

# > Flux de substances dans les déchets électroniques en Suisse

*Métaux, non-métaux, agents ignifuges et polychlorobiphényles dans les petits appareils électriques et électroniques*

Résumé de la publication «Stoffflüsse im Schweizer Elektronikschnitt»  
[www.bafu.admin.ch/uz-1717-d](http://www.bafu.admin.ch/uz-1717-d)

## > Résumé

### Contexte et objectifs

En Suisse, la composition des déchets de petits appareils électriques et électroniques a été analysée pour la première fois en 2003. Depuis, la technologie a évolué et de nouvelles limitations et interdictions en ce qui concerne certains agents ignifuges sont entrées en vigueur (ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques ORRChim, RS 814.81). La présente étude, menée en 2011, visait à déterminer les concentrations et les flux de substances actuels pour diverses substances présentes dans les petits appareils électriques et électroniques éliminés en Suisse et à mettre en évidence les changements survenus depuis 2003. Les substances chimiques suivantes ont été analysées:

**Tab. 1 > Substances analysées**

Métaux et antimoine	Non-métaux	Composés organiques
Al, Sb, Pb Cd, Cr, Fe, Cu, Ni, Hg, Zn, Sn	Br, Cl, P	Polychlorobiphényles: PCB 28, 52, 101, 118, 123, 126, 138, 153, 156, 157, 167, 180, 189 et somme PCB  Agents ignifuges: PBDE (BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154, 183, 197, 206, 207, 208, 209), dont pentaBDE, octaBDE et décaBDE; HBCDD, TBBPA, décaBB, TBP, DBE-DBCH, PBT, PBEB, HBB, Mirex, EH-TBB, BTBPE, BEH-TEBP, DDC-CO, DBDPE, TTBP-TAZ

### Procédure

Comme en 2003, l'étude a été réalisée dans les installations de la société Immark AG à Regensdorf. En mars 2011, environ 220 t de déchets de petits appareils électriques et électroniques d'une composition représentative des diverses catégories d'appareils y ont été traitées. Pendant deux jours, des échantillons ont été prélevés sur les flux massiques des matériaux sortants, conformément à un plan d'échantillonnage prédéfini; sur place, ces échantillons simples ont été mélangés en échantillons composés. Les analyses ont été effectuées par le laboratoire qui avait déjà fait les analyses de la première étude. Certains échantillons ont par ailleurs été remis à l'EMPA à des fins de contrôle de qualité et pour pouvoir atteindre des limites de quantification plus bas dans le cas de certains agents ignifuges.

Pour déterminer les flux de substances, les concentrations des substances obtenues par l'analyse des échantillons composés ont été multipliées par les flux massiques des matériaux sortants. Les concentrations des substances contenues dans les déchets de petits appareils électriques et électroniques (apport) ont été calculées à partir des concentrations des substances dans les flux massiques des matériaux sortants. Les coefficients de transfert de l'apport vers les divers matériaux sortants ont ainsi également pu être calculés. Pour la détermination des flux de substances annuels, les résultats de l'expérience ont été extrapolés aux 70 000 t de déchets de petits appareils électriques et électroniques collectés annuellement à l'échelle nationale.

**Résultats et conclusions**

Pour la détermination de la composition des déchets de petits appareils électriques et électroniques, il est primordial de disposer d'un ensemble d'appareils représentatif des différentes catégories d'appareils éliminés en moyenne annuelle. A l'aide des données de la SWICO, de la SENS et de l'EMPA, la composition suivante a été déterminée:

- > Petit électroménager (SENS+SWICO): 25 %
- > Electronique de loisirs (SWICO): 36 %
- > Technique de la communication (SWICO): 3 %
- > Informatique et bureautique (SWICO): 36 %

