

RAPPORT

Décembre 2018

INERIS- DRC-18-173977-02943B

**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES
CONCENTRATIONS EN
SUBSTANCES REGLEMENTEES
DANS LES PLASTIQUES DE
VEHICULES HORS D'USAGE**

INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable*

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES CONCENTRATIONS EN SUBSTANCES REGLEMEENTEES DANS LES PLASTIQUES DE VEHICULES HORS D'USAGE

Rapport réalisé pour le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

PRÉAMBULE

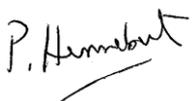
Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Pierre HENNEBERT	Roger REVALOR	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur de l'unité Comportement des Contaminants dans les Sols et Matériaux	Responsable de l'unité Comportement des Contaminants dans les Sols et Matériaux	Responsable du Pôle Risque et Technologies Durables
Visa			

SOMMAIRE

1. RESUME	7
2. INTRODUCTION	8
3. SUBSTANCES POP ET AUTRES SUBSTANCES REGLEMENTEES DANS LES MATIERES PLASTIQUES	9
4. PRODUCTION ET UTILISATION DE RETARDATEURS DE FLAMME BROMES (RFB) DANS LES PLASTIQUES	11
5. PLASTIQUES DANS LES RESIDUS DE BROUYAGE AUTOMOBILE (RBA) 13	
5.1 Statut de déchet des résidus de broyage automobile (RBA)	15
6. CONCENTRATIONS RAPPORTEES DANS LES DECHETS	17
6.1 Echantillonnage et analyse	17
6.2 Concentrations de RFB dans les plastiques de véhicules rapportées dans la littérature scientifique	18
6.2.1 Retardateurs de flamme bromés	18
6.2.2. Eléments	24
6.3 Distribution des concentrations de decaBDE et PBDEs	25
6.4 Tonnage des plastiques de VHU en France et devenir	28
7. CONCLUSION	30
8. REFERENCES	31
9. ANNEXES	35

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Concentration de retardateurs de flamme bromés utilisés comme additif polymère (Arias 2001, Alae et al., 2003).....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 2: Composition des résidus de broyage automobile (RBA).....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 3: Code déchet des fractions de VHU dans la liste européenne des déchets (en jaune : "entrées en miroir" des fractions de RBA) (* = déchets dangereux).....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 4: Cas de concentrations rapportées de RFB avec extraction présumée non complète lors des analyses de laboratoire.....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 5: Références bibliographiques et nombre de données par référence.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 6: Données uniques et plages de données utilisées dans cette étude.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 7: Concentrations rapportées de retardateurs de flamme bromés dans les pièces automobiles, résidus de déchetage d'automobiles (RBA - ASR) et fractions de traitement post-broyage - concentrations moyennes non pondérées (en jaune : concentration moyenne > 1 000 mg / kg).....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 8: Synthèse des concentrations rapportées de décaBDE dans les pièces de voiture, les résidus de broyage automobile (RBA - ASR) et les fractions de traitement post-broyage - concentrations moyennes non pondérées et médiane (en jaune : concentration > 1 000 mg/kg).....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 9: Synthèse des concentrations rapportées de décaBDE dans les pièces de voiture, les résidus de broyage automobile (RBA - ASR) et les fractions de traitement post-broyage - concentrations maximales (en jaune : concentration > 1 000 mg/kg).....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 10: Concentrations déclarées d'éléments dans les pièces automobiles, le fluff et le RBA (ASR) - concentrations moyennes non pondérées, triées par ordre décroissant (en jaune : concentration en brome > 2 000 mg/kg et concentration en plomb > 1 000 mg/kg).....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 11: Distribution des concentrations de décaBDE, de PBDEs, de HBCDD et de TBBPA observées dans cette étude bibliographique (toutes catégories)</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 12: Tonnages des matières des véhicules hors d'usage (France 2016) (Rapport annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage - Deloitte et ADEME 2018).....</i>	<i>28</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Représentation schématique du traitement d'un véhicule en fin de vie (Vermeulen et al., 2011)</i>	<i>13</i>
<i>Figure 2: Distribution des concentrations publiées de décaBDE (toutes les catégories).....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 3: Distribution des concentrations publiées de retardateurs de flamme bromés (toutes les catégories).....</i>	<i>27</i>

1. RESUME

Cette note rassemble certaines données publiées sur les substances ignifuges réglementées dans les plastiques des véhicules, parmi lesquelles les substances POP (polluants organiques persistants). Les retardateurs de flamme bromés (RFB) sont le groupe d'ignifugeants le plus utilisé, comme le montrent les guides des produits des producteurs. Un ensemble de données de la littérature avec des concentrations de ces substances a été compilé (197 données de RFB et 214 données d'éléments de 15 publications, avec une présentation non homogène de concentrations ou gamme de concentrations selon les études). Les questions d'échantillonnage et d'analyse sont discutées. La distribution des concentrations rapportées en RFB est bimodale, avec par exemple pour le decaBDE 90% des valeurs < 1 000 mg/kg, et 10% des valeurs entre 1 000 et 27 000 mg/kg. Des concentrations significatives de bromodiphényléthers (BDE) classés POP sont rapportées dans les plastiques et les pièces en mousse d'automobile (sur 35 données, médiane et moyenne des concentrations de decaBDE de 50 mg/kg et environ 3 500 mg/kg, avec des concentrations maximales dans des sièges, de la mousse et des garnitures). Des concentrations beaucoup plus faibles sont observées dans des résidus de broyage automobile (RBA) non triés (médiane et moyenne des concentrations de decaBDE d'environ 40 et 400 mg/kg). Les plastiques et les mousses représentent environ 20% des RBA. Bien que les données soient rares, de faibles concentrations sont signalées dans des plastiques et des mousses de RBA triés par densité (médiane et moyenne des concentrations de decaBDE de 3 et 14 mg/kg pour des plastiques automobiles - 6 données, issues principalement d'une étude néerlandaise et d'une étude suédoise récente). Le brome est l'élément le plus concentré dans les pièces, suivi par le plomb du fait des cartes de circuits imprimés. Les données rapportées en France pour l'année 2016 dans le cadre de la responsabilité élargie des producteurs montrent que 40% des plastiques du million de véhicules hors d'usage sont valorisés énergétiquement (49 000 tonnes), et 25% sont envoyés en installations de stockage (31 000 tonnes). Les rapports analysés montrent que le désassemblage sélectif avant broyage, ou le tri des plastiques après broyage, peut éliminer les substances POP des flux de plastiques. Au niveau national, ces résultats mériteraient d'être confortés par des campagnes de caractérisation spécifiques.

2. INTRODUCTION

L'UE développe une stratégie sur le recyclage des plastiques dans le cadre de l'économie circulaire (EC 2017). Certains flux ont un faible taux de recyclage et de réutilisation des plastiques, pour diverses raisons, avec entre autres des problèmes de qualité (par exemple liés à la présence d'additifs ou au mélange de différents types de polymères). Les progrès scientifiques dans la connaissance des substances entraînent des restrictions ou des interdictions d'éléments ou de substances dans les produits, et des options de gestion restreintes lorsque ces substances sont présentes dans les déchets, souvent comme héritage de pratiques antérieures. Les plastiques et les mousses représentent aujourd'hui environ 150 kg dans les voitures modernes. Ils sont protégés contre le feu avec, entre autres, des retardateurs de flamme bromés (RFB), certains d'entre eux étant maintenant classés comme polluants organiques persistants (POP).

Afin de rassembler des premières informations concernant la concentration de substances POP dans la chaîne des véhicules en fin de vie, des données publiées ou rapportées ont été collectées et analysées.

3. SUBSTANCES POP ET AUTRES SUBSTANCES REGLEMENTEES DANS LES MATIERES PLASTIQUES

Le cadmium, le chrome (VI), le mercure, le plomb, les polybromobiphényles et les polybromodiphényléthers (PBDE) sont limités à 100 mg/kg pour le cadmium et 1 000 mg/kg pour les autres éléments et familles dans les équipements électriques et électroniques mis sur le marché dans l'UE (Directive sur les substances dangereuses - RoHS, EU 2002). Les polychlorobiphényles des condensateurs et les retardateurs de flamme bromés des plastiques (entre autres substances) doivent être séparés des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) (UE 2012). La spécification technique CENELEC CLC / TS 50625-3-1: 2015 recommande le tri du plastique des DEEE avec une limite de concentration de 2 000 mg/kg de brome total. En pratique, le tri s'effectue soit par étape de flottaison, soit par mesure de brome avec un dispositif XRF portable ou des détecteurs de transmission de rayons X en ligne. Les polluants organiques persistants (POP) sont des substances définies dans la Convention de Stockholm, adoptées par presque tous les gouvernements en 2001, qui sont restreintes ou interdites. Ils ne sont pas biodégradables, bioaccumulables et se dispersent s'ils atteignent l'environnement naturel. Les déchets contenant des substances POP dépassant les limites de concentration devraient être détruits dans des incinérateurs ou utilisés comme combustible pour récupérer de l'énergie ou transformés de manière irréversible (UE 2008a). Dans les déchets, les groupes de substances ou substances POP considérés dans les matières plastiques et leurs limites de concentration (CE 2003, CE 2008c et CE 2014b) sont :

- les biphényles polychlorés (PCB) : 50 mg/kg,
- les polybromodiphényléthers (PBDE) : 1000 mg/kg,
- les polychlorodibenzo-p-dioxines et dibenzofuranes (PCDD / PCDF) : 15 µg/kg,
- l'hexabromocyclododécane (HBCD) : 1 000 mg/kg.

En 2017, d'autres substances et groupes de substances ont été ajoutés :

- le décabromodiphényléther (décaBDE) : 1 000 mg/kg (PNUE 2017),
- les paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC) : 10 000 mg/kg,
- l'Hexachlorobutadiène (HCBD) : 100 mg/kg (UE 2017a).

En outre, il existe trois substances et groupes de substances qui sont actuellement "candidats" POP : le dicofol, l'acide pentadécafluorooctanoïque (PFOA, acide perfluorooctanoïque), ses sels, et composés apparentés au PFOA, et l'acide perfluorohexanoïque (PFHxS), ses sels et composés apparentés au PFHxS. Le dicofol est un insecticide (non utilisé dans les plastiques), tandis que l'APFO et le PFHxS sont des produits hydrofuges utilisés entre autres dans les textiles des véhicules.

D'autres substances sont également préoccupantes. Une substance écotoxique réglementée est le tétrabromobisphénol A (TBBPA) (UE 2008b, UE 2017b). Le décabromodiphényléthane (DBDPE) a été signalé comme étant présent et est maintenant étudié avec du TBBPA dans les plastiques DEEE (Wäger et al., 2010,

2012). Le déchlorane plus (CAS 135821-03-3) et l'anti-déchlorane (CAS 135821-74-8) avec le déchlorane syn sont également préoccupants. Le dechlorane plus (abréviation DDC-CO), un retardateur de flamme polychloré, a été ajouté à la liste des substances REACH extrêmement préoccupantes le 15 janvier 2018 (ECHA 2018). Il semble être présent dans les broyats automobiles (fractions grossières et fines), ainsi que dans les DEEE (Morin et al., 2017). Le caoutchouc bromé (utilisé dans les pneus, selon des sites Internet de fabricants) devrait également être étudié.

