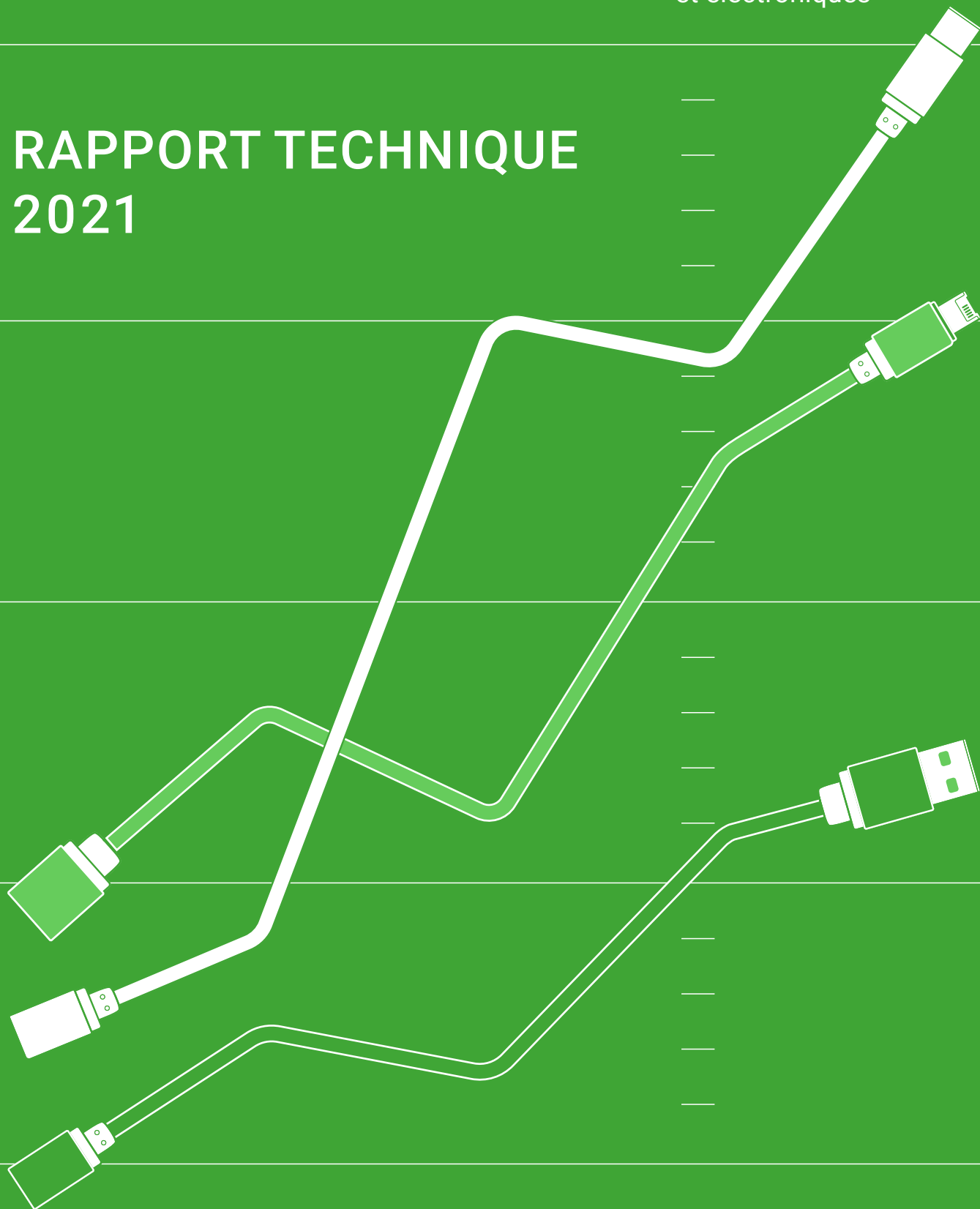


Swico, SENS et SLRS

Actualités
sur le recyclage
des équipements
électriques
et électroniques

RAPPORT TECHNIQUE 2021



Contenu

1	<u>Portrait des systèmes de recyclage</u>	4
2	<u>Commission technique Swico/SENS</u>	8
3	<u>Quantités</u>	10
4	<u>Réfrigérateurs</u>	14
5	<u>Recyclage de tubes fluorescents</u>	18
6	<u>Nouvelles méthodes pour les batches</u>	19
7	<u>Électronique des véhicules</u>	22
8	<u>Fonds Swico pour l'innovation</u>	26
9	<u>Écrans plats</u>	30
10	<u>Risque d'incendie des batteries au lithium</u>	34
11	<u>Polluants dans les condensateurs</u>	38
12	<u>Présence de PCB dans les DEEE</u>	42
13	<u>Évolutions sur le plan international</u>	44
14	<u>Départ de Geri Hug</u>	46

[Rédactrices et rédacteurs](#)

[Liens](#)

[Contacts et mentions légales](#)

2020, l'épreuve de résistance

Comme chaque printemps, nous, les systèmes de recyclage Swico, Sens et SLRS, présentons les résultats techniques et scientifiques de l'année écoulée. Et, comme chaque printemps, nous pouvons constater avec satisfaction que le recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) est une réussite écologique qui, partant d'un niveau élevé, s'améliore d'année en année.

Toutefois, l'année 2020 n'a pas été une année comme les autres. Elle a été marquée par des confinements, par l'imprévisibilité et par des périodes alternant entre arrêts de production et rattrapage intense lors des reprises d'activité. Cette année de pandémie a été extrêmement difficile et instable pour les consommateurs et consommatrices, mais aussi pour les fabricants d'appareils, les détaillants, les entreprises de recyclage et les points de collecte. C'est précisément dans ces moments de crise que la résilience des systèmes devient apparente et nous pouvons désormais l'affirmer fièrement: nous avons passé l'épreuve de résistance.

Swico, Sens et SLRS se caractérisent par des écosystèmes étroitement imbriqués, composés de centaines de partenaires contractuels et de

prestataires, de politiques et d'administrations à tous les niveaux et, enfin et surtout, de consommateurs et consommatrices. Il en résulte un équilibre délicat entre la durabilité et l'orientation client du recyclage. La robustesse de ces systèmes est démontrée notamment par leur solidité financière. Toutes les factures ont été payées dans les délais, les adaptations de l'indice ont été mises en œuvre rapidement, les innovations ont été financées de manière simple et, lors de certaines périodes, des compensations spéciales liées au coronavirus ont même été accordées. Ceci n'a pas empêché nos systèmes de terminer cette année particulière avec des résultats équilibrés et sans puiser dans leurs réserves.

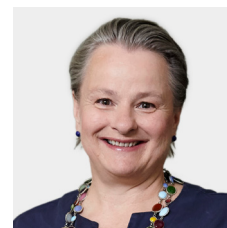
Les trois systèmes envisagent également l'avenir sereinement: non seulement nous sommes dans une position technique et financière saine, mais, comme le montre ce rapport technique, nous avons également la force d'innovation nécessaire pour relever les futurs défis écologiques de l'industrie électrique et électronique. Nous sommes heureux de poursuivre inlassablement notre contribution au développement durable et de maintenir la position de leader mondial de la Suisse en matière de recyclage.



Judith Bellaiche
Swico



Heidi Luck
SENS



Silvia Schaller
SLRS

Swico, SENS et SLRS: compétence et durabilité

Depuis plus de 20 ans, les trois systèmes de reprise Swico, SENS eRecycling et SLRS assurent la reprise et la valorisation respectueuse des ressources des appareils électriques et électroniques ainsi que leur élimination professionnelle.

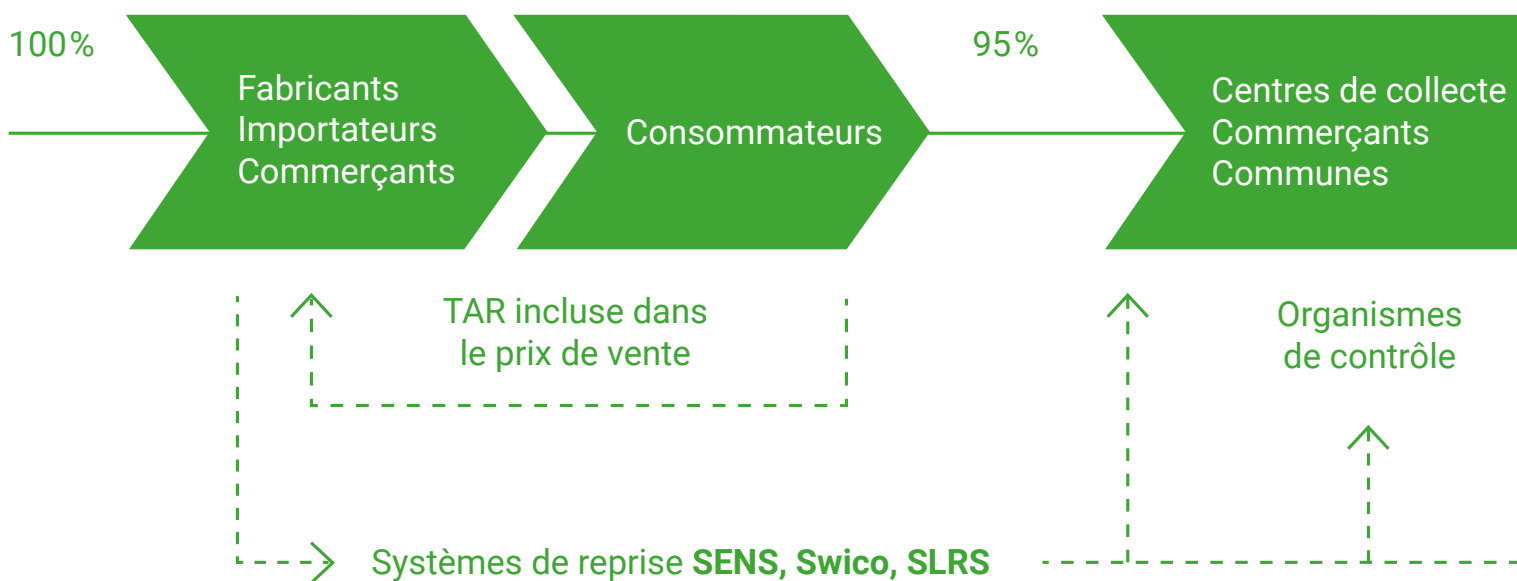
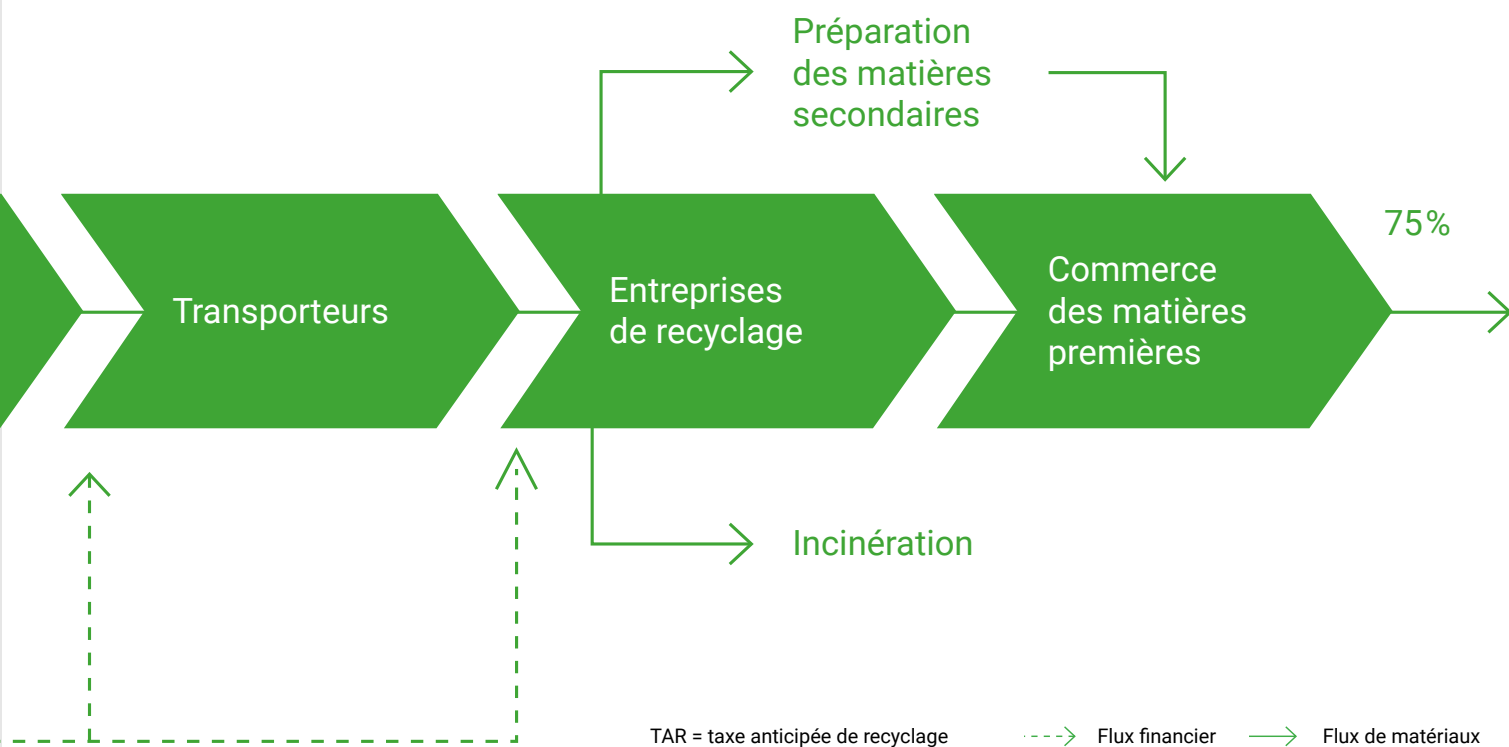


Figure 1: vue d'ensemble des systèmes de reprise

La répartition sur trois systèmes s'explique par des raisons historiques, car, aux premières heures du recyclage institutionnalisé, des systèmes propres à chaque secteur avaient été mis en place. Ces systèmes avaient pour objectif de garantir la proximité avec le secteur concerné afin de pouvoir réagir à ses besoins spécifiques. Il a ainsi été possible de dissiper les premières réticences par rapport à la participation jusqu'à maintenant volontaire à un système de reprise. En fonction du type d'appareil électrique ou électronique concerné, la reprise est aujourd'hui effectuée par SENS, Swico ou la Fondation Suisse pour le recyclage des sources lumineuses et luminaires (SLRS). En 2020, près de 129 800

tonnes de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) ont été éliminées. Les trois systèmes, Swico, SENS eRecycling et SLRS ont ainsi fortement contribué à ce que de précieuses ressources puissent repartir dans le circuit économique. L'interconnexion internationale de ces trois organisations au niveau européen, par exemple en tant que membres du WEEE Forum (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment), leur permet de poser des jalons au-delà des frontières en matière de recyclage des appareils électriques et électroniques.



L'ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination des appareils électriques et électroniques (OREA) oblige les commerçants, les fabricants et les importateurs à reprendre gratuitement les appareils faisant partie de leur assortiment. Une taxe anticipée de recyclage (TAR) est prélevée dès l'achat de ces appareils afin de pouvoir financer de manière compétitive un recyclage durable et écoresponsable des appareils électriques et électroniques. La TAR est un instrument de financement efficace permettant à SENS, à Swico et à SLRS d'assumer le traitement conforme de leurs catégories d'appareils respectifs et de relever les défis de l'avenir.



1 Portrait des systèmes de recyclage

Swico

Swico Recycling est un fonds spécial au sein de l'Association économique Swico qui s'occupe exclusivement de la question de couverture des coûts dans le domaine du recyclage des appareils usagés. Les activités de Swico consistent à récupérer des matières premières et à éliminer les polluants dans le respect de l'environnement. Swico se concentre sur les équipements des secteurs de l'informatique, de l'électronique grand public, de la bureautique, des télécommunications, des arts graphiques, de la mesure et de la technologie médicale, tels que les photocopieurs, les imprimantes, les téléviseurs, les lecteurs MP3, les téléphones portables, les appareils photo, etc. L'étroite collaboration avec le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa), une institution de recherche et de services consacrée à la science des matériaux et au développement technologique au sein du domaine des EPF, contribue de façon déterminante à ce que Swico puisse imposer des normes de qualité élevées et homogènes auprès de tous les services d'élimination de déchets sur tout le territoire suisse.

SENS

SENS eRecycling est une fondation à but non lucratif, indépendante et neutre, représentée par sa marque SENS eRecycling. Elle met l'accent sur la reprise, la valorisation durable et l'élimination des appareils électriques et électroniques des secteurs suivants: petits et gros appareils électroménagers, outils et appareils de bricolage, de jardinage et de loisirs et jouets. De plus, SENS collabore étroitement avec des réseaux spécialisés dans lesquels sont représentées les parties concernées par le recyclage des appareils électriques et électroniques. En coopération avec ses partenaires, SENS s'engage à ce que le recyclage de ces appareils respecte les principes économiques et écologiques.

