NATIONS
UNIES

SC

UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.1

Distr. : Générale
4 décembre 2007

Français
Original : Anglais

Programme des Nations Unies pour l'environnement

Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants
Comité d'étude des polluants organiques persistants
Troisième réunion
Genève, 19-23 novembre 2007

Rapport du Comité d'étude des polluants organiques persistants sur les travaux de sa troisième réunion

Additif

Evaluation de la gestion des risques liés au pentabromodiphényléther commercial

A sa troisième réunion, le Comité d'étude des polluants organiques persistants a adopté l'évaluation de la gestion des risques liés au pentabromodiphényléther commercial sur la base de l'ébauche figurant dans le document UNEP/POPS/POPRC.3/9. Le texte de cette évaluation de la gestion des risques, tel qu'amendé, est reproduit dans les pages qui suivent. Il n'a pas été revu par les services de contrôle de la rédaction.

K0820215 200508

PENTABROMODIPHENYLETHER COMMERCIAL

EVALUATION DE LA GESTION DES RISQUES

Adoptée par le

Comité d'étude des polluants organiques persistants

à sa troisième réunion

Novembre 2007

TABLE DES MATIERES

Résumé 4

1. Introduction 4

1.1 Identité chimique de la substance proposée 4
Généralités 4
Identité chimique de la substance proposée 5
1.2 Conclusions du Comité d'étude concernant les informations requises à l'Annexe E 5
1.3 Mesures de réglementation prises au niveau national ou régional 5

2. Production, utilisations et rejets 6

2.1 Importance et évolution de la production et de l'utilisation 6
Demande et production mondiales 6
2.2 Utilisations du c-pentaBDE 7
2.3 Demande future de retardateurs de flamme au niveau mondial 7
2.4 Emissions provenant de la production de c-pentaBDE et de produits contenant du c-pentaBDE 7
2.5 Emissions provenant de l'utilisation de produits contenant du c-pentaBDE 8
Equipements intérieurs 8
Equipements extérieurs 8
2.6 Emissions provenant de déchets contenant du c-pentaBDE 8
Déchets engendrés par la production de c-pentaBDE 8
Déchets engendrés par des procédés de fabrication de produits contenant du c-pentaBDE 9
Produits à l'état de déchets contenant du c-pentaBDE 9
Rejets provenant de décharges et de l'incinération 9
2.7 Emissions provenant des activités de recyclage et de démontage 10
Installations de recyclage des déchets de matériel électrique et électronique 10
Démontage de véhicules 10
Démolition de bâtiments et autres ouvrages 10

3. Synthèse des informations concernant l'évaluation de la gestion des risques 11

3.1 Mesures de réglementation possibles 11
Efficacité des mesures de réglementation possibles 11
Traitement des déchets 11
3.2 Informations sur les solutions de rechange (produits et procédés) 12
Substituts du c-pentaBDE dans la mousse de polyuréthane 12
Substituts non chimiques du c -pentaBDE dans la mousse de polyuréthane 13
Substituts du c -pentaBDE dans les appareils électriques et électroniques 13
Substituts du c -pentaBDE dans les textiles 13
3.3 Impacts de l'application des mesures de réglementation possibles sur la collectivité 13
Avantages de l'élimination du c-pentaBDE 13
Coût de l'élimination du c-pentaBDE 14

4. Synthèse des informations 15

4.1 Synthèse de l'évaluation 15
4.2 Eléments d'une stratégie de gestion des risques 15
Conclusion 16

Références 18

Résumé

Le pentabromodiphenyléther commercial (c-pentaBDE) est un mélange de retardateurs de flamme bromés essentiellement composé d'isomères du pentabromodiphényléther (pentaBDE) et du tétrabromodiphényléther (tétraBDE). Les retardateurs de flamme bromés sont un groupe de composés organiques contenant du brome qui ralentissent ou arrêtent la combustion des matières organiques. Le c-pentaBDE est ou a été utilisé quasi exclusivement dans des produits en mousse souple de polyuréthane servant à fabriquer ou capitonner des meubles, des éléments de l'aménagement intérieur des voitures et des emballages, ainsi que dans des articles en polyuréthane non expansé tels que boîtiers et revêtements de composants électriques et électroniques. L'industrie textile et d'autres secteurs en utilisent également dans une certaine mesure pour des applications spécialisées. Du fait de leurs propriétés physico-chimiques, le tétraBDE et le pentaBDE se sont largement répandus dans l'environnement et dans la population humaine. Leur toxicité est prouvée. C'est pour ces raisons que les constituants du c-pentaBDE suscitent des inquiétudes dans de nombreuses régions du monde.

Des normes nationales et internationales de sécurité incendie ont été établies pour certains groupes de produits, notamment ceux des équipements électriques, emballages industriels, meubles rembourrés, rideaux, appareils électroniques ménagers et câbles électriques. Ces normes prescrivent des propriétés ignifuges mais ne recommandent pas l'utilisation de types de retardateurs de flamme particuliers. Les retardateurs de flamme bromés sont à ce jour considérés comme les plus efficaces mais maintenant, on les remplace souvent par des substances sans brome ou on modifie la conception du produit de façon à rendre superflue l'utilisation d'un ignifugeant.

Les éléments constitutifs du c-pentaBDE sont présents dans l'environnement à des niveaux de concentration élevés. Ils possèdent des propriétés très toxiques et se sont avérés à la fois persistants et bioaccumulatifs. Ils constituent donc un risque potentiel pour les générations futures. Ces constatations, conjuguées à l'augmentation notable des niveaux de concentration observée aussi bien dans la faune et la flore sauvages que chez l'homme (RPA, 2000), ont conduit de nombreux pays de différentes régions du monde à abandonner l'utilisation de c-pentaBDE de façon volontaire ou en l'imposant par la voie réglementaire. Comme il s'agit d'un problème planétaire et transfrontière, il conviendrait d'envisager des mesures au niveau mondial pour se débarrasser progressivement de ce composé.

Plusieurs pays ont fait savoir que la réglementation des mélanges commerciaux de pentaBDE leur poserait des problèmes. En revanche, l'inscription de congénères individuels tels que leurs principaux constituants, le BDE-47 et le BDE-99, ou de classes de diphényléthers tétra- et pentabromés (en précisant les substances qu'elles englobent) serait conforme aux législations nationales en vigueur concernant le pentaBDE et faciliterait la surveillance et le contrôle des émissions, de la production et de l'utilisation au niveau des pays. Certains estiment qu'il faudrait également considérer l'inscription de l'hexaBDE, qui est présent en petites quantités dans le c-pentaBDE, puisqu'on serait amené à le faire lors de l'évaluation des options de gestion pour le c-octaBDE, dont il est un élément constitutif.

Conclusion et recommandation

La présente évaluation de la gestion des risques a été établie, conformément à l'Annexe F de la Convention, après avoir évalué le descriptif des risques liés au c-pentaBDE et conclu que, vu leurs caractéristiques et leur capacité de propagation à longue distance dans l'environnement, les éléments constitutifs de ce mélange sont susceptibles d'avoir des effets nocifs importants sur la santé humaine et l'environnement.

Conformément au paragraphe 9 de l'article 8 de la Convention, le Comité recommande à la Conférence des Parties d'envisager d'inscrire à l'Annexe A de la Convention le 2,2',4,4'-tétrabromodiphényléther (BDE-47, Nº CAS 40088-47-9), le 2,2',4,4',5-pentabromodiphényléther (BDE-99, Nº CAS 32534-81-9) et les autres tétra- et pentabromodiphényléthers présents dans le c-pentaBDE, en utilisant, aux fins d'application, le BDE-47 et le BDE-99 comme substances de référence, selon les indications ci-dessus.

1. Introduction

1.1 Identité chimique de la substance considérée

Généralités

En 2005, la Norvège a proposé d'inscrire le pentabromodiphényléther commercial (c-pentaBDE) comme polluant organique persistant à l'Annexe A de la Convention de Stockholm. C'est ce pays qui a assuré l'élaboration de la présente évaluation de la gestion des risques (Annexe F).

Le c-pentaBDE est un retardateur de flamme appartenant à un groupe de substances organiques bromées qui ralentissent ou arrêtent la combustion des matières organiques. Il est surtout employé dans des produits en mousse souple de polyuréthane servant à fabriquer ou capitonner des meubles, des éléments de l'aménagement intérieur des voitures et des emballages, ainsi que dans des articles en polyuréthane non expansé tels que boîtiers et revêtements de composants électriques et électroniques. On l'utilise également dans une certaine mesure pour des applications

textiles spécialisées et d'autres usages. En raison des propriétés chimiques et toxiques des isomères du tétra- et du pentaBDE, qui sont ses principaux constituants, et de l'omniprésence de ces derniers aussi bien dans l'environnement que chez l'homme, il suscite des préoccupations dans de nombreuses régions du monde.

Identité chimique de la substance

On appelle pentabromodiphényléther commercial (c-pentaBDE) les mélanges de bromodiphényléthers où les principaux composants, c'est-à-dire les éléments les plus abondants du point de vue de la masse, sont le 2,2',4,4'-tétrabromodiphényléther (BDE-47; N° CAS : 40088-47-9) et le 2,2',4,4',5-pentabromodiphényléther (BDE-99; N° CAS : 32534-81-9). Le c-pentaBDE peut également contenir une proportion importante d'hexabromodiphényléthers (hexaBDE). Les formulations utilisées en Amérique du Nord et en Europe en renferment de 4 à 12 %.

Le système de numérotation adopté pour les polyBDE est le même que pour les polychlorobiphényles (PCB) (Ballschmiter *et al.* 1993). L'abréviation (P)BDE désigne un (poly)bromodiphényléther, appellation générique qui englobe tous les congénères de la famille des diphényléthers (poly)bromés.