4. PRODUCTION ET UTILISATION DE RETARDATEURS DE FLAMME BROMES (RFB) DANS LES PLASTIQUES

Les retardateurs de flamme bromés sont utilisés pour améliorer la sécurité incendie des produits et matériaux combustibles dans tous les secteurs industriels (Flameretardants-on line, 2018) :

- Bâtiment (matériaux d'isolation, conduites d'eau, revêtements de façades);
- Equipements électriques/électroniques (boîtiers de moniteur, câbles, prises, boîtes à fusibles, cartes de circuits imprimés);
- Transport (automobile, ferroviaire, maritime, aérien, avec sièges, revêtements de sol, doublures, isolation);
- Mobilier (meubles rembourrés).

En Europe, plus de 40% des plastiques sont utilisés dans l'emballage, 20% dans la construction et moins de 10% dans l'industrie automobile. D'autres applications courantes comprennent les meubles, les appareils ménagers, les produits électriques et électroniques et les utilisations agricoles (EU 2017).

La compilation des données sur la production de PBDE préparée pour le Comité de révision des POP de la Convention de Stockholm a estimé la production totale de tous les PBDE de 1970 à 2005 entre 1,3 million et 1,5 million de tonnes (UNEP 2017). La production de décaBDE est estimée entre 1,1 et 1,25 million de tonnes.

Les trois plus grands producteurs sont Israel Chemical Limited – Industrial Products, Albemarle Corporation et Chemtura (Great Lakes Solutions). Leurs produits sont utilisés comme ignifugeants pour : produits de construction et notamment mousse isolante en polystyrène et polyuréthane, équipements électriques et électroniques, transport, fils électriques, nettoyage des gaz de combustion du charbon, agriculture, raffinage du pétrole, entre autres (RECORD 2015). Une grande variété de RFB est produite (Albemarle 2018, Chemtura Great Lakes Solution 2018, ICL produits industriels, 2012). ICL dispose d'un guide produit spécifique "Protection contre l'incendie pour l'automobile et le transport".

Les retardateurs de flamme bromés sont utilisés dans différents polymères dans la gamme de concentration de 1 à 15% (Tableau 1).

Tableau 1: Concentration de retardateurs de flamme bromés utilisés comme additif polymère (Arias 2001, Alae et al., 2003)

Polymère	Concentration (mg/kg)	Substances
Polystyrène mousse	8 000 – 40 000	HBCD
High impact polystyrene – PS choc	110 000 – 150 000	DecaBDE, polystyrène bromé
Résine époxy, acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	0 – 1 000	TBBPA
Polyamides	130 000 – 160 000	DecaBDE, polystyrène bromé
Polyoléfines	50 000 – 80 000	DecaBDE, propylene dibromo styrène
Polyuréthanes	Sans objet	Pas de RFB disponible
Polytéraphthalate	80 000 – 110 000	Polystyrene bromé
Polyesters insaturés	130 000 – 280 000	TBBPA
Polycarbonate	40 000 – 60 000	Polystyrene bromé
Styrène copolymères	120 000 – 150 000	Polystyrene bromé

Une revue détaillée des substances POP, y compris des RFB dans les plastiques est présentée dans EC (2011) : “Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs”.

5. PLASTIQUES DANS LES RESIDUS DE BROYAGE AUTOMOBILE (RBA)

La figure suivante présente le démantèlement d'un véhicule et les fractions obtenues.

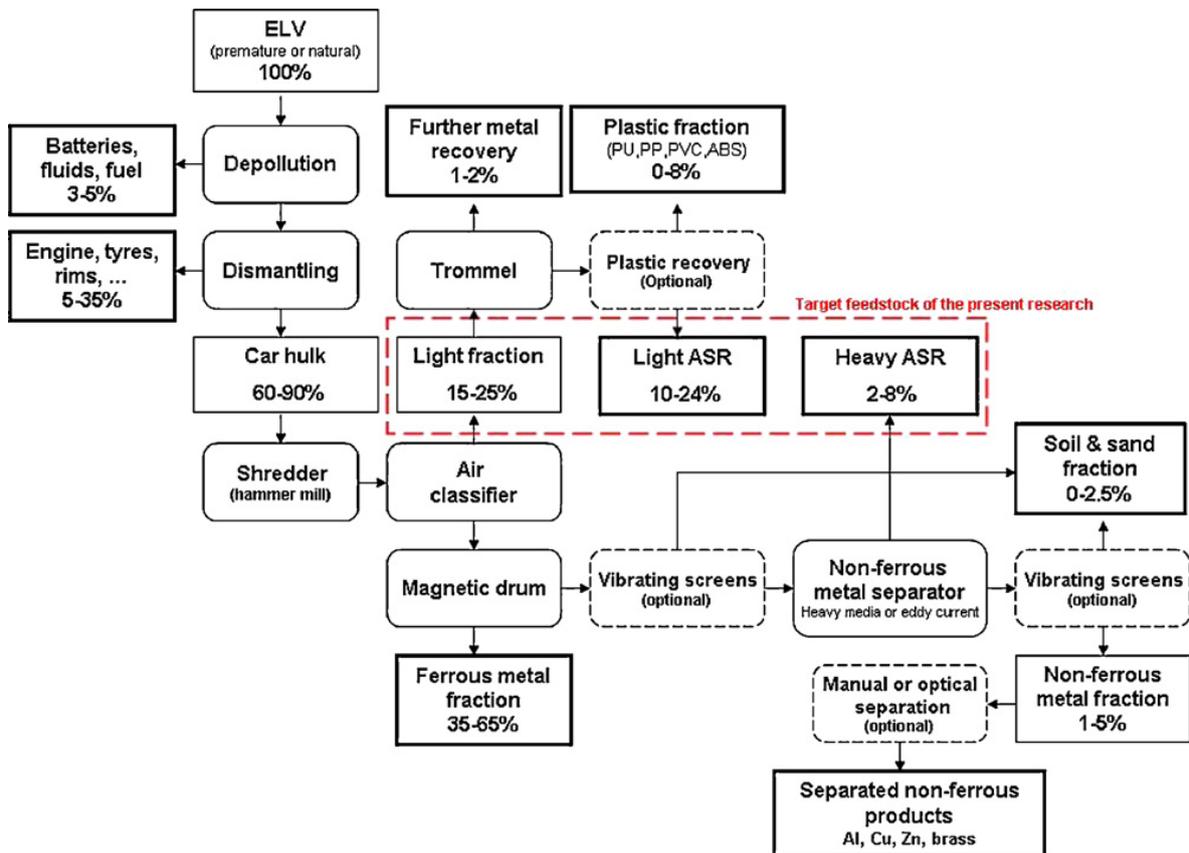


Figure 1: Représentation schématique du traitement d'un véhicule en fin de vie (Vermeulen et al., 2011)

Les définitions de ces fractions dépendent des processus avant et après déchiquetage.

"La plupart des déchiqueteurs séparent le métal dense, tombant de la chambre du rotor, des peluches (fluff) entraînées par les courants d'air provoqués par le rotor. Les deux flux sont traités par des séparateurs magnétiques (convoyeurs transversaux et en ligne et poulies) récupérant le fer et l'acier, des extracteurs à courants de Foucault éjectant des métaux non ferreux séparés par des tamis Trommel, des tamis, des séparateurs balistiques et aérodynamiques, etc. Le but est de récupérer un maximum de métal magnétique et de métal non-ferreux encore plus précieux (rendement élevé), avec un minimum de plastiques adhérents, de saleté ou d'autres composants (haute pureté). Chaque séparateur fonctionne mieux sur une fraction de taille étroite. La séparation répétée, l'agitation magnétique et le nettoyage aérodynamique améliorent la pureté, minimisant les inclusions étrangères

et les matériaux adhérents. De tels processus génèrent plusieurs fractions de peluches qui constituent ensemble le flux RBA total. La subdivision précise du RBA en fractions de tamisage grossier et fin ou en fractions de classification par l'air léger et dense varie d'une usine à l'autre, en fonction des matériaux utilisés et des conditions de configuration et de fonctionnement des traitements de peluches. Sous-produit inévitable du recyclage automobile, à savoir l'élimination de tous les liquides et composants dangereux ou précieux de la voiture et le broyage de la carcasse, suivie de la récupération de l'acier, du fer et des déchets non ferreux..., le RBA contient les plastiques, les caoutchoucs, et les thermodurcissables qui entrent de plus en plus dans la fabrication de voitures modernes. Cependant, il contient non seulement des matières étrangères imprévisibles et inutiles, mais aussi des substances dangereuses, telles que le mercure, le plomb, le cadmium ... ou les polychlorobiphényles (PCB) et les retardateurs de flamme bromés (RFB) ... Des retardateurs de flamme bromés sont également présents, par exemple dans les câbles, les coussins et les rembourrages et dans les composants électroniques. » (Buekens et Zhou 2014).

Un schéma de traitement est présenté à la Figure 1. D'autres procédés ont été mis au point, aboutissant à un RBA de composition différente. Selon la Figure 1, le RBA peut être classé en fonction de son origine dans le schéma post-broyage (Vermeulen et al., 2011) :

- RBA léger ou fluff léger : fraction générée lors du broyage de la carcasse et séparée en utilisant la classification par aspiration (environ 75% du RBA total, 10-24% du VHU total) y compris la fraction plastique (0-8% du VHU total) ;
- RBA lourd ou fluff lourd : fraction restant après la séparation du métal de la fraction lourde déchetée (environ 25% du RBA total, 2-8% du VHU total) ;

Une fraction sol/sable est parfois rapportée séparément, mais elle est généralement incluse dans le RBA lourd (environ 0 à 2,5% du VHU total).

La composition du RBA varie avec les processus et les auteurs (Tableau 2).

Tableau 2: Composition des résidus de broyage automobile (RBA)

Materiaux (%)	Buekens and Zhou 2014	Cossu and Lai 2015
Textiles et mousse	4 – 45	27–27.2
Plastiques	20 – 49	19–20.2
Metaux	5 – 23	1–4.6
Caoutchouc	3 – 38	2.8–7
Bois	2 - 5	
Cellulose		0.2–1
Verre	2 – 18	
Fines		45

Les plastiques de RBA sont très divers : "Jusqu'à 27 types différents de résines plastiques sont couramment rencontrés en RBA. Les composants plastiques des voitures sont le polypropylène (PP), le polyuréthane (PUR), le polychlorure de vinyle

(PVC), l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), le polyméthylméthacrylate (PMMA), le polyéthylène téréphtalate (PET), etc. ... La formulation de chaque résine varie selon les additifs " (Buekens et Zhou 2014)

5.1 STATUT DE DECHET DES RESIDUS DE BROyage AUTOMOBILE (RBA)

Ces déchets sont des «entrées miroir» de la liste européenne des déchets (Tableau 3) : ils peuvent être dangereux ou non selon leur concentration en substances dangereuses (à déterminer par analyse de laboratoire). Par conséquent, les flux de RBA doivent être périodiquement échantillonnés, analysés et classifiés pour les 15 propriétés de danger de l'UE en comparant la concentration des substances avec les limites de concentration de chaque propriété et la présence et la concentration de POP (UE 2014a, b, UE 2017b, synthèse pour les RFB dans Hennebert et Filella 2017). En pratique, les propriétés de danger qui pourraient déclencher la classification sont :

- HP 7 « cancérogène », si la concentration de Sb_2O_3 > 10 000 mg/kg - équivalent à Sb > 8 400 mg/kg, ou si l'hexabromobiphényle > 1 000 mg/kg),
- HP 10 « Reprotoxique », si hexa- ou hepta- ou octaBDE > 3 000 mg/kg ou HBCDD > 30 000 mg/kg,
- HP 14 « Ecotoxique », si somme de (tétraBDE, pentaBDE, HBCDD et TBBPA) > 25 000 mg/kg avant juillet 2018 ou > 2 500 mg/kg à partir de juillet 2018 (UE 2014b, UE 2017b).
- Si les déchets contiennent les substances POP suivantes : hexabromobiphényle > 50 mg/kg ou la somme de (tétra-, penta-, hexa- et heptaBDE) > 1 000 mg/kg, ils doivent être irréversiblement transformés ou détruits (CE 2008c, UE 2017a). Si la somme des polyBDE est supérieure à 1000 mg/kg, les déchets ne peuvent pas être utilisés comme produit (CE 2002, UE 2011). [Si la concentration en decaBDE est supérieure à 1 000 mg/kg, les déchets ne peuvent être utilisés comme produits après le 2 mars 2019 (UE 2017a).]