SLRS

SLRS se charge du système des sources lumineuses et lumineuses. SLRS s'occupe de l'organisation de l'élimination généralisée des sources lumineuses et des lumineuses dans toute la Suisse. Pour financer ces activités, SLRS gère deux fonds respectifs pour les sources lumineuses et les lumineuses. Ces fonds sont alimentés par la TAR. Cette fondation se charge également de former et de sensibiliser les acteurs du marché au recyclage des sources lumineuses et des lumineuses et d'informer toutes les parties prenantes sur le domaine d'activité de SLRS. SLRS entretient dans tous les domaines un étroit partenariat avec la Fondation SENS. En tant que partenaire contractuel de SLRS, la Fondation SENS peut ainsi réaliser de façon opérationnelle, avec son système de reprise et de recyclage, non seulement la collecte et le transport, mais également le recyclage, le contrôle et le reporting des lumineuses et des sources lumineuses.

SWICO

SENS eRecycling

SLRS



Pratiques d'audit - où va-t-on?

Heinz Boni et Roman Eppenberger

De nombreuses exigences en matière d'audit ont été ajoutées ces dernières années, rendant les procédures d'audit plus longues et plus lourdes. L'examen de documents dans les bureaux a pris de l'ampleur, au détriment des visites de site. Les auditeurs ont convenu qu'ils devaient revoir leurs pratiques à cet égard. La commission technique Swico/Sens s'est donc réunie à huis clos à la mi-2020 et a fait de premières suggestions.

Le système d'audit avec lequel les partenaires de recyclage de Swico et Sens sont régulièrement contrôlés sur la base de spécifications techniques et environnementales a été continuellement développé au cours des 30 dernières années. Le nombre d'entreprises de recyclage à auditer – actuellement 18 partenaires directs de recyclage et 121 ateliers de démontage associés – étant resté pratiquement le même pendant des années, les exigences techniques ont été continuellement étendues.

En particulier, avec l'introduction de la norme SN EN 50625, qui a été établie comme base technique pour les audits par Swico à partir de 2017 et par Sens à partir de 2019, la portée de l'audit s'est élargie. Dans certains cas, cela a conduit à des vérifications de documents et obligations de justificatifs exhaustives et contraignantes, en présence de la direction de l'entreprise, ce qui a considérablement entravé la visite de l'établissement en question et donc l'inspection sur place du respect de chacune des normes. Dans de nombreux cas, cela a entraîné une certaine frustration de la part des auditeurs, mais aussi des entreprises auditées.

L'objectif de l'audit est de contribuer à l'amélioration continue des systèmes de recyclage. Cette procédure implique d'aider à optimiser les processus opérationnels et d'évaluer l'efficacité des ressources dans le traitement des déchets d'appareils électriques et électroniques (DEEE).

Cette évaluation est axée sur les matériaux cibles à recycler: une séparation la plus complète possible et une élimination respectueuse de l'environnement des polluants contenus dans les appareils, ainsi qu'une récupération de matières premières secondaires précieuses avec le moins de pertes possible. Grâce à l'évaluation des processus par les auditeurs, les audits contribuent à l'amélioration de l'état de la technique en matière de recyclage des DEEE.

Qu'est-ce qui change?

Pour répondre à ces exigences, les pratiques d'audit doivent être efficaces et efficaces. Être efficace, c'est faire ce qu'il faut («Do the right thing») et être efficace signifie bien faire ce qu'il faut («Do the things right»). Dans un processus d'audit, il s'agit toujours d'un exercice d'équilibre: les documents doivent-ils être examinés principalement pour identifier d'éventuelles erreurs ou faiblesses ou une conformité juridique insuffisante, ou faut-il se concentrer sur la pratique opérationnelle pour identifier des éléments certes bien documentés, mais insuffisamment mis en œuvre dans la pratique? Une chose est sûre: un audit ne fournit qu'une vision très limitée de la réalité en termes de volume et l'aperçu est limité dans le temps à moins de 0,5% du temps de travail annuel.

Dans le contexte d'une situation encore peu claire concernant la prochaine révision de l'OREA, la commission technique de Swico et Sens s'est

limitée pour l'instant à apporter des ajustements mineurs au processus d'audit. Les changements les plus importants sont que le contrôle des documents doit avoir lieu autant que possible avant la visite de l'entreprise concernée et que certains points ne doivent plus être contrôlés annuellement. Cela libère du temps pour visiter plus longuement les entreprises. D'autres changements seront envisagés dès que la situation concernant l'OREA aura été clarifiée et qu'il n'y aura pas de changements significatifs dans la pratique de l'audit, par exemple, dans le cas où l'audit serait redéfini au niveau national. Avec le présent amendement, il s'agit donc seulement d'une révision mineure. Ce n'est pas une étape importante, mais c'est déjà un pas dans la bonne direction.

Du côté des auditeurs, quelques changements à constater:

Michael Gasser a quitté l'équipe d'audit de Swico fin 2019. Il sera remplacé par Charles Marmy, qui a été formé à l'activité d'audit en 2020 et est auditeur depuis 2021. Stefanie Conrad de Carbotech AG a rejoint l'équipe d'audit de SENS. Dans un premier temps, elle contrôlera principalement les ateliers de démontage. Par ailleurs, Erhard Hug a définitivement cessé ses activités d'auditeur fin 2020. Un article spécial lui est consacré (voir p. 46).



Balles de plastique stockées dans les locaux de Thévenaz Leduc S.A. en attente de transformation.

Quantité collectée élevée et autre changement de composition

Michael Gasser

La quantité de déchets d'équipements électriques et électroniques traités reste dans la moyenne à long terme. La composition des différentes catégories continue de changer. Les quantités d'appareils électroniques ont à nouveau diminué, mais cette baisse a été compensée par un volume plus élevé de gros et de petits appareils électriques.

En 2020, les recycleurs Swico et SENS ont traité environ 129 800 tonnes d'appareils électriques et électroniques (appareils E+E). Par rapport à l'année précédente, il s'agit d'une légère augmentation, mais le volume reste conforme à la moyenne à long terme (tableau 1 et figure 1). Cependant, les changements de longue date dans les différentes catégories se poursuivent. La quantité d'appareils hors OREA, qui ne figurent pas sur les listes de l'ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination d'appareils électriques et électroniques (OREA), ainsi que d'appareils de réfrigération et des sources lumineuses, est restée constante. La quantité d'appareils électroniques a continué à diminuer en suivant

la tendance observée ces dernières années, notamment en raison d'un recul des lourds écrans à tubes cathodiques de moniteurs d'ordinateurs et de téléviseurs (-1%). La disparition presque totale de ces écrans semble cependant avoir ralenti cette baisse. Concernant le gros électroménager, une hausse (+4%) a été observée pour la troisième année consécutive à la suite d'une modification de la méthode de saisie en 2017. Comme l'année précédente, une nouvelle augmentation a également été observée pour le petit électroménager (+4%). La quantité d'équipement photovoltaïque traitée est en légère baisse par rapport à l'année précédente et ce volume reste faible avec un total de 200 tonnes.

Année	Gros électroménager	Réfrigérateurs, congélateurs et climatiseurs	Petit électroménager	Appareils électroniques	Sources lumineuses	Photovoltaïque	Appareils non cités dans l'OREA	Total Tonnes/an
2009	30 400	15 300	14 900	47 300	1 100		1 200	110 200
2010	30 700	15 900	15 400	50 700	1 130		3 500	117 400
2011	27 800	16 800	16 300	51 300	1 110		5 200	118 500
2012	30 300	17 500	18 800	55 500	960		6 000	129 100
2013	30 600	16 700	22 300	53 200	1 100		4 000	127 900
2014	29 400	17 200	23 900	52 000	1 100		3 000	126 600
2015	32 900	18 100	25 000	51 900	1 100	100	3 000	132 100
2016	32 500	19 200	27 900	49 000	1 100	100	1 900	131 800
2017	28 100	19 400	26 700	46 000	970	300	1 300	122 800
2018	34 200	19 900	27 600	41 900	1 100	300	1 000	125 900
2019	35 800	19 900	28 700	41 000	1 000	300	1 000	127 600
2020	37 100	20 100	29 800	40 600	1 000	200	1 000	129 800
Variation par rapport à l'année précédente	4 %	1 %	4 %	-1 %	0 %	-33 %	0 %	2 %

Tableau 1: Quantité totale en tonnes des appareils électriques et électroniques traités en Suisse, déterminée à partir de l'étude sur le flux de matériaux

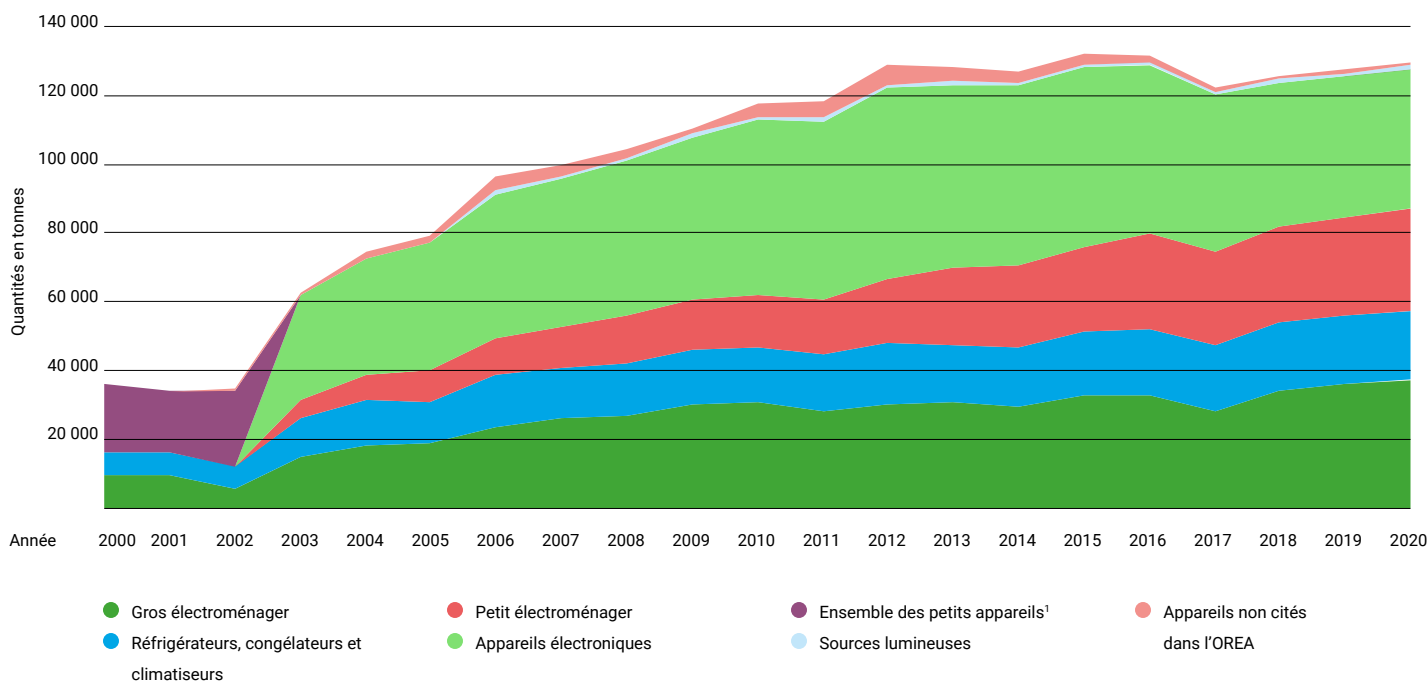


Figure 1: Quantité totale en tonnes des appareils électriques et électroniques traités en Suisse, déterminée à partir de l'étude sur le flux de matériaux
Source: Toocy

Valorisation des matériaux

Des fractions de matériaux recyclables et de polluants sont récupérées à partir du traitement manuel et mécanique d'appareils E+E usagés (figure 2). Les métaux constituent la plus grande fraction de matières de valeur avec 62%. Les mélanges plastique/métal (17%) et les matières plastiques (9%) représentent les deux autres principales fractions. La part de verre issue du traitement des tubes cathodiques a encore diminué de 17% par rapport à l'année précédente, mais s'élève encore à 0,8%. Les circuits imprimés particulièrement précieux ne représentent que 1,4% du volume global. Cependant, il est souvent plus avantageux d'extraire manuellement ces matériaux avant de les soumettre à un traitement mécanique, afin de les récupérer dans un état aussi complet que possible. Les fractions de matériaux recyclables obtenues sont transformées dans des entreprises en aval et recyclées ou soumises à une valorisation thermique.

Les fractions de matériaux recyclables produites chez les recycleurs Sens et Swico sont soumises à un traitement ultérieur. Les recycleurs Sens et Swico doivent fournir des justificatifs de flux de matériaux qui décrivent le traitement ultérieur de ces fractions. Les métaux ferreux sont par principe définitivement traités dans des fonderies suisses, et les matériaux non ferreux, dans les fonderies européennes. Les mélanges plastique/métal sont séparés davantage: selon le procédé de séparation et la composition, les métaux, mais aussi les matières plastiques, sont ainsi récupérés.

Certaines fractions mélangées continuent à intégrer directement la valorisation énergétique, cette part ayant toutefois fortement baissé ces dernières années du fait des nouvelles possibilités de traitement, avec par exemple les cartouches de toner et les installations de tri pour les mélanges plastique/métal. Les fractions dédiées aux différents types de verre (verre d'écran, verre plat et verre de recyclage de sources lumineuses) ainsi que les câbles, les cartes de circuits imprimés et les piles font également l'objet de procédures de valorisation particulières, souvent à l'étranger.

3 Quantités

Extraction des polluants

La part de fractions de polluants produites correspond à environ 1% du volume total (figure 2). Outre le recyclage des matériaux recyclables, l'extraction des polluants fait partie des tâches principales des recycleurs suisses. Les polluants sont pour la plupart éliminés manuellement dans des ateliers de démontage. Il s'agit par exemple d'extraire les condensateurs des gros appareils électroménagers, les piles des appareils électroniques ou de démonter les rétroéclairages contenant du mercure des écrans plats, des scanners et des photocopieurs. Ce faisant, il faut adapter l'extraction et la gestion des substances polluantes aux technologies modifiées et aux nouveaux acquis. Toutefois, les entreprises doivent aussi être encore capables d'extraire et d'éliminer dans les règles de l'art les polluants des vieilles générations d'appareils. Cela entraîne de fortes exigences vis-à-vis du travail des entreprises de recyclage et présuppose des systèmes d'assurance-qualité de haut niveau.

Reprise et composition d'appareils électroniques

Swico Recycling examine régulièrement les quantités récupérées et la composition des appareils électroniques. Pour ce faire, Swico Recycling procède à des analyses de paniers types et à des essais de traitement de certains groupes de produits (tableau 2). En 2020, Swico Recycling a repris 46 800 tonnes¹ d'appareils électroniques, soit autant que l'année précédente. Le poids et le nombre des unités reprises de moniteurs et de téléviseurs CRT continuent à baisser et s'inscrivent ainsi dans la tendance à long terme. Dans le cas des écrans plats des moniteurs et des téléviseurs, le poids moyen et le nombre d'unités reprises continuent d'augmenter. Le nombre d'unités poursuit également sa progression pour les téléphones mobiles; la quantité totale a cependant légèrement diminué en raison d'une nouvelle baisse du poids moyen. On a observé une tendance similaire, quoiqu'un peu moins prononcée, dans la catégorie électronique grand public mixte, bien que le poids moyen puisse varier fortement selon les années.

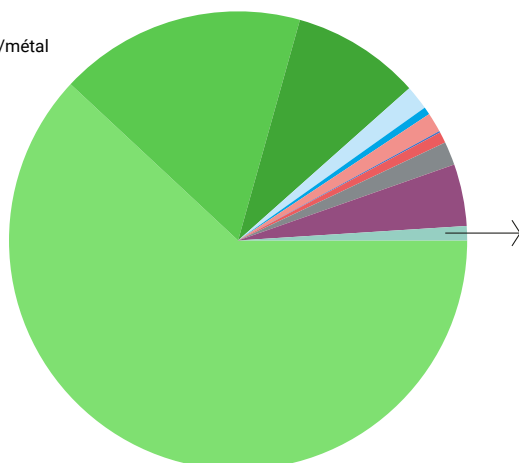
La composition des différentes catégories d'appareils est déterminée par des essais de traitement menés auprès des recycleurs Swico et suivis par l'Empa. En l'occurrence, on collecte une quantité d'appareils définie en amont et on documente les fractions qui en résultent.

Les quantités détaillées d'appareils électroniques repris et leur composition sont énumérées dans le tableau 2.

¹ Ce chiffre est supérieur aux 40 600 tonnes d'appareils électroniques du tableau 1, car il comprend également les appareils que les signataires A ont éliminés via des contrats directs.

