

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

Dernière mise à jour : 03/08/2006

RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : jean-marc.brignon@ineris.fr

EXPERTS AYANT PARTICIPE A LA REDACTION

E. MARTINEZ, S. SUREAU

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| 1 Généralités | 4 |
| 1.1 Définition et caractéristiques principales | 4 |
| 1.2 Réglementations | 4 |
| 2 Production et utilisations | 5 |
| 2.1 Production et vente | 5 |
| 2.2 Utilisations | 7 |
| 2.3 Production accidentelle | 8 |
| 3 Rejets et présence dans l'environnement | 8 |
| 3.1 Comportement dans l'environnement | 8 |
| 3.2 Présence dans l'environnement | 8 |
| 3.3 Principales sources de rejet | 9 |
| 3.4 Rejets industriels | 9 |
| 3.5 Rejets liés à l'utilisation de produits | 10 |
| 4 POSSIBILITES DE REDUCTION des rejets | 10 |
| 4.1 Produits de substitution | 10 |
| 4.1.1 Produits électriques et électroniques | 10 |
| 4.1.2 Textile | 11 |
| 4.2 Réduction des émissions industrielles | 11 |
| 5 Aspects économiques | 11 |
| 5.1 Place de la substance dans l'économie française | 11 |
| 5.2 Impact économique des mesures de réduction | 12 |
| 6 Conclusions | 13 |
| 7 Références | 13 |
| 7.1 Entreprises, organismes et experts interrogés | 13 |

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

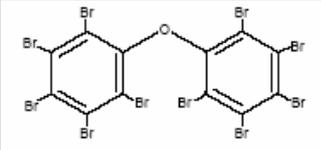
| | |
|------------------------------------|----|
| 7.2 Sites Internet consultés | 13 |
| 7.3 Bibliographie | 13 |

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

1 GENERALITES

1.1 Définition et caractéristiques principales

Tableau 1.1 : caractéristiques principales du décabromodiphényl ether

| Substance chimique | N° CAS | N° EINECS | Synonymes | Forme physique (*) |
|--|-----------|-----------|---|---|
| Décabromodiphényléther (DBDPE ou DeBDE) $C_{12}Br_{10}O$  | 1163-19-5 | 214-604-9 | Bis (pentabromophenyl) ether Oxyde de décabromodiphényle Oxyde de bis(pentabromophényle) | Poudre blanche ou blanchâtre. Point de fusion : Entre 300 et 310° C. |

(*) dans les conditions ambiantes habituelles

Le décabromodiphényléther (DeBDE) est un constituant de la famille des polybromodiphényléthers (PBDE) qui regroupe toutes les molécules possédant une structure identique d'oxyde de bisphényle mais dont le nombre d'atomes de brome substitués diffère ($n=1-10$) (Santé Canada, 2004). Les PBDE présents dans l'environnement sont essentiellement d'origine anthropique, et ils sont généralement synthétisés sous la forme de mélanges. Il existe trois principaux PBDE commercial : le pentabromodiphényléther commercial (qui contient principalement des PBDE à 4, 5, 6 atomes de Brome), l'octabromodiphényléther commercial (qui contient des PBDE à 7 et 8 atomes de brome) et le décabromodiphényléther commercial (qui contient des PBDE à 9 et 10 atomes de brome). En plus d'une structure identique, ces composés servent tous comme produits ignifuges dans une grande variété de produits de consommation. Ils sont également tous lipophiles avec une faible solubilité dans l'eau et une forte adsorption sur les particules.

1.2 Réglementations

La réglementation relative aux décabromodiphényléthers pourrait s'inscrire dans les réglementations relatives aux polybromodiphényléthers. Toutefois le décabromodiphényléther est considéré comme une exception. Ainsi, alors que la directive

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

RoHS¹, transcrite dans le droit français par l'arrêté du 25 novembre 2005, interdit la mise sur le marché, à partir du 1^{er} juillet 2006, d'équipements électriques et électroniques contenant des polybromodiphényléthers, le décabromodiphényléther est encore autorisé dans les applications polymérisées.