1.2 Conclusions du Comité d'étude concernant les informations requises à l'Annexe E

L'Annexe E de la Convention de Stockholm exige l'élaboration d'un descriptif des risques pour évaluer si la substance concernée est susceptible, du fait de sa propagation à longue distance dans l'environnement, d'avoir des effets nocifs importants sur la santé humaine et/ou sur l'environnement, qui justifient l'adoption de mesures au niveau mondial. Un descriptif des risques pour le c-pentaBDE a été établi et approuvé en 2006 (PNUE, 2006). Le Comité d'étude des polluants organiques persistants a présenté la conclusion suivante :
« Le pentabromodiphényléther (c-pentaBDE) est un mélange synthétique d'origine anthropique qui n'existe pas à l'état naturel. On peut donc conclure que la présence de composants du c-pentaBDE dans l'environnement résulte d'activités humaines. Sa propagation à longue distance explique probablement sa présence dans des régions éloignées des lieux de production et de rejet comme la région arctique. Le pentaBDE se dégrade lentement dans l'environnement et peut s'accumuler et s'amplifier chez les mammifères et les oiseaux piscivores. L'élimination progressive de la production et de l'utilisation du c-pentaBDE a entraîné une réduction de son utilisation mais de nombreux matériaux en circulation tels que les mousses de polyuréthane et les plastiques dans les équipements électroniques contiennent du pentaBDE qui est lentement rejeté dans l'environnement. Ces dégagements s'accélèrent à la fin du cycle de vie de ces produits, notamment au cours d'opérations de récupération et de recyclage. Bien qu'en Europe les niveaux de concentration du pentaBDE dans le sang humain et le lait maternel ainsi que chez d'autres espèces soient en voie de diminution, ils continuent d'augmenter en Amérique du Nord et dans la région arctique.

Selon le présent descriptif des risques, le c-pentaBDE, compte tenu des caractéristiques de ses éléments constitutifs, est susceptible, du fait de sa propagation à longue distance dans l'environnement et de sa toxicité avérée chez plusieurs espèces autres que l'homme, d'avoir des effets nocifs importants sur la santé humaine et l'environnement, qui justifient une action mondiale. »

1.3 Mesures de réglementation prises au niveau national ou régional

La plupart des pays développés ont pris des mesures pour limiter la production et l'utilisation de pentaBDE.

- En Australie, il est interdit de l'utiliser dans les nouveaux articles. Les importations de produits contenant des retardateurs de flamme bromés ne sont pas réglementées.
- Dans les pays de l'Union européenne, la mise sur le marché et l'utilisation de produits qui en contiennent à des concentrations supérieures à 0,1 % en masse sont interdites depuis 2004 (Directive 2003/11/CE de l'Union européenne). En application de la directive européenne relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, il n'est plus utilisé dans les appareils électriques et électroniques depuis le 1er juillet 2006. Les produits qui en contiennent plus de 0,25 % sont classés comme déchets dangereux lorsqu'ils sont mis au rebut.
- Aux Etats-Unis, les fabricants ont volontairement abandonné sa production en 2005 et son utilisation est interdite dans certains Etats. L'EPA exige que toute reprise de la fabrication, quel que soit l'usage prévu, lui soit notifiée pour examen préalable (voir le règlement 40 CFR 721.10000).
- Au Japon, on a volontairement cessé de l'utiliser en 1990.
- En Norvège et en Suisse, la production, l'importation, l'exportation, la mise sur le marché et l'utilisation de pentaBDE et de mélanges qui en contiennent 0,1 % en poids ou plus sont interdites. Les produits dont la teneur en pentaBDE est supérieure à 0,25 % sont classés comme déchets dangereux lorsqu'ils sont mis au rebut. En Norvège, le recyclage et le réutilisation de produits à base de pentaBDE et de matériaux qui en renferment sont interdits.

- Au Canada, la production est nulle. Des règlements concernant la fabrication, l'utilisation, la vente et l'importation ont été proposés en 2006. L'élimination quasi-totale des homologues du tétra-, du penta- et de l'hexaBDE contenus dans le c-pentaBDE est prévue.
- En Chine, l'utilisation de pentaBDE dans les produits électriques et électroniques est interdite depuis le 1er mars 2007.
- Le document UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23 contient des informations sur la situation de cette substance chimique au regard des conventions internationales.

2. Production, utilisations et rejets

2.1 Niveaux et tendances de la production et de la consommation

Demande et production mondiales

D'après les dernières statistiques commerciales disponibles auprès du Bromine Science and Environmental Forum (BSEF), la demande mondiale de c-pentaBDE est descendue de 8 500 tonnes en 1999 à 7 500 tonnes en 2001. Selon la même source, la quantité de c-pentaBDE utilisée depuis 1970 a été estimée à 100 000 tonnes en 2001.

Tableau 2.1 Demande mondiale totale de c-pentaBDE par région en 2001, en tonnes et en pourcentage.

	Amériques	**Europe**	**Asie**	**Reste du monde**	**Total**	**Pourcentage de la consommation mondiale de retardateurs de flamme bromés**
Mélange commercial c-pentaBDE	7 100	150	150	100	7 500	4 %

Source: BSEF (2001)

Le c-pentaBDE a été produit en Israël, au Japon, aux Etats-Unis et dans l'Union européenne (Peltola *et al.*, 2001 et rapport TNO, 2005). En Chine, un mélange technique contenant du pentaBDE a été breveté en 1999. Les proportions de ses éléments constitutifs (les congénères) diffèrent de celles du c-pentaBDE produit en Europe et aux Etats-Unis.

Aux Etats-Unis, les données relatives à la production et aux importations de c-pentaBDE sont gardées secrètes par l'industrie mais l'EPA (2007) estime qu'en 2002, le total s'est situé entre 4 500 et 23 000 tonnes. Le dernier fabricant américain de ce mélange, la Great Lakes Chemical Corporation (rebaptisée Chemtura Corporation), a volontairement cessé de le manufacturer en 2004. Avant cette date, l'Amérique du Nord consommait la majeure partie (>97 %) de la production mondiale de c-pentaBDE. A la fin de l'année 2004, environ 7,5 % des mousses souples de polyuréthane produites chaque année par les Etats-Unis (environ 1 million de tonnes) en contenaient (Etat de Washington, 2006).

Une enquête réalisée au Canada indique qu'environ 1 300 tonnes de produits commerciaux contenant des PBDE y ont été importées en 2000. Ces importations étaient constituées en grande partie de c-pentaBDE, d'après les quantités déclarées.

Dans les pays de l'Union européenne (lorsqu'elle comptait 15 membres), la production de c-pentaBDE a cessé en 1997 (UE 2000). La consommation de cette substance (uniquement pour la production de polyuréthane) y a diminué durant la deuxième moitié des années 1990 et a été estimée à 300 tonnes en 2000 (UE 2000). Depuis 2004, son utilisation est interdite dans les 25 pays membres. Les PBDE ne sont plus employés dans les appareils électriques et électroniques depuis le 1er juillet 2006.

Le principal producteur de retardateurs de flamme d'Israël, le Dead Sea Bromine Group, déclare sur son site web que ses produits ne contiennent pas de c-pentaBDE, conformément à l'interdiction en vigueur dans l'Union européenne, qui représente un marché important pour cette entreprise.

Comme aujourd'hui la production de c-pentaBDE devrait avoir cessé en Europe, au Japon, au Canada, en Australie et aux Etats-Unis, les quantités encore produites proviennent, en principe, d'autres régions du monde. Aucune information n'a été communiquée sur l'état de la production en Chine.

On ne dispose pas non plus de données concernant les pays d'Europe de l'Est qui ne sont pas membres de l'Union européenne, la plupart des pays de la région Asie-Pacifique et les pays d'Afrique et d'Amérique latine.

2.2 Utilisations du c-pentaBDE

La production et l'utilisation de c-pentaBDE sont en grande partie interdites dans les pays développés mais si on ne l'inscrit pas en tant que POP, on court le risque de voir les pays en développement commencer à en produire et à en utiliser pour leur propre compte. Selon différentes études nationales et régionales et les données nationales communiquées au titre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, le c-pentaBDE est ou a été utilisé dans les secteurs suivants (Agence suisse pour la protection de l'environnement, 2002; Agence danoise pour la protection de l'environnement, 1999; UE, 2000; Agence norvégienne pour la protection de l'environnement, 2003 et http://www.unece.org/env/popsxg/6thmeeting.htm):

• *Appareils électriques et électroniques*: ordinateurs (Betts, 2006; Hazrati et Harrad, 2006), équipements électroniques ménagers, matériel de bureau, appareils ménagers et autres contenant des plaques de circuit imprimé en stratifié, boîtiers externes et pièces internes en plastique, notamment composants et boîtiers en polyuréthane rigide produits en petite série.

• *Transport :* automobiles, trains, avions et bateaux contenant des garnitures intérieures en tissu et plastique ainsi que des composants électriques.

• *Matériaux de construction :* mousses de remplissage, panneaux isolants, mousses isolantes, revêtements muraux et de sol, bâches plastiques, résines, etc.

• *Mobilier :* meubles rembourrés, revêtements, matelas, composants en mousse souple. Le c-pentaBDE entre également dans la fabrication d'emballages en mousse de polyuréthane.

• *Textile*s: rideaux, tapis, thibaudes de tapis, tentes, bâches, vêtements de travail et de protection.

• *Emballages :* emballages en mousse de polyuréthane.

2.3 Demande future de retardateurs de flamme au niveau mondial

Certains indices laissent présager une augmentation de la production et de l'utilisation de c-pentaBDE et d'autres retardateurs de flamme bromés si on ne les interdit pas. Selon une société de conseil spécialisée dans les analyses de marché, on s'attend à ce que la demande mondiale de retardateurs de flamme croisse de 4,4 % par an pour atteindre 2,1 millions de tonnes, représentant une valeur de 4,3 milliards de dollars, en 2009 (Fredonia Group, 2005). Cette croissance sera en grande partie due aux pays en développement d'Asie (en particulier la Chine), d'Amérique latine et d'Europe de l'Est et devrait toucher la plupart des retardateurs de flamme. Au niveau mondial, ce sont les composés bromés qui devraient enregistrer la plus forte hausse, principalement en raison des taux de croissance élevés affichés par la Chine. On pense que c'est dans le domaine des applications électriques et électroniques que l'augmentation de la demande sera la plus rapide, compte tenu de la miniaturisation et de la densité croissantes des circuits électroniques et des températures plus élevées auxquelles se trouvent ainsi soumis leurs composants en plastique. Les composés moins respectueux de l'environnement continueront à perdre du terrain, en particulier en Europe occidentale, du fait que la Chine a commencé à remplacer les retardateurs de flamme chlorés par des composés bromés, phosphatés ou autres (Freedonia Group, 2005).