Matériaux recyclables

- 62% métaux
- 17% mélanges matières plastiques/métal
- 9% matières plastiques
- 2% câbles
- 1% cartouches de toner
- 1,4% circuits imprimés
- 0% LCD
- 0,8% tubes cathodiques
- 2% verre
- 4% autres matériaux
- 1% polluants



Polluants

- 0,580% piles
- 0,149% condensateurs
- 0,026% composants contenant du mercure
- 0,003% bris de verre
- 0,031% substances luminescentes
- 0,000% pastilles de getter
- 0,000% tambour photoconducteur avec couche de sélénium
- 0,018% composants d'appareils contenant de l'amiante
- 0,070% CFC
- 0,106% huile
- 0,003% ammoniac (NH3)
- Autres résidus contenant des polluants

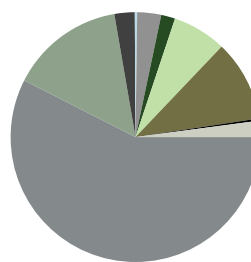


Figure 2: composition des fractions générées en % en 2020 Le graphique circulaire de droite correspond à la répartition des polluants, qui représentent environ 1% de la composition totale.

Type d'appareil	Nombre ⁴	Poids moyen	Métaux	Ma-tières plas-tiques	Mélange métaux/ma-tières plas-tiques	Câbles	Verre et/ou modules LCD	Circuits imprimés	Pol-luants	Autres ⁵	Total	Augmen-tation/diminution par rapport à 2019
	en milliers	en kg	en tonnes	en tonnes	en tonnes	en tonnes	en tonnes	en tonnes	en tonnes	en tonnes	en tonnes	
Moniteur CRT de PC	12	17,7	31	42	20	5	93	19	0	1	212	-65% ⁷
Moniteur écran plat de PC ¹	580	7,4	1682	1357	82	53	669	303	39	106	4292	6%
PC/serveurs	360	11,9	3524	248	11	131		357	13		4284	-9%
Ordinateur portable	480	2,5	353	349	123	6	106	174	83	5	1200	-3%
Imprimantes	460	11,5	1874	2846	326	29	36	92	2	86	5290	2%
Gros photoco-pieurs/gros appareils	48	128,8	3365	231	2210	112	4	50	53	158	6182	-2%
Mélange IT ²	820	3,1	1383	91	915	46	1	19	22	64	2542	14%
Téléviseurs CRT	51	27,7	139	289	47	5	913	17	1	1	1413	-50% ⁷
Téléviseurs LCD	331	25,2	4031	1500	879	115	732	701	93	291	8341	38%
Mélange UE ³	3525	3,0	5632	380	3791	191	5	82	91	265	10 434	-5%
Téléphone portable	904		23	48	-	-	7	30	27	-	136	10%
Téléphone, autre	1303		1205	79	797	40	1	17	19	55	2215	-9%
Photo/vidéo	219		90	6	58	3	0	1	1	4	164	-2%
Dentaire											61	-3%
Total en tonnes			23 333	7468	9259	734	2568	1864	445	1037	46 766⁶	2,4%
Total en %			50%	16%	20%	2%	5%	4%	1%	2%	100%	

¹ Écrans plats: écrans plats de différentes technologies (LCD, plasma, OLED, etc.).

² Appareils IT, mixtes, sans moniteurs, PC/serveurs, ordinateurs portables, imprimantes, gros photocopieurs/gros appareils.

³ Électronique grand public, mixte, sans téléviseurs.

⁴ Estimation

⁵ Emballages et autres déchets, cartouches de toner

⁶ Ce chiffre est supérieur aux 41 000 tonnes d'appareils électroniques du tableau 1, car il comprend également les appareils que les signataires A ont éliminés via des contrats directs.

⁷ Correction unique des moniteurs et téléviseurs CRT

Tableau 2: quantités collectées par Swico et composition par type d'appareil (2020), Source: Michael Gasser, Empa, sur la base d'analyses de traitement et de paniers types Swico. (2020)



Contribution importante à la protection du climat grâce à des processus hautement développés de récupération des agents réfrigérants et propulseurs

Geri Hug et Niklaus Renner

Le recyclage des équipements d'échange thermique hors d'usage, c'est-à-dire des appareils à compresseur tels que les réfrigérateurs et les congélateurs des particuliers et des entreprises, revêt une grande importance pour la protection du climat et de la couche d'ozone. Chaque kilogramme de réfrigérant et de gaz propulseur récupéré et rendu inoffensif de manière contrôlée permet d'éviter à l'atmosphère un tonnage de CO₂ à un ou deux chiffres! Les sceptiques à l'égard de ces procédés coûteux pourraient faire remarquer que l'impact sur le climat du recyclage des réfrigérateurs diminue légèrement d'année en année, car la proportion d'appareils produits avec des agents respectueux du climat ne cesse d'augmenter. Cependant, l'arrivée des derniers appareils contenant du R-11, R-12 ou R-134a (désignés avec le terme «VFC»¹ tel que défini dans la norme SN EN 50625-2-3) n'arriveront pas dans les filières de recyclage avant l'horizon 2030 au mieux et un traitement de pointe commun avec les appareils plus récents sans substances nuisibles au climat est la seule voie écologiquement justifiable. SENS recommande également l'élimination via les installations de recyclage des réfrigérateurs pour les mousses isolantes provenant des chaudières.

Part des équipements VHC² respectueux du climat pratiquement inchangée

La tendance de longue date à une proportion de plus en plus élevée de compresseurs respectueux du climat et alimentés par des VHC reste stable. Ainsi, en 2020, pratiquement sans changement par rapport à l'année précédente, 66% des appareils traités au niveau 1 étaient ceux du type avec un compresseur VHC (ligne en vert foncé dans la figure 1). Encore 32% des appareils avaient un compresseur rempli de VFC. La proportion des systèmes à absorption d'ammoniac, également inchangée, représentait 2% de tous les appareils traités. Pour les mousses d'isolation traitées au niveau 2, les données continuent de montrer une tendance analogue. Toutefois, cela était déjà perceptible plus tôt, puisque la substitution du

VFC R-11 par le VHC cyclopentane a eu lieu de manière directe (sans transition intermédiaire HFC comme dans le cas des réfrigérants). Au cours de l'année d'enquête, l'isolation de 75% de tous les appareils frigorifiques envoyés au recyclage était déjà en polyuréthane (PU) moussé au cyclopentane, ce qui signifie que l'augmentation par rapport à l'année précédente a été modérée (+ 2%).

Globalement, le nombre d'appareils traités par Kühlteq AG, Immark Schattdorf AG (anciennement Ruag Environment AG) et Oeko-Service Schweiz AG aux deux étapes de traitement a diminué de 5% (de 390 000 appareils ou 19 900 tonnes à environ 370 000 appareils ou 18 900 tonnes actuellement). Voir fig. 1.

¹ VFC: volatile fluorocarbons (p. ex. R-11, R-12, R-134a, R-22, entre autres)

² VHC: volatile hydrocarbons (p. ex. R-600a ou cyclopentane)

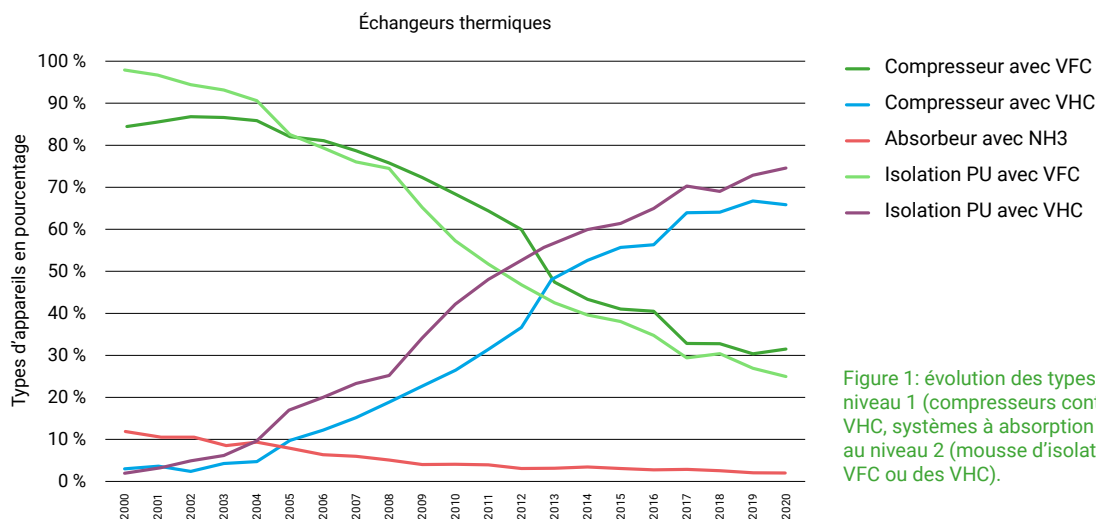


Figure 1: évolution des types d'appareils traités au niveau 1 (compresseurs contenant des VFC ou des VHC, systèmes à absorption d'ammoniac) et au niveau 2 (mousse d'isolation PU contenant des VFC ou des VHC).

Quantités récupérées légèrement plus élevées que prévu

La tendance à long terme n'a pas beaucoup évolué en termes de quantités récupérées. Les masses de mélanges de réfrigérants et d'agents gonflants récupérés diminuent d'autant plus que le rapport des appareils traités penche en faveur des types VHC, puisque leurs quantités de remplissage au niveau du compresseur ainsi que la concentration dans la mousse PU sont bien inférieures aux valeurs des appareils VFC. Les données disponibles sur les valeurs supposées des quantités de remplissage de VFC et de VHC pour les appareils de réfrigération ménagers et industriels passant par les deux étapes de traitement sont largement fondées et donc fiables. Dans le cas des appareils qui ne sont traités qu'au niveau 1 (par exemple les sèche-linge, les climatiseurs mobiles, les déshumidificateurs), ces hypothèses manquent d'exactitude,

c'est pourquoi les quantités récupérées ne peuvent être attribuées aux deux groupes d'appareils traités qu'avec un certain degré d'imprécision. La légère augmentation de la récupération des agents réfrigérants et propulseurs par rapport à l'année précédente peut probablement être interprétée, d'une part, comme le résultat de ces incertitudes dans les méthodes d'évaluation et, d'autre part, comme le résultat de certaines difficultés de déclaration lors de la réception des marchandises: 63 g par appareil ou 37 g par kilogramme de mousse PU (l'année précédente, c'était 61 g/ compresseur ou 34 g/kg PU³). Cela n'a pas grand-chose à voir avec les performances du système en soi; des tests de performance effectués exclusivement sur des réfrigérateurs domestiques ont montré que les taux de récupération sont restés constants au fil des ans. Voir fig. 2.

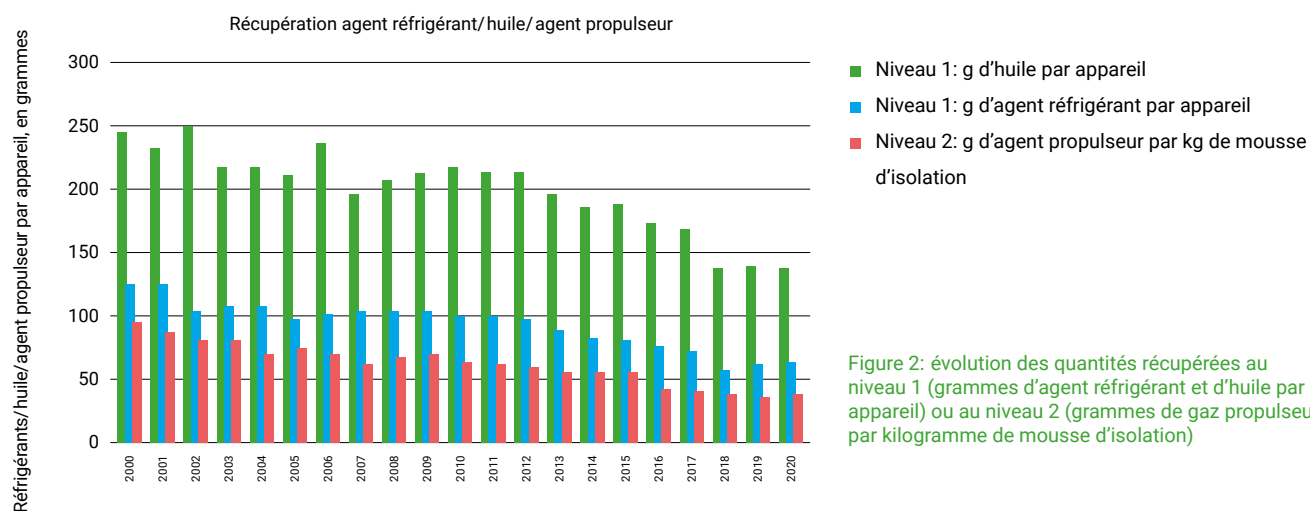


Figure 2: évolution des quantités récupérées au niveau 1 (grammes d'agent réfrigérant et d'huile par appareil) ou au niveau 2 (grammes de gaz propulseurs par kilogramme de mousse d'isolation)

³ Cette valeur était incorrectement indiquée comme étant de 54 g/ compresseur dans le rapport technique de l'année dernière.



4 Réfrigérateurs

Des économies de CO₂ à l'échelle de plusieurs milliers de réservoirs de gaz!

L'objectif exigeant de 90% de récupération des agents réfrigérants et propulseurs requis par la norme CENELEC est doublement pertinent en termes de protection de l'environnement: d'une part, les CFC contenus dans les anciens compresseurs et les mousses isolantes en PU doivent être retirés du flux des anciens équipements en raison de leur potentiel de destruction de la couche d'ozone (PDO). En même temps, ces substances ont un potentiel de réchauffement global (PRG) qui dépasse celui du CO₂ d'un facteur de plusieurs milliers à plusieurs dizaines de milliers (cf. tableau 1). Pour ces raisons, leur récupération et ensuite leur fractionnement contrôlé en dioxyde de carbone, dont l'impact sur le climat est bien moindre, ainsi qu'en eau et en acides ou en sels, constituent une contribution importante à la protection de l'environnement. Au cours de l'année de l'enquête, la masse des

émissions évitées grâce à la récupération contrôlée des gaz ayant un impact sur le climat s'est élevée à environ 280 000 tonnes d'équivalents CO₂. Cette énorme quantité de dioxyde de carbone peut être représentée par le contenu (comprimé à 6 bars) de 5600 (!) conteneurs à gaz sphériques classiques d'un diamètre de 20 m, tels que nous les connaissons dans les installations de stockage de gaz naturel (figure 3).

Voir plus loin avec les mousses isolantes des chaudières

Les réfrigérateurs ne sont pas les seuls appareils à contenir des gaz nocifs pour le climat; les chaudières et les réservoirs d'eau chaude en contiennent aussi, dans leurs mousses isolantes. Bien que cette catégorie ne concerne pas les appareils à reprendre dans le cadre du système SENS, elle mérite une digression à ce stade en raison de son importance pour le climat et pour le recyclage.

Substance	Potentiel de destruction de la couche d'ozone (PDO) Équivalents R11	Potentiel de réchauffement global (PRG) avec horizon temporel de 100 ans Équivalents CO ₂
Agent réfrigérant (niveau 1)		
CFC-12 (R12)	1	10 200
HCFC-134a (R134a)	–	1300
Isobutane (R600a)	–	3
Agent propulseur (niveau 2)		
CFC-11 (R11)	1	4660
Cyclopentane (CP)	–	< 25

Tableau 1: potentiel de destruction de la couche d'ozone (PDO) et potentiel de réchauffement global (PRG) des agents réfrigérants et propulseurs utilisés dans les réfrigérateurs. Sources: OFEV (2013), EPA (2016), GIEC (2014).



Figure 3: réservoirs sphériques typiques pour le stockage du gaz naturel (Source: Adobe Stock).

Des études exploratoires de SENS ainsi qu'une étude réalisée par l'Öko-Institut de Darmstadt pour le compte de la RAL-Gütegemeinschaft Rückproduktion von Kühlgeräten (l'Association d'assurance qualité RAL pour la re-production d'équipements frigorifiques, 2020) ont montré que les VFC/VHC sont toujours présents dans les mousses isolantes des chaudières avec des concentrations comparables à celles des équipements frigorifiques, même après leur période d'utilisation. Les chaudières construites jusqu'au milieu des années 1990 doivent toujours être considérées comme contenant des CFC.

La conclusion à tirer des études susmentionnées est que, d'un point de vue écologique, la seule voie d'élimination correcte des mousses isolantes (du moins celles contenant des CFC) provenant des chaudières – ou, par exemple, des panneaux isolants provenant d'éléments en sandwich – est le niveau 2 des installations de recyclage des réfrigérateurs. Les remettants, les entreprises de déconstruction, les entreprises d'élimination des déchets et les autorités canton-

nales ne le savent souvent pas assez. Les entreprises Kühlteg AG et Oeko-Service Schweiz AG font traiter depuis de nombreuses années les mousses de PU provenant des chaudières livrées dans leurs installations de niveau 2. Dans ce processus, l'isolation est décollée à la main et ensuite traitée avec les carcasses des réfrigérateurs. Nous espérons que cette pratique d'élimination exemplaire fera jurisprudence!