En revanche, la directive DEEE² s'applique au DeBDE. Elle oblige à séparer, des déchets d'équipements électriques et électroniques, les plastiques contenant des PBDE pour permettre un recyclage sans danger.

La directive cadre eau³, quant à elle, inscrit les diphényléthers bromés comme des substances prioritaires. Toutefois, seul le pentabromodiphényléther est considéré comme une substance dangereuse prioritaire devant faire l'objet d'une cessation d'émission en 2020. Les autres PBDE sont cités, mais aucune obligation contraignante ne leur est applicable par, semble-t-il, manque de connaissances.

Enfin, on peut noter que l'octa-BDE et le penta-BDE répondent aux quatre critères qui définissent un POP (toxicité, bioaccumulation, persistance, transport à distance). Le pentaBDE est d'ailleurs déjà considéré comme tel et l'octaBDE fait actuellement l'objet d'évaluations pour être intégré dans des accords internationaux sur les POPs tel que la convention de Stockholm en 2001. Le DeBDE n'est pour l'instant pas concerné par ces réglementations, car les résultats d'études concernant ses risques sont contradictoires (Hardy, M., 2005 ; Betts, K., 2004 ; Hites, R.A., et al. (2005)).

2 PRODUCTION ET UTILISATIONS

2.1 Production et vente

Les PBDE ne semblent plus produits en France et en Europe (ECB, 2002). ECB (2002) estime que la production mondiale de PBDE est de 40 000 tonnes/an, se décomposant comme suit : 30 000 tonnes/an (i.e. 75%) de DeBDE, 6000 tonnes/an (i.e. 15%) de ODBE et 4000 tonnes/année (i.e. 10%) de PeBDE (ECB, 2002). Le BSEF donne, quant à lui, les évolutions de la demande en PBDE :

¹ Directive 2002/95/CE : Restriction of the use of certain hazardous substances (RoHS) in electrical and electronic equipments

² Directive 2002/96/CE : directive sur les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

³ Directive 2000/60/CE et la décision 2455/2001/CE établissant la liste des substances prioritaires

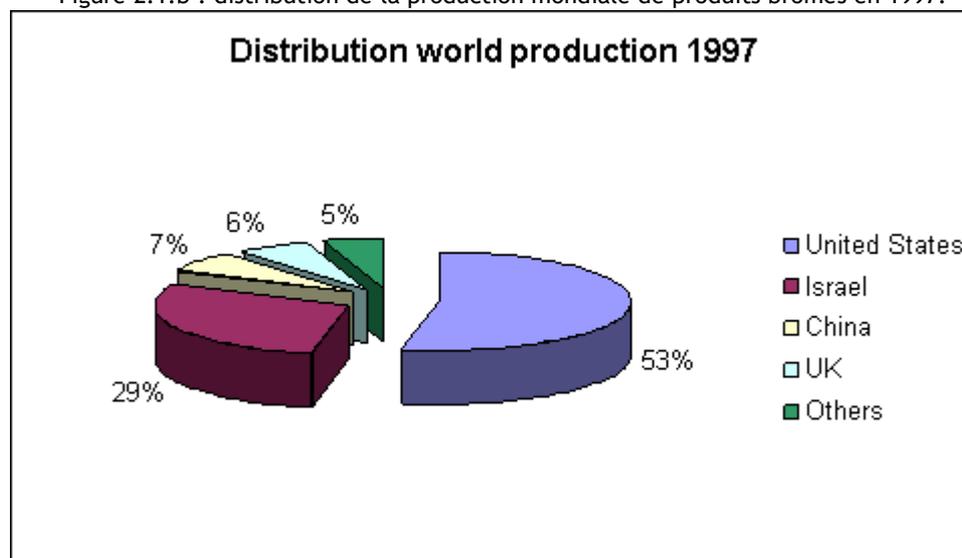
DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

Tableau 2.1 : Evolution de la demande en PBDE

| Année | 1999 | | | 2001 | | | 2002 | 2003 |
|-------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------------|--------|
| | Amérique | Europe | Monde | Amérique | Europe | Monde | Monde | Monde |
| DeBDE | 24 300 | 7 500 | 54 800 | 24 500 | 7 600 | 56 100 | 65 677 | 56 418 |
| OBDE | 1 375 | 450 | 3 825 | 1 500 | 610 | 3 790 | Pas de données | |
| PeBDE | 8 290 | 210 | 8 500 | 7 100 | 150 | 7 500 | | |