Tableau 3: Code déchet des fractions de VHU dans la liste européenne des déchets (en jaune : "entrées en miroir" des fractions de RBA) (= déchets dangereux)*

Fractions	Codes du Chapitre 19	DÉCHETS PROVENANT DES INSTALLATIONS DE GESTION DES DÉCHETS, DES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DE LA PRÉPARATION D'EAU DESTINÉE À LA CONSOMMATION HUMAINE ET DE L'EAU À USAGE INDUSTRIEL
	19 10	déchets provenant du broyage de déchets contenant des métaux
	19 10 01	déchets de fer ou d'acier
	19 10 02	déchets de métaux non ferreux
RBA léger = fluff	19 10 03*	fraction légère des résidus de broyage et poussières contenant des substances dangereuses
	19 10 04	fraction légère des résidus de broyage et poussières autres que celles visées à la rubrique 19 10 03
RBA lourd	19 10 05*	autres fractions contenant des substances dangereuses
	19 10 06	autres fractions autres que celles visées à la rubrique 19 10 05
	19 12	déchets provenant du traitement mécanique des déchets (par exemple tri, broyage, compactage, granulation) non spécifiés ailleurs
	19 12 01	papier et carton
	19 12 02	métaux ferreux
	19 12 03	métaux non ferreux
	19 12 04	matières plastiques et caoutchouc
	19 12 05	verre
	19 12 06*	bois contenant des substances dangereuses
	19 12 07	bois autre que celui mentionné dans 19 12 06
	19 12 08	textiles
	19 12 09	minéraux (par exemple sable, cailloux)
	19 12 10	déchets combustibles (combustible issu de déchets)
RBA	19 12 11*	autres déchets (y compris les mélanges de matériaux) provenant du traitement mécanique des déchets contenant des substances dangereuses
	19 12 12	autres déchets (y compris les mélanges de matières) provenant du traitement mécanique des déchets autres que ceux visés à la rubrique 19 12 11

Selon les professionnels, les RBA sont principalement brûlés en France et en Allemagne dans des installations de combustion. En France, le combustible solide de récupération (CSR) conserve son statut de déchet, et les exigences pour l'incinération sont les mêmes que pour les incinérateurs municipaux de déchets solides. Les RBA sont brûlés dans des fours de cimenterie et dans une usine dédiée à un réseau de chaleur urbaine (Laval, Mayenne).

6. CONCENTRATIONS RAPPORTEES DANS LES DECHETS

6.1 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE

L'échantillonnage d'un flux de masse hétérogène est critique. La concentration de RFB dans les parties voire particules de plastique a une distribution bimodale (voir plus loin), avec de nombreuses particules/parties ayant une concentration nulle ou faible, et un petit nombre de particules/parties ayant des concentrations élevées dispersées. Le principe de l'échantillonnage est qu'un plus petit (sous-) échantillon d'un flux ou d'un tas aura la même composition que le plus gros flux ou tas si "assez" de particules/parties sont prises du plus grand flux échantillonné ou tas. La masse minimale d'un (sous-) échantillon «représentatif» dépend de la taille des particules/parties du matériau à échantillonner, et de la distribution de la substance dans les différentes classes de taille de particules. L'échantillonnage des déchets est décrit dans l'EN 14899/ 2015 avec cinq documents techniques FD CEN/TR 15310-1 à -5/2007. Un plan d'échantillonnage devrait être élaboré à partir des données de distribution des analytes d'intérêt dans les différentes classes de tailles de particules. En pratique, la distribution n'est pas connue, et des méthodes simplifiées ont été proposées. Pour les plastiques de DEEE, une spécification technique (CENELEC CLC/TS 50625-3-1/2015) recommande l'échantillonnage par jour de production du broyeur de 10 fois 3 litres si la taille de la plus grosse particule est <20 mm, 10 fois 5 litres pour une taille de particule de 20-50 mm et 10 fois 10 litres pour une taille de particules >50 mm. L'échantillon composite est disposé en cône, mélangé et divisé deux fois (volume divisé par 4), et envoyé au laboratoire. Le traitement des échantillons de laboratoire est décrit dans l'EN 15002/ 2015. Typiquement, un échantillon de laboratoire (de 10 à 100 kg pour des pièces de 2 à 10 cm de DEEE) est le plus petit sous-échantillon pouvant être produit sur le terrain sans réduction de taille. Le laboratoire le broiera en deux ou trois étapes ([10 - 5] mm et [1 - <0,1] mm) avec des étapes intermédiaires de mélange et de division. Une aliquote de 1 à 5 g sera extraite par un solvant, et environ [0,1 - 0,01] ml de l'extrait purifié sera injecté dans l'appareil d'analyse. L'analyse des RFB se fait par chromatographie après cryobroyage en deux étapes jusqu'à 0.5 mm et extraction au soxhlet à chaud (EN 62321-6).

L'écart à ces méthodes mène à une extraction incomplète des RFB des plastiques. Une publication et un rapport présentent selon toute vraisemblance les résultats d'une extraction incomplète de RFB. Dans un cas, les échantillons ont été broyés à 4 mm et extraits avec un extracteur de solvant accéléré avec du toluène à 130° C trois fois (Morin et al., 2017). Dans l'autre cas, l'échantillon était broyé entre 1 et 5 mm respectivement et extrait par sonication à froid avec de l'hexane pendant 15 min (SMMT 2016). Les rendements d'extraction n'ont pas été contrôlés et les laboratoires ne sont pas accrédités pour ces analyses. Les concentrations mesurées dans les résidus de déchetage des automobiles sont faibles (Tableau 4) et ces 21 données n'ont pas été utilisées dans les tableaux suivants. Un autre cas a été signalé pour du RBA (Norwegian Climate and Pollution Agency 2012).

Tableau 4: Cas de concentrations rapportées de RFB avec extraction présumée non complète lors des analyses de laboratoire.

Concentration moyenne (mg/kg)	Morin et al. 2017	SMMT 2016
PBDE		
DecaBDE		3.10
PentaBDEs		0.11
HeptaBDEs		0.06
TetraBDEs		0.04
HexaBDEs		0.01
PBDEs	47.24	
RFB		
HBCDD		0.565
Sum 7 FR*	0.36	
PBB		
PBB		0.05

* Somme de PBB, PBT, dechlorane plus anti et syn, polybromobiphényles, hexabromobenzène, pentabromotoluène et pentabromoéthylbenzène.

6.2 CONCENTRATIONS DE RFB DANS LES PLASTIQUES DE VEHICULES RAPPORTEES DANS LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE

6.2.1 RETARDATEURS DE FLAMME BROMES

Les données sur les concentrations de RFB dans les plastiques des véhicules ont été recueillies à partir de trois publications originales et d'un rapport d'examen rassemblant des données provenant de 12 rapports ou publications (Tableau 5), ce qui donne un total de 15 sources. La recherche s'est limitée à cet ensemble de données, qui permet une première appréciation sur la nécessité de trier les plastiques ou non. Des douzaines d'autres rapports d'agences, des rapports de sociétés de conseil, des rapports d'entreprises de VHU et des articles scientifiques publiés sont disponibles, qui confirment les résultats présentés ici. Les fractions de broyage proviennent uniquement de voitures (sans DEEE). Les données peuvent être publiées en tant que mesure individuelle, ou en tant que plage (min-max, min-moy-max, avec la plupart du temps le nombre de données incluses dans la plage). Les données rapportées comme "<x mg/kg" (inférieures à la limite de détection ou de quantification du laboratoire) ont été comptabilisées comme "x" mg/kg. Les mélanges de PBDE commerciaux (c-) ont été typiquement produits à trois degrés différents de bromation, en particulier le c-pentaBDE, le c-octaBDE et le c-décaBDE, et sont rapportés comme tels. Le congénère BDE-99 est un pentaBDE.

Tableau 5: Références bibliographiques et nombre de données par référence

Nombre de données	PBDE								RFB*		Total
Source	DecaBDE	C-OctaBDEs	C-PentaBDEs	OctaBDEs	PBDEs	BDE-99	POP-BDEs	PentaBDEs	HBCD	TBBPA	
Norwegian Environmental Agency 2015 – Report with 12 publications	49	27	26	10	1	2		6			121
Norwegian Climate and Pollution Agency 2012	11			11		11			11	11	55
Leslie et al. 2016	8				3		8				19
Jinhui et al. 2015					2						2
Total	68	27	26	21	14	13	8	6	11	11	196

* RFB = autres retardateurs de flamme bromés : HBCD = hexabromocyclododécane, TBBPA = tétrabromobisphénol A

Les données sont hétérogènes. Certaines données sont des données de concentration unique et d'autres données sont des plages de données de concentrations, avec le nombre de données de la plage (n), le minimum (min), la moyenne (moyenne) et le maximum (max) de la plage. Il y a 22 plages de données dans les données collectées (Tableau 6). Le nombre de données dans les plages varie de 2 à 38.

Tableau 6: Données uniques et plages de données utilisées dans cette étude

Nombre de données	PBDE								Total PBDE	RFB		Total RFB	Total
Type de données	DecaBDE	C-OctaBDEs	OctaBDEs	C-PentaBDEs	BDE-99	PentaBDEs	POP-BDEs	PBDEs		HBCD	TBBPA		
Donnée simple	32	12	11	13	11			1	81	11	11	22	102
Gamme													
n	4		6			6	4	2	22				22
Min	15	5	1	5		1	4	1	32				32
Moyenne	5	4	6	3	2	2		3	25				25
Max	15	6	3	5		3	4	1	37				37
Total	71	27	27	26	13	12	12	8	197	11	11	22	218

Les concentrations rapportées de retardateurs de flamme bromés dans les automobiles, de résidus de broyage automobile et des fractions de traitement triées après broyage (fractions de TPB – traitement post broyage) sont présentées au Tableau 7. Les fractions de TPB sont triées par flottaison, la fraction la plus bromée étant la plus dense. Les résultats sont indicatifs car ces chiffres sont des moyennes non pondérées de données uniques, et des données minimales, moyennes et maximales de gamme. Les fractions légères de fluff sont documentées en tant que "RBA léger" ou "plastique léger mélangé" de la catégorie RBA, ou fractions plus

légères de la catégorie PST. Il y a 112 données de véhicules, 52 de RBA et 33 pour TPB (total 196 données). Les données sur les fractions de traitement post-broyage sont plus rares, de sorte que les données provenant de déchets mixtes (DEEE et VHU) sont également présentées pour cette catégorie.

