

RAPPORT

18/06/2019

INERIS-DRC-19-177728-01871A

Revue bibliographique des concentrations en substances POP réglementées dans les plastiques de construction, d'équipements textiles et d'ameublement, et d'emballages non-alimentaires

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

**Revue bibliographique des concentrations en substances POP réglementées
dans les plastiques de construction, d'équipements textiles et
d'ameublement, et d'emballages non-alimentaires**

Rapport réalisé pour le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

Personne ayant participé à l'étude : Pauline MOLINA (INERIS)

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 équivalent 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	Rodolphe GAUCHER	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur d'étude de l'Unité Technologies Propres et Economie Circulaire	Responsable de l'unité Technologies Propres et Economie Circulaire	Responsable du Pôle Risque et Technologies Durables
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	8
1. INTRODUCTION	9
2. SUBSTANCES REGLEMENTEES DANS LES MATIERES PLASTIQUES (PRODUITS ET DECHETS)	10
2.1 Limitation des concentrations dans les produits.....	10
2.2 Concentrations rendant les déchets dangereux (par propriétés de danger et par teneurs en substances POP)	11
2.3 Gestion des déchets dangereux (par leur(s) propriété(s) de danger).....	11
2.4 Gestion des déchets dangereux (par leur(s) teneur(s) en substances POP)	12
2.5 Gestion des déchets non dangereux contenant des substances POP	12
2.6 Tri pour séparer les parties ayant une ou des substances réglementées au-dessus des limites de concentration.....	12
3. CONCENTRATIONS SIGNALÉES DANS LES PRODUITS ET DÉCHETS ET DISCUSSION	13
3.1 Échantillonnage, analyse, données rapportées.....	13
3.2 RFB dans les plastiques de construction	14
3.3 RFB dans les textiles.....	17
3.4 RFB dans des emballages non alimentaires	19
3.5 RFB dans les emballages en contact avec les aliments.....	20
3.6 Autres RFB.....	20
3.7 Éléments totaux Br et Sb dans les plastiques	21
3.8 Distribution des concentrations de PBDE, de décaBDE, d'HBCDD et de TBBPA et synthèse	21
4. CONCLUSION	24
5. REFERENCES	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre total de données par catégorie de la littérature, par RFB et élément, et nombre de données présentées dans cette étude	14
Tableau 2 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques de construction - Concentrations par échantillon, données bibliographiques (en mg/kg)	15
Tableau 3 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques de construction – Concentrations et nombre d'échantillon par pays d'origine des données bibliographiques (total 85 échantillons).....	16
Tableau 4 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques d'équipements textiles et d'ameublement - Concentrations par échantillon, données bibliographiques (en mg/kg).....	18
Tableau 5 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques d'équipement textiles et d'ameublement - Concentrations et nombre d'échantillon par pays d'origine des données bibliographiques (total 55 échantillons)	19
Tableau 6 : Synthèse de la concentration de retardateurs de flamme bromés dans les plastiques d'emballages non alimentaires à partir de données bibliographiques (dangereux , pas dans les produits)	19
Tableau 7: Concentrations maximales en RFB non réglementés.....	20
Tableau 8 : Concentrations en Br et Sb totaux dans les plastiques de construction, les textiles et les emballages non alimentaires à partir de données bibliographiques (dangereux , Br > 2000 mg/kg).....	21
Tableau 9 : Synthèse des concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques de la construction, des textiles et des emballages non alimentaires – Concentrations moyennes non pondérées par la masse de chaque objet mesuré d'après les données bibliographiques étudiées – RFB : Pourcentage de données inférieures à 1 000 mg/kg et 500 mg/kg (vert : pourcentage minimal par catégorie), Br et Sb : Pourcentage de données inférieures aux concentrations indiquées	23

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Distribution des concentrations de décaBDE dans les plastiques de construction et textiles et de HBCDD dans la mousse de polystyrène expansé des emballages non alimentaires à partir des données de la littérature (fréquence des données par classe de concentration de 1 000 mg/kg)	22
---	----

RESUME

Ce rapport rassemble des données publiées de certaines substances réglementées ou en cours d'évaluation et d'éléments dans les plastiques de construction, d'équipements textiles et d'ameublement, et de polystyrène d'emballage non alimentaire. Le caractère ignifuge est nécessaire pour protéger les personnes et les biens du feu de produits inflammables. Les retardateurs de flamme bromés (RFB) ont été mis au point avec succès pour répondre aux exigences de sécurité incendie des plastiques de nombreux produits industriels et de consommation. Ils sont fréquemment utilisés avec le trioxyde d'antimoine en tant que synergiste. Une synthèse de plus de 2 600 données publiées, provenant de 18 références, de concentrations de retardateurs de flamme bromés (RFB), parmi lesquelles des polluants organiques persistants (POP), dans les plastiques précités est présentée. Il n'y a pas d'échantillon français et les échantillons d'Europe continentale pour les plastiques de construction (69 échantillons sur 85) et pour les plastiques d'équipements textiles et d'ameublement (36 échantillons sur 55) ont des concentrations faibles à très faibles. Des concentrations importantes de polybromodiphényléthers (PBDE) dont certains sont classés polluants organiques persistants (POP), sont rapportées dans certains échantillons. Le pourcentage de données de décaBDE < 1000 mg/kg est de 95% (81 données) dans les plastiques de construction et de 84% (75 données) dans les plastiques d'équipements textiles et de rembourrage, et n'est pas détecté dans les emballages non alimentaires cités dans les publications étudiées. Pour cette catégorie, le pourcentage de données de concentration en hexabromocyclododécane < 1000 mg/kg dans le polystyrène expansé ou extrudé est de 91% (57 données).

Ce premier panorama montre l'intérêt d'approfondir la connaissance de la teneur en RFB dans ces catégories de plastiques au niveau national. Certaines concentrations mesurées (correspondant pour la majorité à des déchets étudiés hors UE) sont en effet supérieures aux valeurs réglementaires applicables dans l'Union Européenne. Il pourrait être envisagé de vérifier par des campagnes de caractérisation si les différentes fractions de plastiques (non-triées et triées) peuvent être recyclées ou ont le statut de déchets POP.

1. INTRODUCTION

L'UE a élaboré une stratégie sur les plastiques dans une économie circulaire (CE 2017). Certains flux de plastiques ont un taux de recyclage et de réutilisation des plastiques faible, en raison, entre autres, de problèmes de qualité (présence d'additifs ou mélange de différents types de polymères). Par ailleurs, les progrès scientifiques dans la connaissance des substances entraînent la restriction ou l'interdiction d'éléments ou de substances contenus dans des produits et la limitation des options de gestion lorsque ces substances sont présentes dans les déchets, souvent à cause de pratiques antérieures. L'utilisation de plastiques en Europe se répartit ainsi : 39,7% pour les emballages, 19,8% de l'utilisation totale de plastiques pour le bâtiment et la construction, 16,7% pour le matériel médical, le mobilier en plastique et l'équipement de mobilier, les pièces techniques utilisées en construction mécanique, 10,1% pour l'automobile, 6,2% pour l'électricité et l'électronique, 4,1% pour le ménage, les loisirs et le sport, et 3,4% pour l'agriculture (PlasticsEurope 2018). Selon l'usage, ils sont protégés contre le feu avec, entre autres, des retardateurs de flamme bromés (RFB), certains d'entre eux étant désormais classés comme dangereux ou polluants organiques persistants (POP). Une large synthèse sur les substances POP, y compris les RFB dans les plastiques, est disponible (CE 2011). Les déchets contenant certaines substances POP au-dessus des limites de concentration ne peuvent pas être mis en décharge dans l'UE (CE 2004). La récupération d'énergie sous forme de combustible solide de récupération doit être effectuée dans des installations répondant à des exigences strictes en matière d'émissions de gaz de combustion.