Ainsi, selon le BSEF, la production total de PBDE pourrait s'élever à plus de 65 000 t/an et le DeBDE représenterait plus de 80% de la production mondiale de PBDE. Au début des années 90, on estimait encore à 8 le nombre de producteurs de PBDE, dont un aux Pays-Bas, un en France, deux aux Etats-Unis, trois au Japon et un au Royaume-Uni (ECB, 2002) . Le même nombre de producteurs était rapporté par KEMI (1994), avec un producteur en plus en Israël. Selon le BSEF, en 1997, la distribution de production de produits bromés était la suivante :

Figure 2.1.b : distribution de la production mondiale de produits bromés en 1997.



En fait, cette production semble se répartir entre trois grands groupe : Albemarle, Chemtura (ancien Great Lakes) et ICL industrial Products, tous membres de Bromine science and environmental Forum. Aujourd'hui plus aucun site ne semble produire de PBDE en Europe. En revanche, il existe 3 importateurs de DeBDE dans l'union Européenne (ECB ; 2002).

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

2.2 Utilisations

Le DeBDE est le principal PBDE produit et utilisé à travers le monde. A la différence du PeBDE et de l'OBDE soumis à des restrictions, le DeBDE voit ses utilisations augmenter⁴. Ainsi, selon ECB (2002), entre 30 000 et 54 800 tonnes de DeBDE sont utilisées annuellement à travers le monde, ce qui correspond aux estimations faites par le BSEF, qui estime la demande de DeBDE, en 1999, à 54 800 tonnes. Le BSEF constate d'ailleurs une augmentation régulière de cette consommation. Elle est toutefois beaucoup plus forte en Amérique et en particulier aux Etats Unis qu'en Europe. Ainsi, l'ECB estime que la consommation de DeBDE est de 8 210 t/an en Europe, ce qui correspond à peu près à l'estimation de BSEF qui était de 7 600 t/an en 2001. En Amériques, la consommation de DeBDE est trois fois plus importante (BSEF,2001). Jusqu'à ce jour nous n'avons trouvé aucun chiffre de consommation de DeBDE en France.

Le decabromodiphenylether, est utilisé comme retardateur de flamme. Il est mélangé physiquement au matériau à ignifuger et en aucun cas il n'est combiné chimiquement à la molécule de ce matériau. Il est donc possible que le DeBDE puisse diffuser à travers le matériau pendant sa durée de vie. En outre, le DeBDE est soit utilisé par les fabricants de produits manufacturés devant faire l'objet d'une protection contre l'incendie, soit par des fabricants de matériaux ignifuges qui mixent le DeBDE à la matière pure.

Le DeBDE est mélangé soit à des polymères, soit à des textiles. Ainsi, selon l'ECB (2002), le DeBDE représente entre 10 et 15 % en poids du polymère avec lequel il est combiné, et il est toujours utilisé avec du trioxide d'antimoine. La principale utilisation du DeBDE est dans le polystyrène haute densité utilisé dans les télévisions. Il est également utilisé en grandes quantités dans les polymères des équipements électriques et électroniques. En Europe, on estime (ECB, 2002) que la consommation de DeBDE combiné à des polymères représente 85% de la consommation total de DeBDE.

Le reste du DeBDE consommé est utilisé dans les textiles ignifuges (moquettes, meubles, tapisseries) mais pas pour les vêtements. Ainsi, au Royaume Unis, 95% du matériel de rembourrage est ignifugé.

Cette consommation ne tient pas compte du DeBDE importé par l'intermédiaire des produits d'équipements électriques et électroniques produits en dehors de l'UE et vendus dans l'UE. Toutefois de nombreux produits d'équipements électriques et électroniques produits dans l'UE et comportant du DeBDE sont aussi exportés en dehors de l'UE. Dans ces conditions, il est difficile de connaître la quantité de DeBDE présent dans l'UE.