Un résumé est présenté au Tableau 8, avec concentrations moyenne et médiane, et nombre de données. Les concentrations maximales observées sont présentées au Tableau 9.

La discussion portera sur la concentration de décaBDE, car cette substance est la seule qui permet une comparaison directe entre les catégories :

- **Des concentrations significatives sont observées dans certaines pièces automobiles plastiques** (moyenne arrondie 3 500 mg/kg, supérieure à la limite de concentration de 1 000 mg/kg), les plus fortes concentrations étant observées dans les circuits imprimés, les sièges, mousses et rembourrages (27 000 mg/kg). Ces valeurs élevées augmentent la concentration moyenne, tandis que la concentration médiane est seulement de 50 mg/kg. L'échantillonnage des parties peut être biaisé : les auteurs peuvent avoir recherché des parties (déjà connues) à fortes concentrations. Dans certaines études, il s'agit d'un choix délibéré : une multitude de pièces sont d'abord mesurées sur le terrain pour le brome total avec un fluorimètre portable, et seules les parties les plus concentrées sont envoyées au laboratoire pour l'analyse des RFB. Mais de faibles concentrations sont également signalées. Cette distribution particulière complique dans une première approche une compréhension aisée de ce flux de déchets ;
- **Des concentrations beaucoup plus faibles sont observées dans les RBA** (moyenne arrondie de 400 mg/kg). L'échantillonnage des RBA n'est probablement pas biaisé : des sous-échantillons sont typiquement prélevés à intervalles réguliers à partir du flux de broyat, sans connaissance préalable de la concentration. La médiane de 44 mg/kg est comparable à la moyenne des pièces de voiture. Il est significativement plus bas que la moyenne : la distribution est ici également faussée par certaines valeurs élevées. Des concentrations plus faibles que dans les pièces automobiles sont probablement dues au fait que les plastiques et les mousses ne représentent qu'environ 20% de la masse des RBA ;
- **Les concentrations en plastiques triés** (traitement post-broyage des plastiques de RBA, ici par séparation de densité) **sont très faibles** (moyenne 14 mg/kg).

L'efficacité du tri (ici principalement par différence de densité) est observée (Tableau 8). Des détails peuvent être trouvés dans Leslie et al (2016). Une étude récente (Swerea IVF 2018) confirme cette hypothèse pour les plastiques triés de VHU (un échantillon français de PS/ABS contenant 140 mg/kg de décaBDE et un échantillon britannique d'ABS contenant 5 mg/kg de décaBDE, 15 mg/kg de TBBPA et 14 mg/kg de decabromodiphenylethane - DBDPE)).

Ces résultats semblent inférieures à ce qui est rapporté et observé dans les fractions correspondantes de **DEEE** (Hennebert et Filella 2017).

Tableau 7: Concentrations rapportées de retardateurs de flamme bromés dans les pièces automobiles, résidus de déchetage d'automobiles (RBA - ASR) et fractions de traitement post-broyage - concentrations moyennes non pondérées (en jaune : concentration moyenne > 1 000 mg / kg)

Concentration (mg/kg) – moyenne	PBDE								RFB		Moyenne
Catégorie	DecaBDE	C-OctaBDEs	C-PentaBDEs	OctaBDEs	PBDEs	BDE-99	POP-BDEs	PentaBDEs	HBCD	TBBPA	
Voiture											
1990-1994 - Circuits imprimés	200			20		10			10	26	53
1995-1999 #1 - Circuits imprimés	10			1		1			10	20	8
1995-1999 #2 - Circuits imprimés	10			20		1			10	87	26
2000-2004 - Circuits imprimés	50			20		10			10	20	22
Airbag	50			20		10			50	20	30
Voiture	212										212
Voiture intérieur	14	0									8
Voiture siège couverture	256										256
Voiture sièges	66										66
Pièces VHU européens	5751				18		6250				4369
Intérieur 1	17000			20		10			50	20	3420
Intérieur matériau 1					9						9
Intérieur matériau 2					137						137
Intérieur Mazda 1998	52										52
Intérieur Pontiac 1997	18										18
Coffre à bagage	50			20		10			50	20	30
Circuits imprimés échantillon 1				2		2					2
Circuits imprimés échantillon 3				2							2
Circuits imprimés échantillon 4				4		1					2
Mousse PU de vieux sièges	1										1
Mousse PU de vieux sièges, forte contamination				941				860			900

Concentration (mg/kg) – moyenne	PBDE								RFB		Moyenne
Catégorie	DecaBDE	C-OctaBDEs	C-PentaBDEs	OctaBDEs	PBDEs	BDE-99	POP-BDEs	PentaBDEs	HBCD	TBBPA	
Mousse PU de vieux sièges, faible contamination				0				2			1
Mousse PU de sièges de voitures US	9			8				69			24
Mousse PU Pontiac 1997	522			2770				22736			8676
Mousse PU pour application automobile			40000								40000
Radiateur, extérieur	50			20		10			50	20	30
Siège couverture	27000			51		10			50	20	5426
Siège couverture matériau				51							51
Siège couverture Mazda 1998	22700										22700
Siège couverture Pontiac 1997	22500			336				3039			8625
Isolant phonique 1	50			20		10			4400	20	900
Isolant phonique 2	7000			20		10			50	20	1420
Pièces plastiques de voiture US/Asie	35						6				20
Total Voiture	3469	0	40000	252	40	7	4169	4594	431	27	2074
Résidus de Broyage Automobile (RBA)											
RBA	429	41	13								254
Résidu de broyage automobile et DEEE	44				50						47
Résidu de broyage principalement automobile	17	0	1								6
RBA léger (mousse et textile)		7	35								21
Plastiques mélangés légers		4	1								3
Résidu de broyage mélangé	413	141	13				141				255
Total RBA	386	37	14		50		141				176
Traitement post broyage (Post Shredder Treatment - PST) – plastiques triés											
De voiture											
1,1<d<1,3 (noir dur)	2	0	0								1
1,1<d<1,3 (noir mou)	6	0	0								2
1,1<d<1,3 (coloré)	1	0	0								0
1,1<d<1,3 (blanc/gris)	3	10	1								5
d<1,1 (plastique dur)	0	0	1								0

Concentration (mg/kg) – moyenne	PBDE								RFB		Moyenne
Catégorie	DecaBDE	C-OctaBDEs	C-PentaBDEs	OctaBDEs	PBDEs	BDE-99	POP-BDEs	PentaBDEs	HBCD	TBBPA	
Fraction fibreuse (mousse)	70	0	6								25
De voiture et DEEE											
1,1 < densité < 1,3	810	281	0								364
densité (0 - 1)	27	0	2								10
densité < 1,1	6	1	0								2
Fiber fraction (foam)	155	4	25								61
Entrant pour TPB	29	0	0								10
Total TPB	101	27	3								44
Moyenne	1950	30	1547	252	42	7	3162	4594	431	27	1200

Tableau 8: Synthèse des concentrations rapportées de décaBDE dans les pièces de voiture, les résidus de broyage automobile (RBA - ASR) et les fractions de traitement post-broyage - concentrations moyennes non pondérées et médiane (en jaune : concentration > 1 000 mg/kg)

Concentration (mg/kg)	DecaBDE		
Catégorie	Moyenne	Médiane	n
Voiture - pièces	3469	50	35
RBA	386	44	21
Traitement post-broyage – plastiques triés	(101)	(6)	(11)
De broyeur automobile	14	3	6
De broyeur mixte automobile et DEEE	(205)	(29)	5

Tableau 9: Synthèse des concentrations rapportées de décaBDE dans les pièces de voiture, les résidus de broyage automobile (RBA - ASR) et les fractions de traitement post-broyage - concentrations maximales (en jaune : concentration > 1 000 mg/kg)

Concentration (mg/kg) - max	PBDE								RFB		Max
Catégorie	DecaBDE	C-OctaBDEs	C-PentaBDEs	OctaBDEs	PBDEs	BDE-99	POP-BDEs	PentaBDEs	HBCD	TBBPA	
Voiture	27000	0	40000	2770	137	10	25000	22736	4400	87	40000
RBA	3915	281	58		50		280				3915
Traitement post-broyage – plastiques triés de broyeur mixte automobile et DEEE	810	281	25								810
Max	27000	281	40000	2770	137	10	25000	22736	4400	87	40000

6.2.2. ELEMENTS

Les concentrations d'éléments rapportées sont présentées au Tableau 10. L'élément le plus concentré est le brome (concentration moyenne dans les pièces automobiles et RBA = 8 564 mg/kg, n = 27). La concentration utilisée dans les DEEE pour le tri (2 000 mg/kg, CENELEC CLC / TS 50625-3-1: 2015) est dépassée. Le deuxième élément le plus concentré est le plomb (concentration moyenne dans les pièces automobiles = 6 499 mg/kg, n = 13). La concentration dépasse la limitation des substances dangereuses (RoHS) applicable aux EEE (1 000 mg/kg). Selon les auteurs, il est dû à la soudure des cartes de circuits imprimés.

Une comparaison entre le brome total et le brome inclus dans les substances bromées mesurées n'est pas calculable à partir des données traitées. On peut noter, par ailleurs, qu'il a été observé dans les DEEE que la concentration en brome des substances bromées réglementées serait identifiée jusqu'à 86% dans les déchets plus anciens (petits appareils ménagers, tube à rayons cathodiques) mais seulement dans la plage 30-50% dans les déchets plus récents (écrans plats), et en moyenne seulement 8% dans les produits récents (à l'année de leur mise sur le marché, 2009-

2013) (Hennebert et Filella 2017). Dans une étude de 2018 sur les plastiques automobiles, certains échantillons contenaient des niveaux élevés de brome total, et les auteurs concluent que d'autres retardateurs de flamme bromés que réglementés sont disponibles sur le marché et utilisés (Swerea IVF 2018).

Tableau 10: Concentrations déclarées d'éléments dans les pièces automobiles, le fluff et le RBA (ASR) - concentrations moyennes non pondérées, triées par ordre décroissant (en jaune : concentration en brome > 2 000 mg/kg et concentration en plomb > 1 000 mg/kg)

Concentration (mg/kg) moyenne	Pièces de voiture					Fluff				RBA				Moyenne	n
Eléments	Donnée simple	Min	Moyenne	Max	Moyenne voiture	Donnée simple	Min	Max	Moyenne Fluff	Min	Moyenne	Max	Moyenne RBA		
Br		5	9955	29279	13080					506	1762	6490	2919	8564	27
Pb	6499				6499									6499	13
Zn	1766				1766									1766	9
Cr	1580				1580									1580	9
Ba	1469				1469									1469	9
Ni	1199				1199									1199	13
Sb						1017	48	2411	1138					1138	7
Fe	176				176									176	9
P	163				163									163	9
Sr	87				87									87	9
Cu	62				62									62	9
As	12				12									12	9
Mn	12				12									12	9
Cd	4				4									4	12
Hg	1				1									1	13
V	1				1									1	9
Mo	1				1									1	9
Co	0.2				0.2									0.2	9
Li	0.2				0.2									0.2	9
Be	0.04				0.04									0.04	9
Total Eléments															211

6.3 DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS DE DECABDE ET PBDES

Comme mentionné, de nombreuses données rapportées ont de faibles concentrations, et un faible pourcentage des données ont des concentrations élevées. La répartition du décaBDE et des PBDE est présentée à la Figure 2, à la Figure 3 et au Tableau 11. Toutes les catégories de plastiques sont utilisées ici. L'intervalle de concentrations dans les histogrammes est de 1 000 mg/kg. Le premier intervalle de concentration est de [0 - 1 000] mg/kg, correspondant à la fréquence des données en dessous de la limite de concentration. Seulement environ 10% des données ont une concentration supérieure à la limite de concentration. Pour le recyclage du plastique, cette fraction doit être séparée, soit par tri du brome total par transmission de rayons X en ligne, soit

par flottaison dans un bain de densités différentes, comme cela est pratiqué aujourd'hui pour les DEEE (Leslie et al 2016, Hennebert et Filella 2017, Swerea IVF 2018).