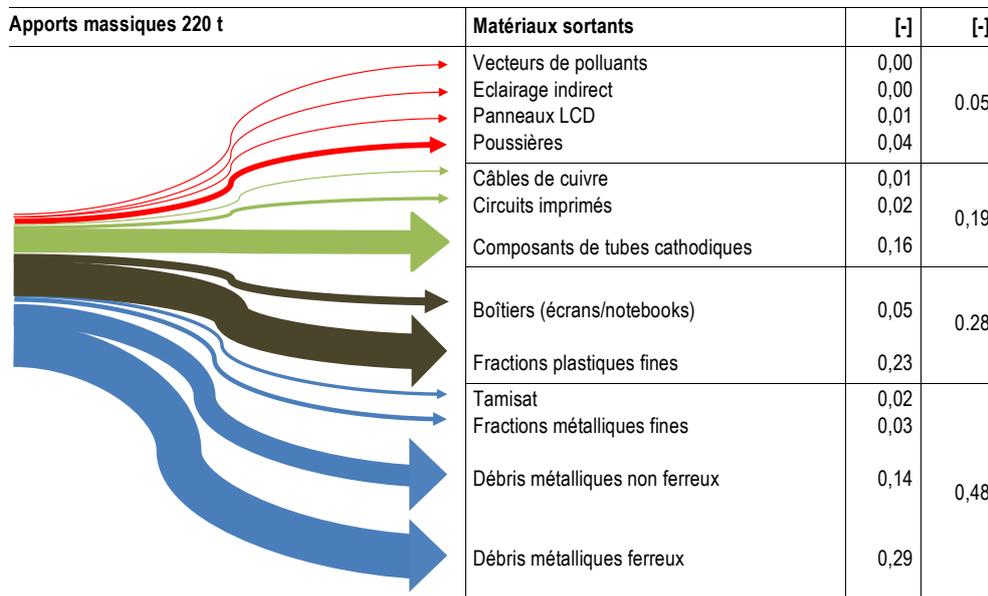
L'ensemble des appareils constituant l'apport utilisé a une composition qui correspond très bien à celle déterminée par la SENS et la SWICO: petit électroménager (+3,4 %), électronique de loisirs (-18 %), communication (±0 %), informatique et bureautique (+4,8 %).

La répartition massique des matériaux sortants est grosso modo la suivante: 50% de métaux, 30% de matières plastiques, 20% de substances destinées à un traitement séparé. Le flux massique le plus important correspond débris de métaux ferreux, suivi de celui des fractions fines de matières plastiques. 16% des déchets de petits appareils électriques et électroniques proviennent des composants des anciens tubes cathodiques. Cette part disparaîtra progressivement du fait de la conversion du marché aux écrans plats. Les fractions de débris de métaux non ferreux, de métaux à grains fins et le tamisat, importants pour la récupération de l'aluminium (Al), du cuivre (Cu) et d'autres métaux de valeur, constituent près de 20% de la masse. La figure 1 présente la répartition selon les fractions de sortie agrégées.

Apport

Flux de matériaux et de substances

**Fig. 1 > Répartition des déchets de petits appareils électriques et électroniques dans les fractions de sortie agrégées**



L'apport ayant été soigneusement composé et les échantillons prélevés sur les matériaux sortants étant représentatifs, on peut supposer que les résultats des analyses reflètent bien les teneurs effectives des substances contenues dans les déchets de petits appareils électriques et électroniques éliminés en Suisse.

Les trois métaux les plus présents dans les déchets de petits appareils électriques et électroniques éliminés en Suisse sont le fer (Fe, 35 % en masse), l'aluminium (Al, environ 6 % en masse) et le cuivre (Cu, environ 5 % en masse). Les teneurs des autres métaux sont égales ou inférieures à 1 % en masse. Les teneurs des non-métaux analysés, à savoir du phosphore (P), du chlore (Cl) et du brome (Br), sont de l'ordre du pour mille de l'apport total. Le domaine d'incertitude lié à P est élevé (90 %) et s'explique par la grande dispersion des résultats de mesure. Les agents ignifuges halogénés les plus fréquents sont le tétrabromobiphénol A (TBBPA), le décabromodiphényléther (décaBDE), le décabromodiphényléthane (DBDPE), le 1,2-bis(2,4,6-tribromophénoxy)éthane (BTBPE) et l'octabromodiphényléther (octaBDE). Les teneurs de ces cinq substances sont supérieures à 100 mg/kg. Les incertitudes d'environ 30 % reflètent le caractère hétérogène de la répartition dans les fractions. La teneur en PCB des déchets analysés se situe à 2 mg/kg ( $\pm 1$  mg/kg), la principale source de PCB étant constituée par les condensateurs des appareils électriques.

Les concentrations des substances analysées dans les déchets de petits appareils électriques et électroniques collectés en Suisse en 2011 sont rassemblées dans le tab. 2.

