son utilisation doit recevoir l'approbation de l'autorité de tutelle et est assujettie au système actuel d'octroi d'autorisation pour la gestion de déchets.

Au Royaume-Uni, la pollution des eaux contrôlées est du ressort des responsables de la réglementation en matière d'environnement. Toutefois, une autorisation supplémentaire du DEFRA peut être requise pour l'immersion en mer de déchets. Les responsables de la réglementation peuvent exiger un test de lixivibilité des composés énumérés plus haut pour tout matériau qu'on envisage d'utiliser dans l'eau, essentiellement à titre de protection contre les éventuels effets nocifs sur les eaux souterraines, superficielles ou marines. Les préoccupations concernent les impacts potentiels sur les sources d'eau potable.

Appendice III

Incendies de pneus documentés dans les publications

Le tableau ci-après présente des exemples d'incendie de pneus avec les impacts négatifs qu'ils ont produits.

Endroit	Année	Durée	Nombre approximatif de pneus	Gestion des incidents	Effets nocifs sur l'environnement	Cause
Rochdale (Royaume-Uni)	1972 avril 1975 juillet 1975	1 jour 30 jours 10 jours	9 000	Aucun incident rapporté	Réservoir d'alimentation en eau encore fermé	Suspicion d'incendie criminel
Rhinehart Winchester Virginie (États-Unis)	1983	Avec flammes pendant 9 mois sans flamme pendant 18 mois	6-9 millions	Aucun incident rapporté	Environ 3 200 000 l d'huile de synthèse récupérés, contamination du sol jusqu'à une profondeur d'environ 30 m selon les rapports, panache de fumée de 100 m de hauteur et retombées signalées dans 3 États	Suspicion d'incendie criminel
Selby (Royaume-Uni)	1987	80 jours	>1 000	Aucun incident rapporté	Environ 85 l de lixiviat huileux enlevés du site Adduction d'eau potable fermée pendant 2 jours as par mesure de précaution.	Suspicion d'incendie criminel
Powys (Royaume-Uni)	1989	14 ans	10 millions	Aucun incident rapporté	Surveillance des concentrations de zinc, fer et phénols présentes dans un ruisseau avoisinant. Hausse de ces dernières par temps de pluie. Émission d'une épaisse fumée noire, de benzène, de dioxines et de particules,	Suspicion d'incendie criminel
Hagersville Ontario (Canada) 7	Fév. 90	17 jours	12,6 millions ⁷²	1 700 personnes évacuées ⁷³ Surveillance à long terme en cours	Écoulement de 700 000 litres d'huile dans le sol, Contamination de l'eau d'un petit cours d'eau (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	Suspicion d'incendie criminel
Saint Amable Québec (Canada) 7	Mai 90	6 jours ⁷⁴	3,5 millions ⁷⁵	150 personnes évacuées Coûts de décontamination et de réhabilitation du site : 12 millions de dollars canadiens ⁷⁶	Contamination possible du sol et de l'eau par l'huile en provenance des pneus	Possibilité d'incendie criminel

⁷² Scrap Tire Recycling in Canada: From Scrap to Value/Recyclage des pneus hors d'usage au Canada : La transformation des pneus hors d'usage en produits à valeur ajoutée.

⁷³ Ibid.

⁷⁴ Recyc-Quebec. 2001-2008 Program for the Emptying of Scrap Tire Storage Sites in Québec – Normative Framework.

⁷⁵ Ibid.

⁷⁶ Ibid.

Endroit	Année	Durée	Nombre approximatif de pneus	Gestion des incidents	Effets nocifs sur l'environnement	Cause
York (Royaume-Uni)	1991	Non communiquée	> 1 000	Aucun incident rapporté	Faible contamination du ruisseau local par des phénols	Non communiquée
Cornouailles (Royaume-Uni)	1992	1 jour	Non communiqué	Aucun incident rapporté	Concentrations de phénol et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques détectées dans les eaux de ruissellement,	Suspicion d'incendie criminel
Washington Pennsylvanie (États-Unis)	Fév 97	14 jours	1,7 million	Evacuation de 500 résidents et fermeture de deux écoles	Aucun effet signalé	Suspicion d'incendie criminel
Gila River Reservation Arizona États-Unis	Août 97	7 jours	3 millions déchiquetés	Surveillance de la contamination du sol	Aucun effet signalé	Suspicion d'incendie criminel
Cheshire (Royaume-Uni)	1999	Non précisée	500	Aucun incident rapporté	Contamination du site par un écoulement d'huile	Suspicion d'incendie criminel

Source : Chemical Hazards and Poisons Report - Chemical Hazards and Poisons Division, décembre 2003

www.basel.int

Secretariat of the Basel Convention

International Environment House

11-13 chemin des Anémones

1219 Châtelaine, Switzerland

Tel : +41 (0) 22 917 82 18

Fax : +41 (0) 22 917 80 98

Email : sbc@unep.org