Sauf en Chine, où elle est devancée par l'automobile et le textile, deux secteurs qui se développent rapidement, l'industrie du bâtiment devrait généralement constituer le deuxième marché le plus porteur pour les retardateurs de flamme. Le plastique continuera à être employé à la place de certains matériaux comme le métal ou le verre dans une grande variété de produits pour non seulement réduire le coût et le poids de ces derniers mais aussi faciliter leur conception et leur fabrication. Il fait l'objet d'un usage répandu et croissant dans les secteurs des transports, des matériaux de construction et des produits électroniques. Son ignifugation étant obligatoire dans de nombreux cas, 75 % de tous les retardateurs de flamme sont utilisés à cette fin (Freedonia Group 2005).

Les restrictions environnementales varient selon les régions. En Europe occidentale, au Japon et, dans une moindre mesure, en Amérique du Nord, elles consisteront surtout à freiner l'utilisation éventuelle de composés chlorés pour remplacer les PDBE. L'interdiction imposée en Europe occidentale sur certains retardateurs de flamme bromés ne devrait pas s'étendre de façon significative à d'autres régions (Freedonia Group 2005) mais elle stimule le développement d'équipements électriques et électroniques dépourvus de ces substances pour le marché mondial. En 2005, des dizaines d'entreprises asiatiques, européennes et américaines ont annoncé qu'elles avaient mis au point ou étaient en train de mettre au point de tels équipements sans c-pentaBDE. En Asie, plus de 90 % des fabricants d'électronique appliquent déjà la réglementation européenne. Les dirigeants et les spécialistes du secteur estiment que la plupart du matériel électrique et électronique vendu dans le monde en 2005 était conforme à cette dernière, en raison de la difficulté à maintenir des lignes de production séparées (Environmental International reporter, 2006).

2.4 Emissions résultant de la production de c-pentaBDE et de produits contenant du c-pentaBDE

Selon les fabricants, les émissions de pentaBDE dans l'environnement durant la production de c-pentaBDE sont essentiellement dues aux déchets de filtration et matériaux non conformes aux spécifications que l'on élimine par mise en décharge. Les eaux usées contenant des solutions de récurage peuvent également dégager du pentaBDE

(RPA, 2000). Les émissions atmosphériques engendrées par la production de c-pentaBDE sont supposées inexistantes ou négligeables (RPA, 2000; van der Gon *et al.*, 2005). Les résultats de la modélisation indiquent que les quantités émises durant la fabrication de produits contenant du c-pentaBDE sont faibles par rapport à celles liées à leur consommation.

2.5 Emissions résultant de l'utilisation de produits contenant du c-pentaBDE

Une organisation néerlandaise de recherche scientifique appliquée, la TNO (2005), a conclu que les principaux rejets de pentaBDE dans l'atmosphère émanent de produits et d'équipements qui contiennent cette substance sous forme d'agent ignifugeant.

Equipements intérieurs

Du pentaBDE ayant été trouvé dans les poussières à l'intérieur des locaux, qui sont considérées comme une des principales sources de pollution par cette substance (PNUE, 2006), plusieurs études se sont penchées sur l'étendue de l'exposition résultante pour les êtres humains (PNUE, 2006). Le c-pentaBDE s'utilise uniquement comme adjuvant. Malgré les faibles pressions de vapeur de ses éléments constitutifs, une partie de ceux-ci peut se volatiliser pendant tout le cycle de vie du produit (RPA, 2000). Les PBDE ainsi émis ont tendance à s'adsorber sur des particules (poussière). Ces dernières se posent à l'intérieur des appareils et des bâtiments ou se disséminent à l'extérieur (Agence danoise pour la protection de l'environnement, 1999). La dégradation physique des produits peut également contribuer à la présence de pentaBDE dans la poussière à l'intérieur des bâtiments.

Plusieurs études ont détecté dans l'air et dans la poussière à l'intérieur des bâtiments des constituants du c-pentaBDE dégagés par divers produits tels que textiles, meubles et appareils électroniques (Shoeib *et al.*, 2004; Stapleton *et al.*, 2005; Wilford *et al.*, 2005). Des expériences en enceinte contrôlée ont mis en évidence une émission atmosphérique de pentaBDE par les mousses de polyuréthane utilisées dans le mobilier (Wilford *et al.* 2005). Les travaux de Hale *et al.* (2002) indiquent toutefois que cette volatilisation pourrait être principalement due à la détérioration des mousses. Les données expérimentales montrent que les appareils électroniques, notamment les téléviseurs et moniteurs d'ordinateur émettent du tétra- et du pentaBDE (Agence danoise pour l'environnement, 1999). Ces observations sont corroborées par une étude récente qui révèle l'utilisation de c-pentaBDE dans les vieux ordinateurs (Betts, 2006; Hazrati et Harrad, 2006).

Selon Risk and Policy Analysis Ltd (RPA, 2000), 3,9 % du pentaBDE présent dans les articles contenant du c-pentaBDE se volatilise chaque année au cours des dix années de la durée de vie anticipée des produits, suivant l'hypothèse la plus pessimiste. En 2000, on a calculé que les rejets annuels mondiaux de pentaBDE engendrés par de nouvelles utilisations de mousses de polyuréthane dans des produits vont de 585 à 1 053 tonnes (tableau 2.3 dans le document UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23).

Equipements extérieurs

En général, les matières émises par les équipements extérieurs se dispersent largement en faibles concentrations dans l'atmosphère. Les équipements extérieurs comportant des mousses plastiques traitées au c-pentaBDE peuvent rejeter dans l'environnement des particules contenant cette substance. En milieu urbain ou industriel, ces particules sont principalement disséminées dans le sol (75 %), mais on les retrouve aussi dans les eaux de surface (24,9 %) et dans l'atmosphère (0,1 %). Le c-pentaBDE peut être incorporé au PVC comme agent ignifugeant dans les applications suivantes (RPA, 2000) : sous-couche de peinture dans l'industrie automobile, matériaux pour toitures, revêtements de bobinages, revêtements de tissus, câbles et fils, profilés, et semelles de chaussure. La RPA (2000) a estimé les taux d'émission sur la durée de vie de ces produits à entre 2 et 10 %, la valeur supérieure s'appliquant aux produits soumis à une usure importante tels que les couches d'apprêt pour voitures ou les semelles de chaussures, et celle de 2 % aux opérations d'élimination. En 2000, les rejets annuels dans les pays de l'Union européenne ont été estimés à 15,86 tonnes dans les sols des sites industriels, à 5,26 tonnes dans les eaux de surface et à 0,021 tonnes dans l'atmosphère. Aucune estimation des rejets mondiaux n'a été trouvée dans la littérature.

Selon les informations obtenues auprès des entreprises de la filière du brome, les utilisations passées de fluides hydrauliques (sous forme de mélanges) dans les secteurs pétrolier et minier pourraient avoir donné lieu à des rejets excessifs dans l'environnement. La littérature ne fournit pas d'estimations à ce sujet.

2.6 Emissions provenant de déchets contenant du c-pentaBDE

Ces déchets peuvent résulter de la fabrication de c-pentaBDE et de produits qui en contiennent ou de la mise au rebut de tels produits. Peu d'informations ont été publiées au sujet des émissions auxquelles ils donnent lieu.

Déchets résultant de la production de c-pentaBDE

Dans cette catégorie, les principales sources d'émissions sont, selon les fabricants de c-pentaBDE, sont les résidus de filtration et les matériaux non conformes mis au rebut. Les eaux usées contenant des solutions de récurage peuvent également libérer du pentaBDE (RPA, 2000). Selon l'étude réalisée par la RPA en 2000, les déchets contenant du c-pentaBDE sont généralement mis en décharge. Aux Etats-Unis, on les jette dans des décharges autorisées à traiter

des déchets chimiques dangereux. Dans l'Union européenne, les déchets contenant plus de 0,25 % de pentaBDE sont classés et traités comme des produits dangereux. Les quantités de déchets issues de la production de c-pentaBDE sont considérées comme négligeables.

Déchets engendrés par les processus de fabrication de produits contenant du c-pentaBDE

Les substances ignifuges perdues durant ces processus se trouvent dans les déchets de mousse. Ceux-ci sont souvent recyclés en thibaudes de tapis (agglomérés), surtout aux Etats-Unis (l'UE exporte environ 40 000 tonnes/an de déchets de mousse vers les Etats-Unis pour cet usage (RPA 2000)). D'autres utilisations ont été signalées, notamment comme matériau de rembourrage, après déchiquetage (par exemple, dans les sièges de voiture, incorporés à un polyol vierge pour la fabrication de feuilles de mousse). Dans de nombreux pays, les déchets de mousse sont mis en décharge ou incinérés.

Lors de la fabrication de cartes de circuit imprimé, notamment celles destinées à des appareils électriques et électroniques, une partie appréciable du stratifié finit comme déchet solide, sous forme de chutes. La plupart des pays producteurs n'utilisent plus de c-pentaBDE dans les circuits imprimés. Ces déchets solides, tout comme ceux issus de la production de matériaux de construction, de textiles et de meubles, aboutissent dans des décharges ou sont incinérés.

Déchets constitués de produits contenant du c-pentaBDE

Dans l'Union européenne, les déchets contenant du pentaBDE sont soumis à la réglementation relative aux plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés. Depuis décembre 2006, ces plastiques doivent être retirés des déchets d'appareils électriques et électroniques qui en comportent, puis recyclés. Après séparation des parties métalliques, les éléments en plastique sont éliminés ou brûlés dans des incinérateurs municipaux mais des technologies permettant de séparer les plastiques contenant du brome de ceux qui en sont exempts commencent à apparaître, facilitant la gestion des déchets et le recyclage éventuel.

Les carcasses de véhicules sont stockées en plein air puis détruites dans des installations de broyage. Dans certains pays, la réglementation impose, préalablement au broyage, la séparation des pièces contenant des substances dangereuses. Cette mesure s'applique aux petites pièces facilement démontables et non aux composants plastiques et textiles, dont les agents ignifugeants se retrouvent alors dans la fraction des déchets de broyage mis en décharge ou parfois incinérés. D'autres produits contenant du c-pentaBDE sont également mis en décharge ou incinérés à la fin de leur vie utile.