La compilation des données sur la production de polybromodiphényléthers (PBDE) préparée pour le Comité d'examen des substances POP de la Convention de Stockholm a estimé la production totale de tous les PBDE de 1970 à 2005 entre 1,3 et 1,5 million de tonnes (PNUE 2017) dont 1,1 et 1,25 million de tonnes environ pour la seule production de décaBDE.

Les trois plus grands producteurs sont Israel Chemical Limited - Produits industriels, Albemarle Corporation et Chemtura - Great Lakes Solutions (produits de construction et notamment mousses isolantes en polystyrène et polyuréthane, équipements électriques et électroniques, transports, câbles électriques, épuration des fumées de charbon, agriculture, pétrole raffinage, entre autres). Une grande variété de RFB est produite (Albemarle 2018, Solution Chemtura Great Lakes 2018, Produits industriels ICL 2012). Les retardateurs de flamme bromés sont utilisés dans différents polymères à des concentrations allant de 1 à 15%, teneur ignifuge efficace (Arias 2001, Alae et al. 2003).

La directive-cadre de l'UE sur les déchets (UE 2018) instaure une collecte séparée pour notamment le plastique et, à compter du 1er janvier 2025, pour les textiles. Pour la construction et la démolition, la Directive recommande la démolition sélective afin de permettre la mise en place de systèmes de tri de ces déchets, dont les plastiques. Ainsi, tous les plastiques (à l'exception des emballages alimentaires, ayant leur propre objectif de collecte et de valorisation) devront être triés.

Pour évaluer la concentration en POP ou en substances réglementées dans les plastiques en fin de vie des équipements de construction et des textiles, des données publiées ont été rassemblées et analysées, ainsi que les plastiques d'emballages non alimentaires (mousses et non films). Cette étude ne concerne pas les textiles d'habillement.

2. SUBSTANCES REGLEMENTEES DANS LES MATIERES PLASTIQUES (PRODUITS ET DECHETS)

2.1 LIMITATION DES CONCENTRATIONS DANS LES PRODUITS

Dans les *équipements électriques et électroniques*, les éléments et substances suivantes sont réglementés (Directive sur les substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques dite 'RoHS', UE 2011) :

- le cadmium : 100 mg/kg ;
- le chrome (VI), le mercure, le plomb : 1000 mg/kg ;
- les polybromodiphényléthers (somme de tous les PBDE) : 1000 mg/kg.

Dans les *produits en général*, les polluants organiques persistants (POP) sont limités (CE 2004 Règlement 850/2004 dit Règlement POP, mis à jour en 2016). Ce sont des substances définies dans la Convention de Stockholm, adoptée par presque tous les gouvernements en 2001, qui ne sont pas biodégradables, sont bioaccumulables et se dispersent s'ils atteignent l'environnement naturel. Certaines sont interdites d'utilisation et des mesures de réduction des émissions doivent être mises en place et suivies (Annexe III).

Les limitations dans les produits sont les suivantes (par ordre de concentration croissante) :

- les polychlorobiphényles (PCB) : interdit d'utilisation (Annexe III du règlement POP) ;
- l'hexabromocyclododécane (HBCDD) : 100 mg/kg dans les produits sous réserve d'un réexamen par la Commission au plus tard le 22/03/2019, avec certaines exemptions dont une exemption pour les articles en polystyrène expansé jusqu'au 26/11/2019 (Annexe I du Règlement POP) ;
- l'hexachlorobutadiène (HCBd) : 100 mg/kg (non recherché ici) (Annexe IV du Règlement POP) ;
- les tetra-, ou penta-, ou hexa- ou hepta-bromodiphényléthers (PBDE) : chacun 1000 mg/kg quand les produits sont fabriqués à partir de matériaux recyclés ou des déchets préparés pour une réutilisation, ou dans les équipements électriques et électroniques (CE 2004 modifié par le règlement (UE) 2016/460 30/03/2016) ainsi que des exemptions spécifiques liées à certains articles ;
- le décabromodiphényléther (décaBDE) : 1 000 mg/kg (UE 2017a) après le 02/03/2019 ;
- les paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC) : 1500 mg/kg dans les articles avec certaines exemptions (non recherchées ici).

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. Ils n'ont pas été recherchés dans la présente étude.

D'autres substances sont également préoccupantes. Le décabromodiphényléthane (DBDPE) a été signalé comme étant présent dans les plastiques de DEEE (Wäger et al., 2010, 2012). Le déchlorane plus (abréviation DDC-CO, CAS N° 13560-89-9),

un retardateur de flamme avec 12 atomes de chlore, a été ajouté à la liste des substances REACH extrêmement préoccupantes le 15 janvier 2018 (ECHA 2018). Le déchlorane plus a deux isomères (syn- et anti-). Il a été trouvé dans des broyats automobiles (fractions grossières et fines), ainsi que dans des DEEE (Morin et al., 2017).

2.2 CONCENTRATIONS RENDANT LES DECHETS DANGEREUX (PAR PROPRIETES DE DANGER ET PAR TENEURS EN SUBSTANCES POP)

Pour classer un déchet plastique comme *déchet dangereux* selon les 15 propriétés de danger de l'UE et la présence de substances POP (UE 2014a, b, UE 2017b), les limites de concentrations sont en pratique :

- HP 7 « Cancérogène »,
 - si Sb_2O_3 (mention de danger H351 1B) > 10 000 mg/kg, équivalent à Sb > 8 354 mg/kg, ou
 - si l'hexabromobiphényle (H350 1B) > 1 000 mg/kg ;
- HP 10 « Reprotoxique »,
 - si l'hexa- ou hepta- ou octaBDE (H360 1B) > 3 000 mg/kg, ou
 - si l'HBCDD (H361) > 30 000 mg/kg ;
- HP 14 « Ecotoxique »,
 - si la somme de (tétraBDE, pentaBDE, HBCDD et TBBPA) (H410) > 2 500 mg/kg à partir de juillet 2018 (UE 2014b, UE 2017b) (> 25 000 mg/kg avant juillet 2018).

Le déchet est en outre classé dangereux si des substances ou groupes de substances POP (CE 2003b, CE 2008c et UE 2014b) suivantes sont présents à une concentration dépassant une limite. Concernant les déchets plastiques, ces substances sont en pratique (par ordre de concentration croissante) :

- les polychlorodibenzo-p-dioxines et dibenzofuranes (PCDD / PCDF) > 15 µg /kg, pouvant être créés involontairement à partir des RFB par friction et échauffement localisé des RFB lors des opérations de traitement des déchets (non recherchées ici) ;
- les polychlorobiphényles (PCB) > 50 mg/kg ;
- l'hexabromobiphényle (HBB) > 50 mg/kg.

L'ajout du decaBDE à cette liste, avec une limite de concentration à 1000 mg/kg a été récemment décidé au niveau européen.

2.3 GESTION DES DECHETS DANGEREUX (PAR LEUR(S) PROPRIETE(S) DE DANGER)

Les déchets dangereux peuvent être enfouis en décharge pour déchets dangereux s'ils respectent des teneurs maximales en éléments lixiviables et des teneurs en substances totales (CE 2003a). En pratique, pour les déchets plastiques dangereux, les paramètres limitants seront la perte au feu (< 10%) ou la teneur en carbone organique total (COT < 6%). La transposition française de la Décision n'a retenu que la teneur en COT.