**Tab. 2 > Concentrations des substances analysées dans les déchets de petits appareils électriques et électroniques collectés en Suisse en 2011**

Substance	Valeur moyenne et incertitude [mg/kg]			Substance	Valeur moyenne et incertitude [mg/kg]		
pentaBDE	2,4	$\pm$	0,69	Al	62 000	$\pm$	9 300
octaBDE	120	$\pm$	33	Sb	1 000	$\pm$	100
décaBDE (BDE 209)	390	$\pm$	45	Pb	3 000	$\pm$	320
HBCDD	14	$\pm$	4,1	Cd	15	$\pm$	3,2
TBBPA	630	$\pm$	85	Cr	4 500	$\pm$	320
décaBB	4,5	$\pm$	2,7	Fe	350 000	$\pm$	32 000
TBP*	18	$\pm$	1,4	Cu	49 000	$\pm$	4 300
DBE-DBCH*	19	$\pm$	1,0	Ni	3 600	$\pm$	250
PBT*	3,7	$\pm$	0,20	Hg	1,5	$\pm$	0,15
PBEB*	3,7	$\pm$	0,20	Zn	7 900	$\pm$	700
HBB	2,9	$\pm$	1,7	Sn	2 000	$\pm$	220
Mirex*	3,7	$\pm$	0,20	Br	4 500	$\pm$	510
EH-TBB*	3,7	$\pm$	0,20	Cl	6 900	$\pm$	1 600
BTBPE	150	$\pm$	14	P	530	$\pm$	500
BEH-TEBP*	3,7	$\pm$	0,20				
DDC-CO	33	$\pm$	11				
DBDPE	340	$\pm$	200				
TTBP-TAZ	14	$\pm$	4,8				
Somme PCB <sup>#</sup>	2,0	$\pm$	1,0				

\*Souvent en dessous de la limite de quantification

<sup>#</sup> Selon l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites), la somme des PCB se calcule en multipliant la somme des six congénères 28, 52, 101, 138, 153 et 180 par le facteur 4,3

Composition des  
déchets de petits appareils  
électriques et électroniques

Les coefficients de transfert indiquent la part des diverses substances transférée dans une fraction de sortie donnée lors du traitement des déchets.

Coefficients de transfert

Les diverses substances se répartissent selon des modèles typiques (cf. tab. 3):

**Tab. 3 > Modèles de répartition des diverses substances**

Groupe	Substance	Fraction
Métaux et antimoine	Al, Zn, Cu	1. Débris métalliques non ferreux, 2. Fraction métallique fine
	Cr, Ni	1. Débris métalliques non ferreux, 2. Débris métalliques ferreux
	Fe	Débris métalliques ferreux
	Sn	1. Fraction métallique fine, 2. Circuits imprimés
	Sb	1. Composants de tubes cathodiques, 2. Fraction plastique fine
	Pb	Diffusion
	Cd	1. Fraction plastique fine, 2. Vecteurs de polluants
	Hg	1. Eclairages indirects, 2. Vecteurs de polluants, 3. Poussières
Non-métaux	P	1. Boîtiers (écrans et notebooks), 2. Fraction plastique fine
	Cl	1. Câbles de cuivre, 2. Fraction plastique fine, 3. Débris métalliques non ferreux
	Br	1. Fraction plastique fine, Circuits imprimés
Agents ignifuges	Tous sauf pentaBDE	1. Fraction plastique fine, 2. Boîtiers (écrans et notebooks)
	pentaBDE	1. Poussières, 2. Fraction plastique fine
PCB	Tous sauf PCB 28	1. Poussières, 2. Vecteurs de polluants, 3. Fraction plastique fine
	PCB 28	1. Poussières, 2. Fraction plastique fine

En masse, le fer (Fe, 24 000 t/a), l'aluminium (Al, 4300 t/a) et le cuivre (Cu, 3300 t/a) représentent les fractions les plus importantes des éléments analysés. Les métaux lourds que sont le cadmium (Cd) et le mercure (Hg) représentent respectivement environ 1 t/a et environ 100 kg/a. En ce qui concerne les agents ignifuges halogénés, le flux massique le plus important est celui du TBBPA (environ 40 t/a), suivi de ceux du décaBDE et du DBDPE (environ 25 t/a chacun). La quantité de PCB se monte à environ 140 kg/a. En raison d'une répartition très hétérogène des PCB dans les composants des appareils et des petites quantités analysées, une incertitude relativement importante, de ±33 %, est toutefois liée à cette valeur (cf. tab. 4).