Figure 4: chaudière avant le décollage et le traitement manuel des mousses PU dans les installations de recyclage de réfrigérateurs (photo reproduite avec l'aimable autorisation de RAL-Gütegemeinschaft Rückproduktion von Kühlgeräten e.V., 2020).

Recyclage de tubes fluorescents: défis et opportunités

Flora Conte

Environ 800 tonnes de tubes fluorescents sont traitées chaque année en Suisse. Le respect des valeurs limites de mercure doit être contrôlé strictement, car la protection des personnes et de l'environnement est une priorité. Grâce à un travail consciencieux et à des processus de recyclage efficaces, des taux de recyclage de plus de 90% sont atteints malgré le défi que représente ce métal lourd, volatil et toxique.

Avec le recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), SENS, SLRS et Swico encouragent l'économie circulaire. La condition sine qua non de cette économie est la protection des personnes et de l'environnement contre les substances nocives. En Suisse, plusieurs entreprises de recyclage sont spécialisées dans la revalorisation des sources lumineuses, en particulier les lampes à décharge rectilignes, également appelées tubes fluorescents. Près de 800 tonnes de tubes fluorescents sont traitées chaque année. Contrairement à la plupart des catégories de DEEE, les polluants contenus dans les lampes fluorescentes ne peuvent pas être éliminés avant le traitement mécanique. Lors du recyclage, le mercure (Hg) qui adhère aux composants constitue un défi majeur. Il y a un risque pour la santé dès que les lampes sont endommagées par une mauvaise manipulation lors du processus de recyclage. Même à température ambiante, des vapeurs toxiques de Hg risquent de s'échapper. Techniquement, il est donc nécessaire de séparer le mercure de manière à ce que les valeurs limites et indicatives soient toujours respectées, les valeurs de Hg devant être strictement surveillées.

Le recyclage des tubes fluorescents produit quatre fractions: verre, embouts en aluminium, métaux magnétiques et poudre fluorescente. Bien que la priorité absolue soit d'éviter la contamination par le Hg, le taux de recyclage cible de 90% est facilement atteint dans les installations de recyclage. Les concentrations de Hg dans les métaux magnétiques et de la poudre fluorescente sont supérieures aux valeurs limites, de sorte qu'elles ne sont pas ou peu recyclées.

La poudre fluorescente est éliminée dans une décharge souterraine dans l'UE. Pour les fractions de verre et d'aluminium, les valeurs limites de 5 et 10 ppm de Hg respectivement sont généralement respectées sans problème. De l'aluminium peut donc à nouveau être produit à partir de la fraction d'aluminium. Toutefois, le taux de recyclage élevé est principalement dû au verre: la fraction de verre, qui correspond à la majorité de la masse produite, peut être recyclée à quasiment 100%. Dans le passé, le verre était utilisé pour la production de nouveaux tubes fluorescents. Mais avec le passage aux lampes LED, la demande pour cette application est en baisse. Aujourd'hui, par exemple, le verre est utilisé dans la production de laine de verre.



La fraction de verre, qui correspond à la majorité de la masse produite, peut être recyclée à quasiment 100%. (Photo: Flora Conte)

En ce qui concerne le recyclage des tubes fluorescents, on peut donc retenir que la teneur en matériaux recyclables est très élevée, mais que la manipulation doit être effectuée avec une extrême prudence. Cela commence déjà au moment du dépôt au point de collecte par les particuliers.

Essais batchs: quels indicateurs pertinents?

Anahide Bondolfi et Andreas Bill

L'indicateur principal utilisé par la série de normes EN 50625 pour évaluer la performance d'un recycleur est le taux de recyclage. Celui-ci devient de moins en moins satisfaisant, car il est influencé par la composition du matériel entrant et ne prend pas en compte la valeur écologique des matériaux récupérés ou perdus. Avec les nouvelles «Directives techniques de SENS et Swico complémentaires à la série de normes SN EN 50625», SENS et Swico ont lancé le processus de révision des indicateurs pour la performance du recyclage. En 2020, les essais batchs ont servi de pilotes pour tester de nouvelles approches, comme la prise en compte d'éventuelles pertes de matériaux.

Limites de l'indicateur taux de recyclage

Swico et SENS contrôlent la conformité légale et environnementale et évaluent la performance des recycleurs par différentes méthodes, comme les audits sur site, le contrôle des flux de matières et les essais par lots (batchs). La réalisation de batchs sert notamment à déterminer de façon standardisée et par catégorie d'appareil le taux de recyclage, à savoir le taux de valorisation matière, de chaque entreprise de recyclage. Cet indicateur comporte toutefois deux importantes faiblesses:

- Le taux de recyclage atteignable dépend de la composition du matériel entrant du batch. Celle-ci est variable et ne dépend pas de la performance du recyclage.
- Le taux de recyclage donne des informations sur le taux de récupération des matériaux les plus importants en termes de masse (ferraille, aluminium, cuivre et plastique), mais ne prend pas en compte la valeur écologique, qui peut être bien plus élevée pour des métaux techniques présents en faibles quantités

Taux de recyclage: valeur indicative au lieu d'objectif

Suite à ces constats, la commission technique (CT) Swico/SENS a introduit de nouveaux concepts concernant les batchs dans les «Directives techniques de Sens et Swico complémentaires à la série de normes SN EN 50625», valables dès le 1^{er} janvier 2020 pour les recycleurs suisses. Les taux de recyclage par catégorie d'appareil ne sont plus présentés comme valeur limite, mais comme valeur indicative. Cela permet plus de souplesse dans l'interprétation des batchs, notamment la prise en compte de la qualité du matériel entrant, et reflète la constante évolution de la technique. Pour les petits appareils SENS et Swico (hors écrans) et les échangeurs thermiques, les valeurs indicatives du taux de recyclage à atteindre ont de plus été harmonisées avec l'Annexe V de la directive européenne relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE). Cette directive adapte régulièrement les objectifs, les derniers ont été introduits pour les recycleurs européens le 15 août 2018. Pour les petits appareils Swico, le taux de recyclage à atteindre a alors diminué de 65% à 55%, alors qu'il a augmenté de 50% à 55% pour les petits appareils SENS.



6 Nouvelles méthodes pour les batches

Valeurs indicatives pour les gros appareils électroménagers

Pour les gros appareils électroménagers, la valeur indicative a été adaptée spécifiquement pour la Suisse, suite au constat que plusieurs recycleurs avaient des difficultés à atteindre l'objectif de taux de recyclage de la directive européenne. Au lieu d'un taux de recyclage unique pour l'ensemble des appareils de cette catégorie, fixé auparavant à 75%, un taux pour chacun des quatre types d'appareil principal de cette catégorie a été introduit. Ces taux par type d'appareils de la catégorie gros électroménagers ont été calculés par des batches spécifiques, réalisés auprès de quatre recycleurs entre 2018 et 2020. La composition de chaque fraction sortante a été estimée, soit par des étapes de séparation complémentaires, soit par des analyses, ce qui a permis d'estimer la part de métal, et donc le taux de recyclage atteignable si tous les métaux sont recyclés. Le taux de recyclage (uniquement métal) est désormais plus élevé qu'auparavant pour les fours (86%), car ils contiennent une forte proportion de métaux, et plus faible qu'auparavant pour les machines à laver (69%), les lave-vaisselle (68%) et les séchoirs (73%, après avoir retiré les éventuels compresseurs), car ces appareils contiennent de plus en plus de plastiques. Ainsi, même si les technologies des recycleurs ont tendance à être de plus en plus performantes, et donc de permettre de mieux récupérer les matières recyclables, les objectifs de taux de recyclage n'augmentent pas nécessairement, car la composition des appareils n'évolue pas toujours en faveur du recyclage.

Incertitudes sur les taux de recyclage

Bien que le nouveau taux de recyclage indicatif pour les gros appareils électroménagers, calculé en fonction du type d'appareil entrant, est plus réaliste, des incertitudes importantes sont encore présentes. La part de métal varie entre les essais, l'écart type moyen étant de 6%. Il s'élève même à 10% pour les machines à laver, contre 3% seulement pour les fours. Cela démontre que la composition des appareils peut varier fortement au sein même d'un type d'appareil. Une étude menée en 2019 sur le flux de traitement Swico Mix¹ avait abouti à des conclusions similaires, notamment que la détermination du potentiel de recyclage par caractérisation étendue de la composition du matériel d'entrée du batch n'est pas suffisamment solide (degré d'incertitude dans les bilans de matériaux cibles >50%) et que les efforts nécessaires pour ce type d'études sont trop élevés pour une mise en œuvre régulière.

Nouvel indicateur: pertes de métaux et de plastiques

En plus des adaptations de taux de recyclage, un nouvel indicateur a été introduit pour évaluer la performance du recyclage, à savoir la quantité de métal (métaux ferreux, cuivre et aluminium) et de plastiques non valorisés, soit les pertes. Les pertes de métal proviennent en général des résidus de broyage, ou des fractions de métaux mélangés envoyés chez un repreneur final ne valorisant qu'un type de métal. Comme exemple pour ce type de pertes, on peut citer le cuivre dans la fraction de ferraille valorisée dans une aciérie, ou les métaux ferreux dans les moteurs valorisés en fonderie de cuivre. Les pertes de plastiques ne sont considérées que lorsqu'une fraction plastique recyclable est directement incinérée. Ces pertes sont désormais estimées en kilogrammes par tonne de matériel traité plutôt qu'en pourcentage par fraction, afin de prendre en compte la masse totale de ressources perdues. Des valeurs cibles pour ce nouvel indicateur ont été proposées dans un document pilote concernant la réalisation des batches, celles-ci ne sont cependant pas encore appliquées d'une façon contraignante.

¹ Le Swico Mix comprend les petits appareils Swico, excepté les appareils à écran et écrans >100 cm²; c'est-à-dire que les écrans amovibles des ordinateurs portables sont écartés du flux de traitement.

Pilotes 2020 et 2021

L'approche d'analyse des pertes semble plus prometteuse que les taux de recyclage, mais manque encore d'expérience. C'est pour cette raison qu'un groupe de travail dédié de la CT Swico/SENS continue de travailler sur ce nouveau concept. Durant une phase pilote en 2020, des analyses supplémentaires ont été réalisées afin d'analyser les pertes de métaux dans différentes fractions issues du traitement mécanique, fractions dans lesquelles la présence d'un métal est probable, mais dont le métal n'est pas valorisé en aval. En plus des métaux de base (Fe, Al et Cu), des métaux précieux (Ag, Au, Pd) ont aussi été analysés dans certaines fractions, car une perte de ceux-ci correspond à une perte de valeur écologique élevée. Les résultats ont montré que la charge en métal dans les fractions de broyage non métalliques les plus fines, qui comprennent les résidus de broyage (RB) légers, les poussières et les fractions de criblage, varie entre recycleurs, et peut parfois être élevée. Cette phase de pilotage continuera encore en 2021, afin d'étendre la base de données avant de fixer des valeurs cibles contraignantes pour ces nouveaux indicateurs.

Pour aller plus loin

Articles de précédents rapports techniques:

- [Rapport technique 2019, p. 43 - 44, Taux de recyclage des gros appareils électroménagers, Geri Hug et Anahide Bondolfi](#)
- [Rapport technique 2020, p. 32 - 33, Taux de recyclage du gros électroménager – mise à jour, Geri Hug et Anahide Bondolfi](#)
- [Rapport technique 2020, S. 24 - 29, Des essais par lots \(batchs\) étendus sont-ils adaptés pour déterminer le potentiel de recyclage?, Roger Gnos, Rolf Widmer et Lorena Toledo Reyes](#)
- [Rapport technique 2020, S. 40-41, Économie circulaire pour le recyclage des DEEE: sommes-nous sur la bonne voie?, Heinz Böni et Rolf Widmer](#)

Tableau: taux de recyclage indicatifs valables en 2021 en Suisse.

Pour les gros appareils, ces taux comprennent uniquement l'objectif de recyclage pour les métaux.

Flux de traitement	Taux de recyclage
Équipements d'échange thermique	80%
Appareils à écran	65%
Lampes à décharge rectilignes	90%
Gros appareils SENS: machines à laver	69%
Gros appareils SENS: lave-vaisselle	68%
Gros appareils SENS: séchoirs	73%
Gros appareils SENS: cuisinières/ fours	86%
Gros appareils Swico	75%
Petits appareils Sens	55%
Petits appareils Swico (Swico-Mix)	55%

L'électronique des voitures: une mine d'or inexploitée?

Charles Marmy

Cela fait plusieurs décennies que nos voitures contiennent de plus en plus de composants électroniques, et cette dynamique s'accroît encore avec l'essor de la mobilité électrique. Tout comme leurs cousins domestiques (smartphones, laptops, écrans, etc.), ils contiennent des métaux rares et précieux. Mais contrairement à eux, ils ne sont en règle générale pas recyclés de manière spécifique.

Avez-vous conduit une voiture aujourd'hui? Si c'est le cas, vous avez bénéficié des services d'une myriade de composants électroniques: connexion de votre smartphone au pavé multimédia, système de navigation, thermostat dans l'habitacle, allumage automatique des phares, fenêtres électriques, tempomat, caméras de recul, détecteurs d'obstacle... la liste est longue.

Ces dernières décennies, leur quantité a explosé! Comme les appareils électroniques domestiques (ordinateurs, téléphone, imprimantes, écrans...), ils contiennent de nombreux matériaux rares, précieux, et surtout indispensables aux nouvelles technologies, comme l'or, le néodymium, le cuivre, ou encore le cobalt. En tout, des quantités considérables de ces métaux sont stockées dans les flottes de véhicules (voir figure 1). En Suisse, les stocks sont comparables à ceux contenus dans les appareils électroniques domestiques. Cependant, contrairement à ces derniers, la plupart ne sont pas séparés et recyclés de manière spécialisée lorsque la voiture arrive en fin de vie. Les procédés appliqués pour le recyclage des carcasses de voiture visent principalement à la récupération des métaux industriels tels que le fer ou l'aluminium. Les métaux rares et précieux, concentrés dans les composants électroniques, sont ainsi perdus.

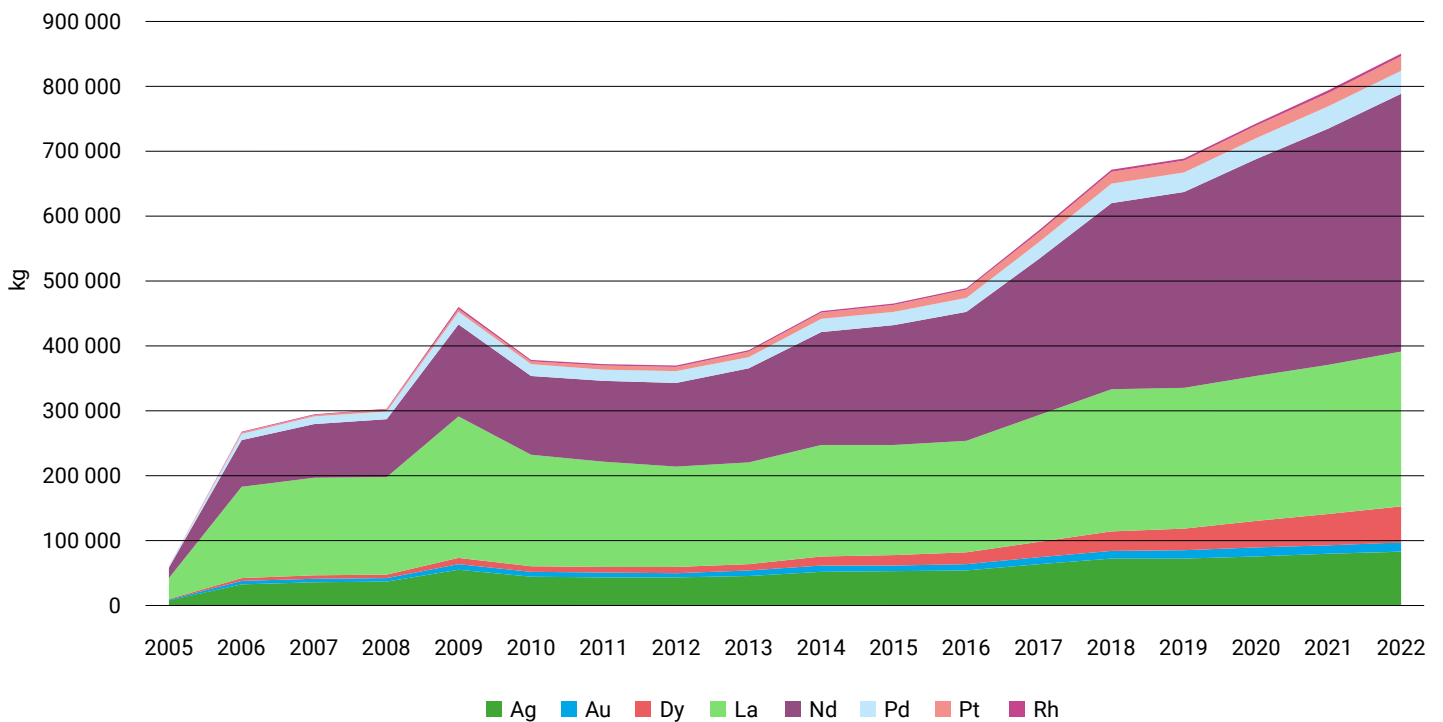


Figure 1: Quantité totale de néodymium (Nd), Dysprosium (Dy), Or (Au), et Palladium (Pd) et Platine (Pt) dans les véhicules quittant la flotte pour être recyclés dans les pays de l'EU des 27 + 3, y compris les projections jusqu'en 2022 (Projet RMIS, JRC, en développement).