En cas de dépassement, les déchets doivent être incinérés et leurs cendres doivent satisfaire aux critères de mise en décharge pour déchets dangereux, éventuellement après stabilisation au ciment.

2.4 GESTION DES DECHETS DANGEREUX (PAR LEUR(S) TENEUR(S) EN SUBSTANCES POP)

Les déchets plastiques dangereux par les substances POP dépassant les limites de concentration de l'annexe IV du règlement POP doivent être transformés de manière irréversible pour que les substances n'aient plus le caractère de polluant organique persistant (CE 2004 Annexe V). Les opérations suivantes sont autorisées :

- D9 Traitement physico-chimique,
- D10 Incinération à terre et
- R1 Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB.

Il s'agit pour les RFB de :

- la somme des tetra-, penta-, hexa- et heptaBDE si > 1000 mg/kg, à laquelle une décision européenne début 2019 ajoute le decaBDE, la somme des 5 familles devant être < 1000 mg/kg pour permettre une valorisation autre ;
- l'HBCDD > 1000 mg/kg, sujet à révision au 20/04/2019.

2.5 GESTION DES DECHETS NON DANGEREUX CONTENANT DES SUBSTANCES POP

Les déchets non dangereux dont les concentrations en substances POP dépassent les concentrations autorisées dans les produits (voir 2.1) ne peuvent pas être recyclés et les substances POP doivent être irréversiblement transformées selon les opérations mentionnées au paragraphe 2.4 (CE 2004 Annexe V).

- l'hexabromocyclododécane (HBCDD) : 1000 mg/kg sujet à révision le 20/04/2019 ;
- la somme des tetra-, penta-, hexa- et hepta-bromodiphényléthers (PBDE) : 1000 mg/kg ;
- les paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC) : 10000 mg/kg (non recherchées ici).

2.6 TRI POUR SEPARER LES PARTIES AYANT UNE OU DES SUBSTANCES REGLEMENTEES AU-DESSUS DES LIMITES DE CONCENTRATION

Pour les équipements électriques et électroniques, les polychlorobiphényles des condensateurs et les retardateurs de flamme bromés des plastiques (entre autres substances) doivent être séparés (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 2000 mg/kg de brome total. En pratique, le tri s'effectue soit par différence de densité par flottation ou par transmission de rayons X en ligne, soit par mesure de brome avec un dispositif de fluorescence X portable ou en ligne.

Pour les produits en général, le règlement POP (CE 2004) précise : « Au cours de cette élimination ou de cette valorisation, toute substance figurant sur la liste de l'annexe IV peut être isolée des déchets, à condition d'être par la suite éliminée conformément au premier alinéa. ».

3. CONCENTRATIONS SIGNALÉES DANS LES PRODUITS ET DÉCHETS ET DISCUSSION

3.1 ÉCHANTILLONNAGE, ANALYSE, DONNEES RAPPORTEES

L'extraction et l'analyse des RFB dans les plastiques doivent être effectuées par des laboratoires industriels certifiés selon des méthodes normalisées (EN 62321-6: 2015), sinon l'extraction n'est pas complète (INERIS 2018).

Les données publiées sont hétérogènes. Certaines données sont des concentrations et d'autres des plages de concentration, avec indication du nombre de données de la plage, du minimum, de la médiane, de la moyenne et du maximum. Une synthèse de ces plages de concentrations est difficile à définir.

Les règles suivantes ont été appliquées pour présenter les données :

- les concentrations moyennes présentées ici sont donc la moyenne de toutes les concentrations individuelles et des concentrations minimale, médiane, moyenne et maximale des plages ;
- 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 commerciaux de bromodiphényléthers (c-BDE) étaient généralement produits à trois degrés de bromation différents, en particulier le c-pentaBDE, et sont rapportés en tant que tels, mis à part avec le pentaBDE ;
- certains auteurs font état de la somme de BDE classifiés POP au moment de leur publication (tétra, penta, hexa et hepta-BDE), sous le nom de POP-BDE ; les PBDE présentés ici sont la somme de toutes les données de BDE pour un même échantillon (y compris donc notamment du décaBDE lorsqu'il a été recherché) ;
- les concentrations en hexabromocyclododécane (HBCDD – somme des trois isomères) et en tétrabromobisphénol A (TBBPA) sont rapportées et présentées ;

Les polybromobiphényles (PBB) et les polychlorobiphényles (PCB), interdits depuis longtemps, n'ont pas de données pour ces plastiques, et il est connu que leurs concentrations sont très faibles à nulles dans les plastiques de D3E et d'automobile (Hennebert and Filella 2017, Hennebert 2018, INERIS 2018). Plusieurs auteurs ont étudié d'autres RFB (2 dans Rani et al. (2014) et 12 dans Vojta et al. (2017)). Ces données sont nombreuses (1264) et brièvement présentées au point 3.6.

Au total 2591 données de RFB et 93 données de Br et Sb ont été utilisées, soit 2684 données, provenant de 18 publications ou rapports (dont le rapport Norwegian Environment Agency (2015) citant 12 publications qui ont été individuellement recherchées pour exploitation). De nombreuses autres publications sont disponibles, mais la recherche a été arrêtée lorsque le nombre de données a été jugé suffisant pour tirer des conclusions

Dans cette étude, les concentrations minimales, médianes (la concentration qui sera trouvée dans le 50ème percentile de particules ou parties mesurées

individuellement), moyennes (qui seront trouvées dans l'analyse en laboratoire d'échantillons représentatifs de lots ou de flux) et maximales, ainsi que le nombre de données dépassant une concentration donnée sont présentées. Les données sont également présentées par pays d'origine ou pays dans lesquels les données ont été obtenues, ce facteur étant apparu comme très discriminant. Il n'y a aucun échantillon français.

Tableau 1 : Nombre total de données par catégorie de la littérature, par RFB et élément, et nombre de données présentées dans cette étude

Catégorie	Données individuelles et gamme de concentration				Nombre de gamme de concentration			
	Construction	Textiles	Emballage non-alimentaire	Total	C	T	P	Total
RFB								
PBDE	716	437		1153	4	12		16
dont DecaBDE	81	75		156				
HBCDD	84	59	57	200	2	7		9
TBBPA	6		8	14				
Total	806	496	65	1327	6	19		25
RFB non réglementés	840	408	16	1264				
Total RFB	1646	904	81	2591				
Éléments								
Br	9	70	6	85	3	23	2	28
Sb	4	4		8				
Total éléments	13	74	6	93	3	23	2	28
Grand total	1659	974	87	2684				

3.2 RFB DANS LES PLASTIQUES DE CONSTRUCTION

Au total, 806 données (y compris les données de 6 plages) de 85 échantillons sont été rassemblées (Tableau 1). Les échantillons sont présentés au Tableau 2 par groupe de RFB présents ou non (dernière colonne) et par concentration moyenne décroissante. La distinction entre les groupes PBDE – decaBDE d'une part et HBCDD d'autre part est très nette, avec plus de mousses et de polystyrènes pour ce dernier groupe. Les concentrations en HBCDD sont cependant trop faibles que pour être ignifugeante : le maximum est de 0.54%, alors que 0.8 à 4% sont recommandés (Arias 2001, Alae et al. 2003). Ce peut être l'indice de produits issus de recyclage en mélange de plastiques bromés et non bromés, selon divers auteurs. Le groupe sans RFB comprend des peintures, des panneaux de bois, des isolants à base de papier... Une synthèse est présentée au Tableau 3. La moyenne par échantillon de la somme des RFB réglementés est présentée par pays (Tableau 3).