Quantités issues des déchets de petits appareils électriques et électroniques

**Tab. 4 > Quantités annuelles de diverses substances concernant la Suisse et incertitudes qui leur sont liées**

Substance	Valeur moyenne et incertitude [t/a]		Substance	Valeur moyenne et incertitude [t/a]	
pentaBDE	0,16	± 0,057	Al	4 300	± 1 100
octaBDE	8,4	± 2,8	Sb	69	± 16
décaBDE (BDE 209)	27	± 6,2	Pb	210	± 47
HBCDD	1,0	± 0,34	Cd	1,0	± 0,30
TBBPA	43	± 10	Cr	310	± 66
décaBB	0,31	± 0,20	Fe	24 000	± 5 200
TBP*	1,2	± 0,27	Cu	3 400	± 730
DBE-DBCH*	1,3	± 0,27	Ni	250	± 52
PBT*	0,25	± 0,05	Hg	0,10	± 0,023
PBEB*	0,25	± 0,05	Zn	550	± 120
HBB	0,20	± 0,12	Sn	140	± 31
Mirex*	0,25	± 0,05	Br	310	± 71
EH-TBB*	0,25	± 0,05	Cl	480	± 140
BTBPE	10	± 2,3	P	37	± 35
BEH-TEBP*	0,25	± 0,053			
DDC-CO	2,3	± 0,88			
DBDPE	23	± 15			
TTBP-TAZ	1,0	± 0,38			
Somme PCB <sup>#</sup>	0,14	± 0,046			

\*Souvent en dessous de la limite de quantification

<sup>#</sup> Selon l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites), la somme des PCB se calcule en multipliant la somme des six congénères 28, 52, 101, 138, 153 et 180 par le facteur 4,3.

Certains éléments et composés ont été transférés dans les fractions de sortie de manière plus que proportionnelle (cf. tab. 5). En ce qui concerne certains agents ignifuges et les PCB, la part de la fraction de sortie indiquée n'est pas significativement plus élevée que celle de la fraction qui suit en importance, en raison des domaines d'incertitude élevés.

Parts dans les diverses fractions de sortie

**Tab. 5 > Parts dans les diverses fractions de sortie**

Groupe	Substance	Fraction	Part	Significative
Métaux	Cd	Fraction plastique fine	55 %	Oui
		Vecteurs de polluants	30 %	Oui
	Hg	Eclairages indirects	60 %	Oui
		Vecteurs de polluants	20 %	Oui
Agents ignifuges	décaBDE	Tous les boîtiers (CRT+LCD)	40 %	Oui
	octaBDE	Tous les boîtiers (CRT+LCD)	40 %	Non
	TBBPA	Tous les boîtiers (CRT+LCD)	30 %	Oui
	HBCDD	Boîtiers CRT	30 %	Non
	BTBPE	Boîtiers CRT	40 %	Oui
	DDC-CO	Boîtiers CRT	40 %	Non
	TTBP-TAZ	Boîtiers LCD + notebooks	45 %	Non
PCB	Somme PCB <sup>#</sup>	Poussières	38 %	Non

<sup>#</sup> Selon l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites), la somme des PCB se calcule en multipliant la somme des six congénères 28, 52, 101, 138, 153 et 180 par le facteur 4,3.

Evolution depuis 2003

Les variations des concentrations de substances dans les déchets entre 2003 et 2011 permettent de conclure que les limitations et les interdictions concernant le cadmium et les polluants organiques persistants (POP) ainsi que les polybromodiphényléthers et les PCB sont efficaces. Autre constatation: l'évolution technique de l'industrie électronique modifie la composition de l'ensemble des appareils de l'apport – par exemple le remplacement des écrans à tube cathodique (écrans CRT) par des écrans plats à cristaux liquides (écrans LCD) comportant des tubes fluorescents à cathode froide (tube CCFL) – ce qui influe sur les teneurs de certaines substances. En effet, le mercure étant utilisé comme source lumineuse dans les tubes CCFL, sa concentration dans les déchets de petits appareils électriques et électroniques a augmenté entre 2003 et 2011. Pour une partie des substances examinées, les variations de concentration constatées n'étaient toutefois pas significatives (cf. tab. 6).