En outre, le secteur automobile vit depuis quelques années une mutation profonde avec l'explosion de la part de marché des véhicules électriques. En 2020, 1 véhicule sur 4 vendu en Suisse était au moins partiellement électrique (c'est-à-dire hybride, hybride «plug-in», ou électrique pur), et près de 1 véhicule sur 10 totalement électrique. La proportion de ce type de véhicules dans la flotte suisse a atteint 3,8% en 2020 et

continuera vraisemblablement à augmenter rapidement dans les prochaines années. D'ici une ou deux décennies, les véhicules partiellement ou totalement électriques composeront une part significative des voitures en fin de vie nécessitant d'être recyclées.

7 Électronique des véhicules

Cette évolution aura des conséquences sur la composition des véhicules et le stock de matériaux contenu dans la flotte. En effet, les voitures électriques comprennent des composants électroniques absents des véhicules à combustion interne, comme les batteries Li-Ion, les moteurs électriques, ou encore les «Battery Management System». Leur masse est souvent non négligeable: la batterie d'une voiture purement électrique a une masse de l'ordre de 500 kg, tandis que son moteur a une masse de 40 à 50 kg environ. De plus, ces composants contiennent des matériaux pas ou peu présents dans les composants électroniques des véhicules classiques, comme le cobalt pour la plupart des batteries Lithium-Ion, ou le néodymium et le dysprosium, utilisés dans la fabrication de puissants aimants permanents nécessaires à la plupart des moteurs électriques, ou encore le cuivre, utilisé en grande quantité pour la fabrication de leurs bobines (voir figure 2 et figure 3).

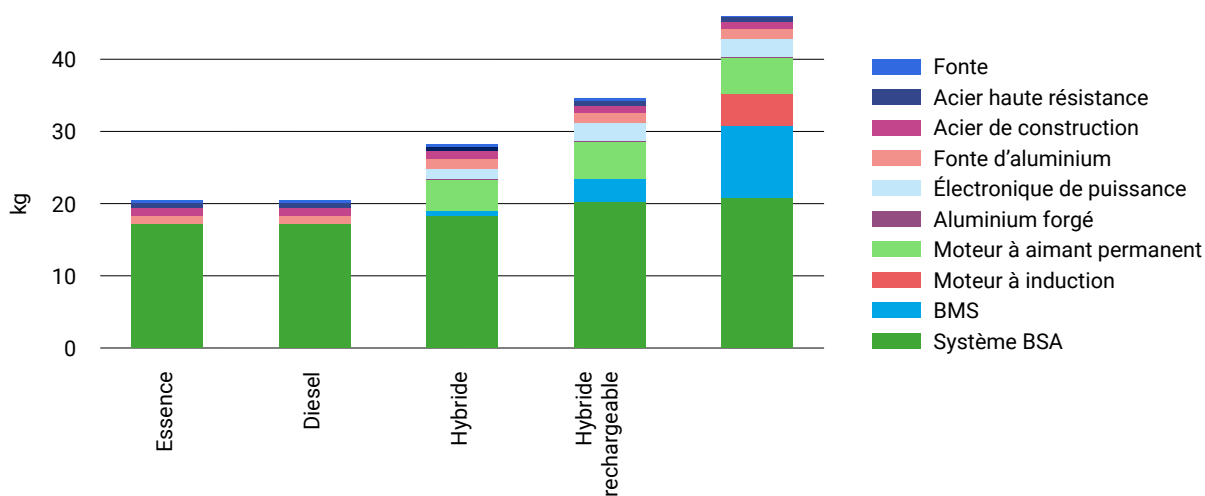


Figure 2: Estimation de la masse moyenne de cuivre réparti par matériaux et composants, par type de véhicule, en 2020 (projet RMIS, JRC, en développement)

Néodyme (nd) dans les véhicules en fin de vie et accidentés

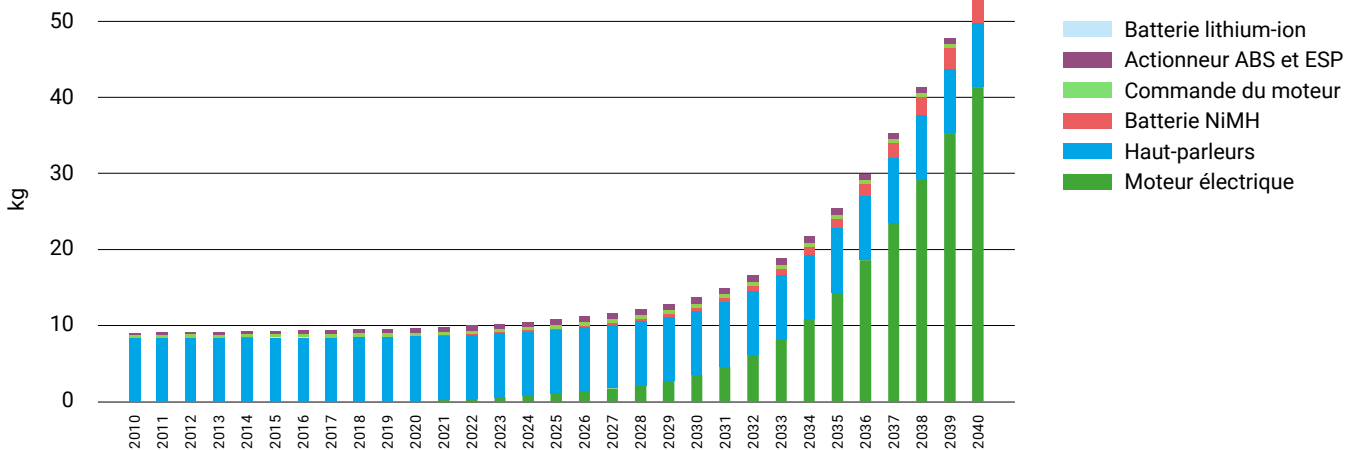


Figure 3: Évolution de la quantité de Néodymium dans les véhicules accidentés en Suisse, réparti par appareil électronique (Projet EVA II, Empa, en développement)

Plusieurs études scientifiques, comme EVA II mené par l’Empa à l’échelle Suisse, et RMIS piloté par le JRC au niveau européen, prennent en compte ces évolutions pour estimer et prédire les quantités de matériaux disponibles dans les véhicules en fin de vie actuellement et dans le futur. Dans les deux cas, le but est de montrer l’intérêt à recycler ces composants électroniques jusqu’ici négligés, motiver le développement des projets industriels de recyclage, et supporter la mise en place de politiques publiques. Aujourd’hui plus que jamais, notre société est dépendante des nouvelles technologies électroniques, que ce soit pour son confort ou sa sécurité, mais aussi pour beaucoup de technologies de production et de stockage d’énergies renouvelables cruciales à une transition énergétique rapide et efficace. En plus de leur valeur économique considérable, les matériaux essentiels à ces technologies sont d’une importance stratégique, et leur cycle doit être fermé en priorité, en particulier par le biais d’un recyclage efficace et ciblé. La Suisse fait déjà un travail admirable dans ce domaine, notamment par le biais d’associations comme SWICO, SENS, ou BATREC. Cependant, les appareils électroniques intégrés aux voitures passent encore largement à travers les mailles de ce filet.

Informations complémentaires

- [Project Raw Material Information System \(RMIS\), Joint Research Center of the EU Science Hub \(JRC\)](#)
- [Project Recycling of electric components from passenger vehicles \(EVA\), Empa](#)

Swico soutient l'innovation en matière de recyclage de déchets électroniques

Roger Gnos

Depuis son lancement en 2019 jusqu'à fin 2020, le Fonds pour l'innovation de Swico a investi CHF 384 000 dans des projets d'innovation en lien avec le recyclage de déchets électroniques. Des subventions ont été accordées pour la construction d'une usine de recyclage des cartouches de toner, pour des essais d'amélioration de la récupération du cobalt et du néodyme, et pour un projet visant à «réutiliser avant de recycler». D'autres projets sont en cours d'élaboration.

Le Fonds Swico pour l'innovation a été lancé par Swico Recycling et soutient les projets qui apportent de l'innovation à l'écosystème Swico Recycling. Ces projets peuvent concerner l'ensemble de la chaîne de recyclage, depuis la collecte des DEEE jusqu'à la récupération des polluants et des matières valorisables. Les partenaires contractuels de Swico peuvent également collaborer avec des start-up ou des instituts de recherche pour réaliser des projets qui sortent des sentiers battus.

Les demandes de financement pour un projet peuvent être soumises par des entreprises de recyclage, des fabricants et d'autres participants à l'écosystème Swico ayant une relation contractuelle avec Swico.

Les projets soumis doivent être innovants, apporter des avantages pertinents pour l'écosystème Swico, offrir de grandes chances de succès en termes de faisabilité et être soutenus par des candidats ayant les qualifications nécessaires.

Le premier projet ayant retenu l'attention des experts et ainsi obtenu le soutien de Swico à hauteur de CHF 240 000 est la construction d'une usine de recyclage de toner. En effet, plus de 1700 tonnes de cartouches de toner et de recharges sont produites chaque année dans toute la Suisse. Cependant, elles sont actuellement exportées à l'étranger, ce qui a un impact négatif sur le bilan carbone en raison du transport.

Recyclage de toners en Suisse – du projet à l'exploitation complète

Le projet a été présenté par Solenthaler Recycling AG à Gossau. L'objectif initial, qui était de mettre en service une usine capable de stabiliser et d'évacuer en toute sécurité la poussière de toner afin de garantir un traitement durable et respectueux de l'environnement d'ici le début de l'année 2021 n'a pas pu être pleinement atteint en raison de retards dans les processus d'autorisation, dans la construction et dans les phases de test causés par le coronavirus. En décembre dernier, l'installation a été testée par l'EMPA, avec des résultats réjouissants: elle fonctionne de manière continue et fiable et les produits de sortie sont propres et triables.



Les membres du Conseil consultatif du Fonds pour l'innovation devant le nouveau système pour toners; de gauche à droite: Heinz Böni, Empa; Marius Schlegel, Swisscom; Roger Gnos, Swico, Président du Conseil consultatif

Depuis avril 2021, l'usine est en mesure de traiter environ 1500 tonnes par an. Cela correspond à 1,5 fois les prévisions initiales, soit un volume de 4,5 piscines olympiques, et permet d'économiser environ 150 tonnes de CO₂ par an. Grâce à ce projet innovant, les signataires de la

convention Swico, les détaillants et les consommateurs finaux peuvent être sûrs que leurs composants contenant du toner seront éliminés de manière durable et efficace en Suisse.



Les cartouches de toner et les contenants rechargeables peuvent désormais être recyclés en Suisse.

La poussière de toner est fixée afin de pouvoir être traitée sans danger.



Encourager le recyclage du néodyme et du cobalt

Deux autres projets soutenus par le Fonds Swico pour l'innovation portent sur la miniaturisation croissante des batteries au lithium et ses conséquences sur le recyclage: ces travaux se concentrent sur les aspects sécuritaires, dans la mesure où ces batteries sont souvent défectueuses ou collées aux matériaux adjacents. La récupération et valorisation du cobalt et du néodyme figure également parmi les objectifs. La faisabilité de cette valorisation a été démontrée dans une étude, en montrant par exemple que les aimants contenant du néodyme deviennent accessibles dans le flux de matériaux issu du broyage. Selon une étude de l'OFEV datant de 2011 et le rapport explicatif sur le nouveau projet d'OREA, le néodyme fait partie des terres rares dont le recyclage fait figure de priorité absolue. Pour examiner de manière approfondie si et comment le recyclage du cobalt et du néodyme est envisageable, le Fonds Swico pour l'innovation a annoncé à l'automne 2020 une contribution supplémentaire de CHF 24 000. Les premiers résultats ont été connus au début de l'année 2021.



Aimants avec néodyme

Comme l'explique Markus Stengele, chef de projet à SOREC, le dispositif expérimental choisi a donné des résultats encourageants et a incité SOREC à demander sa mise en œuvre dans le cadre du projet de batterie au lithium.

Réutiliser avant de valoriser

Le meilleur processus de recyclage est celui qui survient le plus tard possible dans le cycle de vie d'un produit. Le Fonds Swico pour l'innovation a donc soutenu en 2020 un projet de la société leBird Sàrl à hauteur de CHF 75 000. Il s'agit d'une étude évaluant le potentiel de réutilisation des ordinateurs portables, des téléviseurs à écran plat, des téléphones portables et d'autres équipements électroniques. La première étape consiste à identifier la demande, ainsi que les opportunités et les risques.

Sur la base d'une étude de l'Empa, la réutilisation des appareils électroniques, dont l'impact environnemental a lieu principalement au moment de la production, avait été jugée bénéfique du point de vue environnemental. La question est alors la suivante: l'intérêt économique, c'est-à-dire la volonté d'un acheteur d'acquérir un appareil d'occasion, dépend beaucoup de la qualité et du prix de vente mais nous en savons encore trop peu à ce sujet. Il reste à évaluer l'intérêt économique de la réutilisation, qui dépend avant tout de la volonté du public d'acquérir des appareils d'occasion plutôt que neufs. La qualité du produit ainsi que son prix de vente sont certainement deux paramètres importants. Cette problématique n'est pas suffisamment connue actuellement.

Des résultats encourageants

La prochaine étape de l'étude vise à clarifier comment les appareils candidats à la réutilisation pourraient être recensés, catégorisés et documentés de manière aléatoire dans une usine de démantèlement.

L'attention sera alors portée sur l'état de fonctionnement, la sécurité des données et la mise en place d'une boutique en ligne d'occasion, avec un cahier des charges correspondant. Aucun appareil ne sera vendu pendant cette phase de réflexion et de test, puisque les directives nécessaires à cet égard n'existent pas et les contrats avec Swico Recycling excluent toute revente. Le projet bénéficiera de l'accompagnement de deux experts de l'Empa.

Bilan des 18 mois du Fonds Swico pour l'innovation

Nous sommes très satisfaits des projets soumis jusqu'à présent. Ils prouvent que l'industrie du recyclage en Suisse est innovante et proactive. Le secteur est très conscient du besoin de renforcer le développement durable et de rendre l'économie plus circulaire. Ses acteurs ont démontré leur volonté d'agir en amont, de repousser les limites de l'état de l'art, et d'améliorer leur performance. Le Fonds est conçu pour les soutenir dans cette démarche.

Swico encourage toutes les entreprises de recyclage, fabricants et autres participants à l'écosystème du recyclage qui ont une relation contractuelle avec elle, à soumettre leurs projets innovants au Fonds Swico pour l'innovation. Toutes les informations sur les délais de candidature et sur la marche à suivre peuvent être obtenues à l'adresse ↗ www.swico.ch/innovationsfonds

«Le Fonds Swico pour l'innovation environnementale soutient des projets de recyclage prometteurs à hauteur de CHF 300 000 au maximum. Dans ce contexte, le terme «recyclage» est entendu au sens large de l'économie circulaire: il recouvre la logistique, le contrôle ou encore la prolongation de la durée de vie des appareils. Les projets issus de la recherche appliquée ou des essais pilotes, par exemple, sont admissibles à une subvention. Toutes les parties prenantes de l'écosystème qui entretiennent une relation contractuelle avec Swico peuvent soumettre leur candidature. Les coopérations et alliances avec des tiers, notamment avec des start-up, sont les bienvenues. Nous nous réjouissons de recevoir votre proposition avant le 15/02 ou le 15/08 de chaque année.»

Judith Bellaïche, directrice de Swico



Quantités, développement technologique et exigences en matière de recyclage des écrans plats

Heinz Böni et Andreas Bill

Dans le monde actuel, les écrans plats sont indubitablement un élément indispensable de la vie quotidienne. La technologie de ces appareils a beaucoup évolué au cours de la dernière décennie, avec l'adoption croissante de l'OLED, suite à la forte baisse de son prix. Cette évolution technologique, ainsi que d'autres, influence également les exigences pour un recyclage respectueux de l'environnement.