⁴ on peut également se reporter aux fiches sur le PeBDE et l'OBDE de Brignon, J.M., et al, 2005-2006

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

2.3 Production accidentelle

Le DeBDE étant, parmi les PBDE, le produit le plus substitué en brome, il ne peut pas être produit accidentellement lors de la dégradation des autres PBDE.

3 REJETS ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

3.1 Comportement dans l'environnement

Un certain nombre de composés bromés ayant une structure similaire au PBDE ont été trouvés au sein de certains organismes marins (ECB, 2002). Toutefois, la présence du DeBDE dans l'environnement est avant tout d'origine anthropique.

De par ses propriétés, le DeBDE est une molécule lipophile, très peu soluble dans l'eau et qui a une forte tendance à s'adsorber sur des particules. Dans ces conditions, le DeBDE présent dans l'atmosphère, se fixe essentiellement sur les particules en suspension. Il peut alors en théorie être dégradé par photolyse, mais seules les particules en contact direct avec la lumière pourront l'être. L'ECB, (2002) considère alors que le phénomène de photodégradation est négligeable. Les phénomènes de dégradation en milieu aérobie comme anaérobie sont également négligeables et l'hydrolyse en milieux aqueux est nulle. En outre, toutes les études citées par l'ECB (2002) montrent que le DeBDE, lorsqu'il se dégrade, se transforme majoritairement en d'autres PBDE, en particulier le OBDE.

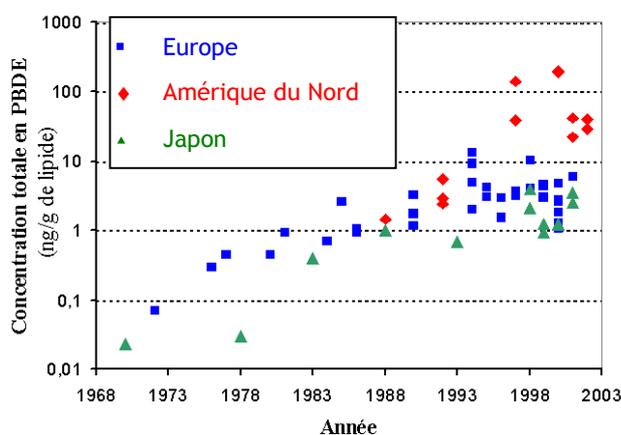
3.2 Présence dans l'environnement

Les retardateurs de flamme bromés ont été retrouvés dans de nombreux milieux où ils ne sont pas présents naturellement. On retrouve des PBDE dans de nombreuses rivières, des lacs et dans des sédiments de la plupart des estuaires, dont l'estuaire de l'Escaut aux Pays-Bas où le plus important taux de DeBDE a été relevé récemment avec une concentration de 1,65 µg/g de poids sec de sédiment (Verslycke T.A et al. ; 2005). L'ECB (2002) cite une étude ayant mesuré une concentration en DeBDE de 12,2 µg/kg dans des sédiments de la Seine.

Les PBDE ont été retrouvés dans un grand nombre d'organismes vivants, allant des organismes aquatiques jusqu'à l'homme. L'ECB cite de nombreuses études ayant mesuré des taux de DeBDE dans des organismes aquatiques. Par exemple, des concentrations allant jusqu'à 2,6 µg/kg ont été mesurées dans des filets de Hareng de la mer du Nord. Ces résultats montrent que les PBDE dans leur ensemble sont bioaccumulables. On constate également qu'ils sont présents en plus grande concentration aux Etats Unis qu'en Europe, comme le montre le graphique suivant :

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

Graphique 3.2 : Concentrations totales en PBDE dans le sang humain, le lait et les tissus (en ng/g de lipide) en fonction de l'année où l'échantillon a été prélevé (graphes d'après des données extraites de Hites, R. A. (2004) et Sjödin, A et al. (2003)).



3.3 Principales sources de rejet

Les sources d'émission et les voies d'absorption des PBDE ne sont pas encore totalement déterminées. Toutefois, la présence de PBDE en fortes concentrations près des industries permet de penser que l'émission des PBDE est due aux activités industrielles liées à la fabrication et à l'utilisation des retardateurs de flammes (industrie textiles et plastiques essentiellement). En outre, comme ils sont bioaccumulables et faiblement dégradables, on peut retrouver des traces de PBDE loin des zones industrielles. Cependant, les rejets industriels ne seraient pas la voie de contamination principale. La source principale d'émission de PBDE serait l'ensemble des appareils électriques et électroniques ainsi que tous les matériaux contenant des PBDE (Wilford, B.H et al., 2004).

