

Estimation des émissions de Déca-BDE sur le bassin de la Seine

Valentin Chapon*¹, Jean-Marc Brignon*¹

¹ INERIS, Verneuil-en-Halatte, France

* jean-marc.brignon@ineris.fr, valention.chapon@ineris.fr

Résumé

Le Déca-BDE est un retardateur de flamme bromé utilisé depuis le début des années 1970 dans la production de certains plastiques et textiles. Cette étude vise à estimer les émissions de ce produit chimique vers l'environnement sur le bassin de la Seine dans le cadre du programme de recherche PIREN-Seine. La méthode utilisée s'appuie sur les quantités de Déca-BDE contenues dans les articles présents sur le bassin de la Seine. A notre connaissance il n'existe pas de données de quantité de Déca-BDE spécifiques au bassin de la Seine, par conséquent ces quantités ont été estimées à partir des données européennes disponibles dans la littérature en utilisant une hypothèse se basant sur le ratio de population européenne et du bassin de la Seine. Ensuite pour les différentes étapes du cycle de vie du Déca-BDE, de la production de celui-ci à la fin de vie des articles et matériaux, les émissions de Déca-BDE vers l'environnement sont comptabilisées en utilisant des facteurs d'émission respectifs pour chaque étape et pour chaque groupe d'articles.

Les émissions vers l'environnement se répartissent entre 3 compartiments : le sol, les eaux de surfaces et l'air. Enfin l'impact d'une potentielle réglementation sur la production et la mise sur le marché de certains articles contenant du Déca-BDE est étudié. Les quantités de Déca-BDE et les facteurs d'émission extraits de la littérature sont très variables en fonction des sources. Ainsi différentes estimations ont été réalisées et sont présentées dans ce rapport afin d'illustrer cette variabilité. Cependant nous ne pouvons pas conclure quant au compartiment vers lequel le plus d'émissions sont comptabilisées ni sur « la » valeur des émissions de Déca-BDE dans l'environnement.

La méthode utilisée pourrait avoir tendance à sous-estimer la durée des émissions rémanentes après la fin de l'autorisation du Déca-BDE pour les raisons suivantes : les durées de vie des articles considérées sont théoriques et pourraient être sous estimées alors que des articles peuvent être conservés bien plus longtemps dans la sphère économique, le recyclage des textiles est considéré comme nul ce qui constitue une hypothèse peu réaliste et les émissions liées à la déconstruction de bâtiments mentionnées dans la littérature n'ont pas pu être prises en compte. Ces éléments constituent des pistes d'amélioration de ce travail. Néanmoins ce travail montre que les pics d'émissions de Déca-BDE se situent entre le milieu des années 1980 et le début des années 2000 en fonction des sources de données utilisées.

Ce travail met en avant l'importance du phénomène d'inertie des stocks de plastiques et de textiles sur les émissions de Déca-BDE dans l'environnement. Les émissions pourraient avoir lieu de 1970 (début de l'utilisation de ce produit chimique) au moins jusqu'à la fin du XXIème siècle.

Points clefs

- ✓ *Les quantités de Déca-BDE produites, importées et contenues dans les articles de type plastiques ou textiles ont été estimées à partir de données de la littérature, et de ces quantités ont été déduites des émissions à partir de « facteurs d'émission »*
- ✓ *La méthode utilisée s'appuie sur le cycle de vie du Déca-BDE, associant à chaque étape une quantité de Déca-BDE et un facteur d'émission vers l'environnement*
- ✓ *Un scénario « réaliste », estime que des émissions de Déca-BDE vers l'environnement pourraient encore avoir lieu au moins pendant 65 ans après la fin de la mise sur le marché théorique d'articles contenant du Déca-BDE (2019)*

Introduction

Dans le cadre du programme de recherche PIREN-Seine Phase VII (2015-2019), un des objectifs est d'estimer les émissions de polluants qui touchent le bassin de la Seine. En termes de micropolluants organiques, cela implique de pouvoir mieux connaître et de prévoir les flux de substances chimiques générés par les activités humaines (notamment urbaines) sur le bassin. Un travail similaire a préalablement été réalisé dans le cadre de ce programme pour le DEHP, un autre polluant organique (plastifiant des plastiques et notamment du PVC). Cette nouvelle étude se place donc dans un cadre d'amélioration de la connaissance des flux actuels et futurs de ces polluants.

L'ensemble du travail, présenté dans ce rapport, est centré sur un polluant organique : le bis(pentabromophenyl) ether ou ether (decabromodiphenyl ether) appelé plus communément Déca-BDE.

Le Déca-BDE est utilisé comme retardateur de flammes dans les plastiques et dans les textiles depuis les années 1970. Selon le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (World Health Organization, 1994) paru en 1994, la production commerciale de Déca-BDE aurait commencé en 1976 aux Etats-Unis.

En 2008, la quantité estimée de retardateurs de flammes consommés en France est de plus de 85 000 tonnes, soit 17,47% de la consommation européenne, et 83 300 au Royaume Uni (17,12%). Concernant les retardateurs de flammes bromés, la France consommerait 7 800 tonnes, soit 9,1% de la consommation européenne, contre près de 16 000 au Royaume Uni (18,6%) (SWEREA 2011).

D'après l'EFRA (European Flame Retardants Association), il y a plus de 75 retardateurs de flamme bromés utilisés dans des biens de consommation courante. Leur seul trait commun est l'atome de brome et leur action en phase gazeuse permettant l'arrêt des réactions radicalaires en phase gazeuse au sein des flammes. Leur aspect peut prendre diverses formes : liquides, granulés ou poudres. Il existe six grandes familles de retardateurs de flammes bromés qui sont : les éthers de polybromodiphényle (PBDEs) dont fait partie le Déca-BDE, les hexabromocyclododécane (HBCDD ou HBCD), les Tetrabromobisphénol A (TBBPA), les anhydrides tetrabromophtaliques, les polystyrènes bromés et les bromophénols (EFRA-European Flame Retardants Association 2004).

L'objectif de cette étude a été de quantifier les émissions de Déca-BDE vers l'environnement sur le bassin de la Seine, pour l'ensemble des milieux (eaux de surface, air, sols) avec une attention particulière pour les milieux aquatiques.

Pour cela une approche se basant sur l'utilisation du Déca-BDE dans la vie économique sur le bassin de la Seine, notamment sa présence dans des articles utilisés par les consommateurs, a été développée. Puis en s'appuyant sur le cycle de vie de ces articles, la quantité de Déca-BDE émise dans l'environnement a été estimée pour les étapes du cycle de vie suivantes : production du Déca-BDE, production d'articles contenant du Déca-BDE, utilisation de ces articles et fin de vie de ces articles (sous forme de déchets)

Ce travail a été réalisé en s'appuyant sur les données présentes dans la littérature : dans des documents réglementaires, des documents d'estimation de flux ou des documents économiques sur les retardateurs de flamme... Il est à la fois rétrospectif et prospectif, et porte sur la période de 1969 à 2085.

Plusieurs estimations ont été réalisées en utilisant plusieurs sources d'information pour les facteurs d'émission. Les résultats obtenus présentent une variabilité très forte et nous ne pouvons pas déterminer si une estimation est plus juste qu'une autre. Un travail d'approfondissement sur les facteurs d'émission est nécessaire. Ce rapport est donc à considérer comme un rapport d'étape. L'intégralité des résultats obtenus est présentée en annexe.

1. Méthode utilisée et données associées

Dans cette partie la méthode utilisée pour estimer les quantités de Déca-BDE émises dans l'environnement sera abordée. Nous présenterons dans un premier temps les articles contenant du Déca-BDE par type d'usage et leurs cycles de vie. Puis dans un second temps nous présenterons les facteurs d'émission pour les différents compartiments environnementaux par type d'articles et étape du cycle de vie issus de la littérature. Enfin les autres données et les hypothèses permettant de comptabiliser les quantités de Déca-BDE seront détaillées.

Présentation des articles contenant du Déca-BDE identifiés dans la littérature

Le Déca-BDE a été utilisé pour ses propriétés de retardateur de flamme dans des textiles et dans des plastiques dans divers secteurs économiques. Cette première partie a pour objectif de présenter les catégories d'articles pouvant contenir ce retardateur de flamme, leurs secteurs économiques ainsi que d'illustrer à travers des exemples, les articles pouvant contenir du Déca-BDE.

Tableau 1. Exemple d'articles contenant du Déca-BDE (source : (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013))

Secteurs économiques	Articles contenant du Déca-BDE
Equipements électroniques	Télévisions, téléphones portables et fax, lecteurs audio, lecteurs vidéo, télécommandes, câbles, disjoncteurs, bobines, photocopieuses, scanner...
Transports (trains, avions et voitures)	Plastiques composant l'intérieur de véhicules, tissus de sièges, airbag, tapis d'avion, câbles et tuyaux, équipements électroniques pour voitures ou avions (compartiments de batteries, connecteur électrique, systèmes informatiques...) ...
Matériaux de construction	Câbles et tuyaux, douille, siège de stade, plastiques renforcés, interrupteur, conduits électriques, conduits d'aération, toiture, colonne électrique, revêtements, matériaux d'isolation ...
Textiles et mobilier	Tapiserie de matelas et de mobiliers divers, mousses synthétiques en latex, rideaux, tapis, tentes, coton, revêtements divers, bandes réfléchissantes, couches adhésives, stores de fenêtre...

Tableau 2. Exemple de matériaux contenant du Déca-BDE en fonction de leurs usages (source : (European Union, 2002))

Nature de l'article	Matériaux contenant du Déca-BDE	Exemple d'articles
Plastiques ¹	« High Impact Polystyrène » (HIPS)	Télévision
	Polypropylène, résines, polyesters	Equipements électroniques
	Acétate copolymères, éthylène copolymères, thermoplastiques élastomères	Câbles et tuyaux
Textiles	Polypropylène	Tissus non utilisés pour l'habillement, ex rideaux...
	Fibres synthétiques	Tapis synthétiques

La littérature consultée pour cette étude ne nous a pas permis de différencier plus précisément les types d'articles contenant du Déca-BDE que les catégories textiles et plastiques.

Une grande partie de ces plastiques et de ces textiles est utilisée pour des biens de consommation (environ 80%), une autre dans le secteur de la construction (bâtiment) (environ 15%) (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013). Selon (BiPRO for Norwegian Environment Agency, 2015) 10% des quantités de Déca-BDE sont utilisées dans les textiles et 90% dans les plastiques (comprendre polymères).

Le document de la Commission Européenne (European Union, 2002) qui estime les émissions de Déca-BDE vers l'environnement liées à la production et à l'usage d'articles contenant du Déca-BDE, ne dispose pas de données qui différencient les émissions par type de plastique. L'ensemble des plastiques considérés dans cette étude sont associés aux polymères de type : « HIPS » notamment pour les facteurs d'émission et certaines caractéristiques comme par exemple la durée de vie... Néanmoins cette étude essaye de comptabiliser toutes les émissions liées à la présence de Déca-BDE dans toutes les catégories de plastique.

Présentation de la méthode

L'ensemble de l'étude est basé sur une méthode consistant à définir pour chaque étape du cycle de vie d'un article contenant du Déca-BDE des « facteurs d'émission » (FE) vers l'environnement. Cette méthode permettra notamment de réaliser des inventaires rétrospectifs et prospectifs des émissions, en étudiant l'impact futur de diverses mesures pour les limiter, comme par exemple la mise en place d'une réglementation récente par l'Union Européenne sur l'utilisation du Déca-BDE. La figure ci-après présente le cycle de vie du Déca-BDE.

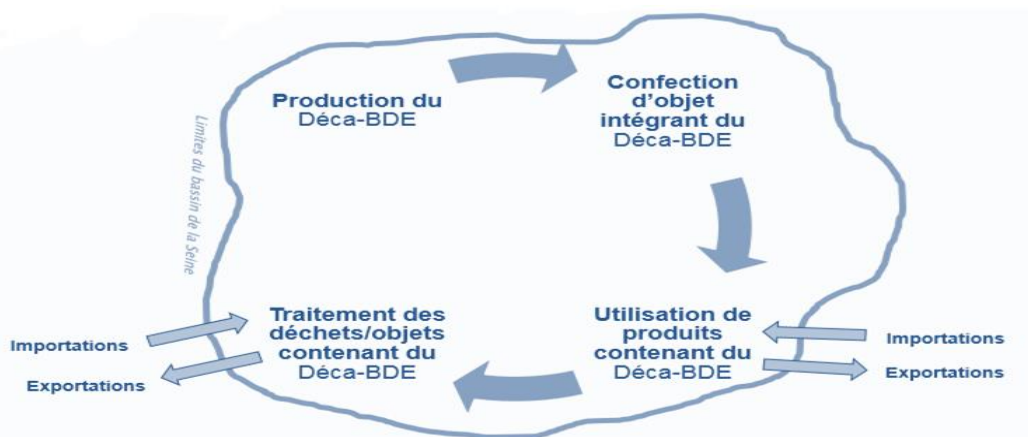


Figure 1. Cycle de vie du Déca-BDE : inspiré de (BiPRO for Norwegian Environment Agency, 2015) & (European Union, 2002)

¹ Dans la littérature consultée les articles de type « plastique » peuvent dans certains cas être mentionnés sous le terme « polymère ».

On distingue quatre étapes dans le cycle de vie du Déca-BDE :

- La production du Déca-BDE ;
- La confection d'articles contenant du Déca-BDE (plastiques & textiles) ;
- L'utilisation d'articles contenant du Déca-BDE (plastiques & textiles) ;
- Le traitement d'articles contenant du Déca-BDE en fin de vie.

Il existe une dernière source d'émissions de Déca-BDE non illustrée dans le cycle de vie de ces articles mentionnée dans le document (European Union, 2002). Il s'agit de la dislocation des articles lors de leur utilisation en extérieur et lors de leur traitement en fin de vie s'ils se retrouvent entreposés en décharge. Ces « morceaux » d'objets libérés vont émettre ensuite une fraction non négligeable du Déca-BDE qu'ils contiennent dans l'environnement.

Pour un type d'article donné, à une étape du cycle de vie donnée, les émissions E sont estimées par l'équation ci-après ((Gouzy & Brignon , 2012) :

$$Emissions (E) = Facteurs d'émissions(FE) * Quantité utilisée (Q)$$

La « quantité utilisée » équivaut à une donnée d'activité, elle peut correspondre en fonction de l'étape du cycle de vie : à la quantité de Déca-BDE produite, à la quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques et/ou textiles produits et utilisés, à la quantité Déca-BDE dans les articles traités en fin de vie.

Ainsi pour chaque étape du cycle de vie et pour chaque année, afin d'estimer les quantités de Déca-BDE émises dans le bassin de la Seine les quantités de Déca-BDE produites, transformées, utilisées, et présentes dans des articles sur le bassin de la Seine doivent être connues. Puis à ces quantités de Déca-BDE sont associés des facteurs d'émission, présentés dans la partie suivante.

Présentation des facteurs d'émission

Comme expliqué ci-avant, les facteurs d'émission sont associés à une étape du cycle de vie du Déca-BDE et à un type d'article donné. Ils s'expriment en quantités émises par quantités unitaires de Déca-BDE produit ou présent dans le produit. L'ensemble des facteurs d'émission présentés dans le Tableau 3 sont utilisés dans un fichier Excel pour estimer les émissions de Déca-BDE vers l'environnement. Le Tableau 3 présente les facteurs d'émission par étape du cycle de vie, par source pour les compartiments environnementaux considérés : l'air, les eaux usées, les eaux de surfaces et le sol. Les « milieux aquatiques » sont, dans le cadre de cette étude, subdivisés en deux compartiments :

- Le compartiment « eaux usées » qui correspondent à des émissions vers le système de collecte des eaux usées. Ces émissions sont associées aux étapes de production d'articles ou de Déca-BDE et d'utilisation d'articles en milieu intérieur. Les eaux usées une fois traitées peuvent être considérée comme émises vers les eaux de surfaces (voir Figure 2).
- Le compartiment « eaux de surfaces » qui correspondent aux émissions vers les milieux aquatiques hors système de collecte des eaux c'est-à-dire aux émissions directes vers les rivières, les fleuves et les lacs. Dans notre étude les émissions vers les eaux de surfaces correspondent aux émissions liées à l'utilisation d'articles en extérieur, ou à la présence de déchets dans l'environnement.

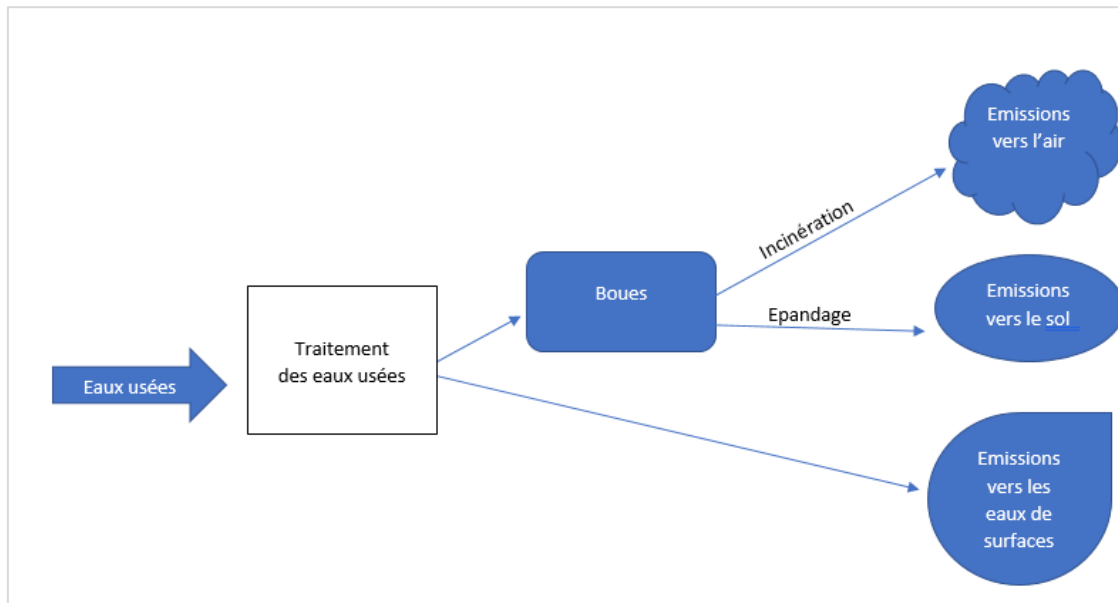


Figure 2. Schéma illustrant le traitement des eaux usées

Lors du traitement des eaux usées une partie du déca-BDE contenue dans les eaux usées est abattue et se retrouve dans les boues, l'autre partie se retrouve dans les eaux de surface. Le taux d'abattement du déca-BDE considéré est d'environ 68% en se basant sur (Choubert et al. 2011). Cette valeur est une moyenne de valeurs d'abattements relevées sur six stations à boues activées en aération prolongée. Pour ce qui est de la répartition entre incinération et épandage des boues, nous avons considéré que 15% des boues étaient incinérées et 85% effectuaient un retour au sol que ce soit via un épandage direct des boues ou un épandage après compostage après méthanisation en se basant sur le document (AMORCE 2012). Les émissions vers les eaux usées sont donc ensuite finalement réparties dans les émissions vers les eaux de surfaces, le sol et l'air.