Rejets produits par les décharges et à l'incinération

Les déchets de polymères (mousse) mis en décharge peuvent laisser échapper, par lessivage, des particules contenant du c-pentaBDE qui peuvent contaminer le sol ou les eaux superficielles ou souterraines. Cependant, il est pour le moment impossible d'évaluer l'importance de ce processus. La quantité de pentaBDE mise en décharge ou incinérée dans l'Union européenne est estimée à 1 036 tonnes par an (RPA, 2000) mais, étant donné les propriétés physico-chimiques de cette substance (faible solubilité dans l'eau, coefficient de partition octanol/eau élevé), il a été jugé très peu probable que des quantités importantes puissent s'échapper des décharges par lessivage car elle serait plutôt susceptible de s'adsorber fortement sur les sols (RPA, 2000). Toutefois, des études préliminaires menées en Norvège ont mis en évidence des concentrations de pentaBDE jugées préoccupantes dans les eaux d'infiltration provenant de certaines décharges (Fjeld *et al.*, 2003 et 2004).

Les températures auxquelles fonctionnent les incinérateurs de déchets municipaux détruisent la quasi-totalité des agents d'ignifugation. Cependant, il a été observé, comme pour d'autres composés organiques, que des quantités à l'état de trace pouvaient franchir la chambre de combustion (Agence danoise pour la protection de l'environnement, 1999). Des études portant sur des incinérateurs de déchets municipaux ont permis de détecter dans les fractions gazeuse et particulaire de l'air aux alentours des sites des concentrations de pentaBDE supérieures aux concentrations ambiantes de cette substance (Agrell *et al.*, 2004; Law 2005, ter Shure *et al.*, 2004).

L'incinération d'articles contenant du c-pentaBDE peut produire des substances potentiellement toxiques telles que des dibenzo-p-dioxines et des dibenzofuranes bromés (Agence danoise pour la protection de l'environnement, 1999), tout comme la combustion de déchets contenant des matières chlorées peut libérer des analogues chlorés. Si les technologies que les incinérateurs modernes et convenablement exploités utilisent pour gérer les émissions de dioxines et dibenzofuranes chlorés sont jugées adéquates pour lutter contre les émissions de composés bromés et de composés mixtes contenant à la fois du brome et du chlore (OCDE, 2001), l'incinération à ciel ouvert ou par d'autres procédés de matières contenant du c-pentaBDE risque, elle, de conduire à des rejets de ces substances (UE, 2000).

2.7 Emissions résultant des activités de recyclage et de démontage

Installations de recyclage des déchets électriques et électroniques

Les installations de recyclage des déchets électriques et électroniques permettent généralement de récupérer le métal et, dans certains cas, les pièces en plastique, mais jamais les mousses de polyuréthane, qui finissent comme déchet et sont parfois incinérées pour la production d'énergie.

Les analyses de cartes de circuit imprimé FR2 extraites de déchets de matériel électrique montrent qu'environ 35 % des PBDE qu'elles renferment sont des composants du c-pentaBDE. On a estimé, sur la base des informations commerciales disponibles, que 25 % des stratifiés FR2 utilisés dans les vieux appareils ont été traités avec ce mélange (Agence suisse, 2002).

Prevedouros *et al*. (2004) ont, à partir des données fournies dans les publications, calculé la production, la consommation et les émissions atmosphériques de pentaBDE des pays d'Europe entre 1970 et 2000. Selon cette étude, le flux de pentaBDE imputable aux appareils électriques et électroniques mis au rebut a oscillé entre 17 et 60 tonnes par an au cours de la période 2000-2005. Une étude expérimentale suisse sur les flux de substances dans une installation de recyclage moderne a fait état d'un flux de pentaBDE bien plus important que ce que les ouvrages publiés laissaient prévoir. Elle a révélé que la majorité des producteurs et importateurs manquent d'informations sur la composition exacte des produits qu'ils commercialisent (Agence suisse, 2002).

Morf *et al*. (2005) ont estimé la concentration moyenne de pentaBDE dans les appareils électriques et électroniques à 34 mg/kg. La valeur la plus élevée a été relevée dans la fraction plastique (125 mg/kg). Tout procédé de recyclage de ces appareils qui n'est pas assorti d'un dispositif antipollution atmosphérique efficace analogue à celui utilisé dans l'installation moderne ayant fait l'objet de l'étude expérimentale peut conduire à la libération dans l'environnement de quantités appréciables de pentaBDE véhiculées par les poussières. Dans les usines qui filtrent les effluents gazeux, une grande partie du pentaBDE (environ 65 %) est retenue (Morf *et al*. 2005).

Des études sur les conditions de travail dans les installations de recyclage ont montré la présence de pentaBDE dans l'air à l'intérieur de ces dernières et fait ressortir la possibilité qu'elles propagent cette substance sous forme d'émissions diffuses. Les auteurs d'une analyse nationale des flux de substances effectuée en Suisse sur la totalité du cycle de vie des penta-, octa- et décaBDE ainsi que du tétrabromobisphénol-A (TBBPA), ont conclu que les équipements électriques et électroniques dégageaient plus de retardateurs de flamme bromés que les autres déchets tels que les résidus de broyage d'automobiles ou les déchets de construction (Agence suisse, 2002).

Démantèlement de véhicules

Dans une analyse des flux de retardateurs de flamme bromés menée en Suisse, les concentrations de pentaBDE dans les plastiques ont été estimées à 0,044 g/kg pour les véhicules routiers produits en 1998 et à 0,089 g/kg pour ceux produits en 1980. Ces concentrations représentent les quantités de c-pentaBDE rapportées au poids total des éléments en plastique, composants électriques et électroniques non inclus. Jusqu'à la fin des années 1980, les résines de polyester insaturé étaient toutes traitées avec des substances ignifugeantes bromées, principalement du décaBDE mais également du c-pentaBDE et du tétrabromobisphénol-A.

La première étape du recyclage des véhicules est le déchiquetage, une opération durant laquelle les métaux sont séparés des autres matériaux en vue de leur récupération. Les pièces en plastique aboutissent généralement dans ce qu'on appelle la fraction légère des résidus. On peut supposer que les émissions diffuses se produisent dans des conditions analogues à celles qui sont observées dans les installations de recyclage d'appareils électriques et électroniques.

Démolition de bâtiments et autres ouvrages

En Suisse, 5 % des mousses isolantes de polyuréthane produites en 1990 ont été utilisées dans l'industrie du bâtiment. Ces mousses contenaient 220 g de c-pentaBDE par kg (Agence suisse, 2000).

Il semble y avoir lieu de penser que le c-pentaBDE est également utilisé dans les bâches en PVC. Dans l'analyse des flux de substances effectuée en Suisse, il a été présumé que 5 % des ouvrages construits en 1990 qui faisaient appel à de telles bâches contenaient du c-pentaBDE à raison de 49 g/kg de bâche. On peut supposer que les activités de démolition conduisent à des rejets de poussières transportant du pentaBDE. Il n'y a guère d'informations permettant de quantifier ces émissions.

3. Synthèse des informations concernant l'évaluation de la gestion des risques

3.1 Mesures de réglementation possibles

Plusieurs mesures permettant de réduire l'emploi de c-pentaBDE et/ou d'en atténuer l'impact sur l'environnement sont envisageables mais beaucoup d'entre elles sortent du cadre de la Convention de Stockholm. Cela inclut les engagements volontaires de la part de l'industrie, les programmes d'éco-étiquetage, les instruments économiques et les systèmes de consignation.

L'interdiction ou la réglementation de la production et de l'utilisation de c-pentaBDE ou de certains de ses principaux éléments constitutifs devrait se révéler efficace si elle est appliquée comme il faut. Certains pays ont déjà pris de telles mesures. Par ailleurs, la mise en place de normes visant à limiter la teneur en BDE des produits aurait des effets considérables (RPA, 2000). On pourrait s'en servir pour faire en sorte que le traitement des déchets ne nuise pas à l'environnement. La meilleure façon de gérer les risques serait d'interdire au niveau mondial la production et l'utilisation de c-pentaBDE en inscrivant ses composants dans la Convention de Stockholm. Comme il existe des solutions de rechange appropriées et écologiquement moins dangereuses pour toutes ses applications, l'interdiction pourrait couvrir tous les secteurs. Cela permettrait d'éliminer les rejets de BDE résultant de la fabrication de ce mélange et de son emploi dans de nouveaux produits. Il importe de noter qu'une simple interdiction n'aurait pas d'incidence sur les émissions engendrées par les produits déjà en circulation. Un pays a fait savoir qu'une dérogation serait nécessaire pour l'utilisation de c-pentaBDE dans les avions militaires car les solutions de remplacement ne répondent pas aux impératifs de sécurité incendie.

Au niveau des installations de production et de celles de traitement des déchets, on dispose de diverses mesures visant à sécuriser l'environnement de travail, instaurer de bonnes pratiques en matière de fabrication, mettre en place des contrôles aux points de rejet pour réduire les émissions dans l'environnement, réglementer le traitement des produits à éliminer en tant que déchets, etc. On pourrait les appliquer sur les sites de production de c-pentaBE, dans les usines qui manufacturent des produits faisant appel à ce dernier et dans les installations de traitement des déchets. Conçues et exécutées correctement, elles pourraient constituer un moyen efficace de limiter les rejets provenant de ces sources.

Efficacité des éventuelles mesures de réglementation

Lors du choix des mesures de réglementation à prendre pour les productions et utilisations résiduelles de c-pentaBDE, il faut tenir compte du fait que la plupart des pays développés ont cessé d'en fabriquer mais qu'il est encore nécessaire de protéger la santé humaine et l'environnement contre la pollution par les éléments qui le composent. Les mesures supplémentaires de réduction des risques devraient être évaluées par rapport aux critères suivants (RPA, 2000):

- *Efficacité*: la mesure doit porter sur les principaux effets néfastes et voies d'exposition identifiés par l'évaluation des risques. Elle doit pouvoir réduire les risques visés dans un délai raisonnable.
- *Faisabilité*: la mesure doit être applicable en pratique, exécutoire et aussi facile que possible à gérer. La priorité devrait être donnée aux dispositions couramment utilisées qu'il est possible d'appliquer dans l'infrastructure existante.
- *Impact économique*: l'incidence de la mesure sur les producteurs, entreprises de transformation, utilisateurs et autres parties concernées doit être la plus faible possible.
- *Possibilité de suivi*: un suivi doit être possible pour pouvoir évaluer l'efficacité de la mesure sur le plan de la réduction des risques.