3.4 Rejets industriels

Les rejets de PBDE provenant des activités industrielles peuvent être multiples. Ils proviennent soit des sites de fabrication de PBDE, soit surtout des sites où les PBDE rentrent dans la fabrication de produits textiles ou plastiques. Ainsi, de nombreuses études (Sellstrom et al, 1995 et 1998), ont montré la présence de PBDE dans les sédiments de rivières le long desquels étaient implantées des usines de fabrication de textiles ou de plastiques contenant des PBDE. On peut également retrouver la présence de PBDE dans les boues des stations d'épurations, dans les lixiviats de décharges ou encore dans les usines de désassemblage d'appareils électriques (ECB, 2002). En France, dans le cadre de l'action nationale de recherche et de réduction des substances dangereuses dans l'eau, des mesures ponctuelles ont été réalisées à la sortie de près d'un millier d'ICPE. Sur les 850 mesures réalisées, seules

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

12 installations ont présenté un flux de décabromodiphényléther. Les activités de ces installations concernent soit le traitement des textiles, soit le traitement des déchets ou encore l'industrie chimique.

3.5 Rejets liés à l'utilisation de produits

Même si peu d'études existent encore, il semble que les PBDE diffusés par des appareils électriques et électroniques soient importants. Ainsi des mesures réalisées dans la région d'Ottawa (Wilford, B.H et al., 2004), montrent que les concentrations de PBDE mesurées dans l'air intérieur de bâtiments est trois fois plus importantes que celles mesurées à l'extérieur. Dans ces estimations de rejets dans l'environnement de DeBDE, l'ECB (2002) indique que les émissions sont dues à l'élimination de produits contenant des DeBDE (plastiques et textiles) ainsi qu'aux utilisations lors de la durée de vie des produits et en particulier lors du lavage des textiles.

4 POSSIBILITES DE REDUCTION DES REJETS

4.1 Produits de substitution

4.1.1 Produits électriques et électroniques :

Les produits électriques et électroniques doivent répondre à des normes très strictes en matière de protection contre l'incendie. Pour cela différentes stratégies peuvent être employées, allant de la simple substitution par, par exemple, le décabromodiphényléthane jusqu'à l'éco-conception des appareils électroniques. En général, le DeBDE est utilisé comme retardateur de flamme dans des téléviseurs. Une première solution peut être d'utiliser des armatures des alimentations d'énergie avec des composants en métal. Ceci permet d'abaisser les quantités de retardateurs de flamme utilisées, faisant du polystyrène haute densité sans ignifuge une alternative viable à l'ABS avec ignifuge. Une autre solution peut être de concevoir des téléviseurs dans lesquels l'alimentation énergétique est séparée du reste de l'appareil comme cela ce fait pour les imprimantes (Lowell center, avril 2005).

Pour ce qui est des substitutions, il est impossible de remplacer simplement le DeBDE car celui-ci est particulièrement intéressant pour le polystyrène haute densité. La substitution du DeBDE passe donc souvent par la substitution du PS-HD. Ainsi, à la place du PS-HD, on peut utiliser une résine composée de PS-HD et d'oxide de polyéthylène (OPE). L'addition de 17 à 20% de OPE en masse permet d'augmenter les capacités de carbonisation du PS-HD et ainsi d'améliorer le retardement des flammes. Cette résine peut être associée à un retardateur de flamme à base de phosphore, le resorcinol bis-diphényl phosphate (Lowell center, avril 2005).

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

On peut aussi utiliser un alliage d'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) et de polycarbonate (PC) auquel on associe le resorcinol bis diphenyl phosphate comme retardateur de flamme. On peut aussi utiliser le polycarbonate seul, mais celui-ci est plus cher. L'ABS seul peut aussi être utilisé sans DeBDE, mais il faut alors employer comme retardateur de flamme un autre dérivé bromé, le tetrabromobisphenol (TBBPA).