Tableau 3. Facteurs d'émission par étape du cycle de vie du Déca-BDE, par type de produit et par compartiment (exprimés en kg Déca-BDE émis par kg de Déca-BDE produits/contenu dans l'article/contenu dans le déchet)

ETAPE DU CYCLE DE VIE	Type de produit	Source	Compartiment : Air [(min):(max)]	Compartiment : Eaux Usées [(min):(max)]	Compartiment : Eaux de Surfaces [(min):(max)]	Compartiment : sol [(min):(max)]	
Production de Déca-BDE	Déca-BDE	(European Union, 2002)	pas de donnée	3E-03	pas de donnée	pas de donnée	
Production d'articles	Textile	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	Avant 1980 : 3,60E-06	1,00E-02	pas de donnée	3,00E-04	
			Entre 1980 et 2000 : 1,80E-06				
			Entre 2000 et 2020 : 9,00E-07				
			(European Union, 2002)		1,00E-03	pas de donnée	pas de donnée
			(European Chemicals Agency, 2014)	1,60E-05 [8,00E-06 : 2,40E-5]	5,95E-05 [2,00E-06 : 1,17E-4]	pas de donnée	2,50E-06 [5,00E-06 : 0]
	Plastique	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)		4,70E-08	2,80E-04	pas de donnée	3,00E-04
			(European Union, 2002)	5,0E-04	5,5E-03	pas de donnée	pas de donnée
(European Chemicals Agency, 2014)			1,60E-05 [8,00E-06 : 2,40E-5]	5,95E-05 [2,00E-06 : 1,17E-4]	pas de donnée	2,50E-06 [5,00E-06 : 0]	
Utilisation d'articles lors de la phase de construction dans le secteur ² du bâtiment	Plastiques et Textiles utilisés pour la construction	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	5, 0E-06	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée	
Utilisation d'articles ³ (autres secteurs)	Textile	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	6,0E-05	3,20E-06	pas de donnée	pas de donnée	
		(European Union, 2002)		3,00E-01	pas de donnée	pas de donnée	
		(European Chemicals Agency, 2014)	2,66E-04 ⁴	5,00E-04 ¹	pas de donnée	pas de donnée	
			5,00E-04 ⁵	8,00E-03 ²	pas de donnée	8,00E-03 ²	

² L'article « Estimating European historical production, consumption and atmospheric emissions of Déca-BDE » (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) mentionne des émissions vers l'atmosphère pour une partie des articles destinés au secteur de la construction. Cette utilisation générerait également selon l'article des déchets que nous n'avons pas pu prendre en compte dans notre étude, faute de donnée disponible. Cette fraction d'article une fois les bâtiments construits, se retrouve contenue à l'intérieur des bâtiments. La phase utilisation regroupe des articles qu'ils soient utilisés par le secteur de la construction ou non. Le tableau 6 présente les équations utilisées pour estimer la part d'articles utilisés par le secteur du bâtiment, auquel nous avons par la suite appliqué ce coefficient d'émission vers l'air.

³ Articles utilisés par le secteur de la construction inclus

⁴ Utilisation intérieure des textiles

⁵ Utilisation extérieure des textiles

	Lavage des textiles	(European Chemicals Agency, 2014)		5,00E-04	pas de donnée	pas de donnée
	Plastiques	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	3,90E-08	1,60E-06	pas de donnée	1,60E-06
		(European Union, 2002)	3,80E-02	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée
		(European Chemicals Agency, 2014)	2,62E-04 ⁶	5,00E-04 ³	pas de donnée	pas de donnée
			5,00E-04 ⁷	pas de donnée	8,00E-03 ⁴	8,00E-03 ⁴
Dislocation des articles en milieu extérieur	Dislocation des plastiques dans l'environnement pour une exposition extérieure	(European Union, 2002)	2,00E-05	pas de donnée	4,98E-03	1,50E-02
	Dislocation des textiles dans l'environnement pour une exposition extérieure	(European Union, 2002)	4,00E-05	pas de donnée	9,96E-03	3,00E-02
Déconstruction	Plastiques et Textiles utilisés pour la construction	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	1,0E-05	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée
Recyclage	Plastiques	(European Chemicals Agency, 2014)	2,15E-05	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée
Incineration	Incineration d'articles (plastiques et textiles)	(European Union, 2002)	0	0	pas de données	0
		(European Chemicals Agency, 2014)	1,80E-06	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée
Décharge	Mise en décharge d'articles (plastiques et textiles)	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	6,70E-06	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée
		(European Union, 2002)	2,00E-05 ⁸	4,98E-03 ⁵	pas de donnée	1,50E-02 ⁵
		(European Chemicals Agency, 2014)	1,71E-05	pas de donnée	6,90E-07	pas de donnée
	Emissions lors du déchargement	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	1,0E-05	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée

⁶ Utilisation intérieure des plastiques

⁷ Utilisation extérieure des plastiques

⁸ Emissions associées à un phénomène de dislocation (cf : étape utilisation extérieure de textiles ou de plastiques)

Les facteurs d'émission utilisés pour ce travail proviennent de 3 documents, tous essayant de proposer une estimation des quantités de Déca-BDE vers l'environnement. Le Tableau 3 met en évidence une variabilité parfois considérable entre les facteurs d'émission d'une source à l'autre. C'est par exemple le cas pour les émissions vers l'air lors de l'utilisation de plastiques, (European Union, 2002) estime à $3,80E-02$ kg émis par kg de Déca-BDE contenu dans les plastiques utilisés et (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) utilise un coefficient à $3,90E-08$. On observe également des différences selon les sources considérées pour les émissions vers les eaux usées lors de la phase production d'articles plastiques : $4,70E-02$ kg émis par kg de Déca-BDE produit selon (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013), $5,00E-03$ kg émis par kg de Déca-BDE produit selon (European Union, 2002) et $1,60E-02$ kg émis par kg de Déca-BDE produit selon (European Chemicals Agency, 2014).

Les étapes du cycle de vie des articles prises en compte pour estimer les émissions de Déca-BDE peuvent varier d'un document à un autre. Pour la partie « utilisation des textiles » le document (European Union, 2002) stipule des émissions liées aux lavages des textiles (ne concerne que 2% de l'ensemble des quantités de Déca-BDE utilisées dans le textile) contrairement aux autres sources utilisées qui n'en mentionnent pas. Le document (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) mentionne des émissions associées à l'utilisation d'articles utilisés dans le secteur du bâtiment (« construction » et « déconstruction » dans le Tableau 3), cette source d'émission n'est pas mentionnée dans les deux autres sources (European Union, 2002) et (European Chemicals Agency, 2014). Les émissions liées à la construction seront prises en compte dans l'étude, cependant faute de données disponibles concernant la durée de vie de ces matériaux dans les bâtiments, les émissions liées à la déconstruction mentionnées dans l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) n'ont pas été prises en compte⁹. Enfin pour une même étape et un même type d'articles les compartiments environnementaux peuvent varier d'une source à une autre.

Comme l'illustre le tableau 4, les facteurs d'émission extraits du rapport « Summary Risk Assessment Report » (European Union, 2002) sont plus élevés que les facteurs d'émission des autres sources notamment pour la phase utilisation des textiles et des plastiques. Ces documents ont été élaborés dans le but de gérer les risques des produits chimiques pour la santé humaine dans le cadre de règlements européens, et ils ont adopté une approche de précaution consistant à prendre des valeurs « pire cas » pour les valeurs d'exposition, et donc en premier lieu pour les facteurs d'émission. Par contre, l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) plus récent qui propose une estimation des émissions de Déca-BDE en Europe n'étant pas réalisée dans un cadre d'évaluation des risques réglementaire, mais dans le but de proposer des estimations les plus « réalistes » possibles, pourrait donc présenter des facteurs d'émission plus cohérents avec notre étude.

Il ne semble toutefois pas adéquat de sélectionner un « assortiment » de FE au sein des trois sources de données : nous n'avons pas suffisamment d'information à notre disposition nous permettant de sélectionner les facteurs d'émission les plus justes et/ ou d'écarter les moins fiables, et cela présenterait des risques de double comptage de certaines sources, ou de perte de cohérence de l'inventaire des émissions. Néanmoins pour certaines phases du cycle de vie du Déca-BDE nous ne disposons que d'un facteur d'émission parmi les trois sources de données, c'est le cas par exemple pour la phase de production du Déca-BDE, dans ce cas-là cet unique facteur d'émission sera utilisé pour les deux autres estimations.

⁹ Il s'agit d'une voie d'amélioration pour de futurs travaux. Cette durée de vie est probablement très potentiellement très longue, et négliger cette source conduit à sous-estimer la rémanence du Déca-BDE dans l'économie.

Quantités de Déca-BDE ; produites, utilisées par l'industrie, et mises sur le marché : données et hypothèses

Cette partie présente l'ensemble des données et des hypothèses utilisées pour estimer les quantités de Déca-BDE produites, utilisées par l'industrie et mises sur le marché au niveau du bassin de la Seine. Nous prenons en compte les quantités de Déca-BDE produites et importées, les quantités de Déca-BDE contenues dans les articles produits et utilisés sur le bassin de la Seine ainsi que leurs traitements après la fin de leur utilisation. Les exportations de Déca-BDE et d'articles textiles ou plastiques contenant du Déca-BDE sont supposées nulles.

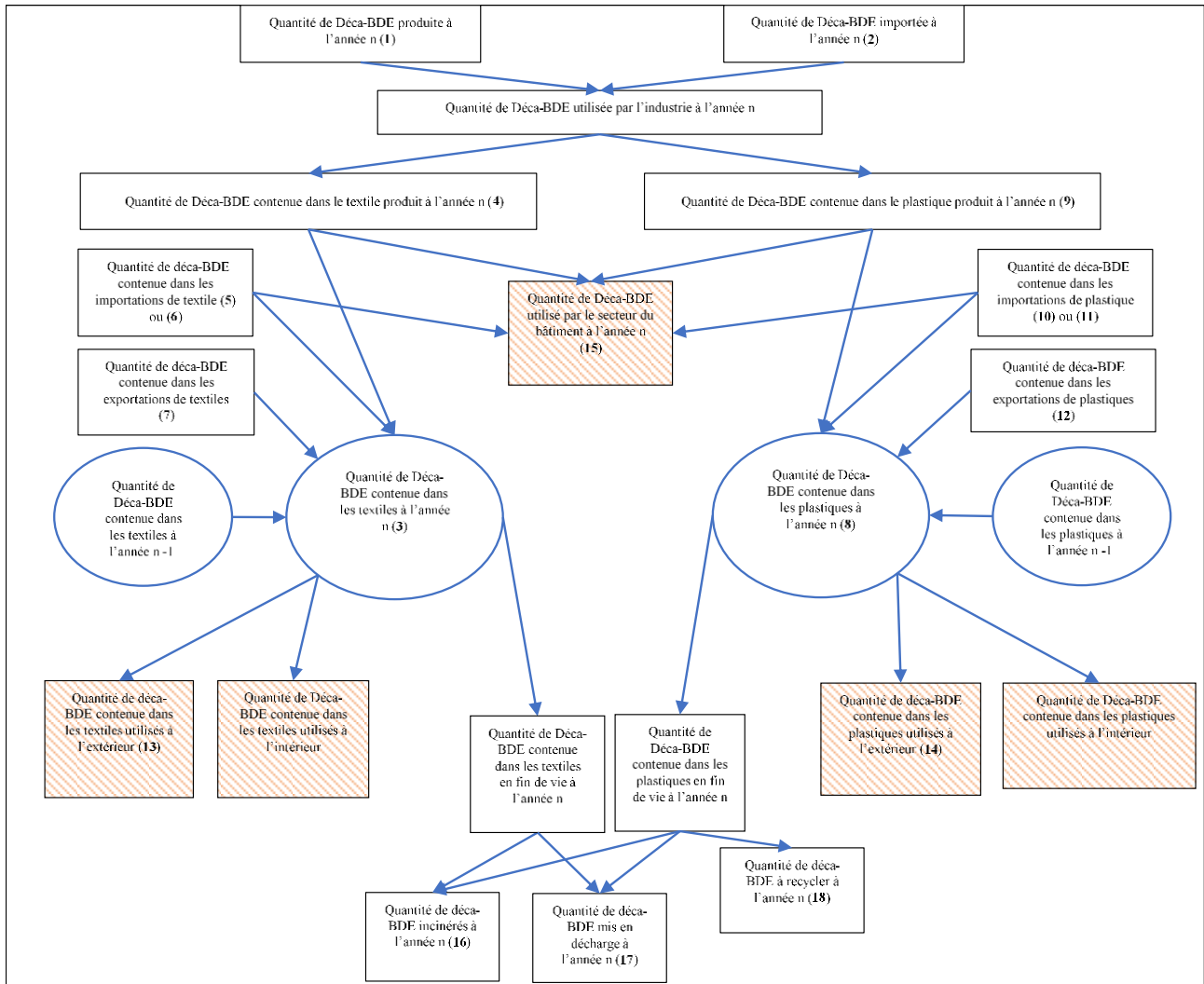


Figure 3. Schéma illustrant les équations de quantités de Déca-BDE du tableau 5.

La Figure 3 illustre les différentes quantités de Déca-BDE estimées dans l'étude, les équations utilisées pour l'estimation de ces quantités sont présentées dans le tableau 5. Les cases hachurées représentent des étapes et donc des émissions qui ne sont pas prises en compte par toutes les estimations. Les émissions estimées à partir des facteurs d'émission des sources (European Chemicals Agency, 2014) (European Union, 2002) distingueront pour la phase « utilisation d'articles », une utilisation d'articles en intérieur et en extérieur contrairement aux deux autres sources de facteurs d'émission qui ne font pas cette distinction. Les estimations d'émissions de Déca-BDE s'appuyant sur la source (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) sont les seuls à prendre en compte des émissions liées à l'utilisation d'articles textiles ou plastiques dans le secteur du bâtiment.

Les quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie en Europe varient elles aussi selon les sources considérées. Le document (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) sur lequel nous nous sommes grandement appuyés, a estimé la consommation de Déca-BDE par l'industrie en Europe entre 1970 et 2010 en utilisant les données fournies par « Bromine Science and Environment Forum » BSEF (2010) et « *Voluntary Emissions Control Action Programme* » VECAP (2010). Quant au document (European Chemicals Agency, 2014), il a utilisé des données fournies par Eurostat. L'ensemble des données disponibles et utilisées dans cette étude sont présentées dans le tableau 4 et dans le tableau 5.

Tableau 4. Quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie européenne suivant les sources considérées (Kg tonnes).

Année \ Sources	(BSEF, 2010) cité par (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) & (European Chemicals Agency, 2014)	(VECAP, 2010) cité par (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) & (European Chemicals Agency, 2014)	EUROSTAT cité par (European Chemicals Agency, 2014)
1991	8,9		
1992	8		
1993	7,6		
1994	8,8		
1995	8,6		
1996	8,7		
1997	9,1		
1998	8		
1999	8,5		
2000	8,6		11,3
2001	7,7		10,2
2002	7,7		10,3
2003	7,7		12,3
2004	8		10,6
2005	6,9		11,0
2006			9,8
2007			11,5
2008		5,8	9,9
2009		7	7,7
2010		6,6	8,1
2011			5,5
2012			4,1

Afin de prendre en compte la variabilité en fonction des sources de données (Tableau 4) quant à la quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie, nous proposons d'étudier les émissions de Déca-BDE dans l'environnement pour différents scénarii. Les scénarii 1, 2 et 3 présentent donc des quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie européenne qui évoluent différemment en fonction du temps. Les scénarii 4, 5 et 6 constituent des analyses de sensibilité de certains paramètres ou phase du cycle de vie du Déca-BDE : la production de Déca-BDE (scénario 4), les importations de Déca-BDE (scénario 5) et la durée de vie des articles¹⁰ pour les phases d'utilisation et en décharge (scénario 6).

Pour l'ensemble des scénarii les quantités consommées par l'industries entre 1969 et 1990 sont obtenues par projection linéaire. Nous avons considéré 1970 comme la date de début de consommation du Déca-BDE en se basant sur les documents (World Health Organization, 1994) et (European Union, 2002).

¹⁰ La durée de vie des articles est peut-être sous-estimée, du fait que les données publiées s'attachent à des durées de vie théoriques, alors que des articles peuvent être conservés bien plus longtemps dans la sphère économique (articles conservés plus longtemps que « prévu », revente et dons entre particuliers...). Là encore, la durée des émissions rémanentes après la fin de l'autorisation du DecaBDE est sous-estimée, il s'agit d'une voie d'amélioration de nos travaux.

Pour le futur des usages, nous prenons en compte les réglementations en cours et prévues. Les réglementations qui encadrent l'usage du Déca-BDE au niveau européen sont la directive RoHS (2002/95/EC) et le règlement de la commission (EU) 2017/227 du 9 février 2017 (European Commission, 2017). L'application de ces réglementations a un impact sur la quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie. La directive RoHS (2002/95/EC) s'applique depuis le 30 juin 2008. A partir de cette date le retardateur de flamme bromé Déca-BDE n'a peut plus été utilisé dans les appareils électroniques et électriques (E&E) dans les pays de l'Union Européenne. Cette réglementation faisait suite à la décision de la cour Européenne de justice annulant l'exemption de restriction dont disposait le Déca-BDE depuis 2005. Le règlement de la commission (EU) 2017/227 du 9 février 2017 interdit à compter de 2019 la fabrication, la mise sur le marché ou l'utilisation d'oxyde de bis(pentabromophényle). Ne sont autorisées par exemption que la production d'aéronefs et certaines pièces de rechange pour les moteurs de certains véhicules (ces exceptions représentent des volumes très faibles, nous avons estimé qu'elles étaient nulles sur le bassin de la Seine¹¹) (Commission Européenne, 2017). Cette restriction limitera donc considérablement la possibilité d'utiliser du Déca-BDE dans l'UE, ou d'importer des articles en contenant.

Tableau 5. Présentation des Scénarii développés et étudiés.

Scénario n°	Explication des scénarii
1	De 1970 à 2010 les quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie européenne correspondent aux quantités utilisées par l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) c'est-à-dire aux sources VECAP (2010) et BSEF (2010). En se basant sur « le règlement de la commission (EU) 2017/227 du 9 février 2017 » on estime que la demande en Déca-BDE à partir de 2019 sera nulle étant donné que le Déca-BDE sera interdit dans la plupart des secteurs. Les demandes européennes entre 2010 et 2019 seront obtenues par projection linéaires.
2	Les quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie européenne entre 1970 et 1999 correspondent aux données fournies par VECAP (2010) et BSEF (2010) utilisé par (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013). Puis de 2000 à 2012 les données Eurostat sont utilisées (European Chemicals Agency, 2014). Comme pour le scénario 1 à partir de 2019 les quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie européenne sont nulles et les quantités utilisées entre 2012 et 2019 sont obtenues par projection linéaire.
3	Les quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie européenne entre 1970 et 1999 correspondent aux données fournies par VECAP (2010) et BSEF (2010). Puis de 2000 à 2008 les données Eurostat sont utilisées. A partir de 2008 la production et la mise sur le marché de plastiques contenant du Déca-BDE sera nulle en se basant sur la directive RoHS (2002/95/EC) ¹² . Comme pour le scénario 1 et 2 à partir de 2019 les quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie européenne sont considérées nulles et les quantités entre 2012 et 2019 sont obtenues par projection linéaire.
4	Le scénario 4 utilise les mêmes données que le scénario 1 excepté que la production de Déca-BDE sur le bassin de la Seine est considérée comme nulle.
5	Le scénario 5 est identique au scénario 1 sauf pour les quantités de Déca-BDE importées contenues dans les textiles et les plastiques qui correspondent à 50% des quantités de Déca-BDE contenues dans les quantités de textile et de plastiques produits contre 10% dans le scénario 1.
6	Le scénario 6 équivaut au scénario 1, cependant la durée de vie des articles en décharge passe de 30 ans à 60 ans et la durée de vie des articles est fixée à 11 ans pour toute la période de l'étude quel que soit la date. Ce scénario est considéré comme le plus réaliste.

¹¹ Eventuellement à approfondir pour essayer d'estimer les usages et émissions résiduels.