En 2019, environ 1,4 million d'appareils à écran, c'est-à-dire des moniteurs de PC, des téléviseurs et des ordinateurs portables, le tout pesant 13 900 tonnes ont été éliminés en Suisse. Cela correspond à 30% de la quantité totale de matériel collectée et traitée par Swico durant cette année. 5830 appareils ont été traités par jour ouvrable, ce qui revient à environ 650 unités par heure. Après avoir connu une forte hausse, passant d'environ 900 000 unités à 1,5 million entre 2006 et 2009, le nombre d'appareils a étonnamment peu fluctué depuis. De 2010 à 2019, environ 1,5 million d'appareils ont été traités en moyenne par année. En d'autres

termes, le nombre d'appareils utilisés par les ménages et les entreprises est pratiquement constant et il n'y a plus d'augmentation de volume, ce qui est caractéristique d'un marché saturé (voir fig. 1). La quantité annuelle de tubes cathodiques traitée a diminué, passant d'un maximum d'environ 22 000 tonnes/(2011/12) à environ 3500 tonnes (2019), tandis que dans la même période, la quantité annuelle d'écrans plats traitée est passée de 4000 à environ 10 000 tonnes (voir fig. 2). La proportion massique d'écrans dans le flux total d'appareils recyclés par Swico s'est réduite, passant de 44% à 30%.

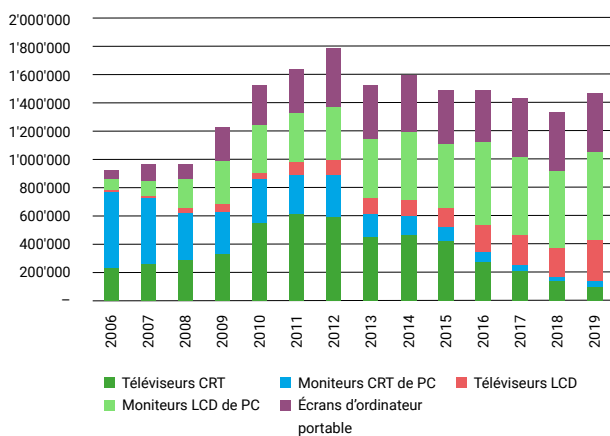


Figure 1: évolution du nombre d'appareils à écrans repris entre 2006 et 2019. Depuis 2013, le nombre annuel s'est stabilisé autour de 1,4 - 1,5 million.

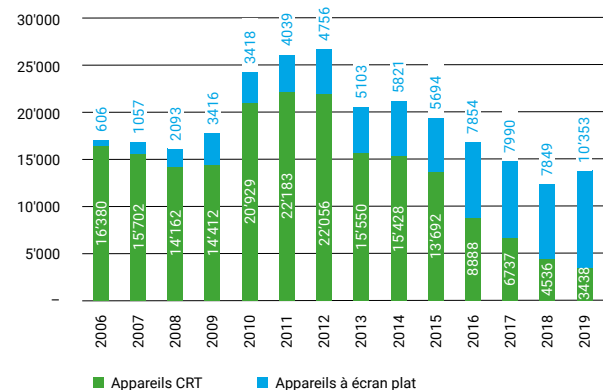


Figure 2: évolution de la masse annuelle des écrans plats et à tubes cathodiques traités entre 2006 et 2019, en tonnes. Actuellement, la masse totale est d'environ 14 000 tonnes, soit un peu moins de 30% de la masse totale des équipements électroniques traités annuellement par Swico.

Une proportion de 9% du nombre d'appareils à écran éliminés en 2019 étaient encore des appareils à tube cathodique (voir fig. 3). Toutefois, du fait de la masse par unité bien plus importante, les appareils à tube cathodique représentaient encore 25% de la masse totale d'appareils à écran repris.

Parmi les écrans plats repris, la part d'appareils dont le rétroéclairage contient du mercure diminue. En 2018, un échantillon non représentatif a révélé que 30% des téléviseurs, 15% des écrans de PC et 30% des ordinateurs portables étaient déjà équipés de rétroéclairage à LED. Sur la base de ces chiffres, la quantité totale d'écrans plats avec rétroéclairage contenant du mercure repris en 2018 peut être estimée à environ 890 000 unités, soit un peu moins de 6000 tonnes. En d'autres termes, en 250 jours de travail, les rétroéclairages contenant du mercure ont dû être retirés d'environ 3500 téléviseurs à écran plat et éliminés séparément.

En considérant que le rétroéclairage constitue en moyenne 0,076% de la masse d'un téléviseur et 0,248% de la masse d'un écran de PC¹, la masse totale de rétroéclairages à éliminer en 2018 peut être estimée à environ 10 tonnes, en incluant les montures métalliques des rétroéclairages des écrans de PC.

Les téléviseurs LCD avec des rétroéclairages contenant du mercure contiennent 16 à 50 tubes CCFL. En supposant une moyenne de 4 mg de mercure (Hg) par tube CCFL, la masse de mercure par téléviseur varie entre 64 et 200 mg. Les écrans de PC contiennent 2 à 4 tubes CCFL et les ordinateurs portables 1 à 2. Ils contiennent respectivement 8 à 16 et 4 à 8 mg de mercure par appareil². Sur la base de ces chiffres approximatifs, la masse de mercure séparée et correctement traitée par le retrait manuel des rétroéclairages au mercure des écrans LCD en 2018 peut être estimée comme comprise entre 14 et 38 kg par année. Ce chiffre peut sembler modeste à première vue, mais il correspond à un avantage environnemental conséquent: pour chaque gramme de mercure s'échappant dans l'environnement, on comptabilise 210 000 unités de charge écologique (UCE)³. À titre de comparaison, l'extraction d'un gramme d'or vaut 26 000 UCE, le cuivre engendre 1,1 UCE/gramme et le fer seulement 0,0084 UCE/gramme⁴. Le bénéfice environnemental de l'élimination de 14 à 38 kg de mercure est donc équivalent à la récupération de 113 à 307 kg d'or, à 2670 à 7250 tonnes de cuivre ou à 350 000 à 950 000 tonnes de fer, ce qui équivaut à recycler 30 à 100 tours Eiffel par année.

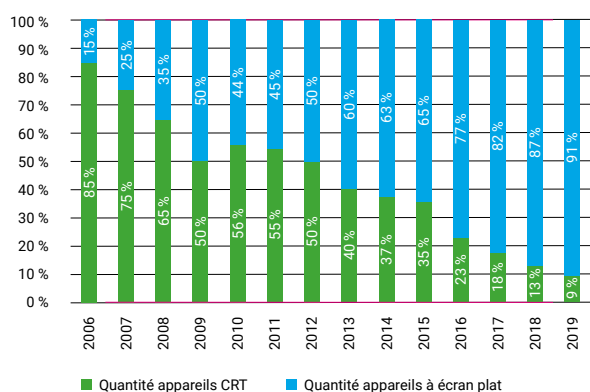


Figure 3: répartition du nombre d'appareils entre les écrans plats et les écrans à tubes cathodiques 2006 - 2019. Plus de 90% des appareils sont pourvus d'un écran plat.

¹ Déterminé par un essai par lots avec 80 téléviseurs et 150 moniteurs de PC.

² Source: ministère allemand de l'Environnement, Behandlung von EAG unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten (Texte 31/2018) p. 122

³ Les «unités de charge écologique» sont utilisées comme indicateur pour quantifier et comparer l'impact sur l'environnement de l'émission d'un polluant ou de l'extraction d'une ressource.

⁴ Source: Ecofacteurs Suisse 2013 selon la méthode de la saturation écologique, Office fédéral de l'environnement OFEV, Öbu – Le réseau pour une économie durable



9 Écrans plats

La figure 4 montre la composition massique moyenne d'un écran plat. Les téléviseurs LCD et les moniteurs PC sont composés d'environ 40% de fer, d'environ 45 à 50% de matières plastiques (y compris le verre PMMA) et d'environ 5 à 6% d'aluminium. La proportion de cartes de circuits imprimés est de 6% pour les moniteurs de PC et de 9% pour les téléviseurs à écran plat.

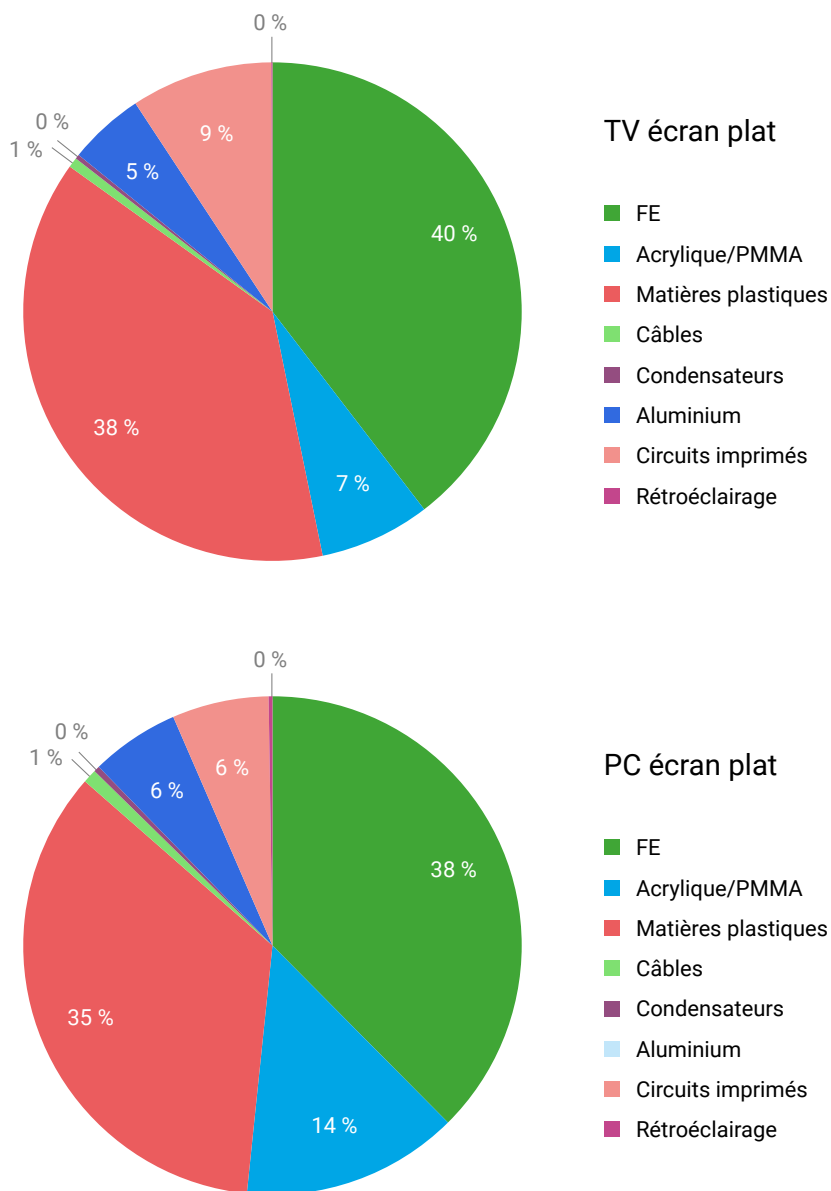


Figure 4: composition des téléviseurs à écran plat et des moniteurs de PC. Résultats d'un essai par lots en 2020.

Dans le rapport technique de 2019, il a été démontré qu'avec un personnel formé, il est possible de retirer manuellement les rétroéclairages sans les endommager ou presque. Les mesures de mercure sur le lieu de travail ont confirmé que les valeurs CMA peuvent être de 20 à 30 fois inférieures à la norme.

Les écrans contenant du mercure peuvent aussi être traités de manière entièrement mécanique. Dans un tel processus, les écrans et leur rétroéclairage sont déchiquetés dans un conteneur sous pression négative. L'ensemble de l'air du conteneur est aspiré et nettoyé par un système de filtres. La plus grande partie du mercure est séparée par le flux d'air et concentrée dans le filtre à charbon actif et dans la poussière. Les fractions mélangées résultant du processus sont considérées comme non polluantes selon la norme technique SN EN 50625. Cela signifie qu'aucune quantité importante de mercure ne peut être transférée dans ces fractions et y être diluée. La norme se base sur l'hypothèse selon laquelle le mercure qui n'est pas séparé par le flux d'air se trouve principalement dans la fraction mixte la plus fine, déchiquetée et exempte de polluants. Selon la norme, cette fraction est donc définie comme la fraction de référence pour vérifier la performance suffisante d'élimination des polluants et doit être échantillonnée. La teneur maximale admissible de mercure est de 0,5 mg/kg. Cette exigence très stricte représente un obstacle de taille pour le traitement mécanique des écrans plats sans retrait préalable du rétroéclairage contenant du mercure.

Risque d'incendie des batteries au lithium: questions et réponses

Flora Conte et Rolf Widmer

Pour tous les points de collecte, les entreprises de démontage et de recyclage, les batteries au lithium défectueuses représentent un risque d'incendie omniprésent. Le danger peut survenir de diverses manières et la protection contre les incendies constitue donc un défi majeur. Toutes les batteries au lithium sont-elles dangereuses? Comment les conditions météorologiques, la manipulation et le stockage influent-ils sur le risque d'incendie? Quelles sont les mesures de protection existantes?

Ces dernières années, toutes les parties concernées ont pris conscience des risques d'incendie liés à la manipulation des batteries au lithium. Dans le même temps, leur proportion dans le mélange de batteries ne cesse d'augmenter, tout comme la prévalence du lithium dans divers déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE). Les incendies causés par les batteries au lithium dans les points de collecte, les ateliers de démontage et chez les recycleurs, tant en Suisse que dans le monde, montrent que des mesures adaptées en permanence sont nécessaires. La protection doit être assurée, d'une part, par l'application de connaissances et, d'autre part, par des solutions techniques. Voici un éventail d'informations relatives au risque d'incendie et aux accumulateurs lithium à travers une série de questions-réponses. Ces informations ne peuvent toutefois se substituer aux conseils d'experts en sécurité.

Question 1: Existe-t-il différents types de batteries au lithium?

Techniquement, on distingue les batteries lithium-ion (BLI) des batteries lithium-métal, mais les deux sont reprises sous l'appellation batteries au lithium (BLi). Aujourd'hui, les BLi sont exclusivement rechargeables (batteries secondaires). Les batteries lithium-métal, quant à elles, sont exclusivement des batteries (primaires) jetables, souvent des piles boutons, mais aussi, rarement, de grandes piles à haute densité énergétique.



Le lithium contenu dans les batteries Li-métal (exemples dans cette illustration) est très réactif. (Photo: INOBAT)

Question 2: Pourquoi y a-t-il un risque accru d'incendie lors de la manipulation de vieilles batteries au lithium?

Le risque d'incendie dans le flux de retour des anciennes batteries au lithium est dû d'une part, au fait qu'elles contiennent souvent une charge résiduelle considérable (c'est-à-dire une énergie d'allumage) et d'autre part, à la présence d'un électrolyte liquide hautement inflammable ou du

Li métallique combustible. Cette combinaison d'énergie d'allumage et d'inflammabilité peut entraîner une combustion spontanée en cas de manipulation incorrecte mais déjà les liquides qui peuvent s'échapper ne sont pas sans danger. Le lithium contenu dans les batteries Li-métal est très réactif. Son contact avec l'eau conduit, entre autres, à la formation d'hydrogène (H₂) et peut ainsi déclencher des explosions d'oxyhydrogène¹.

Question 3: Quels sont les principaux facteurs de risque à prendre en compte lors d'une manipulation de batterie au lithium?

- Propriétés de la batterie BLi: le risque d'incendie d'une batterie BLi dépend de son état (intact ou défectueux), de sa protection (détachée ou intégrée), de sa capacité (en wattheures) et de sa teneur en Li-métal (en grammes). Voir également question 4.
- Actions mécaniques: Les BLi sont sensibles à la pression. Les BLi et les DEEE contenant des BLi ne doivent donc pas être stockés et transportés en vrac ou être manipulés par des grappins, des pelleteuses, etc. En effet, les cellules des BLi peuvent être exposées pendant le processus d'entassement. Elles ne sont donc pas protégées contre les dommages et les courts-circuits et sont généralement entourées de matériaux inflammables. Les petits conteneurs recommandés par SENS et Swico sont les mieux adaptés pour leur manipulation. Lors du démontage, les cellules «pouch» à la paroi fragile (par exemple dans les téléphones mobiles) sont endommagées particulièrement rapidement.
- Conditions météorologiques: La chaleur, due par exemple au rayonnement du soleil, peut provoquer des températures supérieures à 60 °C, ce qui peut entraîner la fuite de gaz inflammables, l'incendie de la cellule et même un «emballement thermique». En outre, les batteries Li-métal réagissent au contact de l'eau. Pour ces raisons, il est primordial de protéger les BLi contre les intempéries.
- Courts-circuits: En cas de stockage dans des fûts en acier, les revêtements en plastique empêchent les courts-circuits avec le fût. Les courts-circuits doivent également être évités entre les batteries elles-mêmes (voir question 8). Attention: même les batteries tampons et de secours, qui sont exemptées de l'ADR, peuvent provoquer un court-circuit avec leur boîtier métallique si elles sont empilées une fois démontées.

Question 4: À quoi reconnaît-on les BLi susceptibles de provoquer un incendie?