Tableau 2 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques de construction - Concentrations par échantillon, données bibliographiques (en mg/kg)

Echantillon	PBDE	Dont DecaBDE	HBCDD	Total	Pays	Catégorie
Adhésif époxy	300000	300000		300000	Norvège	PBDE
Isolation électrique	200000	200000		200000	Suède	
Mousse PUR 1	140000			140000	Etats-Unis	
Mousse PUR 2	120000			120000	Pas connu	
construction 2	4799			4799	Littérature mondiale	
Membrane / film anti-humidité	1000	1000		1000	Suisse	
isolant des tuyaux	63	626	0	57	Tchéquie	
matières plastiques recyclées	2	18	1	2	Tchéquie	
mousse d'étanchéité bleue	0	0	5400	491	Tchéquie	HBCDD
PSE D	0	0	3050	1017	Irlande	
PSE 5			1609	804	Corée	
PSE 4			1519	760	Corée	
PSE 8			1335	668	Corée	
PSE 7			1098	549	Corée	
mousse de montage pâle	0	0	832	76	Tchéquie	
air conditionné - feuille d'aluminium	1	6	545	50	Tchéquie	
polystyrène	0	0	469	43	Tchéquie	
polystyrène de construction	0	0	469	43	Tchéquie	
climatisation - feuille intérieure	0	0	412	37	Tchéquie	
réseau de fibres	0	0	250	23	Tchéquie	
EPS 6			194	97	Corée	
panneau de polystyrène	0	0	127	12	Tchéquie	
XPS D	0	0	35	12	Irlande	
climatisation - feuille de cellophane	0	0	16	1	Tchéquie	
cloison sèche	0	0	9	1	Tchéquie	
isolation HARDASIL NT	0	0	8	1	Tchéquie	
climatisation - mousse de fibres de verre	0	0	8	1	Tchéquie	
mousse de montage jaune	0	0	3	0	Tchéquie	
mousse de montage verte	0	0	2	0	Tchéquie	
isolation en mousse phénolique	0	4	0	0	Tchéquie	Sans RFB
isolation en mousse 2	0	2	0	0	Tchéquie	
isolation en mousse 3	0	1	0	0	Tchéquie	
isolation en fibres de bois 3	0	1	0	0	Tchéquie	
échangeur de chaleur	0	0	0	0	Tchéquie	
isolation en papier	0	0	0	0	Tchéquie	
caoutchouc	0	0	0	0	Tchéquie	
construction 1	0			0	Littérature	
peinture extérieure	0	0	0	0	Tchéquie	
panneau isolant	0	0	0	0	Tchéquie	
perle de finition de fenêtre 1	0	0	0	0	Tchéquie	
isolation en mousse 1	0	0	0	0	Tchéquie	
isolation de papier de cartons de boissons recyclées	0	0	0	0	Tchéquie	
corde de chanvre d'isolation	0	0	0	0	Tchéquie	
feuille d'aluminium d'isolation	0	0	0	0	Tchéquie	
tuyau d'évacuation	0	0	0	0	Tchéquie	
linoléum élastique 2	0	0	0	0	Tchéquie	
linoléum 2	0	0	0	0	Tchéquie	
peinture résistant à l'eau	0	0	0	0	Tchéquie	
linoléum 1	0	0	0	0	Tchéquie	
isolation acoustique en papier	0	0	0	0	Tchéquie	
matériau polyacrylate	0	0	1	0	Tchéquie	

revêtement de sol en plastique stratifié	0	0	1	0	Tchéquie
panneaux à copeaux orientés 2	0	0	0	0	Tchéquie
profilé de coin de fenêtre	0	0	0	0	Tchéquie
plâtre	0	0	0	0	Tchéquie
isolation en asphalte	0	0	0	0	Tchéquie
formica	0	0	0	0	Tchéquie
panneaux à copeaux orientés 1	0	0	0	0	Tchéquie
aggloméré 3	0	0	0	0	Tchéquie
isolation en fibres de bois 1	0	0	0	0	Tchéquie
mousse d'étanchéité verte	0	0	0	0	Tchéquie
isolation en coton	0	0	0	0	Tchéquie
mastic 1	0	0	0	0	Tchéquie
panneaux à copeaux orientés 5	0	0	0	0	Tchéquie
planche de bois 2006	0	0	0	0	Tchéquie
mastic 2	0	0	0	0	Tchéquie
aggloméré brun	0	0	0	0	Tchéquie
panneaux à copeaux orientés 3	0	0	0	0	Tchéquie
aggloméré 2	0	0	0	0	Tchéquie
panneaux à copeaux orientés 4	0	0	0	0	Tchéquie
aggloméré 4	0	0	0	0	Tchéquie
aggloméré 1	0	0	0	0	Tchéquie
perle de finition de fenêtre 2	0	0	0	0	Tchéquie
isolation de cellulose soufflée	0	0	0	0	Tchéquie
pansement mousse ignifuge	0	0	0	0	Tchéquie
panneau de polystyrène de construction	0	0	0	0	Tchéquie
conduite d'eau potable	0	0	0	0	Tchéquie
linoléum élastique 1	0	0	0	0	Tchéquie
mousse 2	0	0	0	0	Tchéquie
polystyrène décoratif	0	0	0	0	Tchéquie
aggloméré 5	0	0	0	0	Tchéquie
isolation en fibre de bois 2	0	0	0	0	Tchéquie
planche de bois 1996	0	0	0	0	Tchéquie
XPS 12			0	0	Corée
Inconnu (d'un chantier)			0	0	Irlande

Tableau 3 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques de construction – Concentrations et nombre d'échantillon par pays d'origine des données bibliographiques (total 85 échantillons)

Pays	Moyenne de la somme des concentrations de PBDE, TBBPA et HBCDD par échantillon	Nombre d'échantillons
Norvège	300000	1
Suède	200000	1
USA	140000	1
Pas connu	120000	1
Littérature	2400	2
Suisse	1000	1
Irlande	494	3
Corée	480	6
Tchéquie	12	69

3.3 RFB DANS LES TEXTILES

Au total, 496 données (y compris des données de 19 plages) ont été rassemblées (Tableau 1). Les plastiques recouvrent ici également un large éventail (Tableau 4) présenté par groupe de RFB présents ou non (dernière colonne) et par concentration moyenne décroissante. Un premier groupe PBDE – decaBDE sans HBCDD peut être identifié, avec en majorité des concentrations non ignifugeantes (au moins 5% soit 50 000 mg/kg selon Arias 2001 et Alae et al. 2003). Un deuxième groupe moins nombreux contient de l'HBCDD avec ou sans PBDE. Le groupe sans RFB est composé d'articles qui ne semblent pas différents des deux premiers groupes. Ici également, les échantillons d'Europe continentale sont les moins concentrés (Tableau 3). Il n'y a pas d'échantillon français.

Une synthèse des concentrations pour tous les échantillons est présentée au Tableau 5. La concentration moyenne de décaBDE de 6 500 mg/kg (n = 75), supérieure à la limite pour les produits. Ce résultat est cohérent avec le niveau élevé observé dans les sièges et les mousses de l'industrie automobile (INERIS 2018). La concentration moyenne en HBCDD classe en déchet dangereux et supérieure à la limite pour les produits. La valorisation de ce gisement de plastiques nécessite une vérification des teneurs en RFB, au moins pour certaines catégories de produit.