¹² Car les polymères contenant du DécaBDE ne sont quasiment utilisés que dans les équipements électriques et électroniques

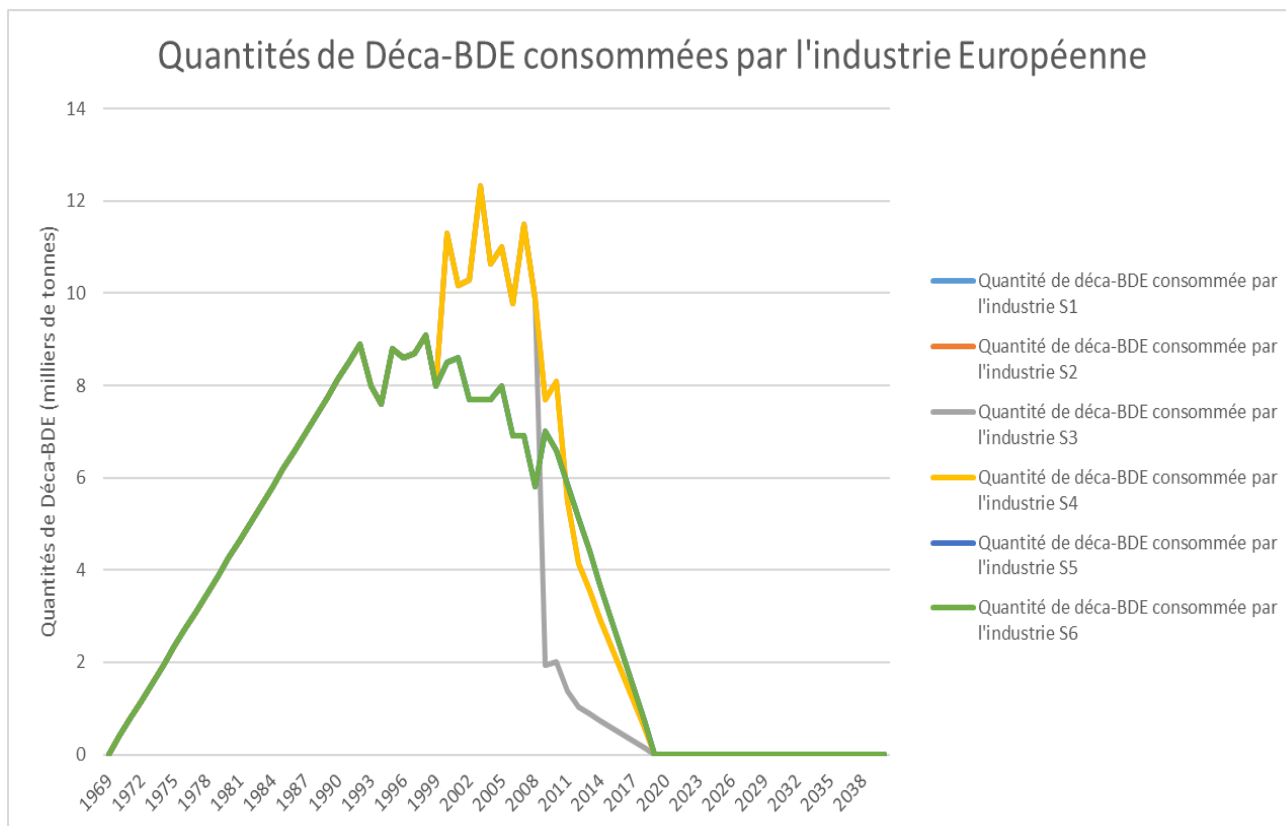


Figure 4. Quantités de Déca-BDE consommées par l'industrie Européenne en fonction des scénarii.

Les équations utilisées pour estimer les quantités de Déca-BDE pour les différentes phases de son cycle de vie sont présentées dans le tableau 6.

Tableau 6. Equations pour estimer les quantités de Déca-BDE en jeu à chaque étape du cycle de vie

N° sur la figure 3	Equations	Informations	Référence
1	Quantité de Déca-BDE produite (n) = X*quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie (n) Avec : X= 0,50 de 1969 à 1986 X = 0,51 en 1987 X = 0,51 en 1988 X = 0,51 en 1989 X= projection linéaire entre 1990 et 2000 X = 0 de 2000 à la fin de l'étude	X est fonction de l'année	(European Union, 2002) pour [1986-1989] (European Chemicals Agency, 2014) pour [2000 à la fin de l'étude]
2	Quantité de Déca-BDE importée (n) = Quantité de Déca-BDE produite (n) - quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie (n)		
3	Quantité de Déca-BDE contenue dans les textiles (n) = Quantité Déca-BDE contenue dans les textiles (n-1) + Quantité de Déca-BDE contenue dans le textile produit (n) + Quantité de Déca-BDE contenue dans les importations de textile (n) - Quantité de Déca-BDE contenue dans les exportations de textile (n) - Quantité		(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) pour Y

	de Déca-BDE contenue dans les textiles (n-Y) Avec : Y = 11 ans de 1969-1979 Y = 9 ans de 1979-1989 Y = 7 ans de 1989-1999 Y = 5 ans de 2000 à la fin de l'étude		
4	Quantité de Déca-BDE contenue dans le textile produit (n) = 0,25* quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie (n) *0,6 ⁽¹³⁾	25% de la quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie l'est pour la production de textile (75% pour la production de plastique) 80% de la production de textile contenant du Déca-BDE est effectuée en UE hors UK Nous considérons que 50% du textile produit en UK est consommé strictement en UK, le reste est exporté en UE	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) pour 25% (European Union, 2002) pour 80%
5	Quantité de Déca-BDE contenue dans les importations de textiles (n) = 0,10*quantité de Déca-BDE contenue le textile produit (n)	Pour les scénarii 1,2,3 et 4 et 6	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)
6	Quantité de Déca-BDE contenue dans les importations de textiles (n) = 0,50*quantité de Déca-BDE contenue le textile produit (n)	Pour le scénario 5	Hypothèse INERIS
7	Quantité de Déca-BDE contenue dans les exportations de textile (n) = 0	Quantités négligeables selon la source ¹⁴	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)
8	Quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques (n) = Quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques (n-1) + Quantité de Déca-BDE contenue dans le plastique produit (n) + Quantité de Déca-BDE contenue dans les importations de plastiques (n) - Quantité de Déca-BDE contenue dans les exportations de plastiques (n) – quantité de Déca-BDE contenue dans les quantités de plastiques année (n-Y) ¹⁵ Avec : Y = 11 ans de 1969-1979 Y = 9 ans de 1979-1989 Y = 7 ans de 1989-1999 Y = 5 ans de 2000 à la fin de l'étude		(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) pour Y

¹³ Quantité Déca-BDE contenue dans les textiles produits = 0,25 * quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie * 0,2 + 0,25 * quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie * 0,8 * 0,5 = 0,25 * Quantité Déca-BDE contenu dans les textiles produits * 0,6

¹⁴ Probablement discutable pour le début de la période étudiée

¹⁵ Quantité de Déca-BDE contenue dans des articles en fin de vie qui est soit recyclée, incinérée ou mise en décharge

9	Quantité de déca-BDE contenue dans le plastique produit (n) = 0,75*quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie (n)	75% de de la quantité de Déca-BDE utilisée par l'industrie l'est pour la production de textile (25% pour la production de plastique)	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)
10	Quantité de Déca-BDE contenue dans les importations de plastiques (n) = 0,10* Quantité de Déca-BDE contenue dans le plastique produit (n)	Pour les scénarii 1,2,3 et 4 et 6	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)
11	Quantité de Déca-BDE contenue dans les importations de plastiques (n) = 0,15*Quantité de Déca-BDE contenue dans le plastique produit (n)	Pour le scénario 5	Hypothèse INERIS
12	Quantité de Déca-BDE contenue dans les exportations de plastique (n) = 0	Quantités négligeables selon la source	(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)
13	Quantité de Déca-BDE contenue dans les textiles à l'usage utilisé à l'extérieur (n) = Quantité de Déca-BDE contenue dans les textiles (n) * 0,05		(European Chemicals Agency, 2014)
14	Quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques utilisés à l'extérieur (n) = Quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques (n) * 0,10		(European Chemicals Agency, 2014)
15	Quantité de Déca-BDE utilisées par le secteur du bâtiment (n) = (Quantité de Déca-BDE contenue dans la production de plastiques et de textiles (n) + Quantité de Déca-BDE contenue dans les importations de plastiques et de textiles (n)) * 0,15		(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)
16	Quantité de Déca-BDE incinérée (n) = quantité de Déca-BDE contenue dans les textiles (n-Y) * 0,5 + quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques (n-Y) * 0,37	Cf également Tableau 7	(European Chemicals Agency, 2014)
17	Quantité de Déca-BDE mise en décharge (n) = quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques (n-Y) * 0,5 + quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques (n-Y) * 0,44	Cf également Tableau 7	(European Chemicals Agency, 2014)
	Quantité de Déca-BDE contenue dans les décharges (n) = quantité de Déca-BDE contenue dans les décharges (n-1) + quantité de Déca-BDE mise en décharge (n) - quantité de Déca-BDE mise en décharge (n-Z) Avec : Z = 30		(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) pour Z
18	Quantités de Déca-BDE mises à recycler (n) = quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques (n-Y) *0,19	Cf également Tableau 7	(European Chemicals Agency, 2014)

Le Tableau 7 présente la répartition entre la mise en décharge, l'incinération et le recyclage pour le Déca-BDE contenu dans des articles en fin de vie.

Tableau 7. Répartitions des modes de traitement en fonction du type d'article selon (European Chemicals Agency, 2014).

	Décharge	Incinération	Recyclage
Plastique	44%	37%	19%
Textile	50%	50%	0% ¹⁶

L'ensemble des données de quantité de Déca-BDE mentionnées dans ce rapport et extraites de la littérature sont des données qui correspondent au niveau européen. Dans le but d'obtenir des quantités de Déca-BDE pour le bassin de la Seine, des moyennes pondérées ont été effectuées en estimant que la production de Déca-BDE, l'utilisation de Déca-BDE par l'industrie et la consommation d'articles contenant du Déca-BDE étaient spatialement homogènes au niveau européen. Pour cela le ratio suivant a été utilisé :

$$\text{ratio de population} = \frac{\text{population du bassin de la Seine}}{\text{population européenne}}$$

Faute de données disponibles pour l'évolution de la population du bassin de la Seine le ratio de populations est constant pour la période étudiée, le ratio utilisé est calculé pour l'année 2015¹⁷.

Par la suite il serait intéressant de disposer de données, sur la période étudiée, au niveau du bassin de la Seine, en ce qui concerne les usines de production de Déca-BDE, les usines de production d'articles contenant du Déca-BDE, les spécificités éventuelles en termes de consommation d'articles, et les zones de traitements des déchets d'articles contenant du Déca-BDE. Cela pourrait permettre d'éliminer par exemple certaines émissions liées à des sites de production, si celles-ci sont localisées à l'extérieur de la zone d'étude.

Finalement comme nous effectuons des estimations en utilisant les facteurs d'émission de chaque source séparément pour 6 scénarii, nous effectuons au total 18 estimations de quantités de Déca-BDE émises dans l'environnement au niveau du bassin de la Seine. Les résultats de ces estimations sont présentés dans la partie suivante.

¹⁶ Le recyclage de textile devrait être supérieur à 0%. Cependant faute de donnée disponible dans la littérature nous privilégions cette hypothèse (peu réaliste) extraite de (European Chemicals Agency, 2014). Il s'agit là aussi d'un axe d'amélioration pour mieux rendre compte de la rémanence du DécaBDE dans la sphère économique.

¹⁷ Pour être précis concernant les textiles il faudrait recalculer un nouveau ratio auquel il faudrait soustraire de la population européenne la population du Royaume Unis étant donné que l'on n'a pas pris en compte les quantités de Déca-BDE contenues dans les textiles produits et consommés au Royaume-Unis.

1. Résultats : quantités de Déca-BDE présentes sur le bassin de la Seine et émissions associées

L'exploitation des données en suivant la méthodologie et les hypothèses présentées auparavant a permis d'estimer les quantités de Déca-BDE contenues dans les articles dans un premier temps et émises dans l'environnement dans un second temps.

Quantités de Déca-BDE présentes sur le bassin de la Seine

Cette première partie traite des quantités de Déca-BDE contenues dans les articles présents sur le bassin de la Seine.

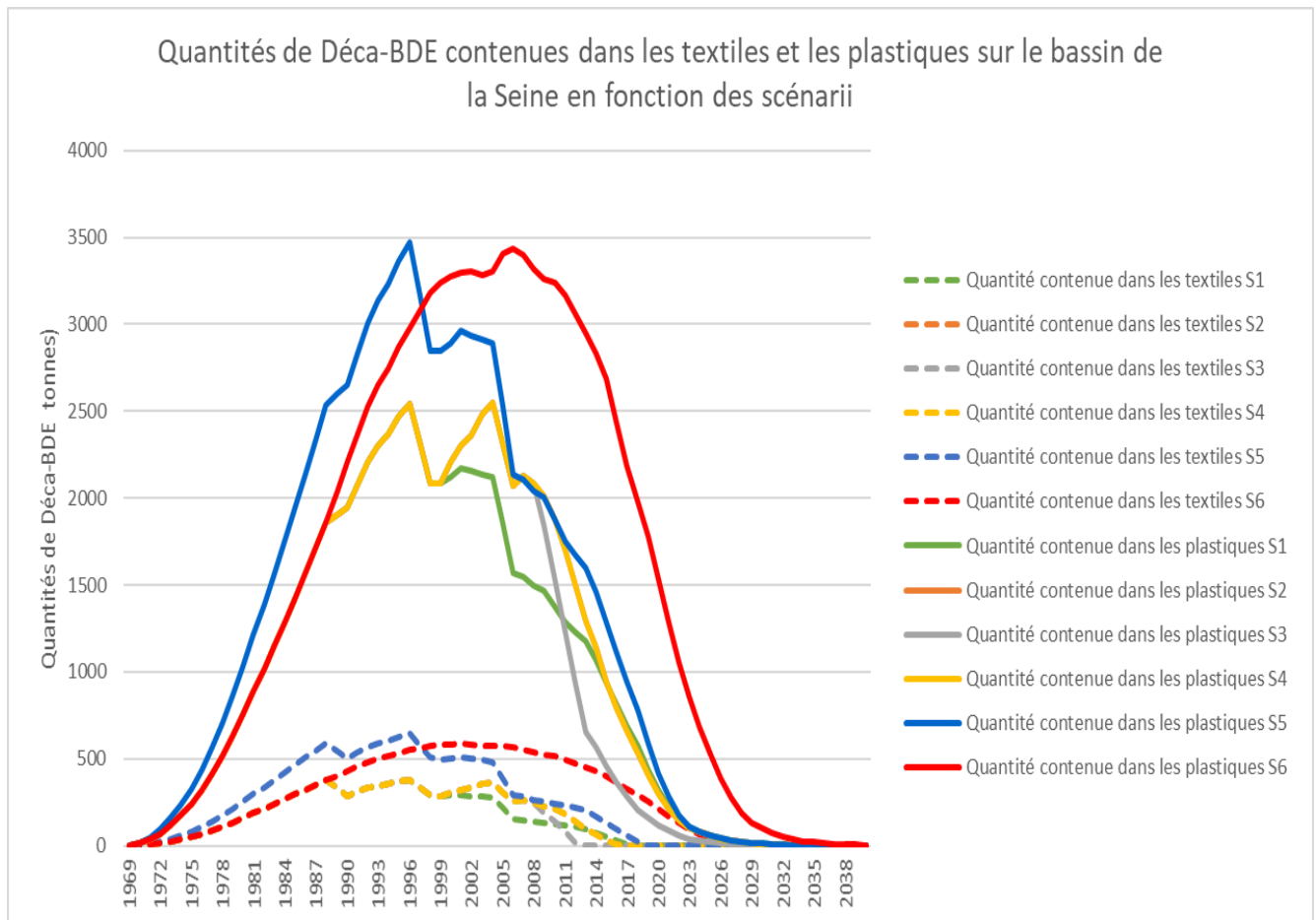


Figure 5. Quantité totale de Déca-BDE contenue dans les articles (textiles et plastiques) utilisés sur le bassin de la Seine

La Figure 5 présente les quantités de Déca-BDE contenues dans les textiles et les plastiques. Logiquement avec les hypothèses considérées pour le calcul de ces émissions (équations 4 et 9) les quantités de Déca-BDE sont majoritairement contenues dans les plastiques (environ 75%). Les quantités de Déca-BDE contenues dans les textiles et les plastiques pour les scénarii 2 et 4 sont identiques (les 2 courbes sont visuellement confondues). En effet la seule différence entre ces deux scénarii est la prise en compte ou non d'une production de Déca-BDE sur le bassin de la Seine, ce qui n'a pas d'impact selon les équations considérées (Tableau 6), sur la quantité de Déca-BDE contenue dans les plastiques ou les textiles.

Dans le cas du scénario 3, les quantités de Déca-BDE contenues dans les plastiques et textiles sont inférieures à celles du scénario 1 après 2008 ce qui illustre bien l'impact de la directive RoHS (2002/95/EC). On observe (scénario 1,2,3) également que malgré la restriction REACH de mise sur le marché d'articles contenant du Déca-BDE s'appliquant à partir de 2019 que les quantités de Déca-BDE contenues dans les textiles et plastiques ne disparaissent pas immédiatement après cette date.

La Figure 5 permet de montrer l'importance de l'impact des quantités de Déca-BDE importées sur les quantités de Déca-BDE présentes sur le bassin de la Seine. Le scénario 5 inclus 5 fois plus d'importations que le scénario 1 qui est basé sur l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013).

Les quantités de Déca-BDE contenues dans les articles présents sur le bassin de la Seine s'épuisent en très grande partie à partir de 2023 pour tous les scénarii sauf pour le scénario 6 car à partir de 2000¹⁸ la durée de vie des articles est de 5 ans, et aucun article n'est ni mis sur le marché ni recyclé à partir de 2019. La quantité qui continue à être mise sur le marché correspond à la quantité qui est « recyclée », quantité relativement faible au regard des quantités mises sur le marché dans les années 1980, 1990. Dans le cas du scénario 6 la quantité s'épuise plus lentement car la durée de vie d'utilisation des articles textiles et plastiques est de 11 ans. Comme cela a été indiqué à plusieurs reprises dans la partie précédente, les durées de vie sont probablement nettement sous-estimées, et un axe d'amélioration sera de mieux rendre compte de façon réaliste de la rémanence plus importante du Déca-BDE dans l'économie que ce qui est actuellement modélisé.

Emissions de Déca-BDE par source de données considérée

Après avoir présenté les quantités de Déca-BDE contenues dans les articles présents sur le bassin de la Seine cette partie se focalise sur l'objectif de ce travail : l'estimation selon les hypothèses et les sources de données considérées des émissions de Déca-BDE dans l'environnement. Comme expliqué plus haut (cf : **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) les émissions vers les eaux usées se répartissent après leur traitement vers les compartiments air, eaux de surfaces et sol qui sont également les 3 compartiments retenus dans cette étude pour les estimations de Déca-BDE vers l'environnement.

Les estimations réalisées s'appuyant respectivement sur les facteurs d'émission considérés par (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013), (European Chemicals Agency, 2014) et (European Union, 2002)¹⁹ diffèrent fortement. De plus nous n'avons pas pu réaliser une estimation en sélectionnant les facteurs d'émission les plus justes. Par conséquent un approfondissement de la compréhension des facteurs d'émission devrait être réalisé afin de sélectionner parmi les facteurs d'émission, les plus cohérents avec notre démarche d'estimation des émissions de Déca-BDE sur le bassin de la Seine, ou d'en proposer de nouveaux basés sur une revue plus approfondie de la littérature et des données disponibles. C'est pour cette raison que seulement une partie des résultats sera présentée dans cette partie et que ce rapport constitue un rapport d'étape. L'intégralité des résultats est présentée en annexe.