Les BLi présentent un risque particulièrement accru d'incendie lorsqu'elles sont défectueuses. Les batteries défectueuses s'identifient par une éventuelle déformation du boîtier (gonflé), une fuite de liquide (odeur de gaz solvant), à une augmentation de la température, voir illustration. Les BLi sont également toujours à considérer comme dangereuses si elles ont une masse élevée ou stockent beaucoup d'énergie. À titre informatif, les limites d'exemption de l'ADR pour les BLi s'appliquent aux BLi <500g ou avec <2g de Li, ou avec un contenu énergétique <100Wh.



Le risque d'incendie est particulièrement élevé avec les batteries lithium défectueuses. (Photo: INOBAT)

Question 5: Que faire d'une vieille batterie que l'on soupçonne d'être dangereuse?

Toute batterie au lithium jugée suspecte doit être isolée dans un conteneur approprié et fermé (voir question 8). Une fois isolée, elle doit être stockée à l'abri des intempéries, aussi loin que possible des matériaux inflammables et des sorties de secours. Idéalement, la batterie suspecte doit être complètement déchargée sur place. Au moins pour une décharge partielle, les batteries peuvent être baignées dans l'eau du robinet ou dans l'eau salée pendant plusieurs jours.

¹ ↗ https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Publikationen/Lithiumbatterien_SicherheitsratgeberMaehliiss_2016.pdf

10 Risque d'incendie des batteries au lithium

La décharge ne fonctionne que s'il n'y a pas de système de gestion de la batterie (par exemple, chez les batteries de vélo). L'eau ne doit pas être utilisée avec les batteries Li-métal.

➤ [Inobat](#) fournit un numéro d'urgence pour les BLi suspectées d'être défectueuses et collecte les batteries dangereuses si nécessaire.

Question 6: Globalement, comment peut-on se protéger contre les incendies provoqués par les batteries au lithium?

Il est recommandé aux établissements qui sont fréquemment en contact avec des BLi ou des DEEE contenant des BLi potentiellement défectueux d'élaborer et de mettre en œuvre un plan de stockage, de sécurité et d'urgence en collaboration avec des experts. Il s'agit notamment de vérifier que le matériel nécessaire à l'extinction d'un incendie est disponible et en état de marche. Pour identifier correctement une BLi suspecte ainsi que pour manipuler correctement ces batteries au cours du stockage, du tri, du démontage et du transport, il est essentiel que les employés soient sensibilisés et formés. Dans ce sens, des formations et des exercices d'incendie répétés sont très utiles. C'est surtout dans les ateliers de démontage que l'assurance qualité est essentielle. Les technologies telles que les détecteurs d'incendie ou les caméras thermiques sont également précieuses.

Question 7: Si un incendie se déclare, à quoi faut-il faire attention en attendant l'arrivée des pompiers?

En cas d'incendie, il est important de mettre en œuvre correctement le plan d'urgence. Si cela est prévu, les BLi en combustion ou les DEEE qui en contiennent doivent être espacés et isolés. Il faut savoir que le lithium peut brûler avec un décalage considérable et par intermittence. Pourquoi? La construction avec plusieurs cellules, leur inertie thermique et le développement incertain de courts-circuits à l'intérieur de la cellule. Outre la fumée en cas d'incendie, l'électrolyte qui s'évapore ou se vaporise (vapeur blanche) d'une BLi surchauffée mais non brûlante est également dangereux. Il faut être très prudent, car il contient des substances toxiques pour l'homme et l'environnement, et il peut notamment entraîner la formation d'acide fluorhydrique.



Fûts INOBAT pour un stockage et une élimination sûrs
(Photo: INOBAT)

Question 8: Où entreposer des batteries au lithium?

Pour le stockage des BLi, Inobat recommande l'utilisation de fûts en acier Inobat avec une protection intérieure en plastique et de la vermiculite (voir illustration). La vermiculite assure une protection contre le feu, une isolation thermique, un espacement entre les batteries (évite les courts-circuits) et une plus grande stabilité pendant le transport. Si possible, il vaut mieux masquer ou protéger les pôles de la batterie avant de l'entreposer. Le couvercle du fût doit toujours être fermé avec l'anneau de serrage. Les fûts ne doivent pas être empilés, car l'excès de pression qui s'échappe serait accumulé et les fûts situés au-dessus pourraient surchauffer.



À l'avenir, comment traiter les condensateurs sans PCB?

Daniel Savi

Comme déjà indiqué dans le rapport technique 2019, même les condensateurs sans PCB contiennent des liquides qui peuvent être dangereux pour l'environnement ou pour la santé. Au total, 18 substances préoccupantes ont été trouvées et leurs propriétés ont ensuite été clarifiées de manière plus détaillée. Cette recherche a conduit, d'une part, à une évaluation des méthodes d'élimination appropriées pour ces substances et, d'autre part, à une liste de substances préoccupantes qui pourraient servir de substances cibles pour l'échantillonnage.

Cinq substances et un groupe de substances ont été identifiés comme des potentielles substances cibles.

Parmi les substances préoccupantes, cinq substances et un groupe de substances ont été identifiés comme étant plus critiques pour l'environnement que les autres. Celles-ci pourraient être utilisées pour l'échantillonnage et pour l'analyse chimique des fractions après traitement mécanique. Il s'agit des substances suivantes:

- N-Méthyl-2-pyrrolidone: substance totalement miscible dans l'eau, elle fait partie des substances préoccupantes dans les condensateurs.
- Phénol: est la substance préoccupante la plus toxique pour les rats. Le produit de décomposition, le catéchol, est cancérigène.
- 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl: donne des indications relatives à la bioaccumulation de la substance. La proportion du mélange liquide dans les condensateurs de micro-ondes peut être élevée, dans l'analyse en laboratoire elle a été déterminée à 80%. Cependant, la qualité de cette détermination n'était que moyenne. Il n'est donc pas tout à fait clair si la substance a été déterminée correctement. En outre, les propriétés des substances ne sont pratiquement pas connues, ce qui rend impossible une évaluation plus approfondie de l'impact environnemental.

- 2,6-diisopropylnaphtalène: il existe également des preuves de la tendance de cette substance à la bioaccumulation. Ses propriétés sont très peu connues. Le 2,6-diisopropylnaphtalène est un composant du mélange d'isomères des diisopropylnaphtalènes (DIPN).
- Benzyltoluène: ce mélange de p-, m- et o-benzyltoluène est très toxique pour les organismes aquatiques et se dégrade très lentement dans l'environnement.
- Quatre substances appartiennent au groupe des naphtalènes (voir tableau à droite): ceux-ci sont très toxiques pour les poissons et, selon les estimations du modèle, ne sont pas rapidement biodégradables. Le naphtalène (n° CAS 91-20-3) est également probablement cancérigène.

Désignation de la substance	Numéro CAS	Type de condensateur
Benzyltoluène	27776-01-8	micro-ondes cylindrique non polarisé
Naphtalène		cylindrique non polarisé
Naphtalène	91-20-3	
1-chloronaphtalène	90-13-1	
1-méthylnaphtalène	90-12-0	
2-méthylnaphtalène	91-57-6	
2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl	3075-84-1	micro-ondes
2,6-diisopropylnaphtalène	24157-81-1	micro-ondes
N-Méthyl-2-pyrrolidone	872-50-4	Elko
Phénol	108-95-2	Elko

Ce tableau énumère les substances préoccupantes présentant des propriétés d'écotoxicité particulièrement frappantes. Elles pourraient être utilisées comme substances cibles pour une stratégie d'essai dans le domaine du recyclage.

Ces substances préoccupantes peuvent être détruites dans une usine d'incinération si elles sont suffisamment décomposées.

Outre la question de l'effet des substances préoccupantes sur l'environnement, leur capacité de destruction dans les processus d'élimination a également été examinée plus en détail. Dans un premier temps, des recherches ont été menées sur les propriétés pertinentes des substances telles que la température d'inflammation, le point d'ébullition ou la pression de vapeur. Dans un deuxième temps, il a été demandé aux opérateurs de l'usine d'incinération KEZO à Hinwil d'évaluer la capacité de destruction des substances en usine d'incinération. Par exemple, deux des substances mentionnées ci-dessus ont des propriétés qui indiquent une assez bonne capacité de destruction dans une combustion: La N-Méthyl-2-pyrrolidone a un point d'inflammation de 265 °C, le phénol devient gazeux à 182 °C et à partir de 80 °C, un mélange gazeux inflammable se forme au-dessus de la substance pure. Les points d'inflammation de toutes les substances préoccupantes se situaient entre 58 et 263 °C, ce qui est inférieur à la température de combustion dans une usine d'incinération. Il faut cependant mentionner que les propriétés des substances n'ont pas pu être déterminées pour toutes les substances concernées. Certaines substances sont très peu documentées. Les conclusions tirées ici ne font que refléter l'état actuel de nos connaissances limitées sur les effets environnementaux des

substances préoccupantes. C'est d'ailleurs toujours le cas lorsqu'il s'agit du comportement des substances dans l'environnement.

L'évaluation des usines d'incinération interrogées était conforme aux résultats de l'analyse documentaire: si les substances sont présentes sous une forme désintégrée et facilement combustible, et qu'elles sont également présentes en faibles concentrations sur une fraction combustible, alors c'est bien dans une usine d'incinération qu'il faut les détruire.

En ce qui concerne le recyclage des plastiques, il existe un potentiel de transfert de substances préoccupantes provenant des condensateurs. Il ne faut pas oublier que les plastiques contiennent également de nombreux additifs. Certaines des substances préoccupantes sont utilisées comme plastifiants dans les plastiques, d'autres comme solvants dans la production de plastiques. Toute une série de questions se posent donc quant à l'effet des substances préoccupantes provenant des condensateurs sur le recyclage des plastiques. Quelles substances préoccupantes sont également utilisées dans les plastiques? Quelles substances préoccupantes sont de toute façon évacuées lors du recyclage des plastiques? Quelles substances préoccupantes sont détruites lors du recyclage des plastiques? Cette voie de recyclage doit donc être étudiée davantage.



11 Substances polluantes des condensateurs

Les condensateurs contenant des PCB et les condensateurs à micro-ondes sont particulièrement critiques.

Un certain nombre de conclusions peuvent être tirées de plusieurs années de recherche sur les fluides dans les condensateurs: on trouve encore des condensateurs contenant des PCB, notamment dans les luminaires et les gros appareils ménagers (↗ voir [Rapport technique 2020](#)). Ils doivent être retirés de l'appareil avant tout traitement mécanique. Parmi les condensateurs sans PCB, ce sont les condensateurs micro-ondes qui contiennent de loin la plus grande quantité de substances préoccupantes. Ils perdent leur liquide rapidement et complètement lorsqu'ils sont abîmés. Les condensateurs à micro-ondes doivent également être retirés des appareils avant leur traitement mécanique. Pour les condensateurs cylindriques non polarisés sans PCB et les condensateurs électrolytiques, la séparation lors du traitement mécanique avec tri ultérieur est concevable si les condensateurs ne sont pas endommagés trop sévèrement et trop fréquemment au cours du processus. Des essais ont été effectués pour estimer le taux de rupture lors du traitement sur la base de calculs de modèles pour de petits appareils SENS. Cependant, vu que les données sur la proportion de condensateurs dans les appareils manquent toujours, les résultats sont très incertains. On peut toutefois d'ores et déjà affirmer que des taux de rupture de l'ordre de quelques pourcentages à deux chiffres sont tolérables.

Le tableau sur la page de droite énumère les 18 substances préoccupantes trouvées dans les condensateurs sans PCB. Les types de condensateurs suivent la classification actuellement en vigueur dans le recyclage. Les «cylindriques non polarisés» sont de grands condensateurs de plus de 2,5 cm, comme ceux que l'on trouve souvent dans les machines à laver. Les condensateurs «micro-ondes» sont de grands condensateurs non polarisés aux côtés ronds et étroits typiques des micro-ondes. Les «Elkos» sont des condensateurs électrolytiques cylindriques utilisés, par exemple, sur les cartes de circuits imprimés et dans les blocs d'alimentation.



Comme le montre le démontage, le condensateur micro-ondes est un condensateur fortement imprégné

Désignation chimique	Numéro CAS	Type de condensateur
1-Chloronaphtalène (naphtalènes chlorés)	90-13-1	cylindrique non polarisé
1-méthylnaphtalène	90-12-0	cylindrique non polarisé
1-méthoxy-2-nitrobenzène/2-nitroanisole	91-23-6	Elko
2-méthylnaphtalène	91-57-6	cylindrique non polarisé
2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl	3075-84-1	micro-ondes
2,6-diisopropylnaphtalène	24157-81-1	micro-ondes
Benzyltoluène	27776-01-8	cylindrique non polarisé, micro-ondes
Acide borique	11113-50-1	Elko
hydroxyanisole butylé	25013-16-5	cylindrique non polarisé
Di-p-tolyl-methan	4957-14-6	micro-ondes
phtalate de dibutyle	84-74-2	cylindrique non polarisé
Phtalate de di-2-éthylhexyle	117-81-7	cylindrique non polarisé
phtalate de diisobutyle	84-69-5	cylindrique non polarisé
Diméthylacétamide	127-19-5	Elko
N, N-diméthylformamide	68-12-2	Elko
N-Méthyl-2-pyrrolidone	872-50-4	Elko
Naphtalène	91-20-3	cylindrique non polarisé
Phénol	108-95-2	Elko

Sources

- Daniel Savi, Ueli Kasser, Rolf Widmer (2020) Flüssigkeiten in Kondensatoren, Bestimmung von Flüssigkeiten in elektrischen Kondensatoren, Definition bedenklicher Stoffe, Verhalten im Recyclingprozess [Liquides dans les condensateurs, détermination des liquides dans les condensateurs électriques, définition des substances préoccupantes, réaction dans le processus de recyclage], Rapport final, Fondation SENS, Swico Recycling, Zurich

PCB provenant des DEEE toujours sous observation

Stefanie Conrad

Les PCB restent un sujet important pour la CT de SENS/Swico. Même de petites quantités de PCB dans l'environnement peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire, causant des dommages importants à la santé et des impacts environnementaux.

Les parts de PCB et les charges de PCB sont un sujet omniprésent dans la CT SENS/Swico et dans les audits. Dans cet article, nous souhaitons rappeler les propriétés, les applications et les effets des PCB, qui montrent combien il est important aujourd'hui d'éliminer correctement les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) contenant des PCB.

Les polychlorobiphényles (PCB) forment un groupe de divers hydrocarbures chlorés qui présentent une grande stabilité thermique, chimique et biologique, sont ignifuges et non conducteurs d'électricité. Parce que les PCB sont persistants, s'évaporent facilement et sont toxiques même en très petites quantités, ils restent encore aujourd'hui un défi dans le recyclage des DEEE.

Bien que les PCB soient interdits en Suisse depuis 1986, leurs niveaux continuent d'être mesurés dans les fractions issues du recyclage des DEEE, car on trouve encore de petits condensateurs contenant des PCB dans les ballasts pour rampes lumineuses et dans les gros appareils électroménagers ayant une longue durée de vie. Outre leur utilisation comme fluides isolants et comme fluides de refroidissement ou diélectriques dans les transformateurs et les condensateurs électriques, les PCB ont également été utilisés comme plastifiants dans les mastics, les peintures et les vernis ou comme protection contre la corrosion et les joints.

Les PCB continuent aujourd'hui à pénétrer dans l'environnement par le biais d'une élimination inappropriée de PCB provenant d'anciennes applications, de fuites dans les décharges ou de l'évaporation. Ils y restent ensuite pendant des années et s'accumulent dans la chaîne alimentaire. L'homme absorbe les PCB principalement par l'alimentation, et même des niveaux très faibles peuvent avoir des effets chroniques nocifs. Les PCB causent des dommages au foie, à la rate et aux reins et affaiblissent le système immunitaire. Ils sont soupçonnés d'être cancérogènes, d'affecter l'équilibre hormonal et de provoquer des malformations chez les nouveau-nés.

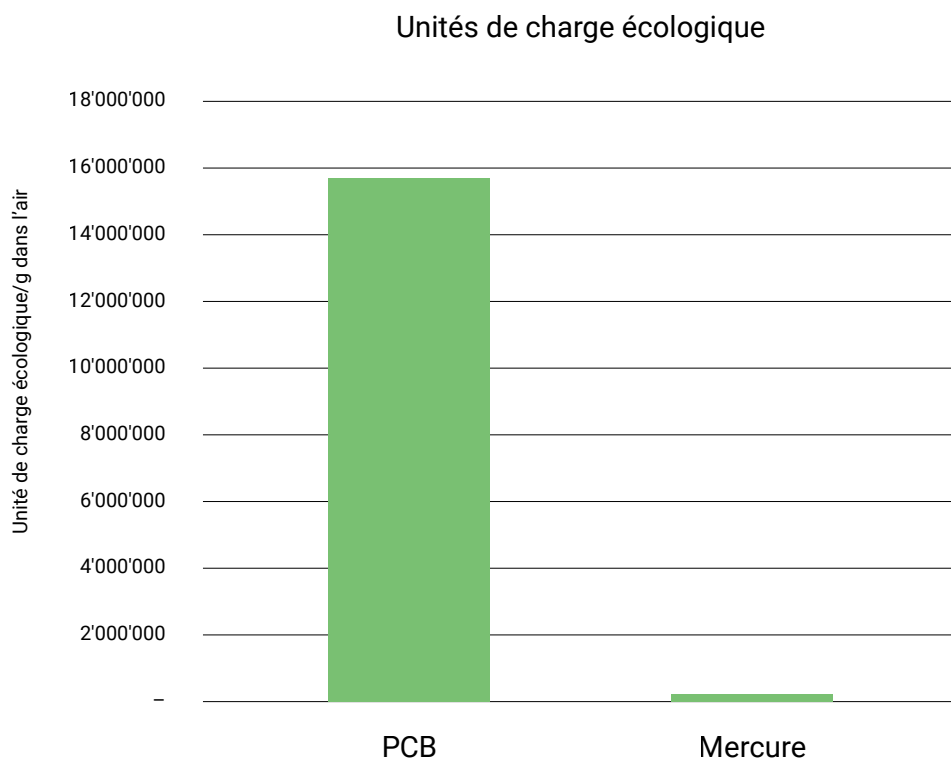


Figure 1: effets sur l'environnement de 1 g de PCB et 1 g de Hg en UCE/g passant dans l'air.