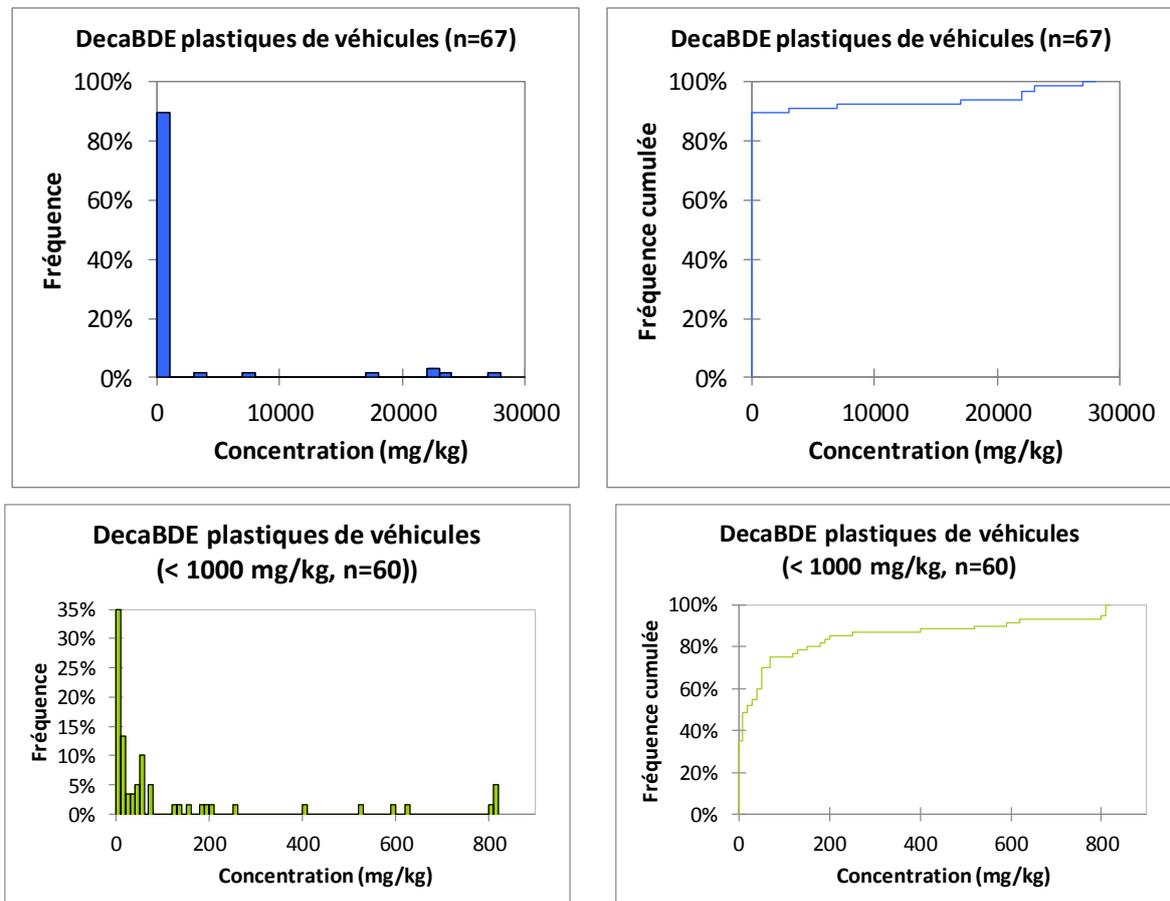


Figure 2: Distribution des concentrations publiées de décaBDE (toutes les catégories)

haut : fréquence des données par classe de concentration de 1000 mg/kg,
bas : fréquence des données par classe de concentration de 10 mg/kg pour les valeurs < 1000 mg/kg, soit 90% des valeurs publiées (nombre de données < 100 mg/kg = 45, soit 67%)

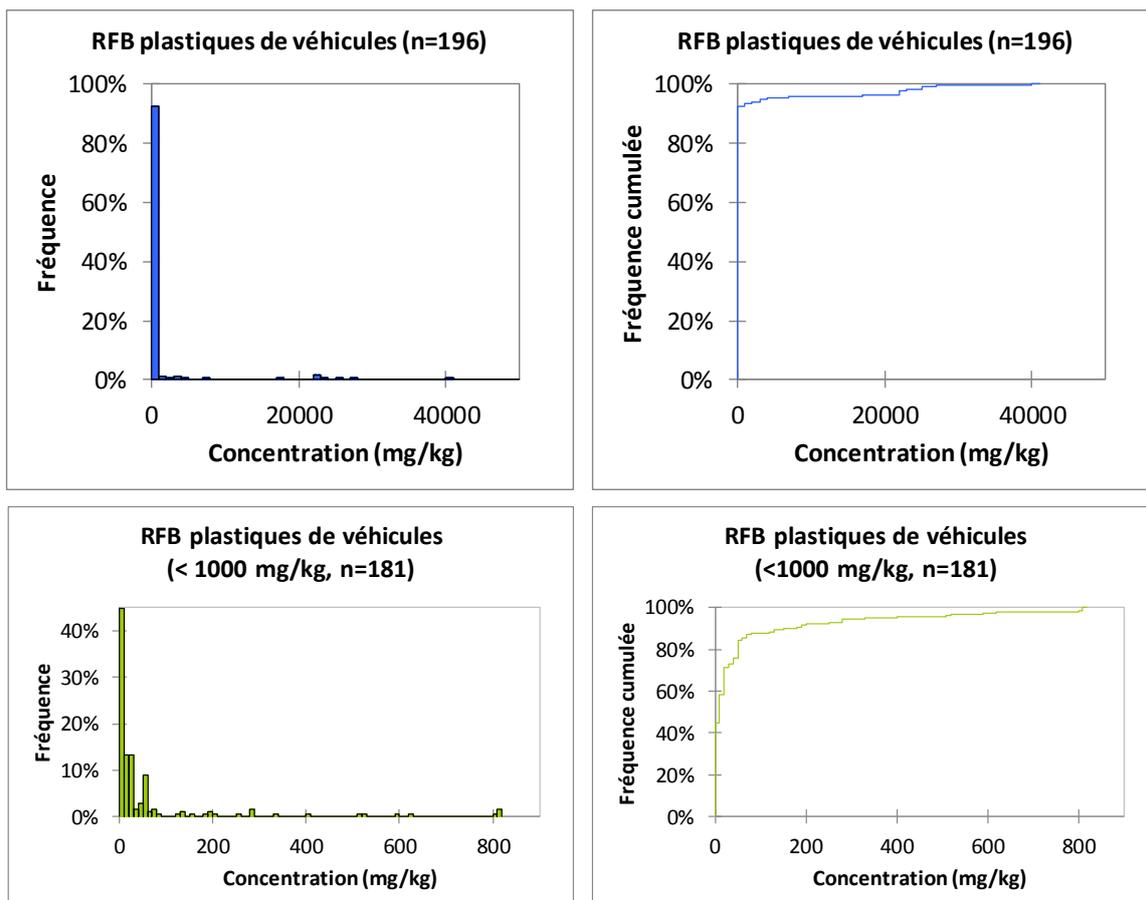


Figure 3: Distribution des concentrations publiées de retardateurs de flamme bromés (toutes les catégories)

haut : fréquence des données par classe de concentration de 1000 mg/kg,
bas : fréquence des données par classe de concentration de 10 mg/kg pour les valeurs < 1000 mg/kg, soit 92% des valeurs publiées (nombre de données < 100 mg/kg = 159, soit 81%)

Tableau 11: Distribution des concentrations de décaBDE, de PBDEs, de HBCDD et de TBBPA observées dans cette étude bibliographique (toutes catégories)

Concentration (mg/kg)	n	Min	Médiane	Moyenne	Max	% échantillons < 1000 mg/kg	% échantillons > 1000 mg/kg
DecaBDE	67	0	40	1950	27000	90%	10%
decaBDE, PBDEs, HBCDD and TBBPA	196	0	11	1200	40000	92%	8%

6.4 TONNAGE DES PLASTIQUES DE VHU EN FRANCE ET DEVENIR

Les données rapportées en France pour l'année 2016 dans le cadre de la responsabilité élargie des producteurs de véhicules sont présentées dans le Tableau 12 (Deloitte et ADEME 2018). Le tonnage des fractions plastiques de VHU (surligné en jaune) est de 122 000 tonnes de plastiques et de 16% de la masse totale de VHU. 40% des plastiques du million de véhicules hors d'usage sont valorisés énergétiquement (incinération avec récupération de chaleur) (49 000 tonnes) et 25% sont envoyés en centre de stockage (31 000 tonnes).

Tableau 12: Tonnages des matières des véhicules hors d'usage (France 2016)
(Rapport annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage - Deloitte et ADEME 2018)

Matière de VHU (tonnes 2016)	Recyclage	Récupération d'énergie	Décharge	Total
Métaux ferreux	564 318	0	564.9	564 883
Polypropylène (PP) autres pièces	18 807	11 764	6 924	37 495
Métaux non ferreux	26 136	0	26.2	26 163
Verre	7 666	5 602	10 646	23 914
ABS, PVC, PC, PMMA, PS, etc.	5 417	7 201	6 145	18 762
Mousses polyuréthane	2 520	9 451	5 104	17 076
Textiles, autres	2 102	8 038	3 939	14 080
Autres caoutchoucs	1037.1	5 147	3 187	9 371
Polyamide (PA)	2 260	3 052	3 235	8 547
Faisceaux électriques	5 471	1 668	860.3	7 999
Peinture	1142.6	3 278	2 420	6 840
Polypropylène (PP) pare-chocs	4 126	1 592	1 009	6 727
Polyéthylène (PE) réservoirs	4 013	1084.7	719	5 816
Polyéthylène (PE) autres pièces	2 068	1 354	831.4	4 254
Total	647 084	59 232	45 610	751 926
Total plastiques (lignes jaunes) (16% de la masse totale)	42 351	48 684	31 093	122 127
Part parmi les plastiques	35%	40%	25%	100%

Il conviendrait de vérifier par analyse de laboratoire si ces fractions plastiques ont un statut de déchets POP ou non. Les fractions de POP au-dessus des limites de concentration doivent être détruites dans des incinérateurs ou transformées de manière irréversible (EU 2008c). Les incinérateurs doivent satisfaire aux exigences d'émissions de dioxines et de furannes dans les gaz de combustion, et d'antimoine lixiviable (Sb_2O_3 est utilisé comme synergiste des RFB dans les plastiques) dans les

condensées. La corrosion de l'installation par le brome est intense (Buykens et Zhou 2014). En effet, le brome est présent en partie sous forme de HBr et en partie en tant que brome élémentaire Br₂. L'HBr est facilement neutralisé par du bicarbonate de sodium solide ou capturé par lavage humide avec de l'hydroxyde de sodium, mais pas le Br₂.