Tableau 4 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques d'équipements textiles et d'ameublement - Concentrations par échantillon, données bibliographiques (en mg/kg)

Echantillon	PBDE	Dont DecaBDE	HBCDD	Total	Pays	Catégorie
Polyester textile C	130000	120000	3	25318	Japon	Avec PBDE
Tissus d'ameublement en polyester traité au c-décaBDE utilisés dans la fabrication de rideaux	120000	120000		120000	Japon	
Mousse PUR pour meubles rembourrés	41040			41040	Etats-Unis	
couche adhésive de rubans réfléchissants	30000	30000		30000	Asie à la Norvège	
Mousse PUR pour matelas	25000			25000	Etats-Unis	
textile 2	20003			20003	Littérature UNEP	
textile 1	11843			11843	Littérature UNEP	
mousse de rembourrage	7023	7023		7023	Inde	
fenêtre aveugle	4799	4799		4799	Inde	
tapis	85	85		85	Turquie	
Polyester Textile A	0	1	43000	4300	Japon	Avec HBCDD
tissu polyester B	2	10	42000	4202	Japon	
rideau textile A polyester bleu			26000	26000	Japon	
rideau textile B polyester noir			24000	24000	Japon	
tissus d'ameublement	9999	19953	15050	11683	Irlande	
rembourrage en mousse pour meubles	1060	2119	2275	1465	Irlande	
rideau D	7	14	15	10	Irlande	
les tapis	907	1810	7	607	Irlande	
des matelas	115	230	3	78	Irlande	
Isolation / rembourrage de tapis	1	2		1	Pays-Bas	Sans RFB
Textile traité au décaBDE	0			0	Japon	
tapis persan	0	0	1	0	Tchéquie	
rideau 2006	0	0	1	0	Tchéquie	
tapis gris 1	0	0	0	0	Tchéquie	
tapis vert 1981	0	0	0	0	Tchéquie	
nappe 1996	0	0	0	0	Tchéquie	
mousse 1	0	0	0	0	Tchéquie	
tapis rouge	0	0	0	0	Tchéquie	
couverture	0	0	0	0	Tchéquie	
matière textile 1	0	0	0	0	Tchéquie	
rideau 2005	0	0	0	0	Tchéquie	
matière textile 2	0	0	0	0	Tchéquie	
tapis bleu	0	0	0	0	Tchéquie	
tapis gris 2	0	0	0	0	Tchéquie	
tapis marron	0	0	0	0	Tchéquie	
tapis vert 2006	0	0	0	0	Tchéquie	
matériau de rembourrage 1	0	0	0	0	Tchéquie	
mousse 2	0	0	0	0	Tchéquie	
fibre de coco	0	0	0	0	Tchéquie	
couverture textile	0	0	0	0	Tchéquie	
matériau de rembourrage 3	0	0	0	0	Tchéquie	
bourre d'oreiller	0	0	0	0	Tchéquie	
matière textile 3	0	0	0	0	Tchéquie	
peluche	0	0	0	0	Tchéquie	
rideau 2008	0	0	0	0	Tchéquie	
mousse 1981	0	0	0	0	Tchéquie	
isolation de la bouteille textile	0	0	0	0	Tchéquie	
mousse	0	0	0	0	Tchéquie	
matière textile 4	0	0	0	0	Tchéquie	
pendaison	0	0	0	0	Tchéquie	
couvre-lit	0	0	0	0	Tchéquie	
rideau 2007	0	0	0	0	Tchéquie	
matériau de rembourrage 2	0	0	0	0	Tchéquie	
nappe 1986	0	0	0	0	Tchéquie	
textile 2010	0	0	0	0	Tchéquie	

Tableau 5 : Concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques d'équipement textiles et d'ameublement - Concentrations et nombre d'échantillon par pays d'origine des données bibliographiques (total 55 échantillons)

Pays	Moyenne de la somme des concentrations de PBDE, TBBPA et HBCDD par échantillon (mg/kg)	Nombre d'échantillons
USA	36457	2
Asie vers Norvège	30000	1
Littérature globale	15923	2
Japon	14947	7
Inde	5911	2
Irlande	2769	5
Turquie	85	1
Pays-Bas	1	1
Tchéquie	0	34

3.4 RFB DANS DES EMBALLAGES NON ALIMENTAIRES

Au total, 65 données (sans plages de données) ont été rassemblées (Tableau 6). Ces plastiques sont exclusivement du polystyrène expansé EPS et du polystyrène extrudé XPS avec l'HBCDD comme RFB. Les concentrations sont faibles ou à la limite de quantification (< 0.1 mg/kg), mais 31 échantillons ont une concentration d'HBCDD > 10 mg/kg, les plus élevées étant le polystyrène d'emballage des équipements de laboratoire, des appareils ménagers et des imprimantes (Rani et al. (2014) et Abdallah et al. (2018)). La teneur maximale en HBCDD dépasse la limite de concentration pour les déchets dangereux, et la moyenne est supérieure à ce qui est autorisé pour les produits..

*Tableau 6 : Synthèse de la concentration de retardateurs de flamme bromés dans les plastiques d'emballages non alimentaires à partir de données bibliographiques (**dangereux, pas dans les produits**)*

RFB dans les plastiques d'emballage non alimentaire	Concentration (mg/kg)				
	n	Min	Médiane	Moyenne	Max
PBDE	-	-	-	-	-
dont DecaBDE	-	-	-	-	-
HBCDD	57	0	11	232	5897
TBBPA	8	0	-	0	1

3.5 RFB DANS LES EMBALLAGES EN CONTACT AVEC LES ALIMENTS

Ce point n'est pas l'objet de cette étude et est présenté dans la mesure où, selon les auteurs, il est prouvé que les plastiques bromés (provenant peut-être de mousses d'isolation de construction) sont recyclés dans les articles en contact avec les aliments. A partir de 66 données récentes de deux auteurs (de Corée par Rani et al. (2014) et du Royaume-Uni par Abdallah et al. (2018)), d'assiettes et de coupes jetables, de boîtes de menu, de récipients pour plats à emporter, de boîtes en polystyrène gardant le froid, d'emballages pour légumes et similaires, le tout en polystyrène expansé (EPS ou PSE) ou PS extrudé (XPS ou PSX), six données ont une concentration en HBCDD > 10 mg/kg (1516, 50, 29, 15, 14 et 10 mg/kg).

3.6 AUTRES RFB

Deux auteurs ont mesuré 12 RFB non réglementés aujourd'hui (Tableau 7) dans un total de 117 échantillons. Les concentrations maximales sont présentées. Les concentrations sont faibles à nulles. Un échantillon de caoutchouc et un échantillon de matériaux plastique recyclé ont une concentration en déchlorane plus de 64 mg/kg et 17 mg/kg, respectivement. Le décabromodiphényl éthane (DBDPE) est un remplaçant du decaBDE depuis deux décennies (Wäger et al. 2012), mais n'est cependant pas détecté dans les plastiques étudiés.