Illustration de la variabilité des résultats en fonction des sources des facteurs d'émissions considérés pour les estimations

¹⁸ Hypothèse issue de (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

¹⁹ Chaque estimation s'appuie strictement sur les FE d'une des trois sources, mise à part pour la production de Déca-BDE où les FE de (European Union, 2002) sont utilisés pour l'ensemble des estimations

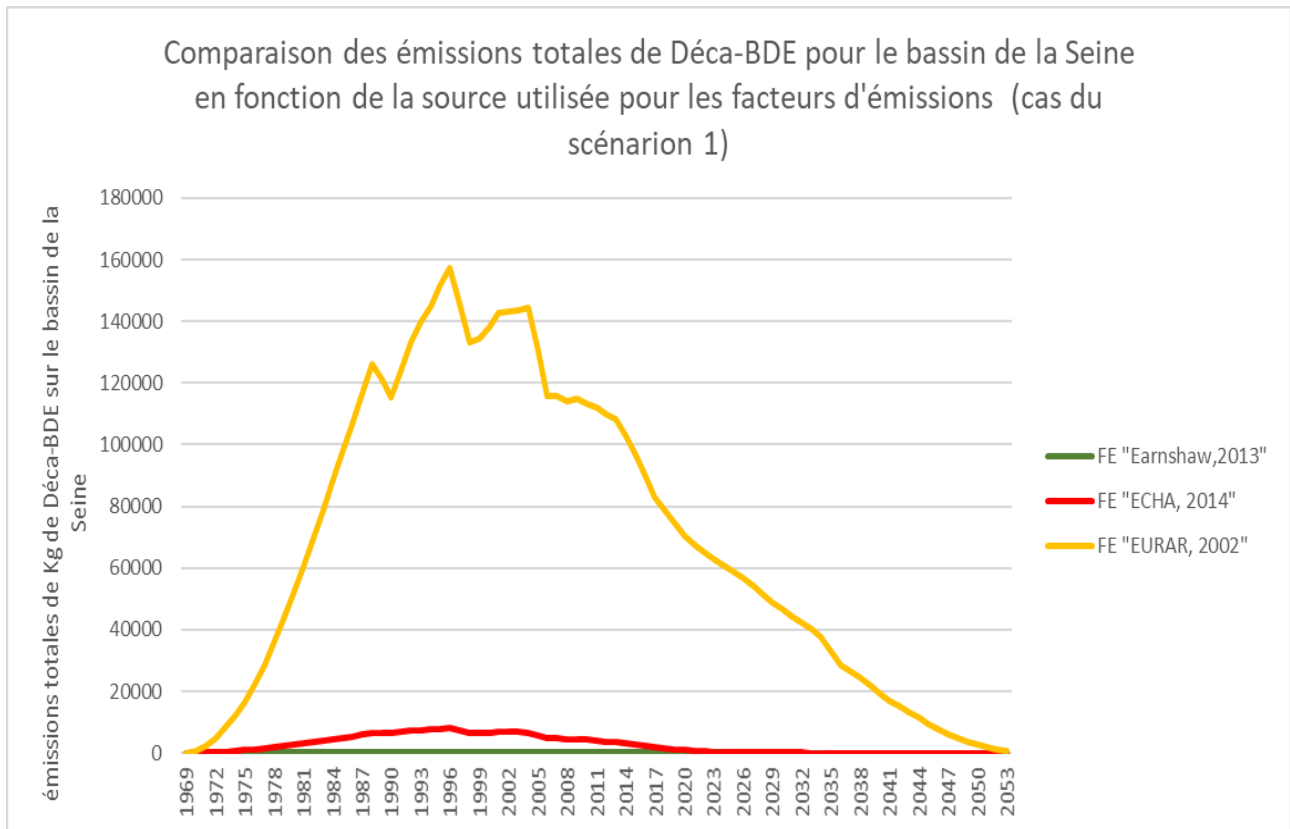
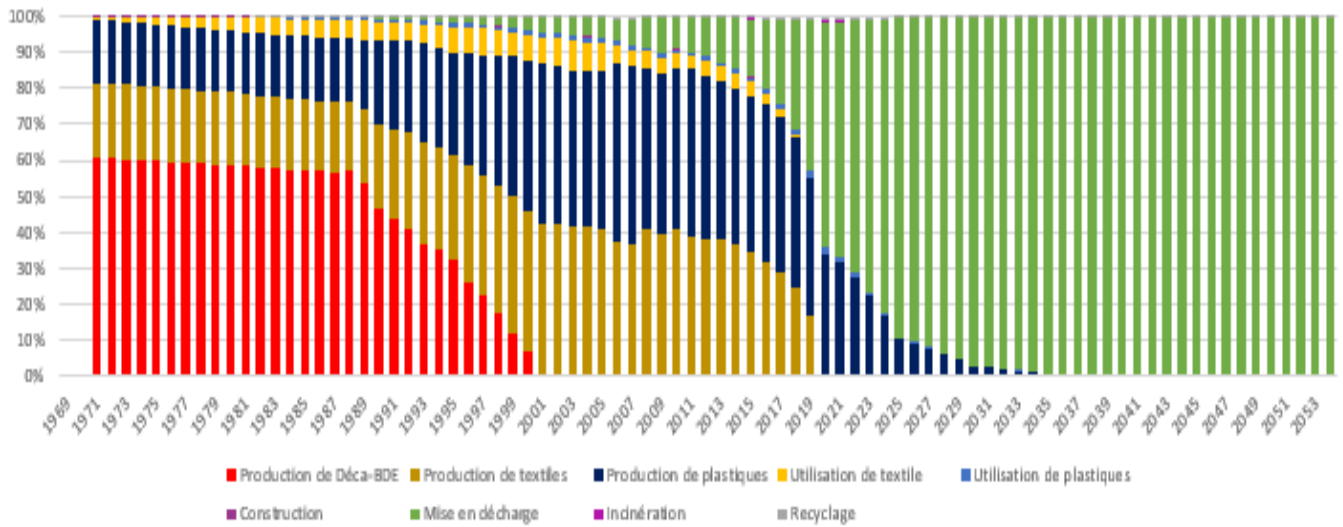


Figure 6. Comparaison des émissions totales de Déca-BDE sur le bassin de la Seine en fonction des sources utilisées pour les facteurs d'émission

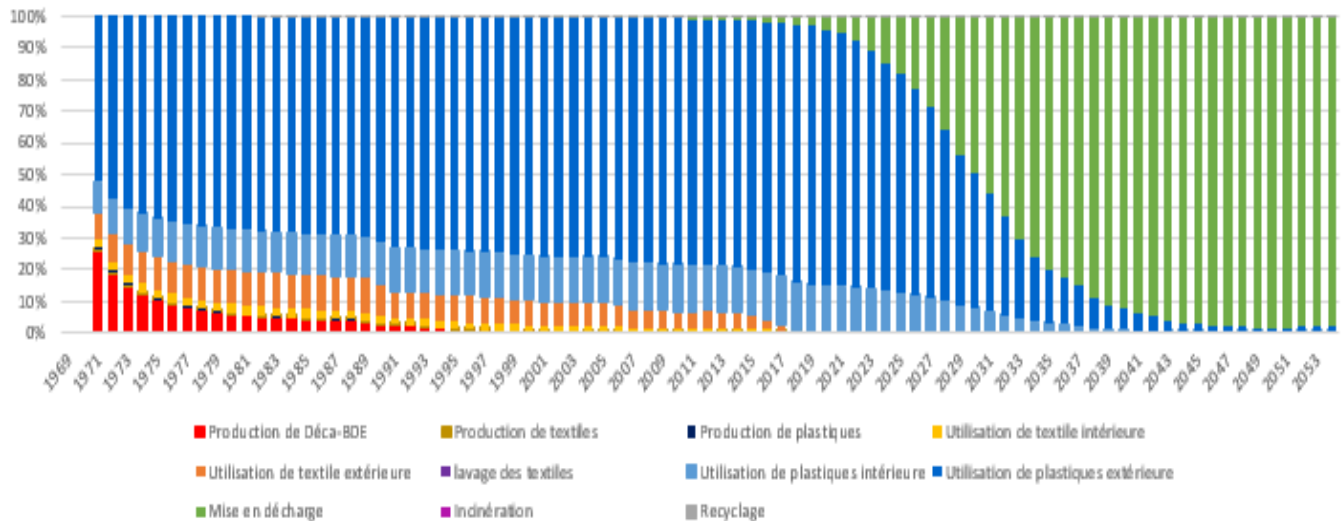
La figure 6 illustre la variabilité forte entre les estimations selon les sources de données des facteurs d'émission.

L'hétérogénéité de ces résultats s'explique par la variabilité des facteurs d'émissions. Pour un même scénario, c'est-à-dire à quantité égale de Déca-BDE produit, importé et utilisé ce sont les facteurs d'émissions qui influent sur les émissions vers l'environnement de manière quantitative et sur la nature de ces émissions (compartiment considéré). Le Tableau 3 illustre la variabilité de ces facteurs. La Figure 7 ci-dessous illustre la répartition des émissions selon les sources de données considérées pour les facteurs d'émission.

Répartition des émissions par étape du cycle de vie pour le scénario 1 en se basant sur l'article : (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)



Répartition des émissions par étape du cycle de vie pour le scénario 1 en se basant sur (European Chemicals Agency, 2014)



Répartition des émissions par étape du cycle de vie pour le scénario 1 en se basant sur (European Union, 2002)

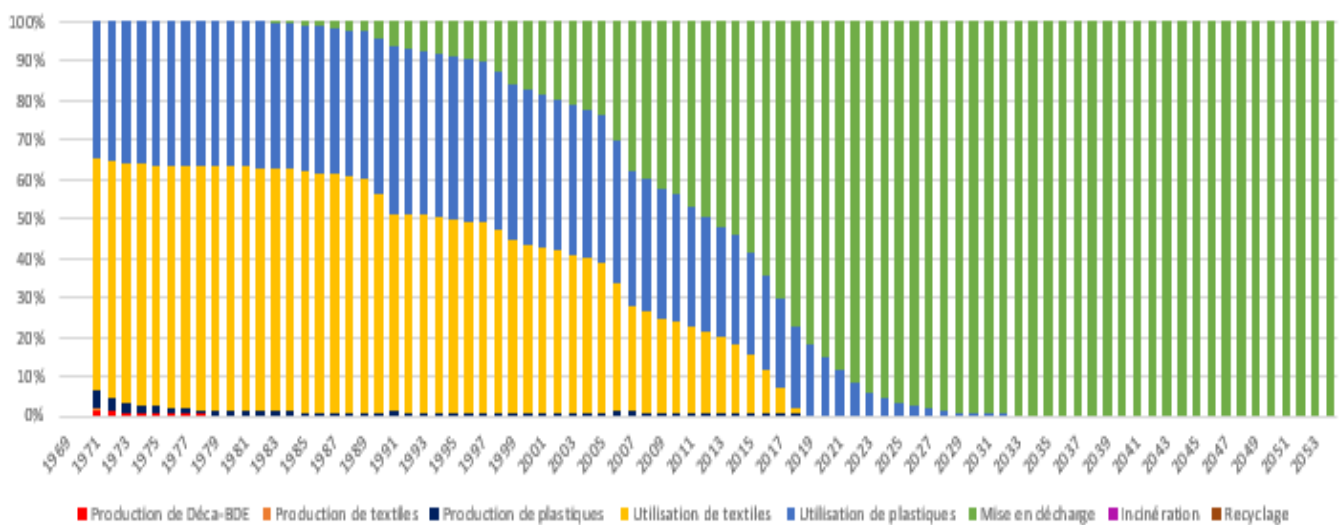


Figure 7. Répartition des émissions pour le bassin de la Seine par étape du cycle de vie pour le scénario 1 par source de facteurs d'émission utilisés

Sur la période 1970-2053 pour les estimations se basant sur (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) les deux principales émissions sont liées à la production de Déca-BDE, de plastiques et de textiles ainsi que les émissions des articles mis en décharges. La répartition des émissions évolue avec le temps mais sur l'ensemble de la période peu d'émissions sont liées à l'utilisation d'articles.

Contrairement aux émissions se basant sur le rapport (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) la majorité des émissions sont liées à l'utilisation d'articles pour les estimations basées sur (European Chemicals Agency, 2014) et sur (European Union, 2002). Seule la source de données (European Chemicals Agency, 2014) distingue des émissions entre l'utilisation environnement « intérieur » ou « extérieur » d'articles. Enfin pour les estimations se basant sur (European Union, 2002) la part d'émissions liées à la production de Déca-BDE, de textiles et de plastiques représentent des parts d'émissions moins importantes que pour les deux autres estimations.

De manière générale à partir de 2023, il n'y a plus de Déca-BDE présent dans des articles sur le bassin de la Seine, mis à part le Déca-BDE recyclé, la majorité du Déca-BDE se situe donc dans les décharges. Ce qui explique la part importante d'émissions associées à cette étape (partie verte sur la Figure 7) à partir de 2023.

Illustration de l'impact d'une réglementation sur les estimations de Déca-BDE vers l'environnement

La directive RoHS (2002/95/EC) qui s'applique depuis le 30 juin 2008 et réglemente l'usage du Déca-BDE dans les appareils électroniques et électriques (E&E)²⁰ dans les pays de l'Union Européenne aurait eu un effet significatif sur les émissions de Déca-BDE. La Figure 8 illustre ce phénomène, qui a un effet rapide et maximum en 2013 lié à l'utilisation diminuée de Déca-BDE dans certains articles. Cet effet se propage ensuite dans le temps jusqu'à 2053 étant donné que la quantité d'articles se retrouvant en décharge pourrait être modifiée par cette directive.

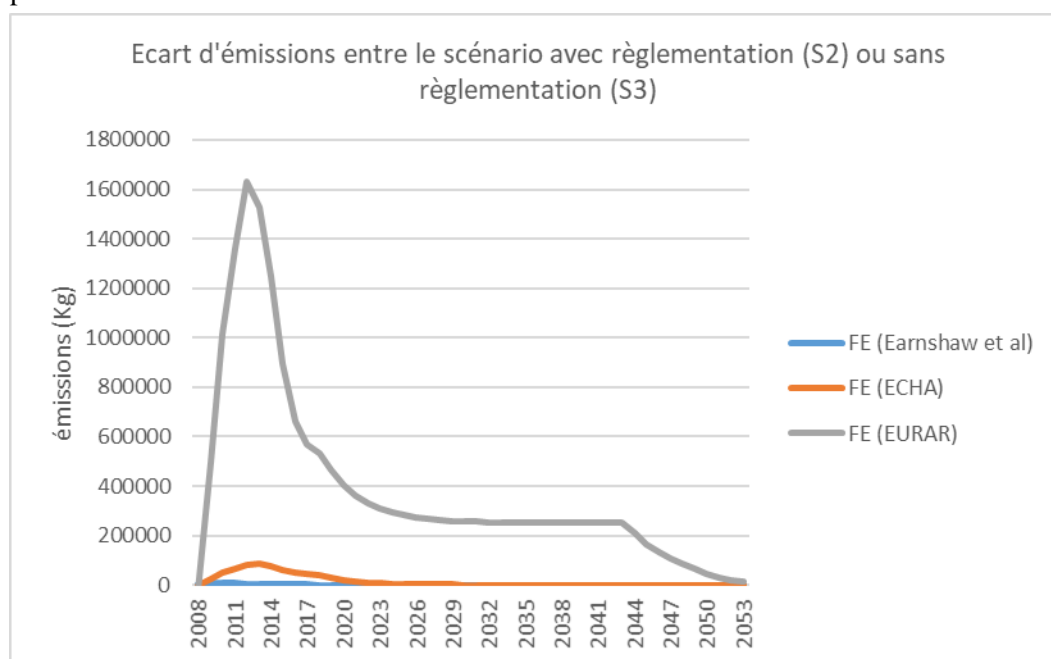


Figure 8. Effet d'une réglementation encadrant l'utilisation de Déca-BDE sur les émissions dans l'environnement

L'effet de la réglementation REACH applicable dès 2019 est pris en compte par tous les scénarii. On a pu ainsi remarquer pour l'ensemble des estimations une diminution, plus ou moins rapide en fonction des

²⁰ Pas de données disponibles pour les quantités de E&E, nous avons fait l'hypothèse que l'ensemble du Déca-BDE utilisé dans les plastiques était prohibé

scénarii des quantités de Déca-BDE vers l’environnement. Les estimations basées sur (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) et (European Chemicals Agency, 2014) se rapprochent de 0 par rapport aux estimations maximales en 2025 pour les cinq premiers scénarii et en 2032 pour le scénario 6. Enfin les émissions se basant sur (European Union, 2002) sont proches de 0 par rapport aux estimations maximales en 2050 et en 2085 pour le scénario 6. Dans tous les cas les émissions ne sont jamais nulles car une partie des articles en fin de vie est considérée comme recyclé.

Comparaison d’émissions entre deux scénarii

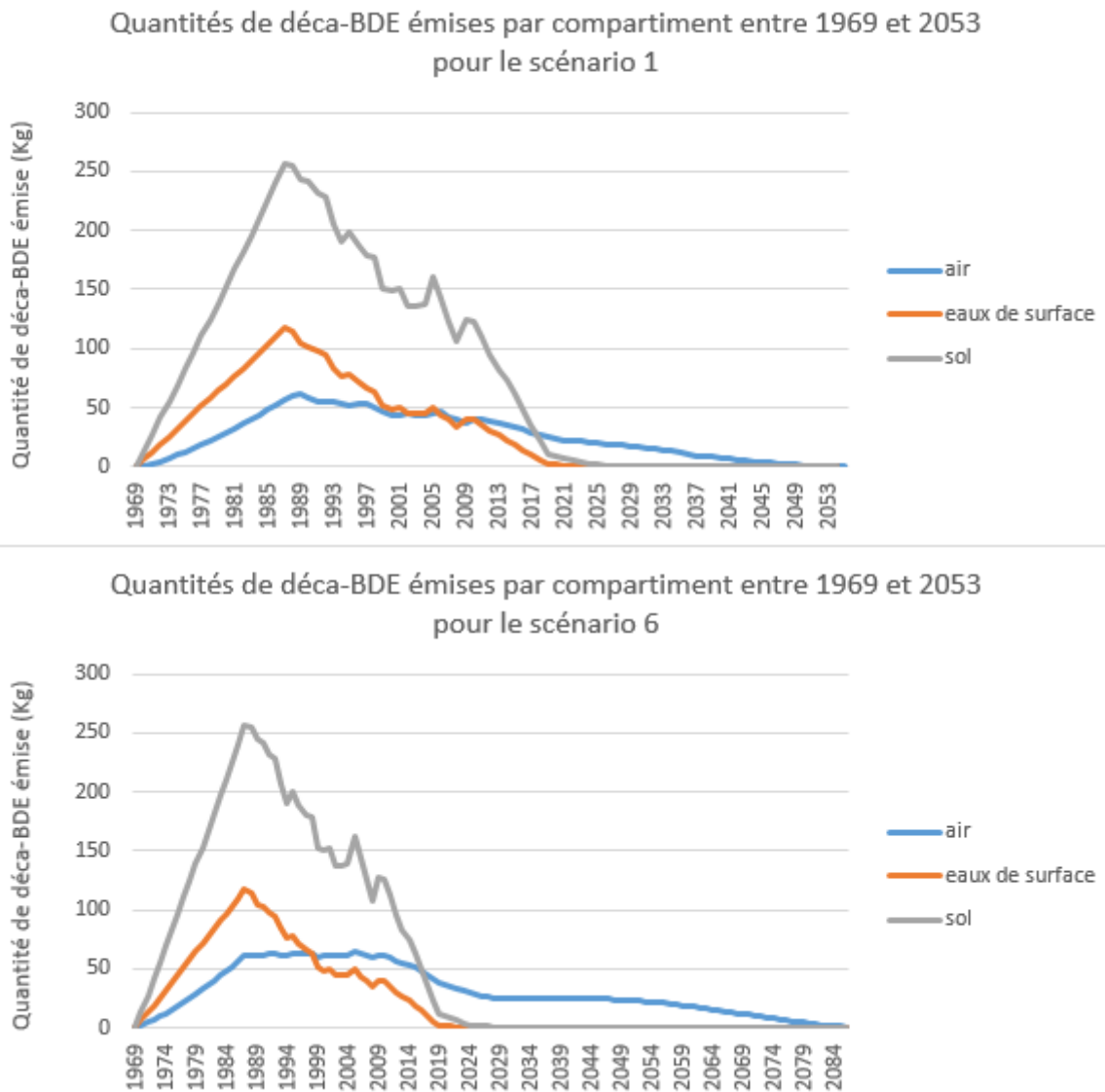


Figure 9. Comparaison entre les scénarii 1 et 6 pour les estimations se basant sur (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

Le scénario 6, scénario plus réaliste que les autres scénarii, illustre un phénomène d’émissions vers l’environnement plus long. Par rapport aux émissions maximales les émissions vers l’air ne commencent à être très négligeables qu’à l’horizon 2080 contrairement aux autres scénarii (1, 2, 3, 4 et 5) où elles le sont vers 2050. Cela est dû à une durée de vie en décharge plus longue et une durée de vie des articles durant leur phase d’utilisation également plus importante (cf :

Pour le futur des usages, nous prenons en compte les réglementations en cours et prévues. Les réglementations qui encadrent l’usage du Déca-BDE au niveau européen sont la directive RoHS (2002/95/EC) et le règlement de la commission (EU) 2017/227 du 9 février 2017 . L’application de ces réglementations à un impact sur la quantité de Déca-BDE utilisée par l’industrie. La directive RoHS

(2002/95/EC) s'applique depuis le 30 juin 2008. A partir de cette date le retardateur de flamme bromé Déca-BDE n'a peut plus été utilisé dans les appareils électroniques et électriques (E&E) dans les pays de l'Union Européenne. Cette réglementation faisait suite à la décision de la cour Européenne de justice annulant l'exemption de restriction dont disposait le Déca-BDE depuis 2005. Le règlement de la commission (EU) 2017/227 du 9 février 2017 interdit à compter de 2019 la fabrication, la mise sur le marché ou l'utilisation d'oxyde de bis(pentabromophényle). Ne sont autorisées par exemption que la production d'aéronefs et certaines pièces de rechange pour les moteurs de certains véhicules (ces exceptions représentent des volumes très faibles, nous avons estimé qu'elles étaient nulles sur le bassin de la Seine) . Cette restriction limitera donc considérablement la possibilité d'utiliser du Déca-BDE dans l'UE, ou d'importer des articles en contenant.