Traitement des déchets

Une interdiction de la production et de l'utilisation de c-pentaBDE n'aurait en soi aucune incidence sur les émissions de composants préoccupants produites lors du traitement des déchets, lequel peut poser des problèmes techniques ou juridiques. Cependant, l'inclusion d'un de ces composants dans la Convention de Stockholm impliquerait une interdiction du recyclage et de la réutilisation des stocks existants de c-pentaBDE. L'article 6 de la Convention fait obligation de traiter les déchets et les stocks de façon sûre, efficace et écologiquement rationnelle, de manière à ce que les polluants qu'ils contiennent soient détruits ou irréversiblement transformés, compte tenu des règles, normes et directives internationales. Cette disposition interdit également les opérations d'élimination susceptibles d'aboutir à la récupération, au recyclage, à la régénération, à la réutilisation directe ou à d'autres utilisations de polluants organiques persistants.

La séparation des articles contenant du c-pentaBDE de ceux qui n'en contiennent pas pourrait constituer une difficulté importante, étant donné que la plupart des produits ne portent pas d'étiquette identifiant leur composition. On dispose néanmoins d'informations sur les types d'articles qui en contenaient auparavant et ceux qui en contiennent actuellement comme, par exemple, le matériel électronique, les textiles, les matériaux d'isolation et les boîtiers. Les autorités nationales devraient réaliser des études pour obtenir plus de détails concernant la teneur en c-pentaBDE de différents articles à l'état de déchets. Sur le plan technique, la difficulté consisterait à faire le tri entre les éléments en

plastique sans brome et ceux qui en contiennent. De nouvelles technologies commencent à apparaître dans ce domaine. Elles facilitent la gestion des déchets et leur recyclage éventuel, mais leur coût demeure élevé.

L'adoption d'objectifs en matière d'abandon progressif de l'utilisation de produits contenant du c-pentaBDE et de collecte de ces derniers pourrait être envisagée, conformément aux dispositions des Annexes A et B de la Convention. Comme des quantités considérables de tels produits sont actuellement en circulation, les autorités nationales pourraient adopter des mesures supplémentaires pour limiter les rejets. Cela peut aller de la mise en place de points de collecte des produits usagés à des incitations et encouragements plus actifs à déposer les produits à l'état de déchets aux points de collecte. Un système de consignation semble peu indiqué puisqu'il serait interdit de vendre des produits neufs contenant du c-pentaBDE et que seuls ceux hérités du passé seraient en circulation, mais on pourrait payer les détenteurs de ces derniers pour qu'ils les déposent aux points de collecte, bien qu'il ne soit pas évident de trouver une source de financement pour une telle opération.

Dans les pays en développement, le traitement approprié des déchets de matériaux et d'articles contenant du c-pentaBDE pourrait constituer un défi important. Manquant d'expérience dans ce domaine, ces pays auraient besoin d'aide et d'informations pratiques ainsi que d'un appui financier pour réduire au minimum les effets de cette activité sur l'environnement. L'aide en question pourrait, par exemple, porter sur les méthodes de démantèlement des articles précités, le traitement de leurs différentes parties et les méthodes de traitement écologiquement rationnel du c-pentaBDE final. En cas d'inscription dans la Convention de Stockholm, des directives sur le traitement approprié du c-pentaBDE et des articles qui en contiennent seraient élaborées au titre de la Convention de Bâle (article 6, paragraphe 2 de la Convention de Stockholm).

3.2 Informations sur les solutions de rechange (produits et procédés)

Suite au retrait du c-pentaBDE des principaux marchés, les fabricants se sont mis à chercher des solutions de rechange. Certaines grandes compagnies internationales, comme IKEA, l'ont déjà complètement abandonné. Un autre élément encourageant le développement de substituts est la mise en place par un grand nombre de gouvernements et de grandes entreprises de directives d'achat écologiques interdisant le recours au c-pentaBDE dans les produits électroniques.

Une enquête régionale effectuée aux Etats-Unis (Etat de Washington, 2006) a permis d'obtenir auprès de certaines entreprises des informations sur les produits de remplacement déjà en usage. Ils figurent dans le tableau 3.1 du document UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23. Les auteurs n'ont toutefois pas cherché à déterminer les effets que ceux-ci pourraient avoir sur la santé humaine ou l'environnement. Par exemple, l'hexabromocyclododécane, un substitut utilisé dans les peintures et les adhésifs, n'est pas une option recommandée. Ce composé suscite déjà des inquiétudes dans plusieurs pays et régions en raison de ses propriétés chimiques. Selon la RPA (2000), seuls le tétrabromobenzoate (TBBE) et les esters alkylphosphoriques chlorés, en particulier le tri(2-chloroisopropyl)phosphate (TCPP), constituent des substituts adéquats. Toutefois, depuis la publication de cette étude, il est possible que d'autres options aient été développées et commercialisées. Elles devraient également être envisagées. Etant donné la diversité des retardateurs de flamme disponibles, il serait bon d'étudier les procédés de fabrication et d'évaluer l'emploi des matières synthétiques afin d'identifier les produits les moins dangereux.

Solutions de remplacement du c-pentaBDE pour les mousses de polyuréthane

L'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA - Design for the Environment) a publié en septembre 2005 une évaluation des solutions de remplacement du c-pentaBDE pour le polyuréthane (EPA, 2005). Elle a également mis sur pied un partenariat pour l'ignifugation du mobilier rassemblant un large groupe de parties intéressées dans le but d'évaluer des produits chimiques de remplacement écologiquement plus sûrs et d'étudier d'autres technologies susceptibles d'améliorer la sécurité incendie dans le secteur de l'ameublement. Quelques gros producteurs américains de substances ignifugeantes ont identifié 14 formulations chimiques aptes à remplacer le c-pentaBDE dans la production à grande échelle de mousse souple de polyuréthane basse densité (tableau 3.2 du document UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23). Les substances sélectionnées peuvent être aisément adoptées car elles sont compatibles avec les procédés de fabrication existants et, donc, économiques. Outre ces 14 formulations, d'autres substances sont également utilisées comme retardateurs de flamme dans des mousses souples de polyuréthane haute densité et dans des mousses basse densité destinées à certains créneaux spécialisés du marché.

Trois des substances chimiques proposées par divers rapports parmi les plus couramment utilisées pourraient être des solutions de remplacement plus sûrs pour l'environnement et plus viables à long terme. Il s'agit de la mélamine, du tri(1,3-dichloro-2-propyl)phosphate (TDCPP ou TCPP) et du polyphosphate d'ammonium (APP). Des retardateurs de flamme à base de mélamine sont actuellement employés dans des mousses souples de polyuréthane, des peintures intumescentes (qui gonflent sous l'effet de la chaleur et ralentissent ainsi la combustion), des polyamides et des polyuréthanes thermoplastiques. Dans les pays d'Europe, ils ont été efficacement utilisés dans les mousses souples de polyuréthane haute densité mais la teneur en mélamine du polyol doit être de 30 à 40 % en masse. Le TDCPP est un ester phosphorique chloré souvent employé dans les formulations de mousse de polyuréthane. Il s'utilise dans les mousses haute densité ainsi que dans les mousses basse densité lorsqu'une légère décoloration ne constitue pas un inconvénient majeur. L'APP, un additif retardateur de flamme, sert actuellement à ignifuger des mousses souples et

rigides de polyuréthane ainsi que des stratifiés intumescents, des résines de moulage, des mastics d'étanchéité et des colles. Toutefois, les fabricants de produits chimiques et les associations professionnelles de fabricants de mousse n'envisagent pas de l'adopter comme solution de remplacement du c-pentaBDE à l'échelle industrielle.

Solutions non chimiques de remplacement du c -pentaBDE pour les mousses de polyuréthane

L'Agence américaine pour la protection de l'environnement a également recensé des solutions de rechange non chimiques (EPA, 2005). A l'heure actuelle, trois techniques d'ignifugation du mobilier sont disponibles : la technologie des barrières, la mousse imprégnée de graphite et le traitement de surface. Ces deux dernières techniques ont des utilisations commerciales restreintes. La technologie des barrières s'emploie essentiellement dans la fabrication de matelas plutôt que dans le capitonnage des meubles mais peut avoir d'autres applications.

On notera par ailleurs que certains types de meubles ne nécessitent pas de matériaux de capitonnage ni même de tissu. La conception doit donc être prise en compte lorsqu'on évalue d'autres moyens d'ignifugation du mobilier.

Solutions de remplacement du c -pentaBDE pour les appareils électriques et électroniques

Plusieurs gros fabricants ont commencé à abandonner l'utilisation de PBDE à la mi-novembre 2005. Les producteurs s'attendent à des surcoûts par suite de l'interdiction, en vigueur dans l'Union européenne, d'utiliser des produits chimiques dangereux, dont le c-pentaBDE, dans les appareils électriques et électroniques. Au niveau mondial, 35 % des entreprises de ce secteur estiment que l'augmentation des prix de leurs produits ne dépassera pas 5 %, 23 % anticipent une hausse de 5 à 10 % et 6 % prévoient une majoration supérieure à 10 % (Environmental International Reporter, 2006). On peut mentionner comme exemples de procédés d'ignifugation utilisés actuellement : les cartes à circuit imprimé sans brome (Sony), les retardateurs de flamme à base de phosphore pour les cartes à circuit imprimé (Hitachi), les plastiques ignifugés (Toshiba), les matières non halogénées et les fils intérieurs basse tension (Panasonic/Matsushita) (Agence norvégienne, 2003). Selon Leisewitz *et al*. (2000), l'utilisation de borate de zinc, d'hydroxyde de magnésium ou de graphite extensible à la place des retardateurs de flamme bromés ne devrait pas poser de problèmes.