Tableau 7: Concentrations maximales en RFB non réglementés

Substance			Concentration maximale (mg/kg)			
Abréviation	Nom	Code CAS	Construction	Textiles	Emballage non alimentaire	Nombre de données
DDC-CO	Dechlorane Plus (somme de anti- et syn-)	13560-89-9	64			206
BTBPE	1,2-Bis(2,4,6-tribromophenoxy)ethane	37853-59-1	1	0	0	30
DBDPE (DBDPER)	Decabromodiphenylethane Ou 1,2-bis(pentabromodiphenyl)ethane	84852-53-9	0		0	117
DBE-DBCH (TBECH)	Tetrabromoethylcyclohexane (somme de alpha- et beta-)	3322-93-8	0	0		14
DBHCTD (HCDBCO)	Hexachlorocyclopentenyl-dibromocyclooctane	51936-55-1	0	1		103
HBB	Hexabromobenzene	87-82-1	1	1		103
PBEB	Pentabromoethylbenzene	85-22-3	0	0		103
PBT	Pentabromotoluene	87-83-2	0	0		103
TBCO	1,2,5,6-Tetrabromocyclooctane ((somme de alpha- et beta-)	3194-57-8	0	0		103
TBP-BAE (BATE)	2-Bromoallyl-2,4,6-tribromophenyl ether	3728-89-5	0	0		103
TBP-DBPE (DPTE)	2,3-Dibromopropyl-2,4,6-tribromophenyl ether	35109-60-5	0	0		103
TBX (pTBX)	2,3,5,6-Tetrabromo-p-xylene	23488-38-2	0	0		103
Max						Total 1264

3.7 ELEMENTS TOTAUX BR ET SB DANS LES PLASTIQUES

La recherche bibliographique s'est concentrée sur les RFB et les auteurs n'ont pas rapporté de concentration des éléments de la Directive RoHS (Cd, Cr(VI), Hg, Pb), qui concerne les équipements électriques et électroniques. Au total, 93 données (y compris des données de 28 plages) ont été rassemblées (Tableau 1). Toutes les catégories de plastiques sont en partie bromées (Tableau 8), les valeurs les plus élevées étant celles des plastiques textiles, suivis des plastiques de construction et des plastiques d'emballage non alimentaire. La concentration moyenne en brome total est > 2 000 mg/kg pour les plastiques de construction et textiles (n = 79), et est de 1 200 mg/kg pour les emballages non alimentaires (n = 6). Les données de brome total dans les plastiques de construction proviennent d'Irlande et du Royaume Uni, de textiles des USA, d'Irlande, du Royaume Uni et des Pays-Bas, et d'emballage non alimentaires d'Irlande.

Ces plastiques contiennent également de l'antimoine. Le trioxyde de diantimoine Sb_2O_3 est classé H351 niveau cancérigène 2 dans le système CLP composé de substances et de mélanges (UE 2008). Dans le système de détermination de la dangerosité des déchets (UE 2014a, b, UE 2017b), la limite de concentration pour la propriété de danger HP 7 'Cancérigène' est de 1% de Sb_2O_3 (correspondant à 8354 mg/kg de Sb) (voir 2.2). Deux échantillons de plastiques sont classés comme dangereux en fonction de leur concentration en antimoine (en gras) : « construction – plomberie » à 13000 mg Sb/kg et « habillage – rembourrage » à 9922 mg Sb/kg. Les données d'antimoine proviennent du Royaume Uni.

Tableau 8 : Concentrations en Br et Sb totaux dans les plastiques de construction, les textiles et les emballages non alimentaires à partir de données bibliographiques (**dangereux**, Br > 2000 mg/kg)

Catégories	Br					Sb				
	n	Min	Médiane	Moyenne	Max	n	Min	Médiane	Moyenne	Max
Construction	9	0	45	2122	9410	4	103	984	3768	13000
Textiles	70	0	99	7175	128300	4	90	944	2975	9922
Emballage	6	0	10	1153	5600	-	-	-	-	-

3.8 DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS DE PBDE, DE DECABDE, D'HBCDD ET DE TBBPA ET SYNTHESE

La répartition de la concentration en décaBDE et HBCDD dans les données de la littérature étudiées ici est présentée à la Figure 1 et au Tableau 9. L'intervalle de concentration dans les histogrammes est de 1 000 mg/kg. Une grande majorité des données sont inférieures à 1 000 mg/kg ou à 500 mg/kg (Tableau 9). Les distributions bimodales sont également mises en évidence par la grande différence entre la médiane et la moyenne (Tableau 9). La distribution du brome et de l'antimoine est également présentée au Tableau 9.

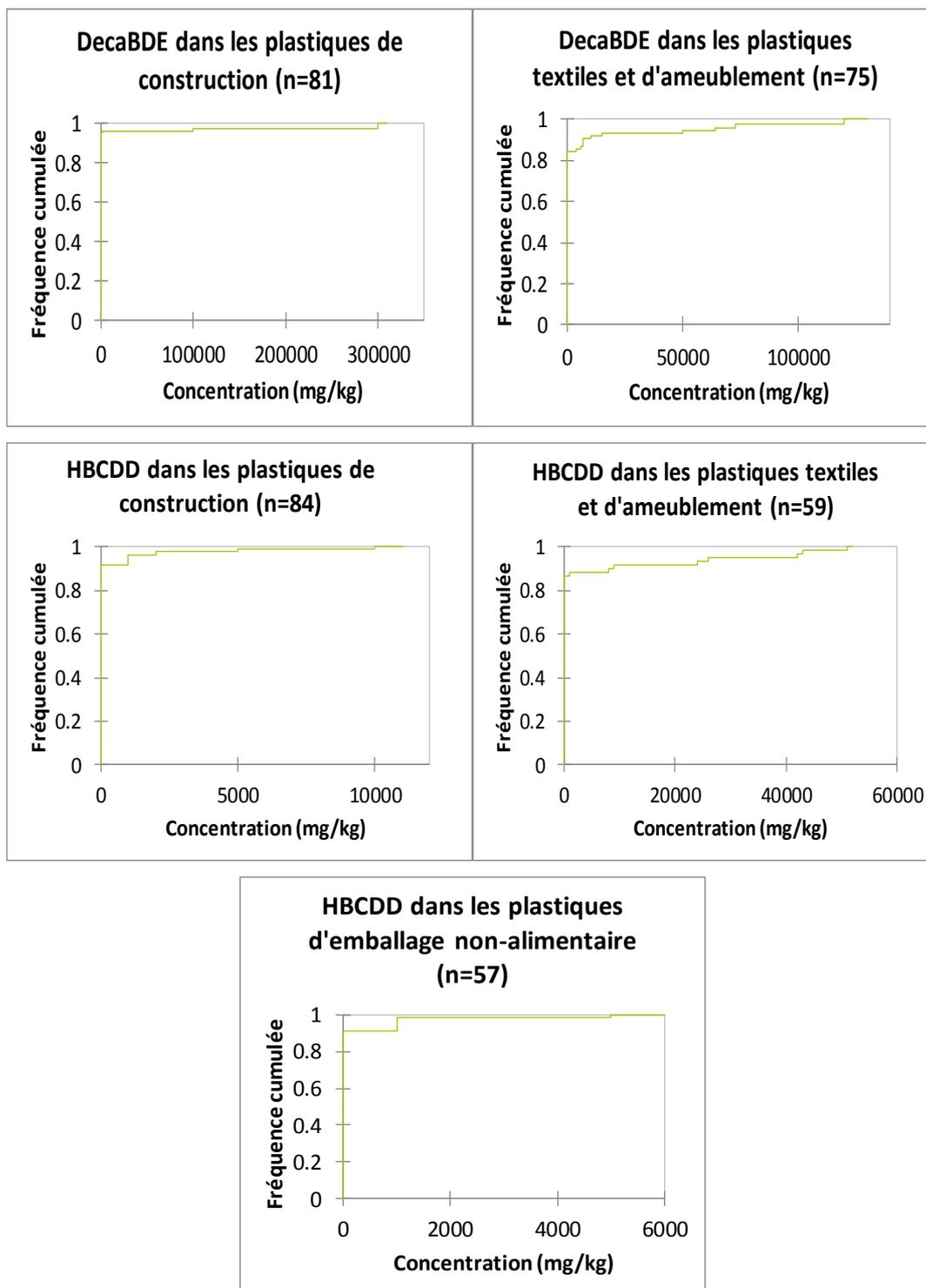


Figure 1 : Distribution des concentrations de décaBDE dans les plastiques de construction et textiles et de HBCDD dans la mousse de polystyrène expansé des emballages non alimentaires à partir des données de la littérature (fréquence des données par classe de concentration de 1 000 mg/kg)