Tableau 5). La Figure 9 illustre ce phénomène pour les estimations se basant sur (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) mais celui-ci s'observe également pour les autres estimations réalisées à partir des facteurs d'émission extraits de (European Chemicals Agency, 2014) et de (European Union, 2002). Rappelons que l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) considère des émissions vers les compartiments : air, eaux usées et sol²¹. De plus cet article ne considère des émissions liées à la mise en décharge d'articles contenant du déca-BDE que vers le compartiment air, ceci explique que le compartiment air soient très majoritairement représenté parmi les émissions après 2020. Ceci n'est pas le cas par exemple pour les émissions s'appuyant sur (European Union, 2002), en effet les émissions associées aux articles en décharges sont majoritairement vers le compartiment sol (cf : tableau 3 et résultats présentés en annexes).

2. Conclusions et Discussions

Conclusions et discussion des résultats

Le Déca-BDE est un retardateur de flamme bromé, utilisé depuis le début des années 1970 dans certains plastiques comme par exemple dans les équipements électroniques et certains textiles. Les estimations basées sur les données de la littérature réalisées dans ce travail montrent que les quantités maximales de Déca-BDE contenues dans les articles sont atteintes vers 1996 pour les 5 premiers scénarii et en 2005 pour le scénario « réaliste » (S6) qui considère une durée de vie des articles et de stockage en décharge plus longue (cf : Tableau 5). Compte tenu de la réglementation de la Commission Européenne (EU) 2017/227 du 9 février 2017 qui interdit la fabrication, la mise sur le marché ou l'utilisation du Déca-BDE dans la majorité de ces utilisations, ainsi que de la durée de vie des articles considérée, la majeure partie des quantités de Déca-BDE contenues dans les articles présents sur le bassin de la Seine s'épuiserait en 2023 ou en 2032 pour le scénario « réaliste » selon nos estimations. Cependant les quantités de Déca-BDE contenues dans les articles présents sur le marché ne s'épuisent pas entièrement après cette date car une partie du Déca-BDE contenu dans les articles en fin de vie est recyclée. Ces estimations de quantités et de l'horizon temporel des émissions de Déca-BDE sont à considérer avec prudence car elles se basent sur un respect total des réglementations, et une durée de vie des articles uniforme et courte (sauf S6) et ne prennent pas en compte le fait que les articles peuvent rester longtemps stockés, être donnés ou revendus entre particuliers, ou encore l'introduction de produits par des consommateurs hors UE par exemple.

La variabilité des facteurs d'émission et des quantités de Déca-BDE consommées par l'industrie conduisent à des valeurs d'émissions très différentes. A quantité de Déca-BDE consommée par l'industrie égale, en fonction de la source utilisée pour les facteurs d'émission (cas du scénario 1) les quantités maximales émises par an sont : 6,4 tonnes (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013), 12,6 tonnes (European Chemicals Agency, 2014) et 229 tonnes (European Union, 2002). La Figure 6 illustre les différences entre les émissions en fonction de la source de données considérée pour les facteurs d'émission.

Nous considérons que le Déca-BDE est émis dans l'environnement depuis sa production jusqu'au traitement des articles en fin de vie. Ainsi dans ce travail nous estimons selon les hypothèses considérées que cette substance devrait être émise dans l'environnement de 1970 jusqu'à au moins 2100 si l'on prend en compte le

²¹ Les émissions vers les eaux usées n'apparaissent pas dans les graphiques (cf : Figure 9) suite à la prise en compte de leurs traitements. Après traitement ces émissions se répartissent vers le sol, les eaux de surfaces et l'air (cf : Figure 2)

recyclage (cas du scénario réaliste S(6)). Cependant ces émissions liées au recyclage sont très inférieures comparées aux autres sources d'émissions (comme l'utilisation ou les émissions depuis les décharges), ainsi la majeure partie des émissions pourrait être émise entre 1970 et 2085 pour les estimations se basant sur (European Union, 2002) et (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) ou entre 1970 et 2030 pour les estimations se basant sur (European Chemicals Agency, 2014) (cf : Figure 17, Figure 23 et Figure 30 présentées en annexe de ce rapport).

Les jeux de facteurs d'émission impactent fortement les types d'articles et des étapes du cycle de vie auxquelles les principales émissions sont à attribuer. Pour la période 1970-2025, on observe que les émissions se basant sur (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) sont fortement liées à production de textiles et de plastiques alors que c'est l'utilisation de plastiques à l'extérieur qui constitue la majeure partie des émissions pour les estimations se basant sur (European Chemicals Agency, 2014) et c'est l'utilisation de textiles pour les estimations se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Union, 2002) (cf : Figure 7).

Cette variabilité des facteurs d'émission impacte également la répartition des émissions entre les compartiments air, eau de surface et sol. Cette variabilité des émissions par compartiment est illustrée dans le Tableau 8. Les émissions vers l'air sont inférieures par rapport aux émissions vers le sol et les eaux de surface pour les estimations se basant sur les facteurs (European Chemicals Agency, 2014) et (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) ce qui n'est pas le cas pour les estimations se basant sur le document (European Union, 2002). La source (European Union, 2002) présente des facteurs d'émission vers les eaux usées et les eaux de surfaces très élevés associés à l'utilisation de textiles ou de plastiques et des facteurs d'émission vers le sol forts liés à la présence de Déca-BDE dans les décharges alors que les deux autres sources ont des facteurs d'émission plus faibles pour l'utilisation d'articles et ne considèrent pas d'émissions vers le sol pour la phase en décharge du Déca-BDE. Différentes raisons nous poussent à relativiser les résultats obtenus avec les facteurs d'émission issus de (European Union, 2002) : ce document est plus ancien que les deux autres sources de facteurs et c'est une évaluation de risque qui pourrait considérer des facteurs d'émission plus élevés dans le cadre d'une approche de précaution destinée à évaluer et gérer des risques pour la santé humaine, et non dans le but de quantifier des émissions « réalistes ».

Tableau 8. Hiérarchisation des émissions par compartiment en fonction des sources utilisées pour les facteurs d'émission.

Référence utilisée pour les facteurs d'émission	Classement des émissions vers les compartiments environnementaux
(Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)	Sol > eaux de surface > air ²²
(European Chemicals Agency, 2014)	Sol > eaux de surface > air
(European Union, 2002)	Air > sol > eaux de surface ²³

Comparaison avec les résultats de la littérature

Trois sources bibliographiques de facteurs d'émission sont utilisées dans cette étude mais seulement une de ces sources présente une estimation des émissions de Déca-BDE dans l'environnement au niveau Européen. Il s'agit de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013). Les résultats de cet article malgré l'utilisation la plus rigoureuse possible des données²⁴ ne sont pas totalement cohérents avec nos résultats. En effet dans cet article les émissions de Déca-BDE vers l'air sont plus importantes que les émissions vers les milieux aquatiques et les émissions vers le sol. Nos résultats montrent (Figure 11) des émissions vers l'air inférieures aux émissions vers les eaux de surfaces et vers le sol. De plus le pic d'émissions (toutes émissions confondues) semble être atteint vers 2005 contre 1987 pour les estimations du scénario 1 se basant sur les

²² Sur la période 1969-2010, passé 2010 les émissions vers l'air sont supérieures aux émissions vers les eaux de surface

²³ Sur la période 1969-2005, passé 2005 les émissions vers l'air sont inférieurs aux émissions vers le sol

²⁴ Hormis l'intégration d'émissions liées à la production de Déca-BDE mais ne constituant pas des sources d'émissions majeurs expliquant les différences de résultats

facteurs d'émissions extraits de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)²⁵. Néanmoins les émissions de déca-BDE que cet article a estimées présentent le même ordre de grandeurs que les émissions estimées dans ce travail (si on les ramène à l'échelle européenne). Sur la période 1970 et 2020, les estimations sont comprises entre 0 et 10 tonnes par an Figure 11 et Figure 11.

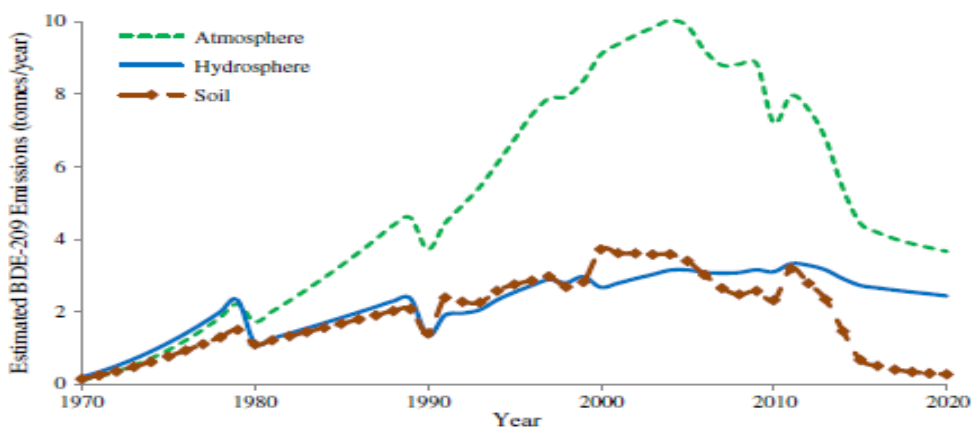


Figure 10. Emissions de Déca-BDE extrait de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

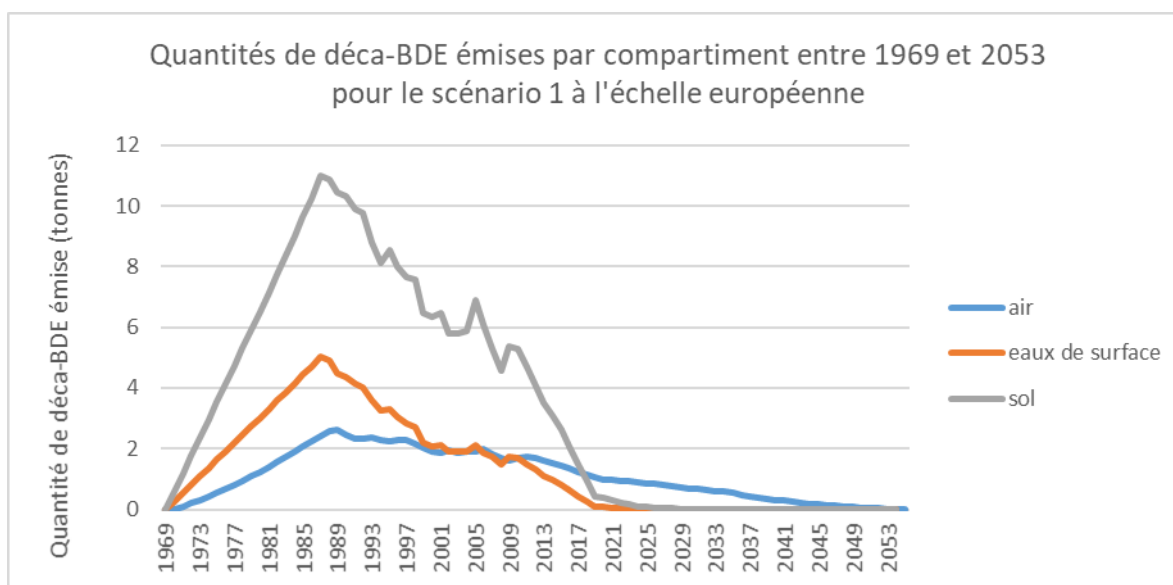


Figure 11. Estimation des émissions de Déca-BDE à l'échelle européenne en se basant sur l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

La comparaison de nos résultats avec ceux de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) montre des incohérences qui sont peut-être dues à une différence d'interprétation des facteurs d'émission ou à une différence dans les quantités de Déca-BDE utilisées, et leur répartition par types d'utilisation. Cependant si l'on compare vis-à-vis de la hiérarchie des compartiments d'émissions ni les estimations s'appuyant sur le rapport (European Chemicals Agency, 2014) ni sur le rapport (European Union, 2002) n'estiment des émissions vers l'air supérieures aux émissions vers le sol et vers les eaux usées sur la période 1970-2020. Les émissions basées sur le rapport (European Union, 2002) estiment sur une partie de la période des émissions vers l'air supérieures aux compartiments « eaux de surface » et « sol » (cf : Figure 25 à Figure 30).

²⁵ Nous avons comparé les résultats de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) aux résultats d'émissions du scénario 1, car celui-ci utilisait les mêmes données de quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie et les mêmes durées de vie des articles et mêmes durées de stockage en décharge

Limites et pistes exploratoires

Ce rapport est un rapport d'étape ou plusieurs estimations d'émission de Déca-BDE ont été réalisées en se basant sur différents jeux de données de facteurs d'émissions provenant de différentes sources. Ces estimations présentent des résultats avec une variabilité. De plus nous ne disposons pas des éléments qui nous permettraient de conclure à une estimation plus juste qu'une autre. Par conséquent un approfondissement de la compréhension des facteurs d'émission devrait être réalisé dans le but de proposer une estimation la plus juste possible.

Une des premières limites de notre méthode provient de l'appui pris sur des valeurs européennes pour calculer des émissions au niveau du bassin de la Seine. Un ratio de population a été utilisé pour passer d'une zone géographique donnée à une autre. En utilisant cette méthode et ces données on suppose que les circuits de la production et la consommation en plastique et en textile, et les pratiques d'utilisation des retardateurs de flamme dans ces matériaux sont uniformes en Europe, ce qui n'est pas le cas car elles dépendent de réglementations et de préconisations par les assureurs qui peuvent varier d'un pays à l'autre.

Les données de quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie Européenne présentent une variabilité très forte dans la littérature ce qui influe sur les estimations d'émission de substances vers l'environnement. Les facteurs d'émission associés à une même étape du cycle de vie sont également très variables en fonction des sources. L'incertitude associée aux résultats est donc grande.

De plus pour certaines étapes du cycle de vie, comme la production de Déca-BDE, l'utilisation du Déca-BDE par l'industrie et le traitement des articles en fin de vie contenant du Déca-BDE (incinération, décharge...), il serait intéressant de s'appuyer sur des données spécifiques au bassin de la Seine, en essayant de comptabiliser exactement les zones de production et de traitement afin de diminuer les incertitudes des estimations de Déca-BDE.

Bien que l'approche de ce travail, influencée par les données disponibles, se soit détachée des émissions exclusives du bassin de la Seine, ce travail suit d'une certaine façon à ce stade une logique d'empreinte environnementale des objets utilisés à l'intérieur du bassin de la Seine, en comptabilisant les émissions liées à leur production et leur fin de vie, même si celle-ci a lieu en dehors du bassin de la Seine.

Pour estimer les émissions de Déca-BDE liées à l'utilisation d'articles, une partie de ce travail a consisté à estimer les stocks de groupes d'articles contenant du Déca-BDE dans le but de les associer ensuite à des facteurs d'émission spécifiques. Cependant peu de données de quantités d'articles contenant du Déca-BDE sont disponibles dans la littérature. Ainsi seulement quatre grands groupes d'articles ont pu être estimés : les plastiques utilisés à l'intérieur, les plastiques utilisés à l'extérieur, les textiles utilisés à l'intérieur, les textiles utilisés à l'extérieur. Les facteurs qui jouent sur le poids des stocks sont : la date de mise sur le marché des différents articles et leurs durées de vie. La durée de vie des articles est considérée identique (avec une variation temporelle sauf (6)) pour tous les articles. Il serait intéressant de pouvoir s'appuyer sur des experts techniques et connaître ces durées de vie du Déca-BDE avec plus de représentativité.

Ce travail suit une logique cycle de vie du Déca-BDE depuis sa production jusqu'au traitement en fin de vie des articles contenant du Déca-BDE, pour chaque étape les quantités émises dans l'environnement sont calculées à l'aide de facteurs d'émission. Cependant les émissions de la précédente étape ne sont pas retranchées de la quantité totale de Déca-BDE disponible ce qui tend à sur estimer les émissions de Déca-BDE vers l'environnement. Procéder à ce calcul serait une piste d'amélioration significative de ce travail d'estimation.

Dans cette étude nous supposons que les réglementations qui encadrent l'usage du Déca-BDE s'appliquent immédiatement. Néanmoins il semblerait que ces mesures mettent quelques années avant d'être appliquées complètement. Il est possible que les dates où les émissions soient proches de 0 par rapport aux émissions maximales, entre 2025 et 2085 en fonction des données et des scénarii, puissent être donc plus tardives. D'une manière générale disposer de plus de données sur les quantités de Déca-BDE utilisées par l'industrie

Européenne ou sur les articles présents sur le marché Européen pourrait permettre d'améliorer significativement la prise en compte de l'impact d'une réglementation sur les quantités d'articles présents sur le marché.

La durée de stockage des textiles et des plastiques en décharges, 30 ans pour les scénarii 1 à 5 et 60 ans pour le scénario réaliste (S6), conditionne fortement le moment où les émissions vers l'environnement s'approchent de 0. Après cette période en décharge aucune émission due à ces déchets disposés en décharge n'est considérée dans cette étude, un autre traitement comme l'incinération par exemple, pourrait être pris en compte comme cela a été fait pour la fraction de Déca-BDE qui ne va pas en décharge. La fiabilité des hypothèses liées aux traitements des articles contenant du Déca-BDE en fin de vie pourrait être améliorée en s'appuyant sur des expertises techniques.

Bibliographie

AMORCE. (2012). « Gestion des boues de stations d'épuration : Etat des lieux de la gestion des boues de STEP en France ». http://www.amorce.asso.fr/media/filer_public/e7/48/e7481c35-99a5-45d6-85d9-a4a2a5e7c409/dt52_enque_te_boues_amorce.pdf.

BiPRO for Norwegian Environment Agency. (2015). *Literature Study – Déca-BDE in waste streams*.
Choubert, J. M., S. Martin Ruel, H. Budzinski, C. Miège, M. Esperanza, C. Soulier, C. Lagarrigue, et M. Coquery. 2011. « Evaluer les rendements des stations d'épuration ». *Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. Extrait numérique de Techniques Sciences, Méthodes n° 1/2*.

Commission Européenne. (2017). *Proposition de DÉCISION DU CONSEIL relative à la position à adopter, au nom de l'Union européenne, lors de la huitième conférence des parties à la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, en ce qui concerne les propositions ...*

Earnshaw, M., Jones, K., & Sweetman, A. (2013). Estimating European historical production, consumption and atmospheric emissions of decabromodiphenyl. *Science of the Total Environment*(447), 133-142.

European Chemicals Agency. (2014). *ANNEX XV RESTRICTION REPORT PROPOSAL FOR A RESTRICTION [Bis(pentabromophenyl) ether]*. Helsinki.

European Commission. (2017, 2 10). Commission regulation (EU) 2017/227 of 9 february 2017 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) ...

European Union. (2002). *European Union Risk Assessment Report : bis(pentabromophenyl) ether*.

Gouzy, A., & Brignon, J.-M. (2012). Inventory of emissions of priority Hazardous substances in the surface waters in France. *SETAC World congress 2012/22. SETAC Europe Annual Meeting*. Berlin.

INERIS. (2006). *Données technico-économiques sur les substances chimiques en France*.

World Health Organization. (1994). *Environmental Health Criteria 162 BROMINATED DIPHENYL*.