4.1.2 Textiles

Comme pour les appareils électriques, la protection des textiles contre l'incendie peut être prévue lors de la conception même des produits. Les fabricants s'appuient pour cela sur les propriétés « moins inflammable » de certaines matières. Ainsi, alors que le coton et le lin résistent peu aux flammes, la laine et le Saran par exemple ont de bonnes propriétés ignifuges. En mélangeant alors les différentes matières, on peut obtenir des produits présentant un bon confort et une bonne résistance aux flammes sans avoir à ajouter de retardateurs de flammes. De même, les fabricants de matelas utilisent des barrières technologiques de protection contre le feu. Ainsi pour séparer une matière ignifuge et une matière fortement inflammable, on peut intercaler une couche de coton traité par de l'acide bromique possédant d'excellentes propriétés ignifuges. En outre, dans toutes les utilisations (matelas, meubles, tapisseries), le DeBDE peut être substitué par des retardateurs de flammes à base de phosphore.

4.2 Réduction des émissions industrielles

Comme nous l'avons déjà vu, les PBDE et le DeBDE en particulier sont peu dégradables dans des milieux aérobies, anaérobies et par photolyse. Il est donc très difficile de traiter efficacement les rejets industriels contenant des PBDE. En outre, de par leur caractère lipophile, ces molécules vont se fixer sur les particules en suspension. Lors du traitement des effluents aqueux, les PBDE vont donc s'accumuler dans les boues des stations d'épuration et pourront ensuite être épandues, relarguant ainsi ces polluants dans l'environnement.

5 ASPECTS ECONOMIQUES

5.1 Place de la substance dans l'économie française

Le marché des organobromés en France représentait 60 millions d'euros en 1995, soit environ 20 % du marché de l'UE (16 % pour l'ensemble des retardateurs de flamme). C'était le second marché de l'UE, peu après celui de l'Allemagne. En 1995, la France était le premier consommateur de polyBDE (2 500 tonnes soit 31 % de la consommation de l'UE) (RPA 2000).

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

En outre, en 2004, selon la direction générale des douanes (2006), l'importation des dérivés bromés des éthers aromatiques comprenant entre autre le DeBDE, a représenté, en France, 1 133 t, alors que les exportations étaient négligeables.

Enfin, en 2002, il s'est vendu en France, pour plus de 2,5 milliards d'€ d'appareils radio-récepteurs et téléviseurs, principaux consommateurs de DeBDE.

5.2 Impact économique des mesures de réduction

De façon générale, la substitution du DeBDE dans les appareils électriques et électroniques implique un surcoût dans les produits finis. Le Lowell center (2005) donne ainsi quelques exemples de coûts pour la substitution du DeBDE :

Tableau 5.2 : comparatif des coûts de différents matériaux traités avec des retardateurs de flammes

| Résine | Présence de dérivés halogénés | Coût par livre (\$) |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| PS-HD avec retardateur de flamme | Oui avec DeBDE | 0,87-0,98 |
| ABS avec retardateur de flamme | Oui, avec TBBPA ou BEO | 1,05-1.35 |
| Alliage ABS/PC avec retardateur | Oui car 0,3% de fluoropolymère | 1.35-1.65 |
| PC avec retardateur. | Oui car 0,3% de fluoropolymère | 1.66-1.97 |
| Alliage PSHD/OPE avec retardateur | Non | 1,90 |

On constate tout d'abord que ces surcoûts ne sont pas très importants. En outre, les matières plastiques utilisées dans un appareil de télévision ne rentrent que dans une infime partie du prix des produits finis. Le surcoût engendré par la substitution du DeBDE est donc négligeable.

Pour ce qui est des produits de substitution employés dans les applications textiles, le Lowell Center (2005) nous indique que les retardateurs de flammes à base de phosphore utilisés sont en moyenne deux fois plus cher que le DeBDE. Toutefois là aussi ce surcoût doit être évalué par rapport à l'ensemble du produit fini.