Tableau 9 : Synthèse des concentrations de certains retardateurs de flamme bromés dans les plastiques de la construction, des textiles et des emballages non alimentaires – Concentrations moyennes non pondérées par la masse de chaque objet mesuré d'après les données bibliographiques étudiées – RFB : Pourcentage de données inférieures à 1 000 mg/kg et 500 mg/kg (vert : pourcentage minimal par catégorie), Br et Sb : Pourcentage de données inférieures aux concentrations indiquées

Catégorie	RFB, Br, Sb	Concentration (mg/kg)					% données de la littérature < 1 000 mg/kg	% données de la littérature < 500 mg/kg
		n	Min	Médiane	Moyenne	Max		
Construction	PBDE	716	0	0	9819	300000	99%	99%
	dont DecaBDE	81	0	0	6792	300000	95%	94%
	HBCDD	84	0	0	223	5400	92%	89%
	TBBPA	6	0	0	0	0	100%	100%
	Br	9	0	45	2122	9410	% < 2000 mg/kg : 78%	
Sb	4	103	984	3768	13000	% < 8354 mg/kg : 75%		
Textile et ameublement	PBDE	437	0	0	7583	130000	95%	94%
	dont DecaBDE	75	0	0	6376	120000	84%	81%
	HBCDD	59	0	0	3463	43000	86%	86%
	TBBPA	-	-	-	-	-	-	-
	Br	70	0	99	7175	128300	% < 2000 mg/kg : 71%	
Sb	4	90	944	2975	9922	% < 8354 mg/kg : 75%		
Emballage non-alimentaire	PBDE	-	-	-	-	-	-	-
	dont DecaBDE	-	-	-	-	-	-	-
	HBCDD	57	0	11	232	5897	91%	88%
	TBBPA	8	0	0	0	1	-	-
	Br	6	0	10	1153	5600	% < 2000 mg/kg : 69%	
Sb	-	-	-	-	-	-	-	

Les 1367 données de RFB de la littérature synthétisées dans le Tableau 9 indiquent que les trois catégories de plastiques étudiées comprennent des équipements ou matériaux, qui pour certains, contiennent des RFB en concentration qui classerait en déchets dangereux dans l'union européenne ou qui ne permettrait pas de recyclage en l'état dans les produits. Les percentiles minima de plastiques ayant une concentration en chaque substance < 1 000 et < 500 mg/kg sont surlignées en vert pour chaque catégorie de plastique.

Les concentrations élevées sont rencontrées dans les échantillons qui ne sont majoritairement pas d'Europe continentale. Il n'y a pas d'échantillons français.

4. CONCLUSION

La réglementation européenne en matière de plastique dans le cadre d'une économie circulaire stipule que les plastiques contenant des RFB réglementés doivent être triés et gérés séparément de la fraction non bromée afin d'éviter la dispersion incontrôlée de ces substances dans les matières premières recyclées.

L'étude s'est attachée à analyser un certain nombre de données publiées à travers le monde sur les teneurs en RFB de plastiques de différentes origines. Nonobstant le caractère non exhaustif de cette étude et l'hétérogénéité des données liée à différents facteurs (notamment les réglementations et normes propres à chaque pays vis-à-vis du risque incendie de ces matériaux), elle montre qu'environ 8%, 16% et 9% des concentrations étudiées de plastiques de matériaux de construction, de produits textiles et d'emballages non alimentaires sont supérieures à 1 000 mg/kg de RFB réglementés en Europe. Cependant, il n'y a pas d'échantillon français et la grande majorité des échantillons d'Europe continentale (69 sur 85 pour les plastiques de construction et 36 sur 55 pour les plastiques d'équipements textiles et d'ameublement) ont des concentrations faibles à très faibles.

La littérature montre également que le tri est efficace (Leslie et al. (2016) sur des plastiques d'automobiles et de DEEE, Swerea (2018) sur des plastiques d'automobiles, Andersson et al. (2019) sur des plastiques triés granulés). Les plastiques des déchets de construction et de démolition doivent être triés dans l'UE (UE 2018). Une collecte séparée obligatoire des textiles est prévue au plus tard en 2025. Tous les plastiques (à l'exception des emballages alimentaires, ayant leur propre objectif de collecte et de valorisation) devront donc être collectés séparément.

Ce premier panorama montre l'intérêt d'approfondir la connaissance de la teneur en RFB dans ces catégories de plastiques au niveau national. Il pourrait être envisagé de vérifier par des campagnes de caractérisation si les différentes fractions de plastique (non-triées et triées) peuvent être recyclées ou ont le statut de déchets POP.