Annexes

Estimation des émissions de Déca-BDE en se basant sur (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

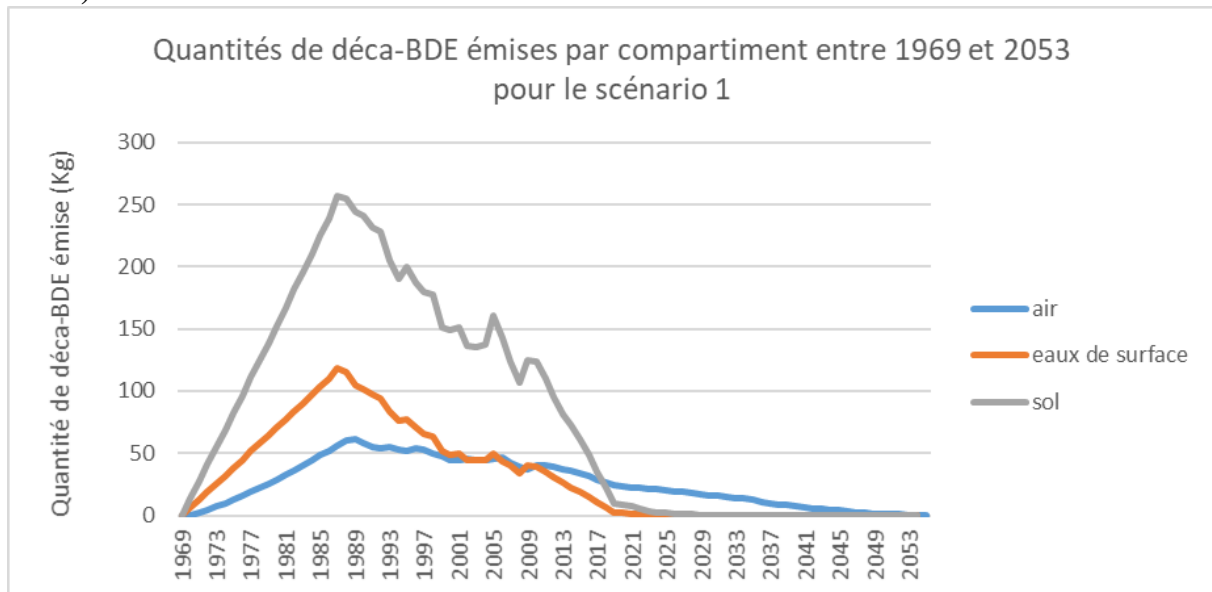


Figure 12. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 1 en se basant sur les facteurs d'émission de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

Le pic maximal d'émissions tous compartiments confondus est atteint en 1987 pour les scénarii 1 et 5. Cette date ne coïncide pas à 1996 l'année où les quantités de Déca-BDE contenues dans les articles plastiques et textiles présents sur le bassin de la Seine sont les plus importantes. En effet la production de Déca-BDE constitue une part importante (57% des émissions en 1987), la production de textiles et de plastiques (37% des émissions en 1987).

Le pic d'émissions vers l'environnement est plus important pour le scénario 5, celui-ci prenant en compte plus de quantités de Déca-BDE importées par rapport au scénario 1 (Figure 16). Pour tous les scénarii les émissions ne sont jamais nulles car on considère qu'une partie des articles en fin de vie est recyclée puis remises sur le marché. Cependant les émissions sont très faibles par rapport aux émissions maximales pour les scénarii 1 à 5 à partir de 2053 soit 30 ans après 2023, première année où aucun article ou matériau contenant du Déca-BDE n'est présent sur le marché mis à part via le recyclage²⁶ car on prend comme hypothèse que la restriction REACH s'appliquerait à 100% dès 2019²⁷. Néanmoins cette hypothèse est optimiste et il y aura probablement un taux de non-respect de l'interdiction d'importation, phénomène qui s'est observé dans d'autres cas de règlementations.

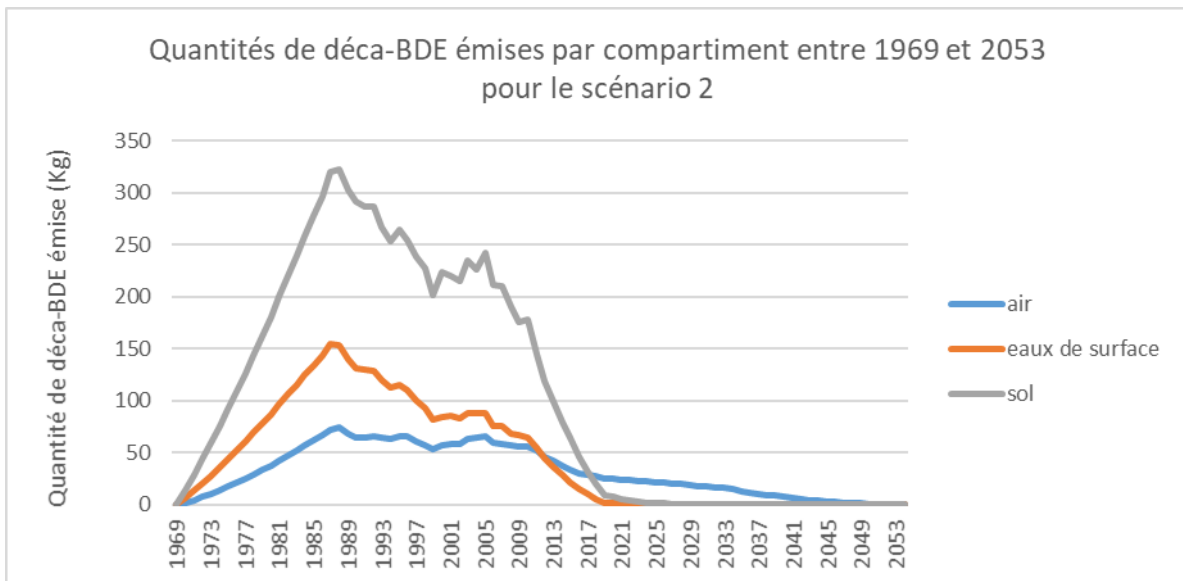


Figure 13. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 2 en se basant sur les facteurs d'émission de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

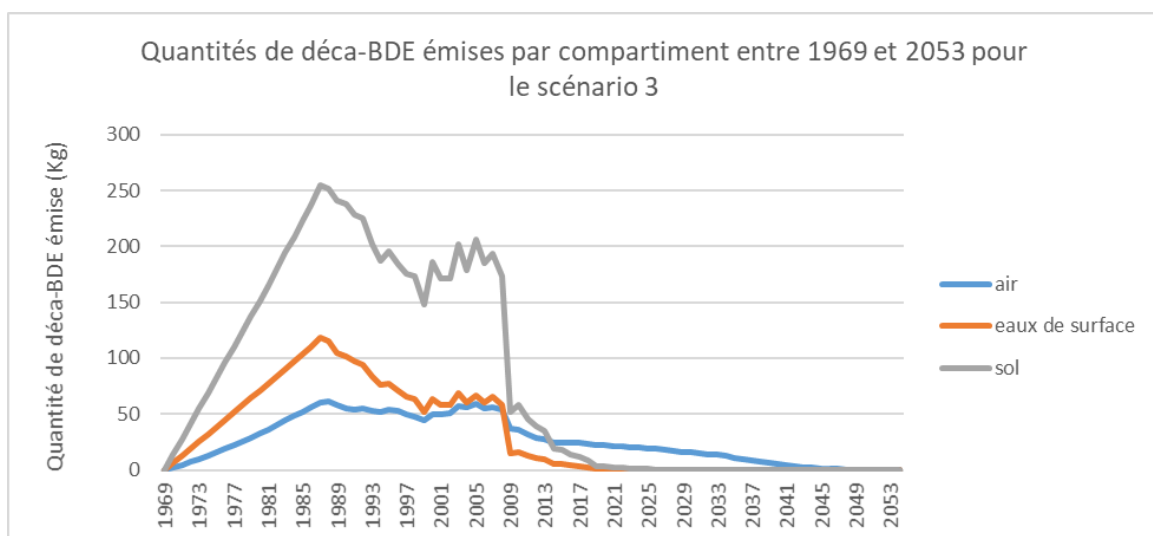


Figure 14. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 3 en se basant sur les facteurs d'émission de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

²⁶ 30 ans étant la durée de vie des articles contenant du Déca-BDE dans les décharges

²⁷ A partir de 2000 cette étude considère que les articles disposent d'une durée de vie de 5 ans (Tableau 6)

Les émissions vers l'eau et le sol diminuent plus rapidement que pour le scénario 2 à partir des années 2010 (application de la directive RoHS (2002/95/EC)).

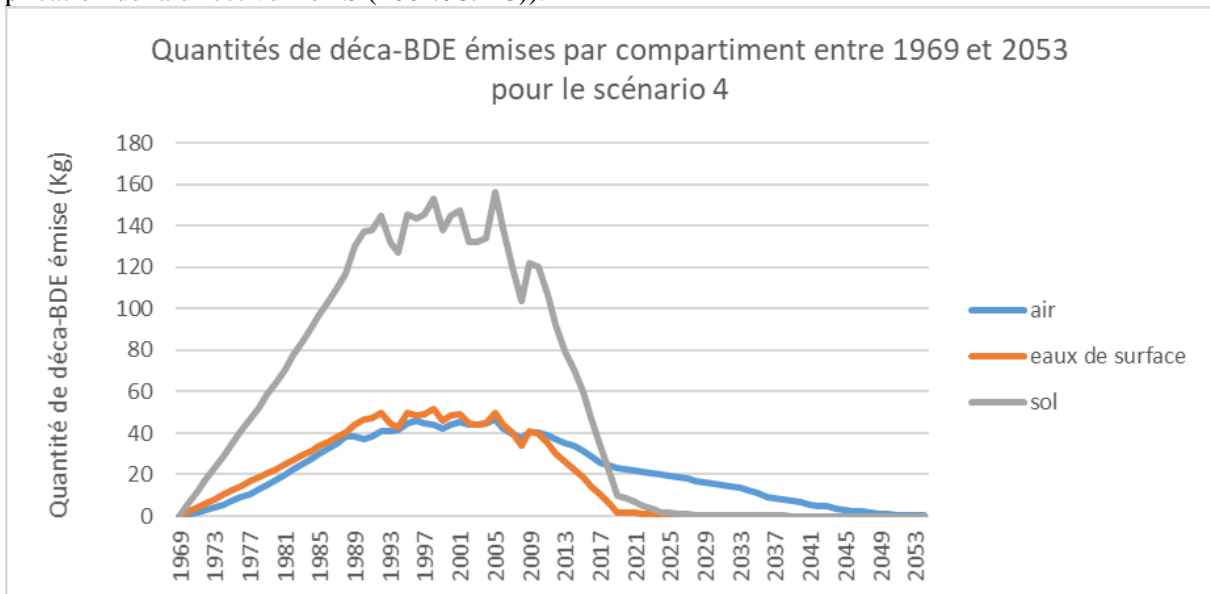


Figure 15. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 4 en se basant sur les facteurs d'émission de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

Le scénario 4 diffère par rapport au scénario 2 par le fait qu'il ne prend en compte aucune production de Déca-BDE sur la Seine. Un seul facteur d'émission vers les eaux usées est associé à la production de Déca-BDE. Sachant que les émissions vers les eaux usées se répartissent après traitement entre les trois compartiments : air, eaux de surface et sol, les émissions vers l'environnement du scénario 4 varient donc pour ces trois compartiments.

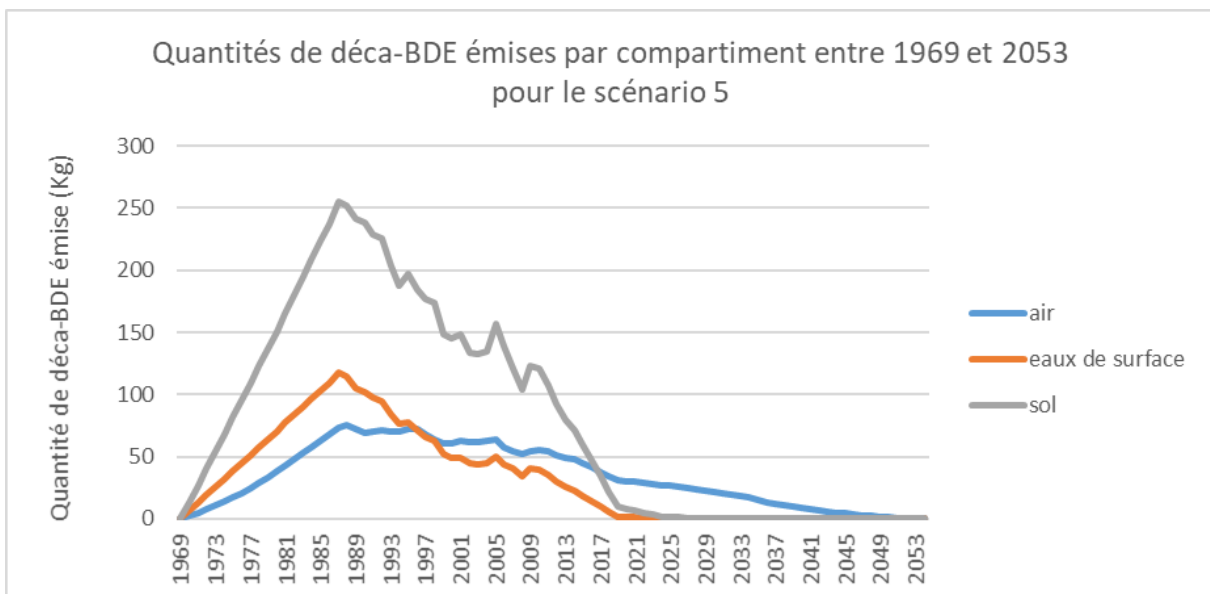


Figure 16. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 5 en se basant sur les facteurs d'émission de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

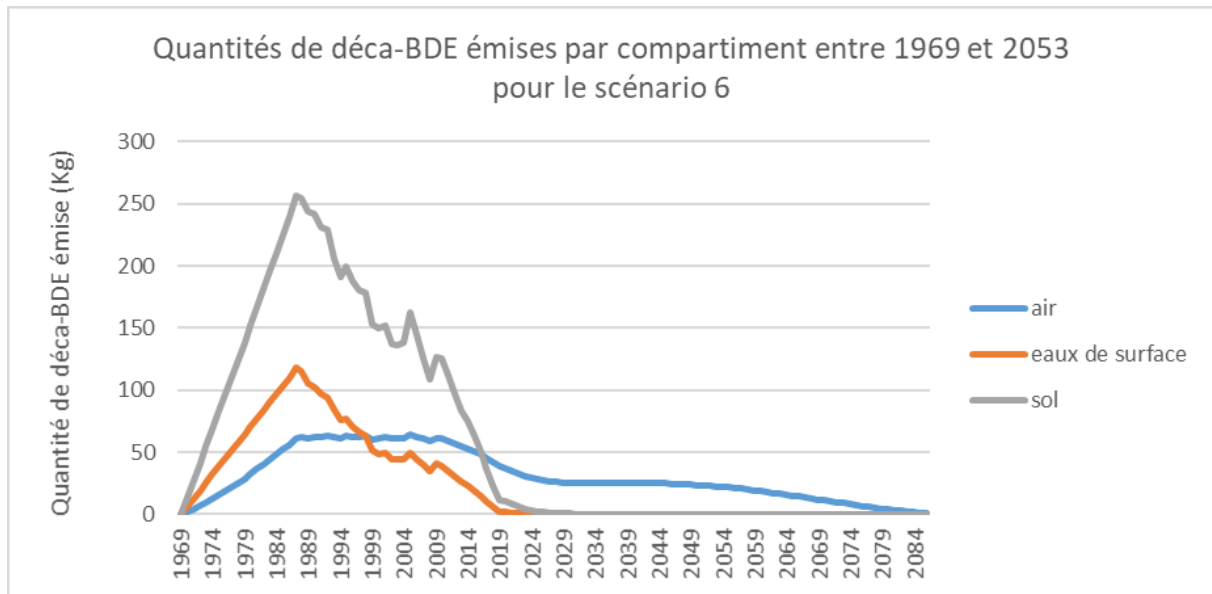


Figure 17. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 6 en se basant sur les facteurs d'émission de l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013)

Quel que soit le scénario, lors du pic d'émissions le compartiment recevant le plus d'émissions est le sol puis les eaux de surfaces et l'air. Au moment du pic des émissions en 1987 dans le cas du scénario 1, les émissions vers le sol constituaient 59% des émissions totales et les émissions vers les eaux de surface environ 27% puis les émissions vers l'air environ 14%.

Estimation des émissions de Déca-BDE en se basant sur (European Chemicals Agency, 2014)

Les estimations d'émissions en se basant sur les facteurs d'émission du rapport de l'ECHA (European Chemicals Agency, 2014) sont présentées ci-après. Seul un facteur d'émission ne provient pas de cette référence. Il s'agit du facteur d'émission pour l'étape de production du Déca-BDE.

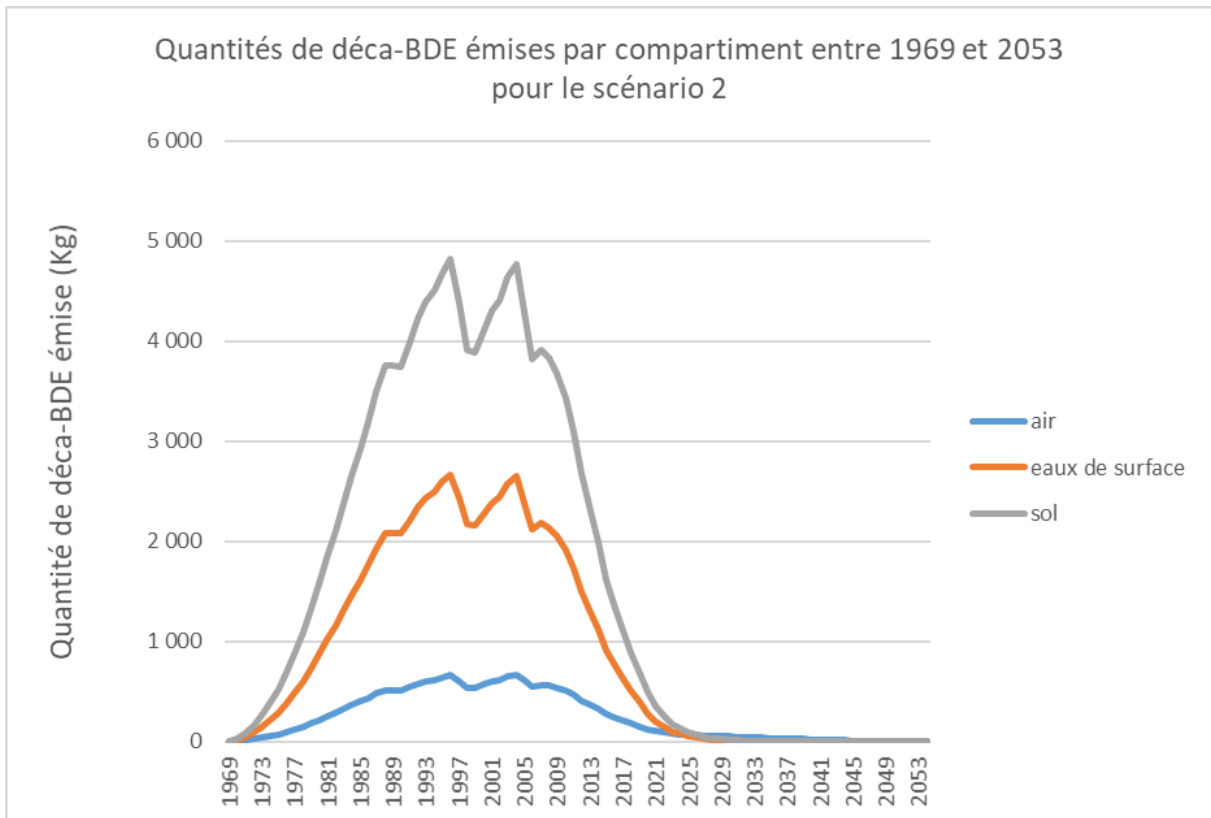


Figure 18. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 1 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Chemicals Agency, 2014)

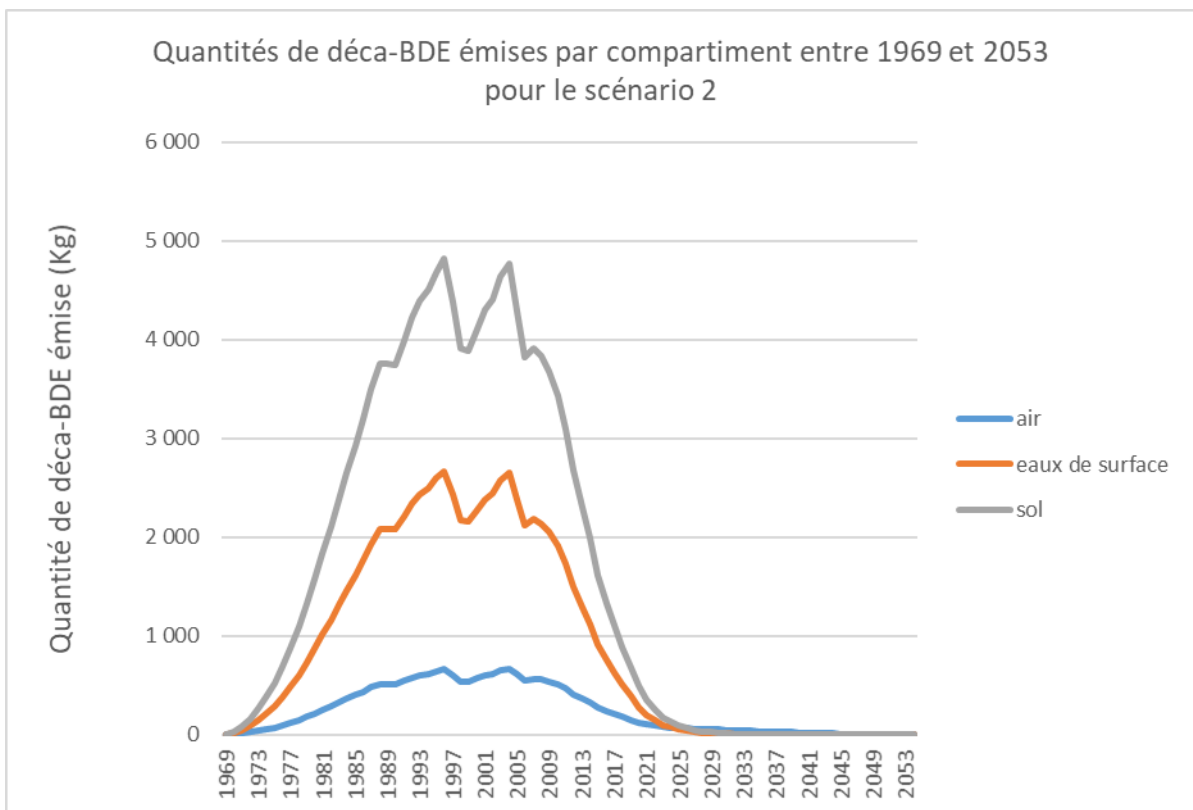


Figure 19. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 2 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Chemicals Agency, 2014)

Les estimations des émissions des scénarii 2, 3, 4 varient par rapport aux estimations des émissions du scénario 1 à partir de 2000, cela étant dû à une différence dans la quantité de Déca-BDE utilisée par

l'industrie. Néanmoins ces estimations ont le même ordre de grandeur et la même tendance que celle du scénario 1 (Figure 19).