Solutions de remplacement du c-pentaBDE pour les textiles

Des ignifugeants de remplacement non bromés sont disponibles pour les textiles (tableau 3.3 du document UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23). Certains d'entre eux, comme le trioxyde d'antimoine et le borax, présentent des risques pour l'environnement. On peut également employer des matériaux durables difficilement inflammables comme la laine et les fibres de polyester. Plusieurs fabricants affirment qu'une interdiction de l'utilisation de c-pentaBDE dans les textiles réduirait la qualité et la durabilité des tissus.

3.3 Impacts de l'application des mesures de réglementation possibles sur la collectivité

Avantages de l'élimination du c-pentaBDE

Pour la société en général, l'avantage le plus évident d'un abandon du c-pentaBDE serait l'atténuation des risques pour la santé humaine et l'environnement concomitante à la réduction de la contamination de l'air, de l'eau et du sol ainsi que des lieux de travail par ceux des éléments constitutifs de ce mélange qui sont considérés comme des polluants organiques persistants (PNUE, 2006). Puisqu'il s'adsorbe sur les particules, le pentaBDE rejeté dans l'environnement aboutit en grande partie dans le sol et les sédiments. De là, il pénètre facilement dans la chaîne alimentaire et se bioaccumule dans les tissus adipeux des grands prédateurs, y compris l'homme. Il est largement répandu dans l'environnement, partout dans le monde. Des niveaux de concentration préoccupants ont été détectés chez plusieurs espèces menacées d'extinction.

La présence de pentaBDE dans les tissus humains a été constatée dans toutes les régions du monde (PNUE, 2006). Elle peut être due à l'alimentation, à l'utilisation de produits contenant du c-pentaBDE, ou à l'air et aux poussières rencontrés dans les bâtiments. Le pentaBDE se transmet de la mère à l'embryon ainsi qu'au nourrisson alimenté au sein. Le PNUE conclut dans son évaluation (2006) que le pentaBDE est susceptible d'avoir des effets néfastes importants sur la santé humaine et l'environnement, qui justifient l'adoption de mesures au niveau mondial (voir chapitre 1.2). La poursuite de son utilisation engendrera des coûts potentiellement élevés.

Les mesures de prévention des incendies sont essentielles pour la protection contre non seulement les pertes humaines, sociales et économiques mais aussi la dispersion de matières toxiques dans l'environnement que les feux peuvent causer. Une réduction des quantités de substances ignifugeantes utilisées ou le recours à des agents moins efficaces peut donc conduire à des pertes plus importantes en cas d'incendie. Toutefois, selon l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA, 2005), les substances de remplacement disponibles sont aussi efficaces que le c-pentaBDE. La plupart d'entre elles présentent, en soi, moins de risques écologiques que ce dernier et seules quelques-unes sont classées comme dangereuses pour l'environnement, quoique les informations que l'on possède soient incomplètes dans de nombreux cas. L'Agence danoise pour la protection de l'environnement (1999) a publié les critères à appliquer pour évaluer les substances candidates.

Il conviendrait d'évaluer les économies que l'abandon des substances telles que le c-pentaBDE permet à la société de réaliser, de par la réduction des dommages infligés aux écosystèmes et à la santé. Les dégâts environnementaux et sanitaires évités sont difficiles à quantifier. Plusieurs méthodes ont été proposées pour leur détermination. Le fait que le principe du pollueur payeur, qui prévoit leur internalisation par le producteur et/ou l'utilisateur, est rarement appliqué (du moins en l'absence d'appui réglementaire) explique pourquoi aucune estimation correcte de ces coûts n'existe.

Compte tenu de ce qui précède, il est fort probable qu'en ce qui concerne la santé humaine et l'environnement, le bilan net global de l'élimination du c-pentaBDE est positif.

Coûts de l'élimination du c-pentaBDE

D'après les informations disponibles, la fabrication de pentaBDE a déjà cessé ou est en train d'être abandonnée progressivement, que ce soit dans les pays développés ou dans les pays en développement.

Il faudra tenir compte des dépenses supplémentaires que les utilisateurs de c-pentaBDE devront faire pour le remplacer par d'autres retardateurs de flamme ou pour modifier la conception de leurs produits afin de rendre inutile le recours à de tels additifs. Comme chaque usine a sa propre chaîne de coûts, il est difficile de réaliser une évaluation globale précise. Quelques-uns parmi les fabricants devront éventuellement investir dans de nouveaux équipements de production mais pour la plupart, cela ne semble pas nécessaire puisqu'il existe des produits de substitution utilisables en échange standard. En général, le prix d'achat de ces produits est similaire, voire légèrement inférieur, à celui du c-pentaBDE. Certains d'entre eux doivent, certes, être incorporés dans les produits à des concentrations plus élevées, ce qui peut accroître les coûts (RPA, 2000) mais si, comme mentionné dans les informations communiquées, l'utilisation de c-pentaBDE a cessé aussi bien dans les pays développés que dans les pays en développement, c'est que la différence ne doit pas être importante. L'évolution de la demande par suite des interdictions en vigueur dans d'autres régions et de l'abandon progressif du c-pentaBDE nécessitera des ajustements comparables à ceux décrits dans la section 2.3 pour le marché des équipements électriques et électroniques.

L'inscription du c-pentaBDE ou de ses constituants dans la Convention de Stockholm obligerait les Parties, comme prévu par la Convention, à mettre en place des mesures ou des directives portant sur le traitement des déchets qui en contiennent. Cela entraînera des surcoûts pour les pays aussi bien développés qu'en développement dont les pratiques en la matière ne sont pas encore adaptées. Outre l'adoption de techniques de confinement et de dispositions spéciales relatives à la manipulation de ces déchets, les mesures envisageables peuvent s'étendre à la modernisation des usines de traitement. On ne possède aucune information concernant les dépenses encourues par les pays qui ont instauré de telles mesures. On manque en outre d'estimations fiables des coûts associés à l'abandon du c-pentaBDE mais la plupart des études disent qu'ils sont « peu importants », ce que corrobore le fait que dans les pays développés, la plupart des utilisateurs semblent avoir sauté le pas sans rencontrer de difficultés majeures.

Les surcoûts pouvant résulter de l'utilisation de substances de remplacement devraient également être pris en compte. La réduction des quantités d'ignifugeants utilisées, de même que l'emploi d'agents moins efficaces, peut en effet conduire à un accroissement de la fréquence des incendies et à des pertes sur le plan social et économique bien que, selon l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA, 2005), les substituts disponibles soient aussi efficaces que le c-pentaBDE. On peut débattre de la question de savoir si les coûts occasionnés aux *producteurs* de c-pentaBDE par la reconversion de leur entreprise à la fabrication d'autres substances doivent ou non être inclus dans une analyse coûts-avantages. On peut en effet les considérer comme faisant partie d'une restructuration ordinaire des activités due à une modification de la demande. Aucune évaluation de ce genre de coûts n'a été publiée à ce jour. Ils ne doivent cependant pas être très élevés, à en croire la migration d'une grande majorité de ces fabricants vers la production d'autres substances et la hausse de la demande de produits de substitution consécutive à l'abandon du c-pentaBDE dans les régions qui constituaient les principaux marchés de ce dernier.

De même, l'évaluation devrait inclure les dépenses encourues par les gouvernements pour assurer la mise en place, l'application et le respect des mesures de réglementation (notamment en matière de gestion des déchets). Le Canada a rassemblé des données de ce type (Environnement Canada, 2006). Les coûts totaux devraient être faibles dans les pays développés qui disposent déjà de systèmes de surveillance et de contrôle mais risquent d'être élevés pour les pays en développement qui n'en ont pas. Cependant, comme la mise en œuvre de la Convention de Stockholm exige l'instauration de tels systèmes, les surcoûts résultant de l'inscription du c-pentaBDE devraient être moindres.

Par ailleurs, il se peut que la collectivité ait à assumer certains coûts particuliers liés au retrait du marché de produits comme le c-pentaBDE et au traitement des déchets et sites contaminés. Le principe du pollueur payeur[1] peut être invoqué mais l'est rarement car des problèmes d'attribution des responsabilités pour les rejets passés, comme ceux

[1] Préambule de la Convention de Stockholm: « Réaffirmant le Principe 16 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, aux termes duquel les autorités nationales devraient s'efforcer de promouvoir l'internalisation des coûts de protection de l'environnement et l'utilisation d'instruments économiques, en vertu du principe selon lequel c'est le pollueur qui doit, en principe, assumer le coût de la pollution, dans le souci de l'intérêt public et sans fausser le jeu du commerce international et de l'investissement. »

que poseront probablement les quantités de pentaBDE présentes dans l'environnement, se font souvent jour par suite du fait que dans de nombreux cas, le « pollueur » initial n'est pas connu ou a cessé ses activités. Il constitue néanmoins une démarche envisageable, mais seulement dans les cas où il est possible d'identifier le pollueur initial et où la réglementation de la Partie concernée autorise une telle mesure.

Comparaison des coûts et des avantages

Vu les conclusions du descriptif des risques posés par le c-pentaBDE (PNUE, 2006), l'omniprésence de ce composé dans le biote et chez les humains, les mesures prises ou envisagées par les pays en développement et développés pour s'en débarrasser progressivement et l'accroissement de la demande de solutions capables de le remplacer, il est très probable que l'effet global de son élimination progressive au niveau mondial sera positif. Comme expliqué plus haut, les coûts d'une telle élimination devraient, dans l'ensemble, être peu importants pour ce qui concerne les pays développés. Par contre, la gestion et l'élimination spéciales des déchets (stocks et articles) contenant du c-pentaBDE peut s'avérer coûteuse pour certains pays. Il conviendrait donc d'envisager, le cas échéant, la fourniture d'une assistance financière et technique aux pays en développement qui pourraient en avoir besoin.