À défaut de destruction, les substances POP continuent leur cycle dans les flux recyclés. Une analyse des flux de matériaux publiée par l'Agence norvégienne du climat et de la pollution en 2008 concernant les RFB dans les flux de déchets indique à peu près qu'il pourrait y avoir de 15 à 20 tonnes dans les véhicules hors d'usage en Norvège. Cela équivaut à environ 150-200 g par véhicule en fin de vie, en moyenne (Agence norvégienne du climat et de la pollution 2012). Une analyse hollandaise a montré que 22% de tous les POP-BDE dans les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) devraient se retrouver dans des plastiques recyclés, insuffisamment séparés. Dans le secteur automobile, il s'agit de 14%, tandis que 19% supplémentaires devraient se retrouver dans des pièces d'occasion (réutilisation) (Leslie et al., 2016). Les substances POP se trouvent dans les lixiviats des sites d'enfouissement (Morin et al., 2017). Des traces de RFB ont été trouvées dans des articles en contact avec les aliments (Puype et al., 2015), avec des éléments de terres rares trouvés dans des produits électroniques, également présents en voiture (3 kg de circuits imprimés dans les voitures modernes, SWEREA IVF 2018).

De larges revues de la littérature soulignent l'omniprésence de ces substances (Norwegian Environmental Agency 2015, 2016). Ces substances héritées peuvent entraver l'objectif obligatoire du recyclage dans l'UE. Ce point a été bien identifié par la Commission européenne (UE 2017). La Finlande a proposé que les objectifs de recyclage de l'UE pour les VHU (85% de recyclage, y compris les broyats et 10% de récupération énergétique) soient calculés à partir du matériau restant après élimination des substances et composants dangereux (Annexe VII de la DEEE 2012/19 / UE) (Häkkinen 2016).

7. CONCLUSION

La stratégie de l'UE concernant la gestion des déchets plastiques stipule que ceux qui contiennent des retardateurs de flammes bromés (RFB) doivent être triés et gérés séparément de la fraction non bromée. Le tri est essentiel pour éviter la dispersion incontrôlée des substances réglementées dans les matières premières recyclées. Ces premières informations bibliographiques montrent qu'environ 10% des concentrations déclarées pourraient être supérieures à 1 000 mg/kg de décaBDE ou de polyBDE dans les plastiques automobiles, et que le tri serait donc nécessaire. Ces données montrent également que le tri peut être efficace : les données sont rares, mais mettent en évidence une concentration moyenne de décaBDE de 14 mg/kg dans des plastiques de VHU triés. Il conviendrait de conforter ces résultats par des campagnes spécifiques au niveau français.

8. REFERENCES

- Alaee, M., Arias, P., Sjodin, A., Bergman, A., 2003. An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release. *Environ. Int.* 29, 683–689.
- Albemarle 2018. Albemarle 2018. Fire Safety Solutions – Product Selector Guide. www.albemarle.com. Consulted Jan 2018.
- Arias P. 2001. Brominated flame retardants—an overview. The Second International Workshop on Brominated Flame Retardants. Stockholm: AB Firmatryck, 2001. p. 17– 9.
- CE 2002. Directive 2002/95/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. JOUE, L37, 13.2.2003, p 19-23
- CE 2003. Directive 2003/11/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 portant vingt-quatrième modification de la directive 76/769/CEE du Conseil relative à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses (pentabromodiphényléther, octabromodiphényléther). JOUE, L 42, 15.2.2003, p 45-46.
- CE 2008a. Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. JOUE, L 312, 22.11.2008, p 3-30.
- CE 2008b. Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n o 1907/2006. JOUE, 31.12.2008, p1-1355.
- CE 2008c. Règlement (CE) No 850/2004 du parlement Européen et du Conseil du 29 Avril 2004 sur les polluants organiques persistants et amendant la Directive 79/117/EEC. JOUE, L 158, p. 7, 30.4.2004, amendée par le Règlement (UE) 2016/460 de la Commission du 30 mars 2016, JOUE, L 80, p. 17, 31.3.2016.
- CENELEC CLC/TS 50625-3-1:2015. Exigences de collecte, logistique et traitement pour les DEEE - Partie 3-1: Spécifications relatives à la dépollution – Généralités. CENELEC, Bruxelles, Belgique
- Chemtura Great lakes Solution 2018. Great Lakes Solution 2017. LANXESS Bromine Solutions. Flame retardants product guide. Consulted Jan 2018.
- Cossu R, Lai T. 2015. Automotive shredder residue (ASR) management: An overview. *Waste Management* 45 (2015) 143–151.
- Deloitte and ADEME 2018. Deloitte Développement Durable, Véronique Monier, Katherine Salès, Lorna Lucet, Radia Benhallam, Rafael Basciano. ADEME, Eric Lecointre, Karine Filmon. Avril 2018. Rapport Annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage – Données 2016 - 121 pages.
- EC 2011. European Commission. Service request under the framework contract No ENV.G.4/FRA/2007/0066. Final report “Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs” 25 March 2011 (Update 13 April 2011). Consortium ESWI Expert Team to Support Waste Implementation. by Umweltbundesamt, Bipro, Enviroplan. 841 p.
http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP_Waste_2011.pdf
- EC 2017. Strategy on Plastics in a Circular Economy. 26/01/2017. 4 p.

- EN 62321-6 NF:2015. Détermination de certaines substances dans les produits électrotechniques - Partie 6 : diphényles polybromés et diphényléthers polybromés dans des polymères par chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS). AFNOR, St Denis, France.
- Flameretardants-online 2018. <https://www.flameretardants-online.com/usage-of-flameretardants/flame-retardants-in-everyday-life>
- Häkkinen E. 2016. Finnish Guidance on POPs waste and pre-treatment of ELVs. Finnish Environment Institute. 22 November 2016, ppt 12 slides. Project on development of the environmental protection of transport, storage and pre-treatment operations of ELVs (Project report published in January 2016), Guidance on management of POPs waste (Published in September 2016).
- Hennebert P, Filella M. 2017. WEEE plastic sorting for bromine essential to enforce EU regulation. Waste Management, 71, January 2018, 390-399.
- ICL Industrial products. 2012. Fire protection for automotive and transportation. 6 p. <http://icl-ip.com/wp-content/uploads/2012/10/FR-Transportation-2012.pdf> ; http://icl-ip.com/segment_category/automotive/ . Consulted Jan 2018.
- Jinhui L, Yuan C, Wenjing X. 2015. Polybrominated diphenyl ethers in articles: a review of its applications and legislation. Environ Sci Pollut Res (2017) 24:4312–4321
- Leslie H A, Leonard P E G, Brandsma S H, de Boer J, Jonkers N. 2016. Propelling plastics into the circular economy — weeding out the toxics first. Environment International 94 (2016) 230–234.
- Morin N.A.O, Andersson P L, Hale S E, Arp H P. 2017. The presence and partitioning behavior of flame retardants in waste, leachate, and air particles from Norwegian waste-handling facilities. J of Environmental Sciences, 62 (2017), 115-132.
- Norwegian Climate and Pollution Agency. 2012. Assessment of the need for new requirements for the environmentally sound treatment of end-of-life vehicles. March 2012. Mepex, Frode Syversen. 74 p.
- Norwegian Environment Agency 2015. Literature Study – DecaBDE in waste streams. Final Report. Reference number: 2015/10094. 11 December 2015. BiPRO GmbH, Alexander Potrykus. 160 p. (Meta reference presenting results of 12 other reports or publications:
- Auto Recycling Netherlands (ARN Recycling BV). 2015. Turning waste into raw materials - ELV automotive plastics recycling
 - Chen S.J., Ma Y.J., Wang J., Tian M., Luo X.J., Chen D., Mai B.X. 2010. Measurement and human exposure assessment of brominated flame retardants in household products from South China. Journal of Hazardous Materials, 176
 - COWI (consulting company) 2014. End-of-Life vehicles and environmental pollutants in material flows at shredder plants – An overview. Trondheim, Norway, COWI.
 - Institute for Environmental Studies (IVM) and University of Amsterdam (IVAM). POP-BDE waste streams in the Netherlands: analysis and inventory. Report R13-16
 - Japanese Ministry of the Environment (MOE). 2011. Survey to identify the characteristics of automotive shredder residue (summary)
 - Niinipuu M. 2013. A comparative evaluation of brominated compounds in end-of-life vehicles. Polybrominated diphenyl ethers and polybrominated dibenzopdioxins and dibenzofurans in car seats. Master's thesis at the Department of Chemistry, Umeå University, Sweden

- Petreas M., Oros D. 2009. Polybrominated diphenyl ethers in California wastestreams. *Chemosphere*, 74
- Risk and Policy Analysis (consulting company) (Georgalas B, Sanchez A, Zarogiannis P). 2014. European Chemicals Agency 2014. Multiple Framework Contract with re-opening of competition for scientific services for ECHA. Support to an annex XV dossier on bis-(pentabromophenyl) ether (decaBDE). J832/ECHA DecaBDE Final report
- Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape. 2003. Selected polybrominated flame retardants PBDEs and TBBPA, Berne.
- Sinkkonen S., Paasivirta J., Lahtiperä M., Vattulainen A. 2004. Screening of halogenated aromatic compounds in some raw material lots for an aluminum recycling plant. *Environment International*, 30
- WRc (consulting company) 2012. Peacock J., Turrell J., Lewin K., Glennie E. 2012. Analysis of Poly-Brominated Biphenyl Ethers (PBDEs) in Selected UK Waste Streams: PBDEs in waste electrical and electronic equipment (WEEE) and end of life vehicles (ELV). Final report for Defra, Report No.: UC8720.05
- WRc (consulting company) Addendum 2012. Peacock J., Turrell J., Lewin K., Glennie E. 2012. Analysis of Poly-Brominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in UK Waste Streams: PBDEs in end of life vehicles (ELV) - Addendum to WRc Report UC8720.04 (January 2012)

Norwegian Environment Agency. 2016. Consultancy service on collecting, summarising and analysing information on c-decaBDE in waste - Analysis of the information received by the Basel Convention related to c-decaBDE as called for in decision BC-12/3. Reference number: 2016/4072. Final Report. BIPRO. Potrykus A. 25 p.

Puype F, Samson J, Knoop J, Egelkraut-Holthus M, Ortlieb M., 2015. Evidence of waste electrical and electronic equipment (WEEE) relevant substances in polymeric food-contact articles sold on the European market. *Food Addit. Contam. Part A* 32, 410–426.

Swerea IVF. 2018. Strååt M, Nilsson C. Decabromodiphenyl ether and other flame retardants in plastic waste destined for recycling. Project Report 5170721 M-973|2018. Contract number: 16128142. 2018.02.23. 29 p.