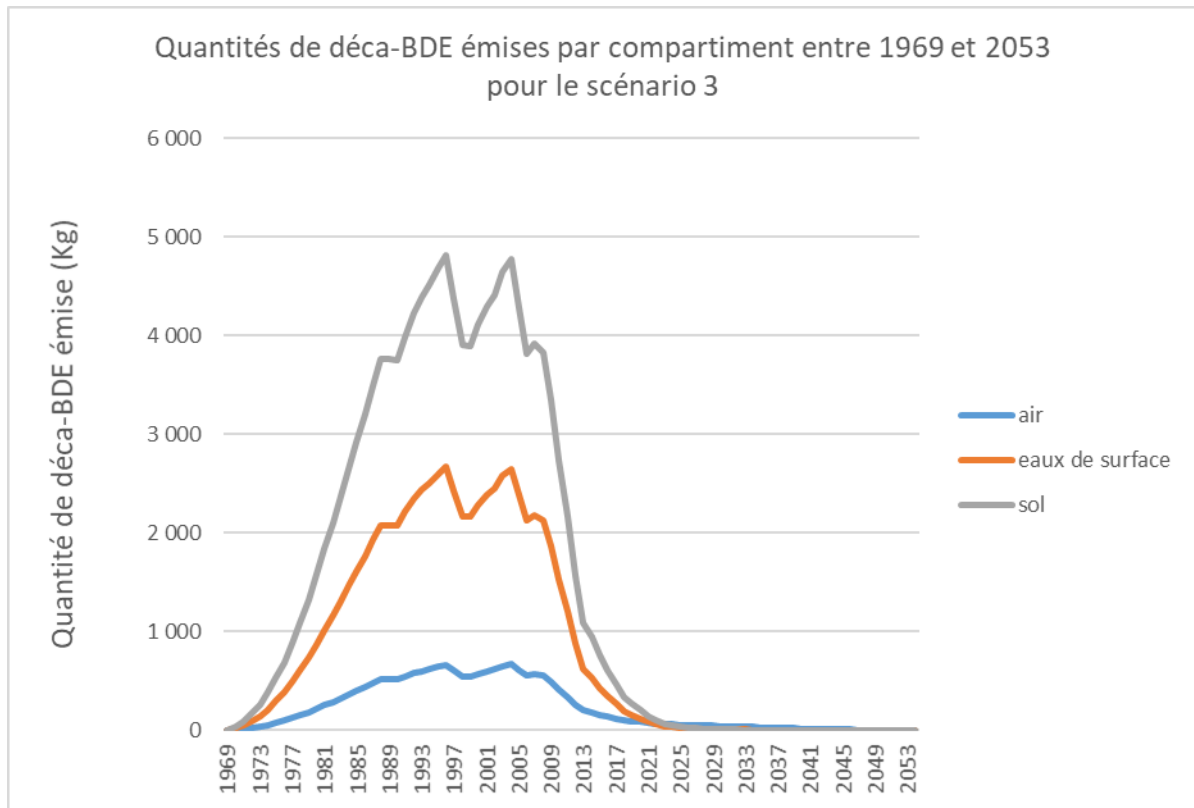


Figure 20. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 3 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Chemicals Agency, 2014)

Le scénario 3 illustré par la Figure 20 montre que par rapport au scénario 2 les émissions diminuent plus rapidement pour tous les compartiments à partir des années 2010 jusqu'à 2023, ce qui illustre bien l'effet de la directive RoHS.

Comme pour les estimations des émissions se basant sur l'article (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) et pour les mêmes raisons (hétérogénéité des données utilisées) les estimations des scénarii 2, 3 présentent deux pics d'émissions.

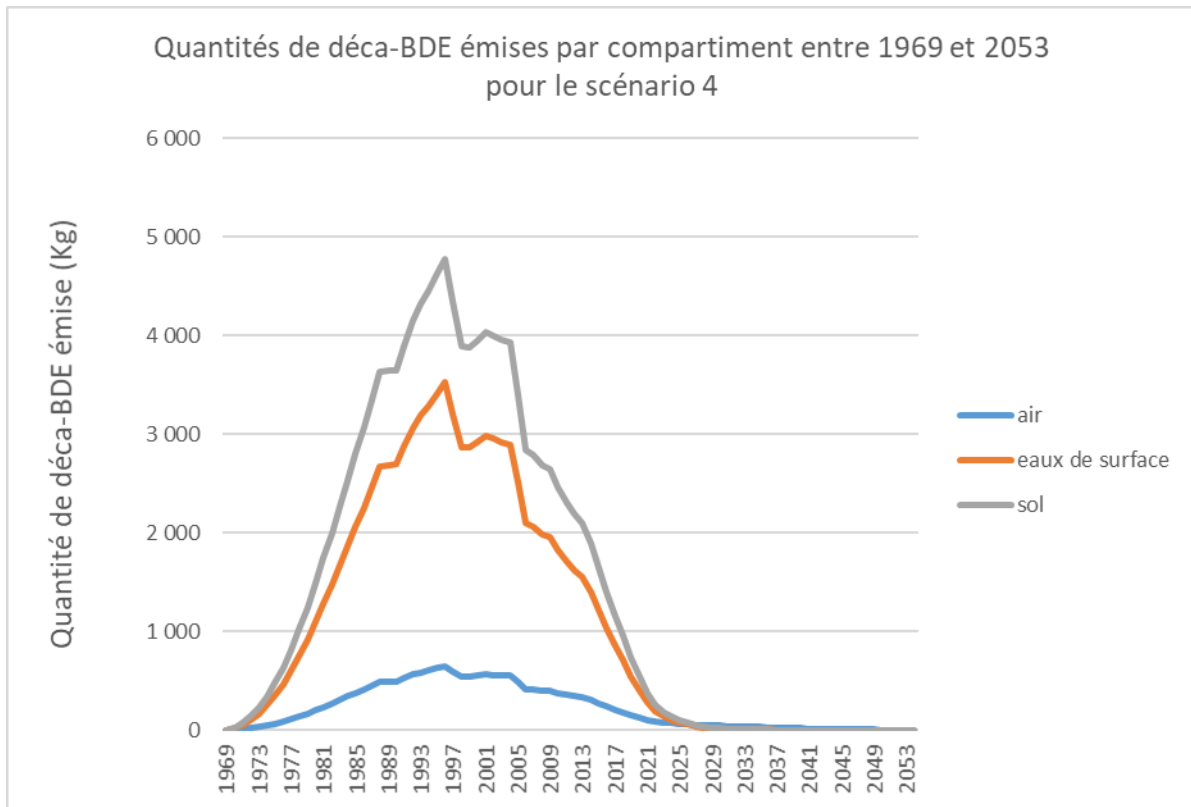


Figure 21. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 4 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Chemicals Agency, 2014)

Etant donné que le scénario 4 estime que la production sur le bassin de la Seine de Déca-BDE est nulle, les émissions sur la période 1970-1990 sont plus faibles que pour le scénario 2 (Figure 19). Mise à part cela les émissions sont similaires à celles du scénario 2. La différence avec le scénario 1 est très faible, l'impact de la production sur les émissions de Déca-BDE vers l'environnement n'est pas important.

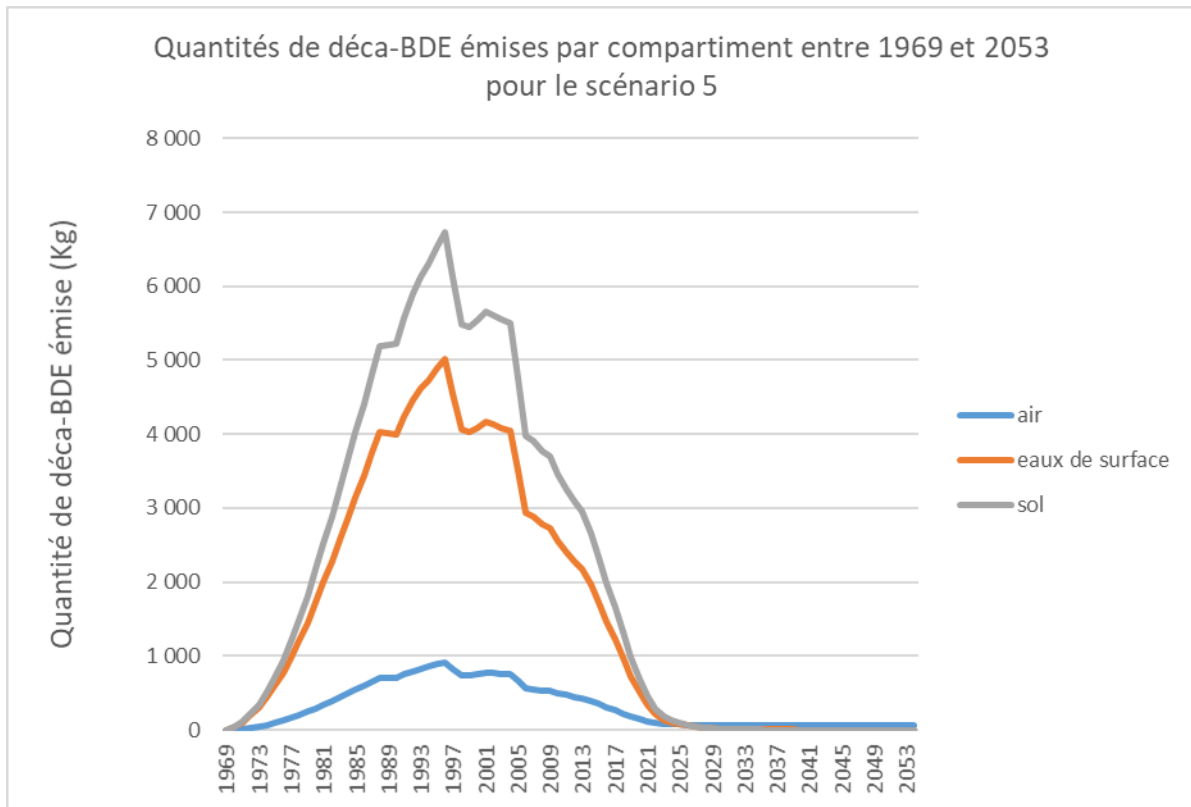


Figure 22. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 5 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Chemicals Agency, 2014)

Les émissions les plus importantes sont vers le sol, puis vers les eaux de surfaces et enfin vers l'air. Elles sont également plus importantes pour le scénario 5 que le scénario 1 car il prend en compte plus de Déca-BDE contenu dans des articles importés.

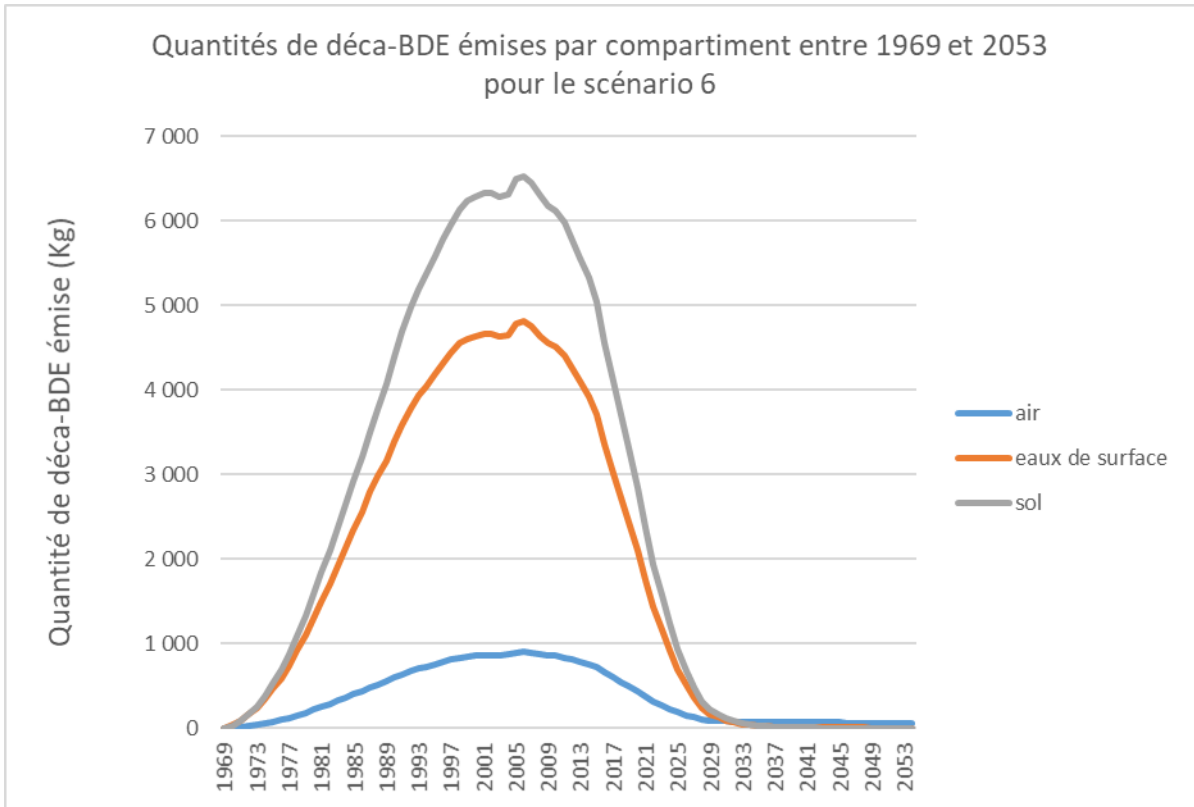


Figure 23. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 6 en se basant sur les facteurs d’émission du rapport (European Chemicals Agency, 2014)

Comme le scénario 6 basé sur le document (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) et illustré Figure 17, ce scénario présente un phénomène d’émissions plus long que les autres scénarii notamment pour le compartiment air (Figure 24), dû à une durée plus longue pour l’utilisation des articles et le stockage des articles en décharge.

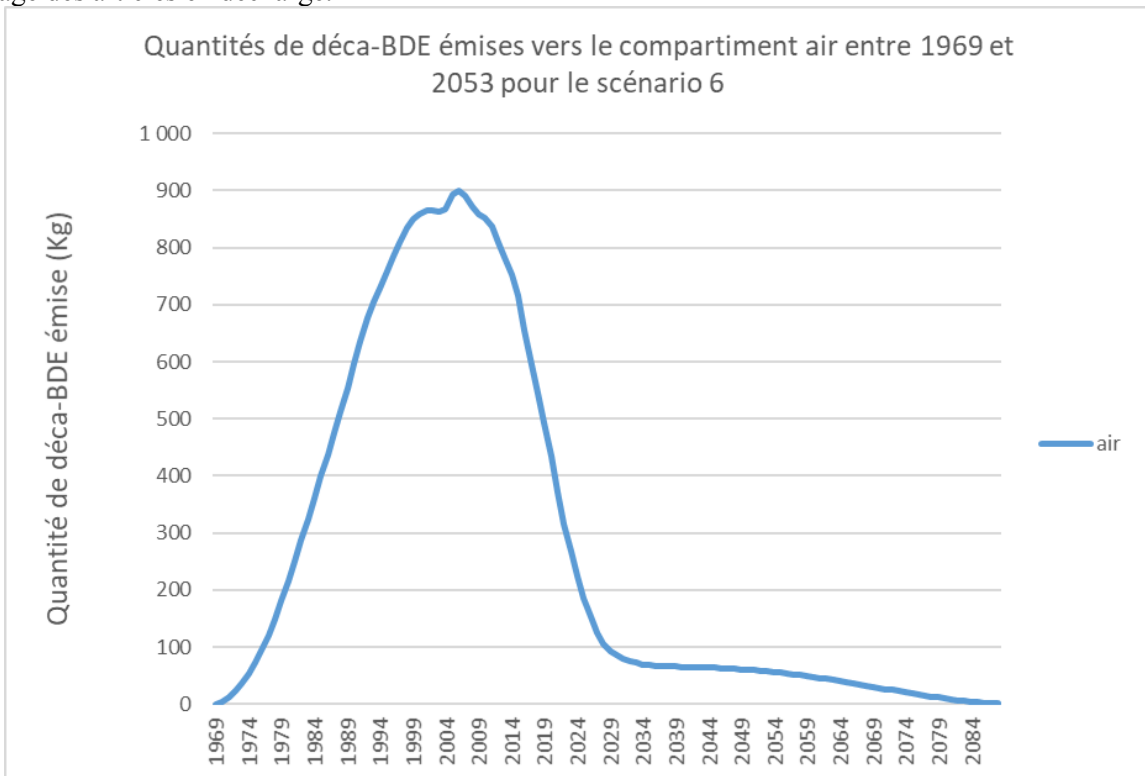


Figure 24. Quantités de Déca-BDE émises vers l’air pour le scénario 6 en se basant sur les facteurs d’émission du rapport (European Chemicals Agency, 2014)

Estimation des émissions de Déca-BDE en se basant sur (European Union, 2002)

Dans cette partie nous présentons les résultats des estimations d'émissions vers l'environnement pour les différents scénarii, basées sur le rapport (European Union, 2002).