5. REFERENCES

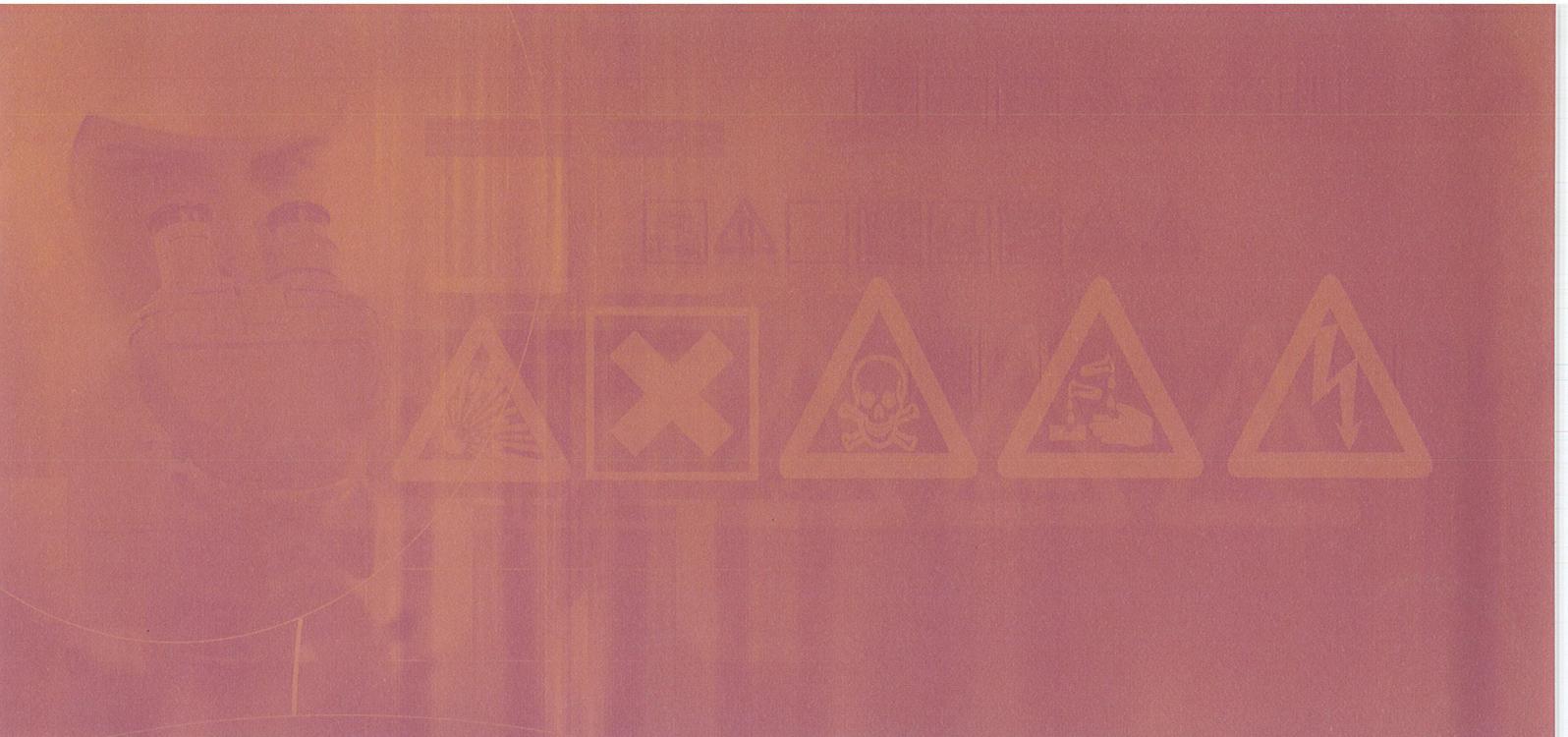
- Abdallah, M. A., M. Sharkey, et al. (2018). "Hexabromocyclododecane in polystyrene packaging: A downside of recycling?" *Chemosphere* 199: 612-616.
- Alaee, M., Arias, P., Sjodin, A., Bergman, A. (2003). An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns 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.
- Andersson M, Oxfall H, Nilsson C. 2019. Mapping and evaluation of some restricted chemical substances in recycled plastics originating from ELV and WEEE collected in Europe. Research Institutes of Sweden and Swedish Environmental Protection Agency. RISE report: 2019:28. 87 p.
- 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 2003a. Décision 2003/33/EC du Conseil du 19 décembre 2002 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE. JOUE, L 11/27, 16.1.2003, 23 p.
- CE 2003b. 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 2004 modifiée 2016. Règlement CE n° 850/20054 du Parlement Européen et du Conseil du 29 avril 2004 sur les polluants organiques persistants amendant la Directive 79/117/EEC. JOUE, L 80, p. 17, 31.3.2016.
- CE 2004. 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.
- CE 2006. Modifié 07/01/2019/ Règlement (CE) No1907/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n o 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n o 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission. JO L 396 du 30.12.2006).
- 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) No1272/2008 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.
- CENELEC CLC/TS 50625-3-1:2015. Requirements for collection, logistics and processing for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - Part 3-1: Specifications for depollution. CENELEC, Brussels, Belgium.
- Chemtura Great lakes Solution (2018). Great Lakes Solution 2017. LANXESS Bromine Solutions. Flame retardants product guide. Consulted Jan 2018.
- 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
- Deloitte and ADEME (2017). Deloitte Développement Durable (Salès K, Lornet L, Benhallam R.) and ADEME (Lecointre E). Octobre 2017. Rapport Annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage – Données 2015. 118 pages.
- Drage, D. S., M. Sharkey, et al. (2018). "Brominated flame retardants in Irish waste polymers: Concentrations, legislative compliance, and treatment options." *Science of the Total Environment* 625: 1535-1543.
- 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 14899 : 2015. Caractérisation des déchets — Prélèvement des déchets — Procédure-cadre pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage. CEN, Bruxelles, Belgique
- EN 15002 : 2015. Caractérisation des déchets — Préparation de prises d'essai à partir de l'échantillon pour laboratoire. CEN, Bruxelles, Belgique
- EN 62321-6 : 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)
- FD CEN/TR 15310-1 : 2007. Caractérisation des déchets — Prélèvement des déchets — Partie 1 : guide relatif au choix et à l'application des critères d'échantillonnage dans diverses conditions. CEN, Bruxelles, Belgique.
- Federal Office for the Environment FOEN (2017). Substance flows in Swiss e-waste - Metals, non-metals, flame retardants and polychlorinated biphenyls in electrical and electronic devices. Bern, 2017. 8 p. Summary of the publication «Stoffflüsse im Schweizer Elektronikschrott» www.bafu.admin.ch/uz-1717-d
- 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.
- Hennebert P. 2018. Concentrations of brominated flame retardants in plastics of electrical and electronic equipment, vehicle, textiles and construction: a short review of occurrence and management. *Proceedings of the 6th International*

- Conference on Industrial and Hazardous Waste Management. Chania (Greece). 04-07/09/2018. 13 p.
- 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.
- INERIS 2017. Tri et classement des plastiques des déchets d'équipements électriques et électroniques. Rapport INERIS-DRC-17-164547-01461C. 16/10/2017.
<https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Rapport%20INERIS-DRC-17-164547-01461C.pdf>
- INERIS 2018. Revue bibliographique des concentrations en substances réglementées dans les plastiques de véhicules hors d'usage. Rapport INERIS DRC-18-173977-02943B. 18/12/2018. 56 p.
- Institute for Environmental Studies (IVM) and University of Amsterdam (IVAM) (2016). POP-BDE waste streams in the Netherlands: analysis and inventory. Report R13-16
- 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
- Kajiwara, N., Y. Noma, et al. (2011). "Brominated and organophosphate flame retardants in selected consumer products on the Japanese market in 2008." *Journal of Hazardous Materials* 192(3): 1250-1259.
- 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: Chen et al. (2010), Institute for Environmental Studies (2016), Niinipu (2013), Petreas et al. (2009), Risk and Policy Analysis (2014), Swiss Agency for the Environment (2003), Sinkkonen et al. (2004).
- 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.
- Norwegian Environment Agency (2017). Consultancy service on updating the Basel Convention Technical Guidelines to include information on decaBDE. Case number: 2017/5815. Supplementary Information on Destruction Technologies. Alexander Potrykus, BiPRO GmbH. 30th November 2017. 19 p.
- Petreas M., Oros D. (2009). Polybrominated diphenyl ethers in California wastestreams. *Chemosphere*, 74
- PlasticsEurope 2018. *Plastics – the Facts 2018 - An analysis of European plastics*

- production, demand and waste data. 60 p.
https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/plastics_the_facts_2018-_afweb
- Puype F, Samsonok 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.
- Rani, M., W. J. Shim, et al. (2014). "Hexabromocyclododecane in polystyrene based consumer products: An evidence of unregulated use." *Chemosphere* 110: 111-119.
- Risk and Policy Analysis (consulting company) (Georgalas B, Sanchez A, Zarogiannis P) (2014). European Chemicals Agency 2014. Support to an annex XV dossier on bis-(pentabromophenyl) ether (decaBDE). J832/ECHA DecaBDE Final report
- Sharkey, M., M. A. Abdallah, et al. (2018). "Portable X-ray fluorescence for the detection of POP-BFRs in waste plastics." *Science of the Total Environment* 639: 49-57.
- 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
- Stubbings, W.A., Kajiwara, N., Takigami, H., Harrada, S. 2016. Leaching behavior of hexabromocyclododecane from treated curtains. *Chemosphere* 144(2016)2091–2096.
- 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.
- Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (2003). Selected polybrominated flame retardants PBDEs and TBBPA, Berne.
- Turner, A., Filella, M., 2017a. Field-portable-XRF reveals the ubiquity of antimony in plastic consumer products. *Sci. Total Environ.* 584–585, 982–989.
- Turner, A., Filella, M., 2017b. Bromine in plastic consumer products – evidence for the widespread recycling of electronic waste. *Sci. Total Environ.* 601–602, 374–379.
- 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. Décision 2014/955 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) No 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) Nono 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.
- UE 2018. Directive (UE) 2108/851 du Parlement Européen et du Conseil du 30 mai 2018 amendant la Directive 2008/98/EC relative aux déchets. JOUE. 14.6.2018. L 150/109. 32 p.
- 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>
- Vojta S, Betanova J, Melymuk L, Komprdova K, Kohoutek J, Kukucka P, Klanova J (2017). Screening for halogenated flame retardants in European consumer products, building materials and wastes. *Chemosphere* 168: 457-466.
- 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.



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>