UE 2011. Directive 2011/65/UE du Parlement européen et du Conseil du 8 juin 2011 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (refonte). *JOUE*, L174, 1.7.2011, p 88-110.

UE 2012. Directive 2012/19/UE du Parlement Européen et du Conseil du 4 juillet 2012 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) (refonte). *JOUE*, L 197, 24.7.2012, p. 38–71.

UE 2014a. 2014/955/UE : Décision de la Commission du 18 décembre 2014 modifiant la décision 2000/532/CE établissant la liste des déchets, conformément à la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil. *JOUE*, L 370, 30.12.2014, p. 44–86.

UE 2014b. Règlement (UE) n °1357/2014 de la Commission du 18 décembre 2014 remplaçant l'annexe III de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives. *JOUE*, L 365, 19.12.2014, p. 89–96.

UE 2017a. Règlement (UE) 2017/227 de la Commission du 9 février 2017 modifiant l'annexe XVII du règlement (CE) no 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances

- chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), en ce qui concerne l'oxyde de bis (pentabromophényle). JOUE, L35, 10.2.2017, p. 6-9.
- UE 2017b. Règlement (UE) 2017/997 du Conseil du 8 juin 2017 modifiant l'annexe III de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la propriété dangereuse HP 14 «Écotoxique». JOUE, L150, 14.6.2017, p. 1-4.
- UNEP 2017. United Nations Environmental Programme and Stockholm Convention. 2017. UNEP/POPS/COP.8/32. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Conference of the Parties to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Eighth meeting. Geneva, 24 April–5 May 2017. Report of the Conference of the Parties to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants on the work of its eighth meeting. SC-8/10: Listing of decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE). P 64/114. 13 July 2017. <http://chm.pops.int/TheConvention/ConferenceoftheParties/Meetings/COP8/tabid/5309/Default.aspx>
- Vermeulen I, Van Caneghem J, Block C, Baeyens J, Vandecasteele C. 2011. Automotive shredder residue (ASR): Reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. *Journal of Hazardous Materials* 190 (2011) 8–27
- Wäger P, Schlupe M, Müller E, Gloor R. 2012. RoHS regulated Substances in Mixed Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 628–635.
- Wäger P, Schlupe M, Müller E. 2010. RoHS Substances in Mixed Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. Final Report, September 17, 2010. Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA). 113 p.

9. ANNEXES

Repère	Désignation	Nb/Format pages
1	Guide des produits des fabricants de RFB (extraits) Chemtura Great Lakes Solution Great Lakes Solution 2017. LANXESS Bromine Solutions. Flame retardants product guide. Consulté Janvier 2018	03 A4
2	Guide des produits des fabricants de RFB (extraits) ALBEMARLE Albemarle 2018. Fire Safety Solutions – Product Selector Guide. www.albemarle.com	03 A4
3	ICL Industrial products. 2012. Fire protection for automotive and transportation.	04 A4

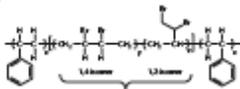
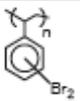
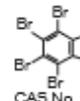
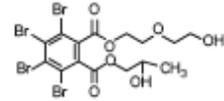
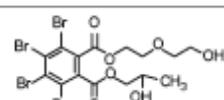
ANNEXE 1

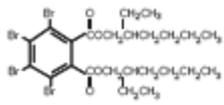
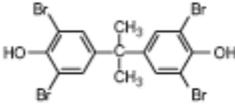
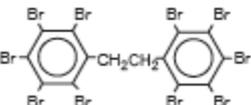
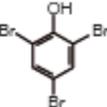
GUIDE DES PRODUITS DES FABRICANTS DE RFB (EXTRAITS)

Chemtura Great Lakes Solution

Great Lakes Solution 2017. LANXESS Bromine Solutions. Flame retardants product guide. Consulté Janvier 2018

BROMINE-BASED FLAME RETARDANTS

		Viscosity/ melting range °C	Volatility TGA, Wt. loss @ temp	Typical specific gravity	Bulk density g/ml	Solubility (g/100 g solvent @ 25 °C)	
Emerald Innovation® 3000 Brominated polymeric Bromine content: 64%	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Brominated Poly(styrene-co-1,3-bis(2,4,6-tribromophenyl)acetylene)</p>	Softening 120	5% @ 255 °C 10% @ 260 °C 50% @ 280 °C	1.9	0.5 (L) 0.7 (P)	Water Methylene chloride Methanol Styrene	<0.1 >20 <0.1 >20
CAS No. 1195978-93-8							
PDBS-80™ Poly (dibromostyrene) Formula weight: 50,000 Bromine content: 59.0%		Tg: 144	5% @ 368 °C 10% @ 378 °C 50% @ 404 °C 95% @ 544 °C	1.9	1.11 (P)	Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C C <0.1 2
CAS No. 88497-56-7							
Firemaster® CP44-HF Copolymer of dibromostyrene Formula weight: ~16,000 Bromine content: 64–65%	Proprietary	Tg: 147	1% @ 316 °C 5% @ 347 °C	2.0		Water Toluene Methylene chloride MEK Methanol Acetone	Insoluble C P P Insoluble Insoluble
CAS No. 88497-56-7							
Firemaster® PBS-64HW Poly (dibromostyrene) Formula weight: 40,000 Bromine content: 64.0%		Tg: 156	5% @ 356 °C 10% @ 371 °C 50% @ 401 °C	2.0	1.25 (P)	Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C C <0.1 P
CAS No. 88497-56-7							
PHT4™ Tetrabromophthalic anhydride Formula weight: 463.7 Bromine content: 68.2%		274–277	5% @ 229 °C 10% @ 242 °C 50% @ 277 °C	2.9	1.37 (L) 2.09 (P)	Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 1 6 1.6 2.6
CAS No. 632-79-1							
PHT4-DioI™ Tetrabromophthalate diol Formula weight: 627.9 Bromine content: 46.0%		90,000 cps @ 25 °C	5% @ 128 °C 10% @ 166 °C 50% @ 319 °C 95% @ 380 °C	1.9		Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.5 C C 9 C
US CAS No. 77098-07-8 EU CAS No. 20566-35-2							
PHT4-DioI™ LV Tetrabromophthalate diol Formula weight: 627.9 Bromine content: 43%		22,500 cps @ 25 °C	5% @ 127 °C 10% @ 151 °C 50% @ 325 °C 95% @ 382 °C	1.7		Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.5 C C 9 C
CAS No. 77098-07-8 EU CAS No. 20566-35-2							
Firemaster® 504 Tetrabromophthalate diol blend Bromine content: 18% (This product is not registered for sale in Europe)	Proprietary	350–500 cps @ 25 °C	5% @ 147 °C 10% @ 167 °C 50% @ 211 °C	1.45		Water Dichloromethane Toluene MEK Methanol MEK	<0.1 C C C C C
CAS No. 77098-07-8 EU CAS No. 20566-35-2							
Firemaster® 508 Tetrabromophthalate diol blend Bromine Content: 37% This product is not registered for sale in Europe)	Proprietary	8800 cps @ 25 °C	5% @ 136 °C 10% @ 157 °C 50% @ 285 °C	1.67		Water Dichloromethane Toluene MEK Methanol MEK	<0.1 C C C C C
CAS No. 77098-07-8 EU CAS No. 20566-35-2							

		Viscosity/ melting range °C	Volatility TGA, Wt. loss @ temp	Typical specific gravity	Bulk density g/ml	Solubility (g/100 g solvent @ 25 °C)		
DP-45™ Tetrabromophthalate ester Formula weight: 706.1 Bromine content: 45%		1800 cps @ 25°C	5% @ 211 °C 10% @ 226 °C 50% @ 268 °C 95% @ 291 °C	1.6		Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C C 5.7 C	
CAS No. 26040-51-7								
BA-59P™ Tetrabromobisphenol A Formula weight: 543.7 Bromine content: 59%		179-182	5% @ 244 °C 10% @ 261 °C 50% @ 301 °C	2.2	0.96 (L) 1.36 (P)	Water Acetone Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 225 27 6 80 168	
CAS No. 79-94-7								
Firemaster® BZ-54 Tetrabromophthalic anhydride derivative Bromine content: 54% (This product is not registered for sale in Europe)	Proprietary	800 cps @ 25°C	5% @ 211 °C 10% @ 226 °C 50% @ 268 °C 95% @ 291 °C	1.7		Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C C 5.7 C	
Firemaster® 600 Tetrabromobenzoate ester composition Bromine content: 27% Phosphorus content: 4% (This product is not registered for sale in Europe)	Proprietary Blend	200 cps @ 25°C	5% @ 210 °C 10% @ 226 °C 25% @ 249 °C 50% @ 269 °C	1.4		Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C 9.47 C C	
Firemaster® 602 Tetrabromobenzoate ester composition Bromine content: 27% Phosphorus content: 4% (This product is not registered or sale in Europe)	Proprietary Blend	200 cps @ 25°C	5% @ 217 °C 10% @ 234 °C 25% @ 257 °C 50% @ 279 °C	1.4		Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C 9.40 C C	
BC-52™ Phenoxy-terminated carbonate oligomer of Tetrabromobisphenol A Formula Weight: ~2,500 Bromine Content: 52%	Proprietary	180-210	5% @ 408 °C 10% @ 438 °C 50% @ 480 °C	2.2	0.61 (L) 1.00 (P)	Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C 14 <0.1 C	
CAS No. 94334-64-2								
BC-58™ Phenoxy-terminated carbonate oligomer of tetrabromobisphenol A Formula weight: ~3,500 Bromine content: 58%	Proprietary	200-230	5% @ 380 °C 10% @ 423 °C 50% @ 475 °C	2.2	0.66 (L) 1.02 (P)	Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 C 14 <0.1 C	
CAS No. 71342-77-3								
Firemaster® 2100R Decabromodiphenyl ethane Formula weight: 971.2 Bromine content: 81-82%		348-353	1% @ 314 °C 5% @ 344 °C 50% @ 402 °C 90% @ 423 °C	3.2	1.19 (L) 1.39 (P)	Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.01 <0.01 <0.01 <0.01 <0.01	
CAS No. 84852-53-9								
PH-73FF™ 2,4,6 Tribromophenol Formula weight: 330.8 Bromine content: 72.5%		91-95	5% @ 122 °C 10% @ 134 °C 50% @ 167 °C 95% @ 183 °C	2.2	1.4 (L) 1.41 (P)	Water Dichloromethane Toluene Methanol MEK	<0.1 36 50 84 225	
CAS No. 118-79-6								

Notes:

TGA:
10 mg @ 10°C/min, N₂

Bulk Density:
L denotes loose
P denotes packed

Solubility:
C denotes complete solubility (100 g/100 ml)
P denotes partial solubility

Great Lakes Solutions
Flame Retardants Product Guide



ANNEXE 2

GUIDE DES PRODUITS DES FABRICANTS DE RFB (EXTRAITS)