4. Synthèse des informations

4.1 Résumé de l'évaluation

Le pentabromodiphenyléther commercial (c-pentaBDE) s'emploie principalement dans des produits en mousse souple de polyuréthane pour la fabrication ou le capitonnage de meubles, d'éléments de l'aménagement intérieur des voitures et d'emballages, ainsi que, plus rarement, dans le polyuréthane non expansé servant à fabriquer des boîtiers et revêtements de composants et appareils électriques et électroniques. L'industrie textile et d'autres secteurs l'utilisent également dans une certaine mesure pour des applications spécialisées. Les risques qu'il présente pour la santé humaine et l'environnement ont été exposés, conformément aux prescriptions de l'Annexe E, dans le descriptif des risques adopté en novembre 2006 par le Comité d'étude des polluants organiques persistants.

Des normes nationales et internationales de sécurité incendie ont été établies pour certains groupes de produits, notamment ceux des équipements électriques, emballages industriels, meubles rembourrés, rideaux, appareils électroniques ménagers et câbles électriques. Ces normes prescrivent les propriétés ignifuges requises. Les retardateurs de flamme bromés étaient par le passé considérés comme les moyens les plus économiques d'ignifuger de nombreux types de produits mais maintenant, on les remplace dans certains cas par des substances non bromées ou on modifie la conception du produit de façon à rendre superflue l'utilisation d'un ignifugeant chimique.

Il existe, semble-t-il, des substances de remplacement appropriées pour presque toutes les utilisations du c-pentaBDE. Toutefois, certaines de ces substances sont également dangereuses ou ont des effets mal connus. On peut néanmoins supposer que le retrait du c-pentaBDE de la circulation sera bénéfique. Les coûts de son élimination progressive sont généralement perçus comme « peu importants », vu que la plupart des pays développés ont cessé de l'utiliser sans rencontrer de grandes difficultés. Des ignifugeants qui ne font pas partie des polluants organiques persistants sont disponibles sur le marché à des prix concurrentiels et ont été adoptés par certaines entreprises pour remplacer le c-pentaBDE dans la mousse de polyuréthane et les équipements électroniques.

4.2 Eléments d'une stratégie de gestion des risques

Comme la dissémination du pentaBDE dans l'environnement est un problème mondial et transfrontière, il conviendrait d'envisager des mesures au niveau mondial pour se débarrasser progressivement de ce composé. Puisque la plupart des pays développés ont déjà interdit sa production, le meilleur moyen de gérer les risques qu'il présente serait d'interdire au niveau mondial sa fabrication et son utilisation dans tous les secteurs en l'inscrivant à l'Annexe A de la Convention de Stockholm. Certaines applications spéciales (aviation militaire, combinaisons spatiales, etc.) pour lesquelles les substituts ne sont pas assez efficaces ou trop coûteux pourraient bénéficier d'une dérogation pendant une période transitoire. Les pays développés disposent déjà de toutes les capacités de surveillance et de contrôle ainsi que des instruments législatifs nécessaires pour faire respecter une telle interdiction. Le principal défi serait donc l'acquisition de telles capacités par les pays en développement.

Plusieurs pays ont fait savoir que la réglementation de mélanges commerciaux de BDE non spécifiés leur poserait des problèmes. En revanche, l'inscription des constituants individuels du c-pentaBDE serait conforme aux lois en vigueur dans plusieurs pays et faciliterait la surveillance ainsi que le contrôle des émissions, de la production et de l'utilisation au niveau national. De plus, il est toujours possible que l'on découvre des circuits commerciaux pour l'un ou l'autre composant du mélange, qui échapperaient à l'interdiction frappant ce dernier. La plupart des réglementations nationales concernent des composés spécifiques. Pour des raisons pratiques, l'inscription des principaux constituants du c-pentaBDE, tels que le BDE-47 et le BDE-99, ou de tous les BDE à 4 ou 5 atomes de brome est donc préférable à celle du mélange commercial. Cela permet de soumettre tous les mélanges contenant un diphényléther tétra- ou pentabromé aux conditions énoncées dans la Convention, sauf si l'isomère en question est à

l'état de trace. La Convention pourrait abaisser les seuils applicables à ces substances de façon à ce que les mélanges contenant des concentrations inférieures à ces niveaux (à l'état de traces, par exemple) ne soient pas touchés.

Il est préférable de procéder à une inscription par degré de bromation plutôt que par substance en prévision notamment d'une reprise éventuelle de la production de mélanges de diphényléthers faiblement bromés (à l'exception du pentaBDE), qui a été volontairement abandonnée par l'industrie. A titre d'exemple, le mélange commercial appelé « tétrabromodiphényléther » autrefois utilisé au Japon ne serait pas touché par l'interdiction frappant le c-pentaBDE si un fabricant décidait de le produire, alors que l'inscription de congénères spécifiques couvrirait son cas.

Pour l'heure, l'inscription envisagée des retardateurs de flamme bromés contenant 4 ou 5 atomes de brome n'aurait aucune conséquence pour le c-octaBDE et le c-décaBDE, qui n'en contiennent pas (Guardia *et al.*, 2006 et UE, 2002).

Le c-pentaBDE renferme jusqu'à 12 % d'hexaBDE. Le Comité examine actuellement un descriptif global des risques posés par le c-octaBDE, qui contient également des quantités appréciables de ce composé. Si celui-ci est considéré comme un polluant organique persistant, l'une des options possibles serait, pour ce qui est du c-pentaBDE, l'inscription des retardateurs de flamme comportant 4 à 6 atomes de brome, mais ceci aurait également des conséquences pour le c-octaBDE, qui n'a pas encore fait l'objet d'une évaluation de la gestion des risques par le Comité d'étude des polluants organiques persistants.

La fourniture d'orientations sur les critères de sélection des solutions de remplacement devrait faire partie de la stratégie de gestion des risques axée sur l'élimination du c-pentaBDE. Il faut en effet éviter que celui-ci soit remplacé par d'autres substances néfastes pour l'environnement.

Une interdiction permettrait de mettre fin aux émissions liées à la fabrication de c-pentaBDE et de produits qui en contiennent. Elle n'affecterait pas les rejets de cette substance émanant de produits déjà en circulation. Le recyclage et la réutilisation de produits contenant du c-pentaBDE seraient interdits s'ils se traduisent par un nouvel emploi des éléments tétra- ou pentabromés du mélange dans de nouveaux produits, une telle réincorporation étant interdite en vertu de l'article 6 de la Convention. Le recyclage et la récupération ne seraient autorisés que si les produits résultants ne contiennent aucun de ces isomères. Il se peut que des règles supplémentaires doivent être adoptées concernant les rejets non intentionnels de composants du c-pentaBDE dans l'environnement lors du traitement de produits en vue de la récupération des matériaux de valeur (comme, par exemple, les métaux) qu'ils contiennent. Ces dispositions complémentaires pourraient être particulièrement importantes pour le recyclage des appareils électroniques contenant du c-pentaBDE de même que pour les installations de déchiquetage de tels articles ou d'autres produits comme, par exemple, les voitures. Il est possible d'extraire certains éléments contenus dans les déchets mais pour la plupart des appareils électriques et électroniques, cette opération est peu pratique. Il pourrait donc être nécessaire d'imposer dans les nouvelles réglementations l'installation de dispositifs antipollution atmosphérique dans certains incinérateurs et usines, ce qui risque d'être coûteux pour ces entreprises. Cependant, la plupart des pays développés ont déjà mis en place d'autres restrictions telles que le filtrage des effluents gazeux des installations de recyclage et de déchiquetage.

Il a été envisagé d'inscrire les diphényléthers tétra- et pentabromés à l'Annexe B et de fixer des objectifs pour l'arrêt progressif de l'utilisation de produits spécifiques existants contenant du c-pentaBDE mais la collecte de ces produits représente une lourde tâche et la complexité probable de tels programmes ne milite pas en faveur de cette recommandation. On pourrait cependant ajouter un paragraphe sur les efforts entrepris à cet effet par les pays qui ont mis en place un système de gestion. Les règles générales relatives au traitement des déchets énoncées dans la Convention de Stockholm s'appliqueront évidemment au c-pentaBDE une fois que les diphényléthers tétra- et pentabromés y auront été inscrits.

Les fractions de déchets contenant du c-pentaBDE devraient être traitées comme dangereuses. Elles le sont déjà dans de nombreux pays de la région de la CEE-ONU. Cette mesure pourrait entraîner des surcoûts pour certains pays et secteurs. Les solutions envisagées pour le traitement des déchets devraient donc, dans une large mesure, dépendre des conditions locales et être adaptées aux systèmes et traditions existants, tout en respectant les règles générales de la Convention de Stockholm de même que la directive générale relative au traitement des déchets énoncée dans la Convention de Bâle, qui comprend à l'Annexe VIII des substances comme les polychlorobiphényles (PCB), les polybromobiphényles (PBB) et « autres analogues polybromés ».

Conclusion générale

La présente évaluation de la gestion des risques a été établie conformément aux prescriptions de l'Annexe F de la Convention et est basée sur le descriptif des risques adopté en 2006 par le Comité d'étude des polluants organiques persistants (PNUE 2006).

Les informations disponibles sur le c-pentaBDE comprennent des résultats d'études en laboratoire effectuées sur des mélanges commerciaux ou des congénères spécifiques et des données de surveillance sur diverses combinaisons de congénères. En plus des informations figurant dans le descriptif des risques, la littérature scientifique contient un nombre appréciable d'études de la toxicité générale de cette famille de produits chimiques.

Les informations dont on dispose actuellement couvrent certains congénères du tétra- et du pentaBDE et semblent correspondre à une évaluation générale (par exemple, Canton et al., 2006; Huwe et al., 2007) puisque les propriétés qui définissent les caractéristiques de polluant organique persistant et les risques associés sont similaires pour les congénères étudiés. Par conséquent, étant donné que :

- Les législateurs nationaux ont fait état de difficultés au plan de la réglementation des mélanges commerciaux et de l'application des règlements;
- Certaines études portent sur toutes les substances présentes dans le mélange;
- Les données de surveillance et les études de la bioaccumulation ont montré la présence de pentaBDE inconnus (par exemple, Bureau et al., 2006);
- On ne dispose d'aucune information indiquant l'existence, au sein de cette famille de produits chimiques, de congénères qui ne présentent pas les mêmes caractéristiques de polluant organique persistant que les congénères ou mélanges sur lesquels on possède des informations;
- Le descriptif des risques indique qu'on ne peut pas exclure la possibilité que les autres constituants du mélange présentent également des risques et que l'inscription des seuls BDE-47 et BDE-99 ne suffirait donc pas,

Le Comité est d'avis que le meilleur moyen de couvrir les substances chimiques mentionnées dans le descriptif des risques pour le pentaBDE du commerce est d'inscrire tous les diphényléthers tétra- et pentabromés. Il convient de noter que cette proposition se base sur un examen spécifique des caractéristiques de ce groupe particulier de substances et qu'il ne faudrait pas appliquer cette démarche de manière générale à d'autres familles de produits chimiques où de grandes différences ont été enregistrées dans les propriétés des homologues, congénères et isomères étroitement apparentés.