Les variations les plus importantes concernent les polluants. Les concentrations de pentaBDE, d'octaBDE et de PCB, substances aujourd'hui interdites, ont en effet diminué jusqu'à plus de 90 %. S'agissant des métaux, les plus grandes variations concernent également les polluants: la teneur en Cd a diminué de plus de 90 % alors que celle d'Hg a augmenté de plus de 120 %. Le démontage, le tri et l'élimination séparée des tubes CCFL s'effectuant à la main, cette augmentation de concentration du mercure n'est accompagnée d'aucune émission. Le nickel (Ni), le chrome (Cr), l'antimoine (Sb) et l'étain (Sn) présentent des diminutions de concentration significatives, alors que le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) accusent des augmentations significatives. En ce qui concerne les non-métaux, les teneurs en Cl et Br ont reculé de manière significative, mais la forte augmentation de celle du P n'est pas significative en raison des grands domaines d'incertitude associés.

**Tab. 6 > Variation des concentrations depuis 2003**

Substance	Variation		Significative	Substance	Variation		Significative
	[mg/kg]	[%]			[mg/kg]	[%]	
pentaBDE	-32	-93 %	Oui	Al	+13 000	+27 %	Non
octaBDE	-408	-77 %	Oui	Sb	-700	-41 %	Oui
décaBDE (BDE 209)	-120	-24 %	Oui	Pb	+100	+3 %	Non
HBCDD	-3	-18 %	Non	Cd	-165	-92 %	Oui
TBBPA	-770	-55 %	Oui	Cr	-5 400	-55 %	Oui
Somme PCB <sup>#</sup>	-11	-85 %	Oui	Fe	-10 000	-3 %	Non
				Cu	+8 000	+20 %	Oui
				Ni	-6 700	-65 %	Oui
				Hg	+1	+121 %	Oui
				Zn	+2 800	+55 %	Oui
				Sn	-400	-17 %	Oui
				Br	-1 000	-18 %	Br
				Cl	-2 700	-28 %	Cl
				P	170	47 %	P

<sup>#</sup> Selon l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites), la somme des PCB se calcule en multipliant la somme des six congénères 28, 52, 101, 138, 153 et 180 par le facteur 4,3.

Les déchets de petits appareils électriques et électroniques produits annuellement en Suisse contiennent environ 24 000 t de fer, 4 300 t d'aluminium et 3 300 t de cuivre. Pour le fer, cela correspond à près de 2 % de la quantité totale des débris de métaux ferreux, soit environ 1,2 million t/a. Pour l'aluminium, la proportion est d'environ 3 % de la quantité annuelle de déchets d'aluminium, estimée environ à 140 000 t. Pour ce qui est du cuivre, la part issue des déchets de petits appareils électriques et électroniques se monte à presque 10 % des 38 000 t contenus chaque année dans les déchets.

Ressources potentielles

Le recyclage de ces métaux permet d'économiser une quantité d'énergie considérable. L'utilisation des matériaux de recyclage à la place des minerais entraîne en effet des économies d'énergie primaire de 95 % pour l'aluminium, 90 % pour le cuivre et 70 % pour l'acier.

La nette diminution des teneurs moyennes en polluants des déchets de petits appareils électriques et électroniques observée depuis 2003 montre que l'impact des réglementations et des limitations, ainsi que des progrès techniques, est considérable, et ce après quelques années seulement. Cela vaut en particulier pour le pentaBDE, l'octaBDE et les PCB.

Polluants

L'augmentation de 40 % des quantités depuis 2003 produit un effet inverse: des substances comme l'HBCDD ou le décaBDE ont aujourd'hui des concentrations inférieures à celles de 2003, mais leur quantité est restée stable voire a augmenté.

#### Questions ouvertes et données manquantes

Pour certaines fractions, il a fallu procéder à des estimations faute d'analyses (circuits imprimés de plus ou moins grande valeur). Pour des fractions comme celles des piles ou des condensateurs, la pertinence statistique est limitée du fait des petites quantités examinées, mais l'augmentation du nombre d'échantillons aurait dépassé le cadre du budget alloué.

Un autre problème s'est posé en relation avec les limites de quantification (LQ) des méthodes d'analyse appliquées pour la mesure des «nouveaux» agents ignifuges et des PCB: les teneurs des échantillons étaient en effet souvent inférieures au LQ. Dans ce cas, les calculs ont été effectués sur la base d'un demi-LQ, ce qui a pu entraîner une surestimation des teneurs (p.ex. celles des PCB dans les fractions de matières plastiques).