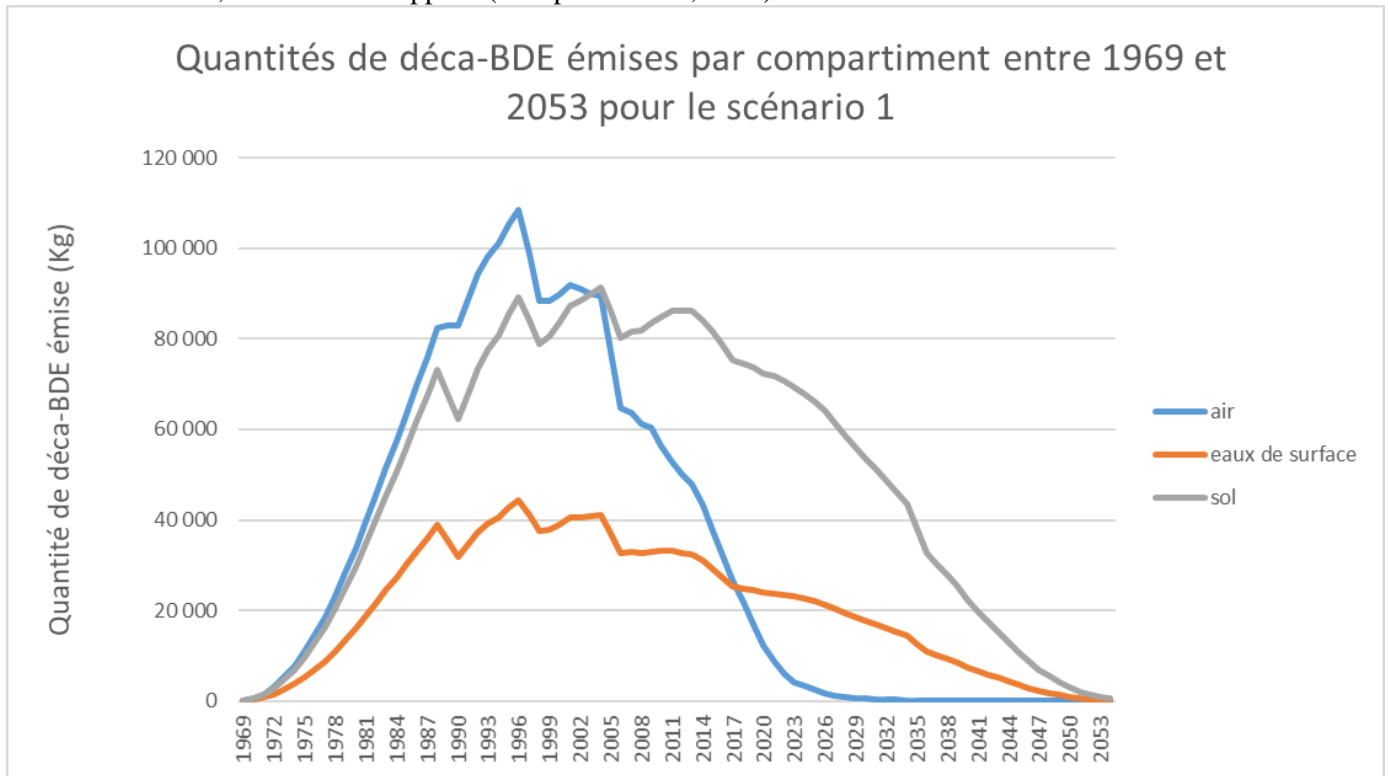


Figure 25. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 1 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Union, 2002)

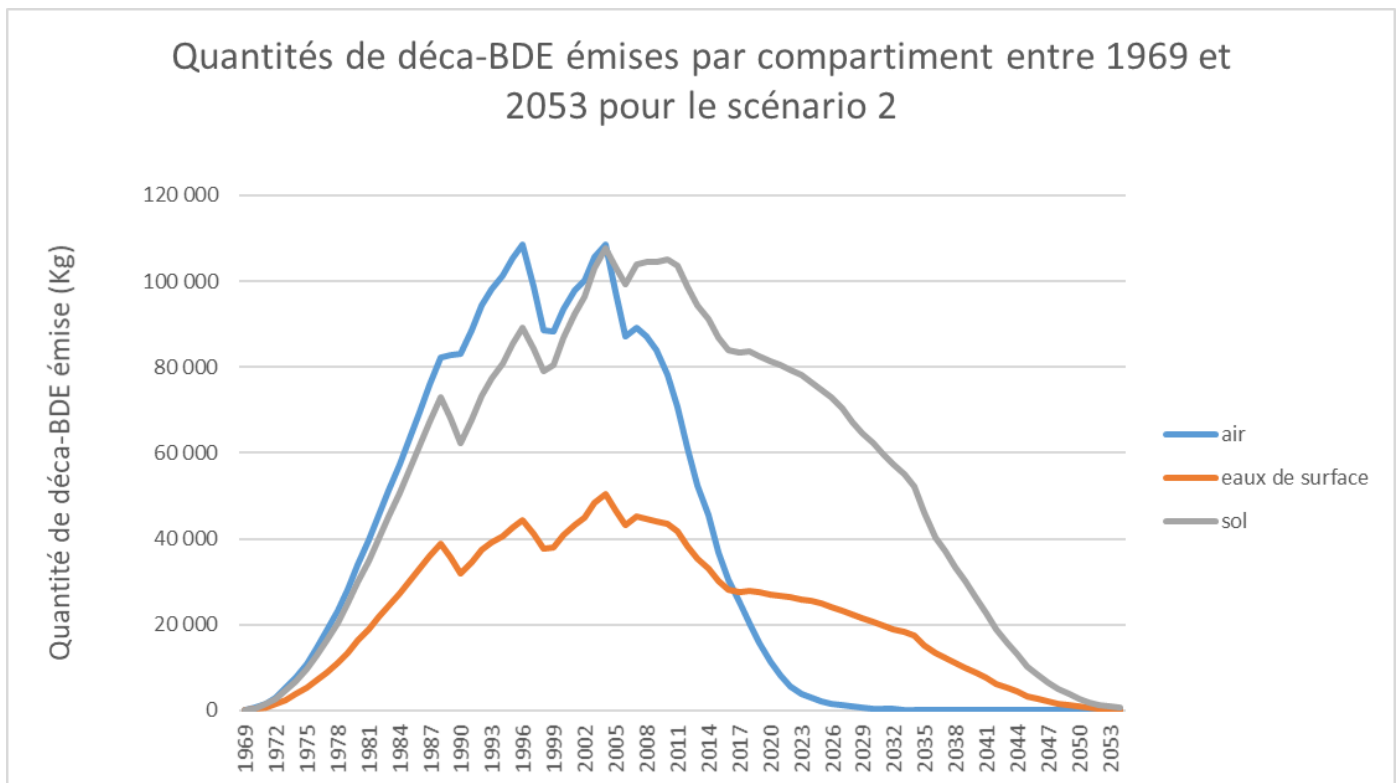


Figure 26. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 2 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Union, 2002)

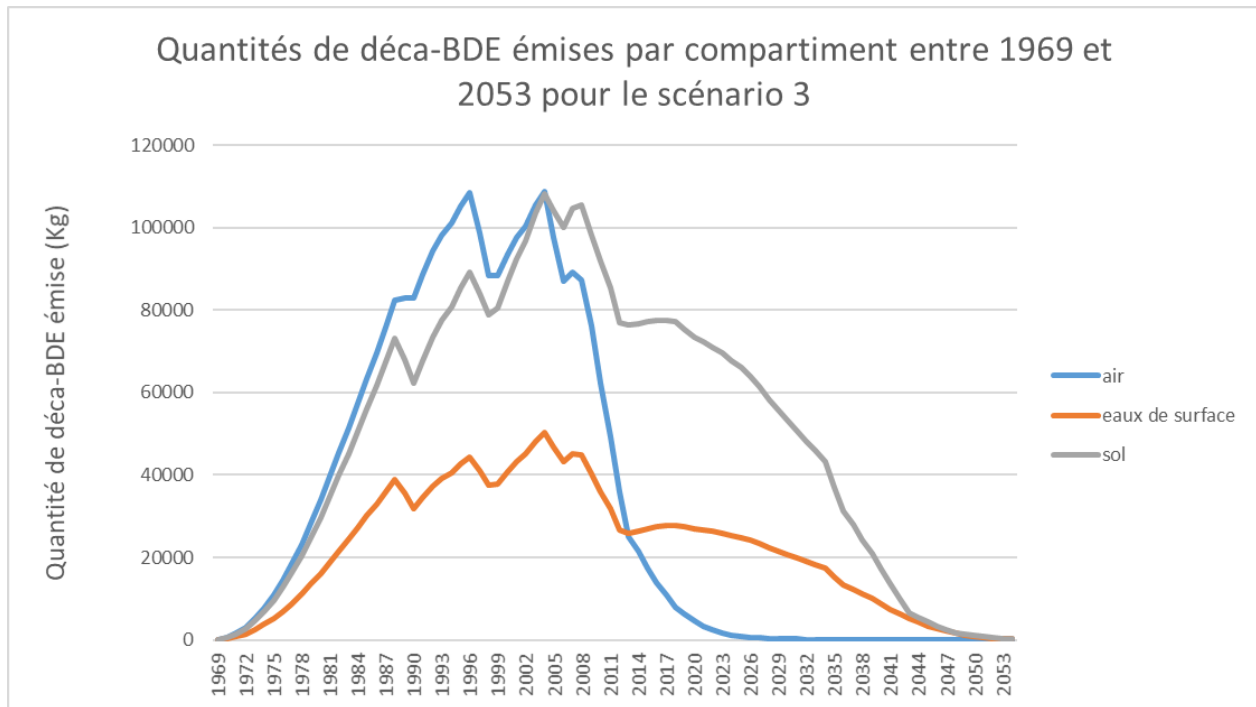


Figure 27. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 3 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Union, 2002)

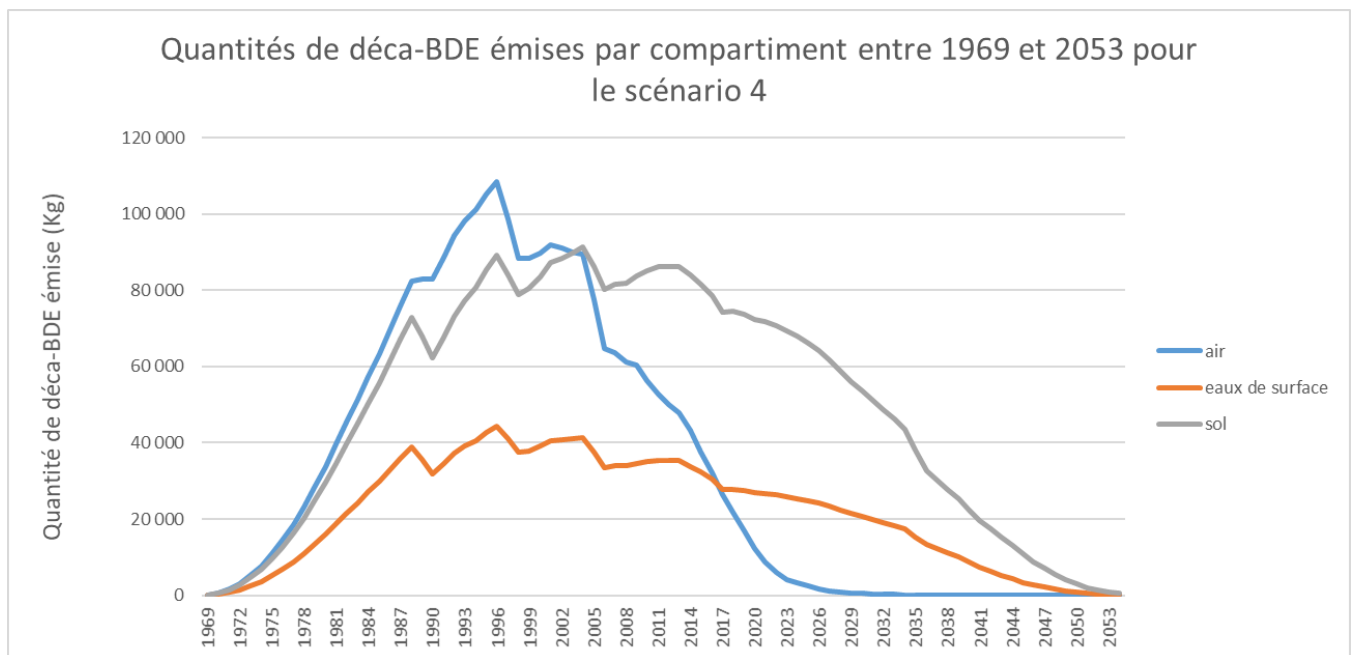


Figure 28. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 4 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Union, 2002)

Le scénario 4 (Figure 28) illustre l'hypothèse où la production de Déca-BDE aurait été nulle sur le bassin de la Seine pour la période 1970-2000, tout comme pour les émissions se basant sur (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) et sur le rapport (European Chemicals Agency, 2014) la différence avec le scénario 1 est très faible. Selon nos estimations la production de Déca-BDE ne fait pas partie des étapes qui influencent sur les émissions de Déca-BDE vers l'environnement.

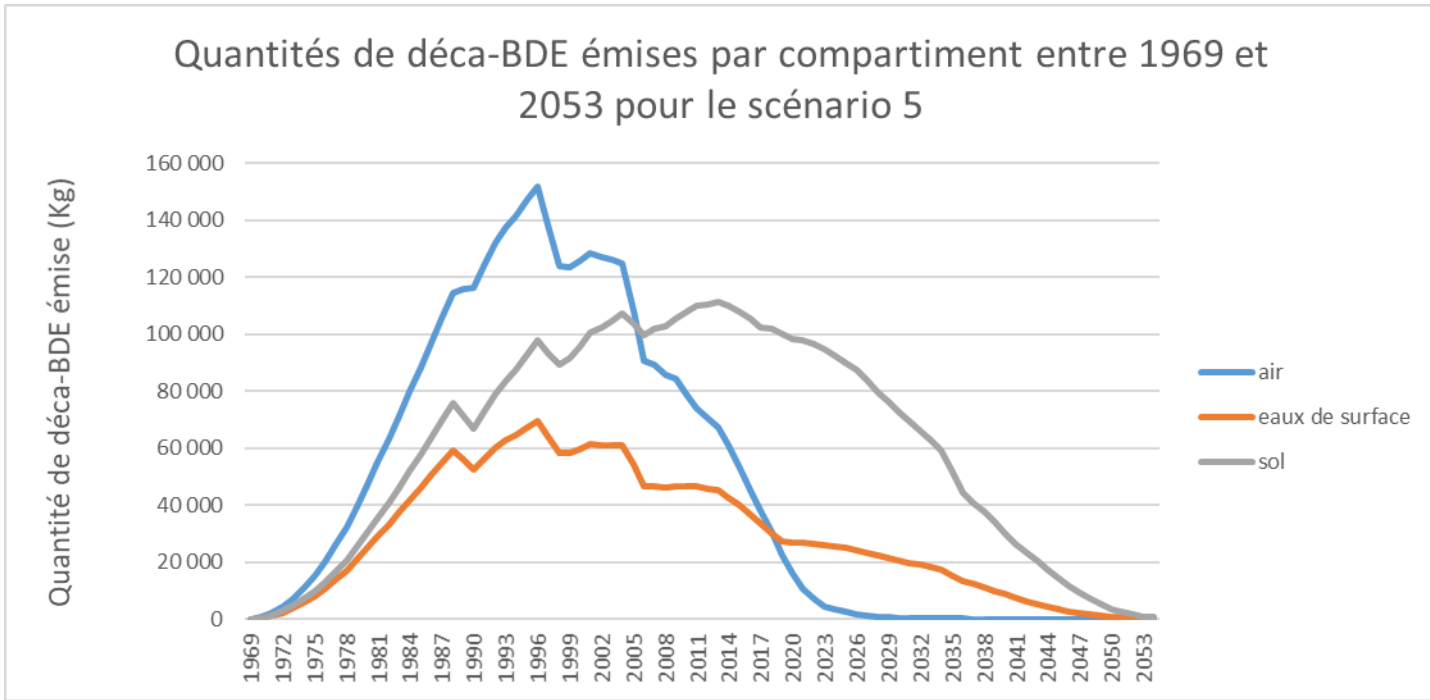


Figure 29. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 5 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Union, 2002)

Encore une fois les émissions sont plus importantes pour le scénario 5 par rapport au scénario 1, ce qui illustre la part plus importante accordées aux importations d'articles contenant du Déca-BDE de ce scénario.

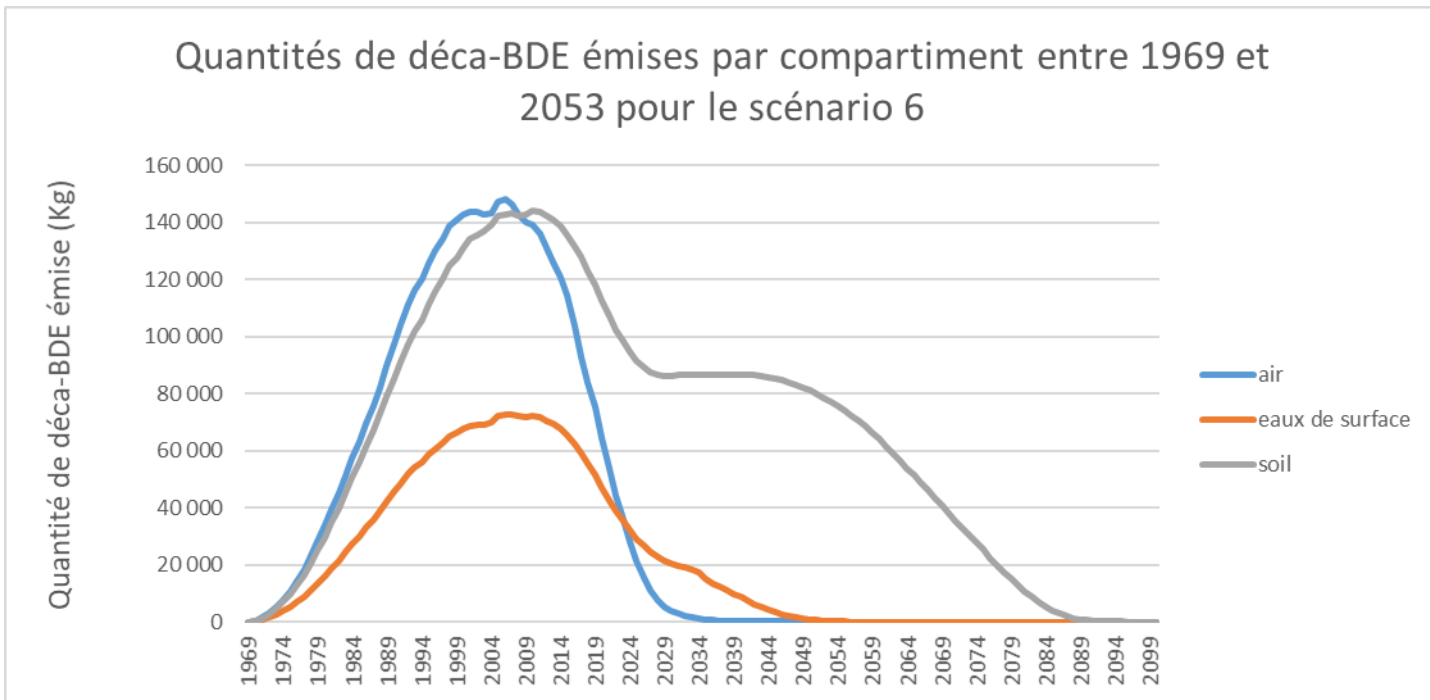


Figure 30. Quantités de Déca-BDE émises par compartiment environnemental pour le scénario 6 en se basant sur les facteurs d'émission du rapport (European Union, 2002)

Pour l'ensemble des scénarios, on constate que les émissions vers le sol sont très significativement décalées temporellement par rapport aux émissions vers les eaux de surface et l'air car la majorité des émissions des articles déposés dans les décharges sont vers le sol (cf : Tableau 3).

Ce qui justifie ces émissions plus élevées par rapport aux estimations se basant sur les sources (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013) et (European Chemicals Agency, 2014) sont les différences de facteurs d'émission (cf : Tableau 3). Avec notamment un écart important pour les facteurs d'émission liés à

l'utilisation d'articles textiles et plastiques et les facteurs d'émission associés aux émissions de Déca-BDE depuis les décharges. Par exemple il existe un facteur 10^{-5} entre les facteurs d'émission vers les eaux de surface pour l'utilisation de textiles (à l'intérieur) issus de (European Union, 2002) et issus de (Earnshaw, Jones, & Sweetman, 2013).