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

6 CONCLUSIONS

Le Décabromodiphényléther est un dérivé bromé utilisé comme retardateur de flamme dans les appareils électriques et électroniques et les textiles. A la différence des autres PBDE, il n'est pas soumis à des restrictions d'utilisation, alors même qu'il ne serait pas sans risque pour les organismes. Toutefois, des études sont encore nécessaires pour mesurer sa toxicité. Dans ces conditions le DécaBDE est le polybromodiphényléther le plus utilisé dans le monde et en Europe en particulier. Sa demande mondiale, en hausse, s'élève à plus de 56 000 t/an, ce qui représente plus du 80% du marché des PBDE, mais aucun site de production n'est référencé en Europe. On retrouve le DécaBDE en quantité importante dans l'environnement et il pourrait se dégrader, même difficilement, en dérivés bromés moins substitués. Comme les autres PBDE, les émissions de décabromodiphényléther sont très préoccupantes car elles ont pour origine, semble-t-il, des phénomènes de diffusion des appareils électriques et électroniques, et la présence de cette molécule dans l'environnement ainsi que ces produits de dégradation, pourrait se prolonger pendant de nombreuses années, même après des interdictions d'utilisation. Il existe néanmoins des produits de substitutions au DecaBDE. Toutefois ces substitutions ne règlent en rien les risques pour l'environnement puisque la plupart de ces autres produits sont également toxiques. Les procédés de traitement des effluents sont également peu efficaces, et même s'ils permettent de réduire les émissions de dérivés bromés dans les eaux de surfaces, ces molécules se concentrent dans les boues de stations d'épurations. En fait les seules solutions seraient de travailler sur l'éco-conception des produits en fabriquant des objets dont le risque d'incendie serait diminué sans avoir recourt à des retardateurs de flamme. Au final, même si l'emploi du DecaBDE permet d'éviter de nombreux incendies, le recourt au principe de précaution pour son utilisation semble justifié, et il doit en être de même pour les autres retardateurs de flammes de substitutions.

7 REFERENCES

7.1 Entreprises, organismes et experts interrogés

Syndicat des halogènes et dérivés.

7.2 Sites Internet consultés

BSEF Bromine science and environmental Forum.

7.3 Bibliographie

Betts, K. (2004). Salmon flame retardant research raises new questions. Environmental Science & technology 38(19), 360A-361A.

DECA BROMO DIPHENYLEETHERS

Brignon, J.M. et al, 2005-2006. Les substances dangereuses prioritaires de la directive cadre sur l'eau ; Fiches de données technico-économiques sur les substances. INERIS.

ECB (European Chemical Bureau), 2002. Risk assessment report ; Bis(pentabromodiphenyl)ether.

Hardy, M. (2005). Comment on «global assessment of polybrominated diphenyl ethers in farmed and wild salmon ». Environmental Science & technology 39(1), 377-378.

Hites, R. A. (2004). "Polybrominated Diphenyl Ethers in the Environment and in People: A Meta-Analysis of Concentrations." Environmental Science & Technology 38(4), 945-956.

Hites, R.A., et al (2005). Reponse to comment on global assessment of polybrominated diphenyl ethers in Farmed and wild salmon. Environmental Science & technology 39(1), 379-380.

The Lowell Center for Sustainable Production, avril 2005. An Investigation of Non-Halogen Substitutes in Electronic Enclosure and Textile Applications. University of Massachusetts Lowell

RPA. 2000. Socio-economic impacts of the identification of priority hazardous substances under the water framework directive.

Santé Canada, 2004. Rapport d'évaluation préalable - santé ; Polybromodiphényléthers (PBDE) [tétra-, pent-, hexa-, octa-, nona et déca-].

Sjödin, A et al. (2003). "A review on human exposure to brominated flame retardants - particularly polybrominated diphenyls ethers." Environment International 29, 829-839.

Verslycke T.A. et al., 2005. Flame retardants, surfactants and organotins in sediment and mysid shrimp of the Scheldt estuary . Environmental pollution 136(1), 19-31.

Wilford, B.H., T. Harner, et al. (2004). Passive sampling survey of polybrominated diphenyl ethers retardants in indoor and outdoor air in Ottawa, Canada : implications for sources and exposure. Environmental Science & technology 38(20), 5312-5318.