Conformément au paragraphe 9 de l'article 8 de la Convention, le Comité recommande à la Conférence des Parties d'envisager d'inscrire à l'Annexe A de la Convention le 2,2',4,4'-tétrabromodiphényléther (BDE-47, Nº CAS 40088-47-9), le 2,2',4,4',5-pentabromodiphényléther (BDE-99, Nº CAS 32534-81-9) et les autres tétra- et pentabromodiphényléthers présents dans le c-pentaBDE, en utilisant, aux fins d'application, le BDE-47 et le BDE-99 comme substances de référence, selon les indications ci-dessus.

Références

Agrell, C., A. F. H. ter Schure, J. Sveder, A. Bokenstrand, P. Larsson and B. N. Zegers (2004). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) at a solid waste incineration plant. I: atmospheric concentrations. Atmos. Environ. 38, 5139-5148.

Alaee, M., P. Arias, A. Sjødin and Å. Bergman (2003). An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of releases. Env. Inter. 29, 683-689.

Ballschmiter, K., A. Mennel and J. Buyten (1993). Long-chain Alkyl Polysiloxanes as Non-Polar Stationary Phases in Capillary Gas Chromatography, Fresenius' J. Anal. Chem. 346: 396-402.

Betts, K. (2006). PBDEs and PCBs in computers, cars, and homes. Environ. Sci. Technol. 40: 7452.

BSEF (2007). Annex F Questionnaire Responses Submitted by the Bromine Science and Environmenl Forum (BSEF).

BSEF (2001). Major brominated flame retardants volume estimates. Total market demand by region 2001. Bromine Science and Environment Forum 21 January 2001. www.bsef.com.

Burreau S, Zebühr Y, Broman D, Ishaq R. 2006. Biomagnification of PBDEs and PCBs in food webs from the Baltic Sea and the northern Atlantic Ocean. Sci Total Environ. 366:659-72.

Cantón RF, Sanderson JT, Nijmeijer S, Bergman A, Letcher RJ, van den Berg M. 2006. In vitro effects of brominated flame retardants and metabolites on CYP17 catalytic activity: a novel mechanism of action? Toxicol Appl Pharmacol. 216:274-81.

Danish EPA (1999). Brominated flame retardants. Substance flow analysis and assessment of alternatives. www2.mst.dk/udgiv/Publications/1999/87-7909-416-3/html/kap04_eng.htm

Daugherty, M.L. (1982). Chemical hazard information profile draft report: Melamine CAS No. 108-78-1. Office of Toxic Substances, US EAP.

Environment Canada (2006). Regulatory Impact Analysis Statement for proposed Polybrominated Diphenyl Ether Regulations. www.ec.gc.ca/CEPA/Registry/regulations/Detail/Reg.cfm?intReg=108.

Environmental International Reporter (2006). Electronics firms worldwide pledge to meet EU Directive banning use of some chemicals. Vol. 29, No 5.

European Union (2000). Risk Assessment of Diphenyl Ether, Pentabromo derivative (Pentabromodiphenyl ether). CAS Number: 32534-81-9, EINECS Number: 251-084-2. Final report of Augsut 2000, Commissioner of the European Communities. Rapporteur: United Kingdom.

European Union (2002). Risk Assessment. Report of bis(pentabromophenyl)ether. CAS Number: 1163-19-5, EINECS Number: 214-604-9. Final report. European Chemical Bureau. Volume 17. Appendix G.

Fjeld, E., M. Schlabach, J. A. Berge, T. Eggen, P. Snilsberg, G. Källberg, S. Rognerud, A. Borgen and H. Gundersen (2003). Screening of selected new organic contaminants - brominated flame retardants, chlorinated paraffins, bisphenol A and triclosan. SFT-report 4809/2004.

Fjeld, E., M. Schlabach, J. A. Berge, N. Green, T. Eggen, P. Snilsberg, C. Vogelsang, S. Rognerud, G. Kjellberg, E. K. Enge, C. A. Dye and H. Gundersen (2004). Screening of selected new organic contaminants 2004. Brominated flame retardants, alkylated substances, irganol, diuron, BHT and dicofol. SFT-report 927/2005.
Freedonia Group Inc. (2005): World flame retardants. R154-1365. http://www.mindbranch.com

Hale, R. C., M.J. La Guardia, E. Harvey and T.M. Mainor (2002). Potential role of fire retardant-treated polyurethane foam as a source of brominated diphenyl ethers to the US environment. Chemosphere 46: 729-735.

Hazrati, S. and S. Harrad (2006). Causes of Variability in Concentrations of Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Air. Environ. Sci. Technol. 40: 7584-7589.

Law, R.J., C. R. Allchin, J. de Boer, A. Covaci, D. Herzke, P. Lepom, S. Morris, J. Tronczynski and C. A. de Wit (2005). Levels and Trends of Brominated Flame Retardants in European and Greenland Environments. Chemosphere 64: 187 – 208.

Huwe J, Hakk H, Lorentzsen M. 2007. Bioavailability and mass balance studies of a commercial pentabromodiphenyl ether mixture in male Sprague-Dawley rats. Chemosphere. 66:259-66.

La Guardia, M.J., Hale R.C. and Harvey, E. (2006) Detailed Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Congener Composition of the widely used Penta-, Octa- and Deca-PBDE Technical Flame-Retardant Mixtures. Environ. Sci. Technol. 40(20) : 6247-6254.

Leisewitz, A., H. Kruse and E. Schramm (2000). German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Substituting Environmentally Relevant Flame Retardants: Assessment Fundamentals. Research report 204 08 642 or 207 44 542.

Morf, L.S., J. Tremp, R. Gloor, Y. Huber, M. Stengele and M. Zenegg (2005). Brominated flame retardants in waste electrical and electronic equipment: Substance flow in a recycling plant. Environ. Sci. Technol, 39, 8691-8699.

Norwegian EPA (2003). Bruken av bromerte flammehemmere i produkter. Materialstrømsanalyse. (The use of brominated flame retardants in products. A material flow analysis) TA-1947/2003. (In Norwegian only).

OECD (2001): Report on Incineration of Products Containing Brominated Flame Retardants. http://www.olis.oecd.org/olis/1997doc.nsf/LinkTo/env-epoc-wmp(97)4-REV3

Peltola, J. and Yla-Mononen, L. (2001). Pentabromodiphenyl ether as a global POP. TemaNord 2001, vol. 579. Copenhagen: Nordic Council of Ministres; ISBN 92-893-0690-4: 78 pp.

Prevedouros, K., K. C. Jones and A. J. Sweetman (2004). Estimation of the production, consumption, and atmospheric emissions of pentabrominated diphenyl ether in Europe between 1970 and 2000. Environ. Sci. Technol, 38, 3224-3231.

Prevedouros, K., Jones, K.C., and Sweetman, A.J. (2004). Estimation of the Production, Consumption and Atmospheric Emissions of Pentabrominated Diphenyl Ethers in Europe Between 1970 and 2000. Environ. Sci. Technol. 38: 3224-3231.
RPA (2000). Risk Reduction Strategy and Analysis of Advantages and Drawbacks for Pentabromodiphenyl Ether. Stage 4 Report. Risk & Policy Analysis Limited, London.
SAICM Overarching Policy Strategy 14d, Global Plan of Action Activity 54, 55 (2002). www.chem.unep.ch/saicm%20texts/SAICM%20documents.htm.

Shoeib, M., Harner, T., Ikonomou, M. and Kannan, K. (2004). Indoor and Outdoor Concentrations and Phase Partitioning of Perfluoroalkyl Sulfonamides and Polybrominated Diphenyl Ethers. Environ. Sci. Technol. 38: 1313-1320.

Stapleton, H.M., Dodder, N.G., Offenberg, J.H., Schantz, M.M. and Wise, S.A. 2005. Polybrominated Diphenyl Ethers in House Dust and Clothes Dryer Lint. Environ. Sci. Technol. 39: 925-931.

Swiss Agency (2002). Environmentally hazardous substances: Selected polybrominated flame retardants, PBDE and TBBPA – Substance flow analysis. Environmental series No. 338.

ter Schure, A.F.H., C. Agrell, A. Bokenstrand, J. Sveder, P. Larsson and B. N. Zegers (2004). Polybrominated diphenyl ethers at a solid waste incineration plant II: atmospheric deposition. Atmos. Environ. 38, 5149-5155.

TNO (2005). Study of the effectiveness of the UNECE Persistent organic pollutants protocol and cost of possible additional measures. Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the POP protocol. R 2005/194.

UNEP (2006). Risk profile: pentabromodiphenyl ether. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Persistent Organic Pollutants Review Committee, Second Meeting, Geneva 6-10 November, 2006. UNEP/POPS/POPRC.2/17, Addendum 1.

US EPA (2005). Future Flame Retardant Partnership: Environment Profiles of Chemical Flame-retardant Alternatives for Low Density Polyurethane Foam. Chemical Hazard Reviews, Vols. 1&2. www.epa.gov/dfe/pubs/flameret/ffr-alt.htm.

Van der Goon, D., M. van het Bolscher, A.J.H. Visschedijk and P.Y.J. Zandveld (2005). Study of the effectiveness of the UNECE persistent organic pollutants protocol and cost of possible additional measures. Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the POP protocol. TNO-report 2005/194.

Washington State (2006). Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Chemical Action Plan: Draft Final Plan, December 1, 2005.

Wilford, B.H., M. Shoeib, T. Harner, J. Zhu and Jones, K.C. (2005). Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Dust in Ottawa, Canada: Implications for Sources and Exposure. Environ. Sci. Technol. 39(18): 7027-7035.