ALBEMARLE

Albemarle 2018. Fire Safety Solutions – Product Selector Guide. www.albemarle.com



www.albemarle.com

 ALBEMARLE®

PRODUCT STEWARDSHIP SUMMARY

CAS No. various
FORMULA No. various

Brominated Fire Safety Solutions



Application	SAYTEX HP-7010	SAYTEX HP-3010	SAYTEX 621	SAYTEX 8010	SAYTEX 8010 ZD	SAYTEX BT-93 BT-93W	SAYTEX CP-2000	GreenCrest	SAYTEX RB-79 and Blends	SAYTEX RB-49
Thermoplastics										
ABS				■	■	■	■			
HIPS				■	■	■				
Polyamide	■	■		■						
High-Temperature Polyamide		■								
Polyester	■	■	■	■		■				
Polycarbonate							■			
Polypropylene				■	■	■				
Polyethylene/Copolymers				■	■	■				
Alloys (PC/ABS, HIPS/PPE)				■	■	■				
Elastomers				■	■	■				
Foams										
Extruded Polystyrene								■		
Expanded Polystyrene								■		
Rigid Polyurethane									■	
Polyolefins				■	■	■				
PVC/Nitrile				■	■					
Wire and Cable										
EPDM				■	■	■				
Polypropylene				■	■	■				
PE/EVA				■	■	■				
XLPE/EVA				■	■	■				
TPU				■	■					
Thermosets										
Epoxy				■			■			
Phenolic				■						
Unsaturated Polyester							■			■
Vinyl Esters							■			■
SMC/BMC										■
Polyurea									■	
Textiles, Coatings and Adhesives										
Backcoatings				■		■				
Adhesives				■		■				
Fibers		■								
PU/CASE									■	
Chemical name	Brominated polystyrene	Brominated polystyrene	Brominated polystyrene	Ethane-1,2-bis (pentabromophenyl)	Ethane-1,2-bis (pentabromophenyl)	Ethylene-bis (tetrabromophthalimide)	Tetrabromo-bisphenol-A	Brominated polymer	Tetrabromophthalic anhydride diester/ether diol	Tetrabromophthalic anhydride
Form	Powder or granules	Pellets	Pellets	Powder	Pellets	Powder	Powder	Powder or compacted	Liquid	Powder

This list features the most popular Albemarle flame retardants. Others are available for special applications, and new products are added often. If you have questions about product availability in your region or flame retardant choices for your application, please contact an Albemarle representative at one of the locations listed on the back cover.

Additive ■
Reactive ■

Product Name	Chemical Names	Applications
SAYTEX® 8010	Ethylene 1,2-bis(pentabromophenyl)	Plastic cases and wires used in various electronics
SAYTEX® BT-93 SAYTEX® BT-93W	Ethylene bis(tetrabromophthalimide) 1,2-bis(tetrabromophthalimido) ethane	Plastic lamp sockets and office appliances
SAYTEX® CP-2000	Tetrabromobisphenol A	Printed wiring board laminates
SAYTEX® HP-900	Hexabromocyclododecane	Polystyrene insulation boards
SAYTEX® HP-3010	Brominated Polystyrene*	Connectors
SAYTEX® HP-7010	Brominated Polystyrene*	Connectors
SAYTEX® RB-79	Diol of Tetrabromophthalic acid Tetrabromophthalate diol	Polyurethane foam

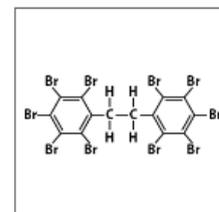
ANNEXE 3
**ICL INDUSTRIAL PRODUCTS. 2012. FIRE PROTECTION FOR AUTOMOTIVE
AND TRANSPORTATION.**

1.1 ICL

ICL Industrial products. 2012. Fire protection for automotive and transportation. 6 p. <http://icl-ip.com/wp-content/uploads/2012/10/FR-Transportation-2012.pdf> ; http://icl-ip.com/segment_category/automotive/

FR-1410

Chemical Name:	Decabromodiphenyl ethane
Formula:	$C_{14}H_4Br_{10}$
CAS Number:	84852-53-9
Bromine content (%):	82
Molecular Weight:	971.2



[Click to view](#)

General & Use:

FR-1410, Decabromodiphenyl Ethane, is an additive flame retardant containing 82% aromatic bromine. Its high bromine content coupled with its exceptional thermal stability makes it the material of choice for a large variety of applications.

Major application areas include HIPS, Low-Density Polyethylene, Polypropylene (Homopolymers and Copolymers), Elastomers, PBT, Polyamides, UPE and Epoxy.





FIRE PROTECTION FOR AUTOMOTIVE AND TRANSPORTATION

35
Br
79.90

Brominated Flame Retardants

15
P
30.97

Phosphorus Flame Retardants

12
Mg
24.31

Magnesium Flame Retardants

7
N
14.01

Nitrogen Flame Retardants



ICL Industrial
P R O D U C T S

CARING FOR YOUR FUTURE TODAY

FLAME RETARDANT SOLUTIONS BY APPLICATIONS

Application	Polymer type	FR tradename
Printed circuit board	Epoxy	FR-1524
	Phenolics	FR-1410; F-2001; Fyrol® FR-2 & PCF; Fyrolflex® RDP
Housing & dashboard	HIPS	FR-245; FR-1410; F-3014 Polyquel® 200 series
	ABS	FR-245; F-2016; F-2400 F-3020; Polyquel® 200 series
	PC/ABS alloys	Fyrolflex®RDP & Sol-DP™; F-3100
	PP	FR-1410; FR-720; FR-370; FR-1025; FR-20 120 S5 & S7; Polyquel® 100 series
Wire & cables	PP copolymers; EPR; SBR;	FR-20 100 & 120 S10 FR-1410
	Plasticized PVC	Phosflex® 390 & 418
Battery casing	PP	FR-720; FR-1410
	Modified PPO	Fyrolflex® RDP & Sol-DP™
Textile for seats	Latex backcoating	FR-1210; TexRon® 9020/9025
Seats	Flexible PUF	Fyrol®A300TB & PNX-(LE)
Connectors & under the hood parts	Polyamide	FR-803P; F-2400; F-3100 FR-1025; FR-1410; FR-20 210 S7
	PBT & PC/PBT alloys	FR-1025; F-2100L; F-2400; F-3100
Acoustic insulation	XPE foam	FR-1210, FR-1410, FR-1025; FR-20
Thermal insulation	Rigid PUF	Fyrol® PCF
	XPE foam	FR-1410
	X Plasticized PVC nitrile rubber blend	FR-1410; FR-20 100 S7; Phosflex® 71B & 390
Truck & boat covers	Plasticized PVC coated fabric	Phosflex® 71B & 390 FR-20 100 S7
Door and partition internal panels	PP, WPC	FR-1210, FR-1410, FR-1025; FR-20

Brominated flame retardant reactive

FR-1524 High purity, high reactivity, low color, high clarity, good solubility and FR efficiency for epoxy printed circuit board application

Brominated flame retardant additives

FR-245 Thermal and UV stability, imparts good flow and impact strength, non-blooming FR, option for low antimony trioxide or antimony trioxide-free solutions

FR-720 High FR efficiency and thermal stability

FR-1410 High FR efficiency and thermal stability, multi-purpose

FR-1210 High FR efficiency and thermal stability and most popular for textile back-coating applications

TexRon® 9020 & 9025 Non deca BDE tailor made FR system with optimal melting range for textile back coating applications with excellent durability

Brominated polymeric flame retardant additives

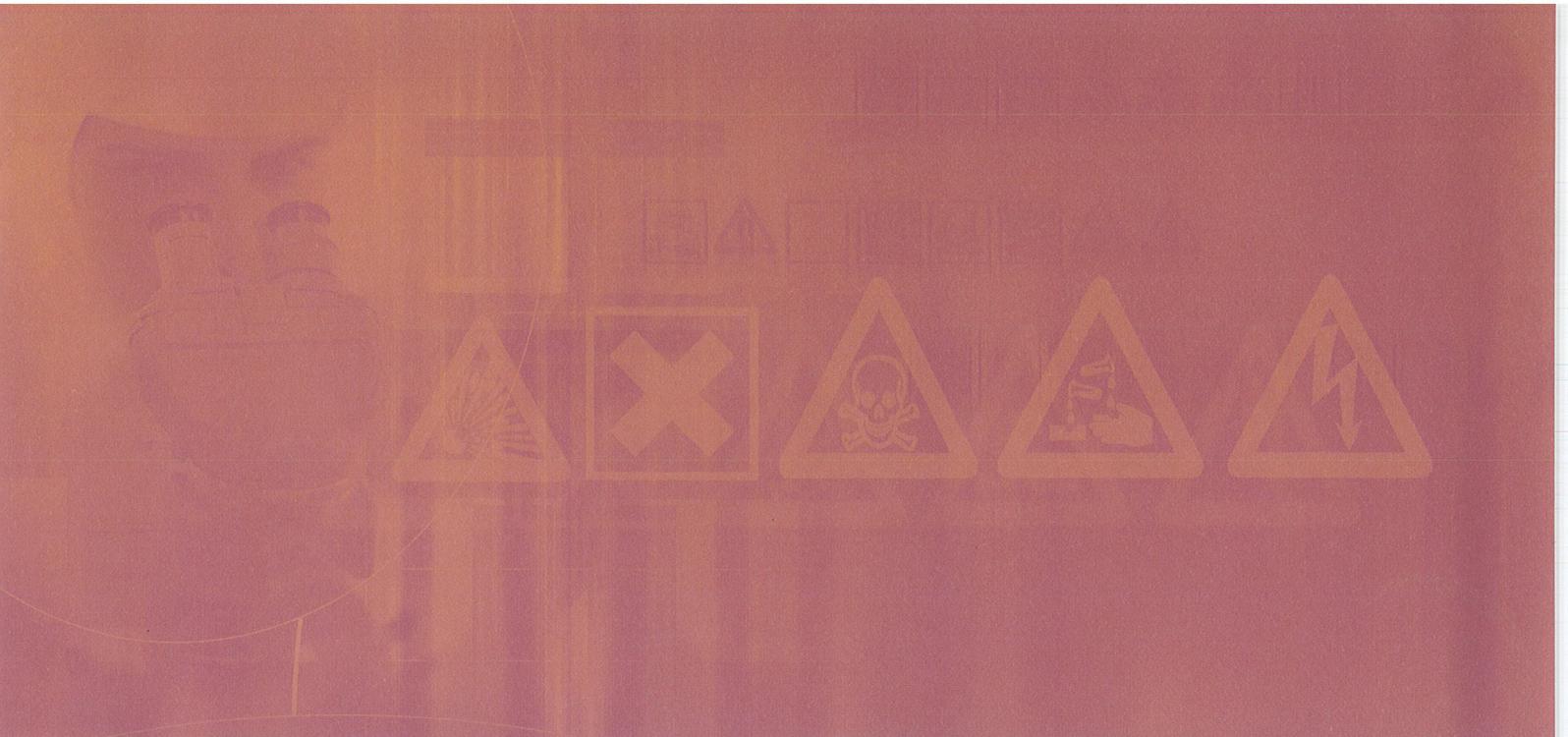
FR-803P Very high thermal stability, non-blooming, good electrical properties

FR-1025 Excellent thermal aging stability, processing aid, high FR efficiency, high impact properties, non-blooming, compatibility with fiber reinforcement and good recycling

F-2000 series High thermal and UV stability, high FR efficiency, melt blendable and non-blooming

F-3000 series High thermal and good UV stability, low metal adhesion, non-blooming

Polyquel® series Non-dust, non-blooming, high thermal and UV stability, FR efficiency



INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet** : <http://www.ineris.fr>