Pour illustrer l'impact environnemental des PCB, la méthode de la saturation écologique¹ a été utilisée pour calculer les unités de charge écologique de 1 g de PCB et de 1 g de mercure (Hg) rejetés dans l'environnement.

La figure 1 montre l'empreinte environnementale de 1 g de PCB, environ 75 fois plus élevée que l'empreinte environnementale de 1 g de Hg.

En supposant qu'un condensateur contienne environ 10 g de PCB purs, un seul condensateur négligé dans le processus de dépollution aurait une empreinte environnementale de plus de 150 millions d'UCE. Cela correspond à un voyage en voiture (avec une charge moyenne) de près de 500 000 km, soit près de 12 fois le tour de la terre. Ces chiffres montrent clairement l'impact des PCB et le fait que même de petites quantités de PCB ont un impact significatif sur les humains et l'environnement.

¹ La méthode de la saturation écologique évalue de nombreuses incidences sur l'environnement et les résume par agrégation complète en un indicateur, appelé unité de charge écologique (UCE).

Nouvelles réglementations internationales relatives aux matières plastiques

Andreas Bill et Heinz Boni

Les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) contiennent 30 à 40% de plastiques techniques tels que l'ABS, le HIPS, le PC/ABS, le PP et le PS. Les processus de recyclage produisent des mélanges de plastiques qui sont séparés en polymères individuels par les repreneurs étrangers. Les plastiques contenant des substances particulièrement nocives sont séparés et valorisés thermiquement, tandis que les plastiques restants sont réutilisés comme granulés plastiques dans de nouveaux produits. L'année dernière, un certain nombre de réglementations relatives à la teneur en polluants et au transport international ont été renforcées, et celles-ci s'appliquent également aux entreprises suisses de recyclage.

Remaniement de la réglementation européenne sur les POP

La mise en œuvre de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, également connue sous le nom de convention de Stockholm ou convention POP, est assurée au sein de l'UE par le règlement POP du 24 avril 2004. Elle définit les règles de fabrication, de mise sur le marché et d'utilisation des substances énumérées dans la convention de Stockholm. Le 15 juillet 2019, une nouvelle version du règlement sur les POP est entrée en vigueur, entraînant une innovation importante pour l'industrie du recyclage des DEEE: pour le recyclage des déchets contenant des éthers diphenyliques polybromés (PBDE), c'est-à-dire des produits chimiques contenant du brome qui étaient utilisés notamment comme retardateurs de flamme dans les plastiques, une valeur limite globale de 1000 mg/kg s'applique désormais. Cela signifie que les fractions plastiques issues du recyclage des DEEE ne peuvent être recyclées que si l'on peut garantir que la fraction massique des PBDE est inférieure à 1000 mg/kg. Auparavant, des limites individuelles de 1000 mg/kg étaient en vigueur pour chacune des substances tétra-, penta-, hexa- et hepta-BDE, tandis qu'aucune restriction ne s'appliquait au déca-BDE, plus couramment utilisé. Conformément à l'article 15 du nouveau règlement sur les POP, une décision doit également être prise d'ici le 16 juillet 2021

pour savoir si la valeur limite globale de 1000 mg/kg pour les PBDE doit rester en place ou être éventuellement réduite à 500 mg/kg.

Nouvelles règles de la Convention de Bâle

Jusqu'en 2018, les déchets plastiques d'Europe et d'Amérique étaient majoritairement exportés vers la Chine. Mais lorsque la Chine a interdit l'importation de ces déchets plastiques en mars 2018, d'importants goulets d'étranglement en termes de capacité sont apparus. Ils ont été absorbés par les pays en développement et émergents d'Asie du Sud-Est. Afin d'éviter que les déchets plastiques difficilement recyclables ou contaminés n'entrent dans ces circuits, une nouvelle réglementation des mouvements transfrontaliers de déchets plastiques a alors été créée au sein de la Convention de Bâle à l'initiative de la Norvège. Elle est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2021. Selon cette nouvelle réglementation, seules les fractions de plastique composées d'un seul polymère non halogéné et ne contenant aucune substance étrangère pertinente peuvent être exportées sans contrôles supplémentaires. En outre, l'exportation de mélanges de PE, PP et PET qui ne contiennent aucune substance étrangère ou nocive reste autorisée. Le niveau de pureté requis pour ces fractions est encore en discussion. L'UE propose une teneur en impuretés de 2% comme seuil de tolérance. Pour l'exportation d'autres fractions de

plastique mélangées ou contaminées, la procédure «Prior Informed Consent (PIC)» s'applique désormais. Cela signifie qu'un envoi de ces fractions de plastique entre deux nations qui ont ratifié la Convention de Bâle doit être notifié aux autorités du pays de destination et ne peut quitter le pays exportateur avant que l'autorisation correspondante n'ait été délivrée. Pour les pays qui ont également ratifié le Ban Amendement (y compris la Suisse et l'UE), les exportations de ces fractions de plastique des pays de l'OCDE vers les pays non-OCDE sont également interdites.

Qu'est-ce qui va changer pour le recyclage des DEEE en Suisse?

Les nouvelles règles de l'ordonnance sur les POP et de la Convention de Bâle ont également des répercussions sur le recyclage des fractions de plastique chez les recycleurs suisses de DEEE. Une partie importante des fractions de matières plastiques issues du traitement des DEEE en Suisse est recyclée dans les pays voisins par des recycleurs spécialisés dans les plastiques des DEEE. Ceux-ci disposent des procédés nécessaires pour séparer les plastiques bromés et peuvent généralement respecter sans problème la valeur limite actuelle de 1000 mg/kg de PBDE. Toutefois, l'impact d'une éventuelle nouvelle

réduction de cette limite à 500 mg/kg en juillet de cette année n'est pas clair. En raison des nouvelles règles de la Convention de Bâle, les plastiques qui sont recyclés à l'étranger sont également soumis à la procédure PIC. Bien que cela n'empêche pas le recyclage des fractions plastiques issues du traitement des DEEE, cela entraîne une charge administrative supplémentaire, rendant encore plus difficile le recyclage des plastiques qui n'est de toute façon pas très lucratif en raison des faibles prix des plastiques primaires.

Implication de Swico et de SENS

Swico et SENS sont membres du WEEE Forum¹ qui suit activement ces évolutions au niveau international au sein d'un groupe de travail sur les plastiques. Des représentants de la CT Swico/SENS participent régulièrement aux réunions virtuelles de ce groupe de travail et soutiennent le Forum WEEE, en particulier pour les questions techniques, en apportant leur savoir-faire et un grand nombre de données, qui ont été compilées dans des études antérieures sur les retardateurs de flamme bromés et leur surveillance. Cela permet à Swico et à SENS de contribuer activement aux avis du Forum WEEE sur ces évolutions internationales.



➤ **Convention de Bâle:** la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination a été adoptée par la Conférence des plénipotentiaires à Bâle, en Suisse, le 22 mars 1989, en réponse à un tollé général après la découverte, dans les années 1980, de gisements de déchets toxiques importés de l'étranger en Afrique et dans d'autres parties du tiers monde. Actuellement, 188 nations ont ratifié la Convention de Bâle.



➤ **Convention de Stockholm:** la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants est un traité international visant à protéger la santé humaine et l'environnement contre les substances chimiques qui persistent dans l'environnement sur de longues périodes, se dispersent largement sur le plan géographique, s'accumulent dans les tissus adipeux des humains et de la faune et ont des effets néfastes sur la santé humaine ou sur l'environnement. La Convention a été adoptée par la Conférence des plénipotentiaires à Stockholm, Suède, le 22 mai 2001 et est entrée en vigueur le 17 mai 2004. Actuellement, 184 nations ont ratifié la Convention de Stockholm.

¹ Le Forum WEEE est l'association internationale des systèmes de reprise des DEEE.



Le pape du recyclage des réfrigérateurs prend sa retraite

Roman Eppenberger

À la fin de l'année 2020, le Dr Erhard Hug, dit Geri Hug, a annoncé mettre fin à son long mandat de conseiller technique auprès de la commission de contrôle technique de SENS et de Swico. Avec Geri Hug, c'est une personnalité qui a marqué le développement du recyclage des réfrigérateurs depuis la toute première heure qui quitte l'équipe de la CT SENS. SENS et Swico profitent de l'occasion qui leur est donnée ici pour remercier Geri Hug pour cette collaboration fructueuse.

Geri Hug est le pape du recyclage des réfrigérateurs en Suisse et l'une des rares sommités du recyclage des réfrigérateurs dans le monde. Basé en Suisse, il était aussi constamment en déplacement en Europe et dans le monde entier. Tout a commencé par une demande du directeur général de SENS de l'époque, le Dr Robert Hediger (†), concernant la mise en place d'un modèle de recyclage des appareils de réfrigération. Avec l'émergence du problème de la diminution de la couche d'ozone, l'élimination contrôlée des équipements de réfrigération contenant des CFC était devenue pertinente. Avec son doctorat, Geri était la personne tout indiquée pour cette thématique. Plein d'enthousiasme, il s'est emparé du sujet et a mis au point un modèle d'enquête sur la qualité du recyclage des réfrigérateurs. Ce savoir-faire accumulé est désormais intégré dans la norme EN50625-x et perdure en tant que norme industrielle.

Soutenir l'amélioration continue plutôt qu'uniquement le contrôle

Geri Hug a toujours eu à cœur de soutenir les entreprises de recyclage dans leurs efforts non seulement pour atteindre la conformité, mais aussi pour s'améliorer en permanence. En tant qu'auditeur SGS pour la norme ISO14001, il a, pour ainsi dire, la notion d'amélioration continue dans le sang. Face à des interlocuteurs tenaces, il défendait ses valeurs avec conviction, mais il était également prêt à faire des concessions si celles-ci l'aidaient à avancer dans la bonne direction. Christoph Becker (label qualité RAL) et lui ont eu de nombreuses discussions et

tous deux rivalisaient pour le titre du pape du recyclage des réfrigérateurs. Probablement à l'instar de ce qui s'est passé au Moyen Âge, lorsque Constantinople et Rome étaient chacune dirigée par un pape. Il paraîtrait même qu'à la fin, les deux hommes se seraient liés d'amitié.

Ce qui suit est un extrait de la longue histoire du recyclage des réfrigérateurs, que Geri Hug a tant façonnée.

L'histoire de la garantie d'un recyclage respectueux de l'environnement des réfrigérateurs et congélateurs contenant des CFC

Fin 1991, SENS recherchait des experts pour développer des exigences pour le recyclage écologique des réfrigérateurs et des congélateurs. D'une part, il y avait l'ingénieur mécanicien Patrick Hofstetter (Büro für Analyse & Ökologie, aujourd'hui WWF Suisse) qui, dans le cadre de son mémoire de maîtrise, avait établi une analyse du cycle de vie pour la récupération de substances valorisables et nocives, notamment les CFC des réfrigérateurs; d'autre part, le chimiste Erhard Hug (Roos+Partner AG, aujourd'hui IPSO ECO AG), qui avait été chargé par un recycleur de réfrigérateurs et en tant que membre de la fondation SENS, d'évaluer d'autres possibilités de recyclage de la mousse de polyuréthane provenant de l'isolation des réfrigérateurs. Le duo Hofstetter/Hug, mandaté par le directeur général de l'époque, le Dr Robert Hediger (†), avait pour mission de développer un concept d'essai permettant de déterminer les quantités de CFC



Geri Hug
TK SENS, IPSO ECO AG

provenant des circuits frigorifiques avec un mélange d'huile et de CFC (R12) d'une part, et des mousses d'isolation en polyuréthane (mousses PU) avec l'agent gonflant CFC (R11) d'autre part. La combinaison des connaissances sur la composition des réfrigérateurs et congélateurs domestiques retirés du marché, en particulier sur la complexité des mousses PU qu'ils contiennent, a été constructive dès le départ. Lors de la mise en œuvre pratique du concept, il est apparu que la vidange des circuits frigorifiques ne posait guère de problèmes aux installations déjà en service, tandis que certaines installations destinées au traitement des mousses de PU échouaient lamentablement en raison de la complexité de la structure vieillie du PU. À l'époque, SENS avait cinq usines de recyclage sous contrat, dont trois qui exploitaient des installations du type de celles qui ont échoué, lesquelles ont dû être remplacées. Par la suite, le groupe de travail a développé et mis en œuvre une procédure de test de routine pour déterminer les performances en matière de récupération des CFC, et a ainsi continuellement acquis de nouvelles connaissances et expériences.

En 1995, l'Agence fédérale allemande pour l'environnement (UBA) s'est intéressée aux méthodes de test SENS et a finalement publié en 1998 les «Directives pour l'élimination des équipements frigorifiques», juridiquement contraignantes et

«Nous avons eu le plaisir de travailler et d'apprendre à tes côtés pendant plus de 30 ans. Au cours de toutes ces années, nous avons appris à te connaître et à apprécier tes qualités d'auditeur sévère mais juste. Tes solutions constructives et concrètes ont permis de façonner et de développer le processus d'élimination des équipements frigorifiques en Suisse, en Europe et ailleurs dans le monde. Nous garderons en mémoire, notamment, cette visite d'une entreprise d'élimination des déchets en Italie, qui nous avait fièrement présenté son «Hugomat», optimisé par ses soins. Un système qui devrait répondre à tout moment aux besoins d'élimination des réfrigérateurs. Je ne pouvais pas m'imaginer un meilleur éloge qu'une société d'élimination donnant ton nom à ses installations. Nous te souhaitons une retraite bien méritée ainsi que beaucoup de joie à occuper ce temps libre qui t'est désormais accordé.»

Patrik Ganz, Kühlteg AG

fortement orientées vers la norme SENS. Presque en même temps, la RAL-Gütegemeinschaft Rückproduktion von FCKW-haltigen Kühlgeräten e.V. a publié sa norme correspondante (en vigueur depuis 1997), également basée sur les principes SENS. Cette norme était réservée aux membres de la RAL et n'a donc pas été acceptée de manière étendue, mais elle a été adoptée dans la loi autrichienne sur les déchets.

En 2002, le WEEE Forum est fondé. Erhard Hug y a été envoyé en tant que représentant de SENS dans les groupes de travail techniques pour le traitement des DEEE. En raison de la complexité du recyclage des appareils frigorifiques, un groupe de travail plus restreint a été mis en place, avec Erhard Hug comme expert technique sur le sujet. La norme SENS pour le traitement final des appareils CFC (aujourd'hui appareils VFC, fluorocarbures volatils) a ainsi été portée à la connaissance de toutes les organisations membres participantes lors de réunions qui se sont déroulées sur plusieurs années.

En outre, Erhard Hug a pu prouver la faisabilité des exigences de la norme pour divers clients européens dans un total de 14 usines réparties dans sept pays européens jusqu'en 2006. Jusqu'alors, seuls les appareils contenant des VFC devaient être fournis pour les tests de performance, ce qui a été rendu plus difficile par



14 Départ de Geri Hug

le mélange croissant avec des appareils contenant des mousses VHC (hydrocarbures volatils). Afin d'éviter de trier les appareils, la méthodologie originale de SENS a été étendue par Erhard Hug et Niklaus Renner (tous deux de IPSO ECO AG) avec des valeurs de recyclage VFC et VHC. Cela a permis d'évaluer les performances des systèmes comportant des dispositifs mixtes VFC et VHC en fonctionnement normal.

Ce concept a rapidement fait l'objet d'une forte opposition, car on estimait que les équipements VHC ne contenaient ni réfrigérants ni agents propulseurs à fort potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone et qu'ils n'avaient donc plus besoin d'être traités par les équipements encapsulés. Ce point de vue a été adopté par l'ensemble du secteur en Europe (EERA, WEEE Forum et CECED) dans une norme commune exclusivement consacrée aux appareils VHC en 2006, qui a été décrite comme un succès au sein des institutions européennes. La publication d'une norme correspondante pour les équipements VFC a suivi fin 2007.

Le projet WEEELABEX, co-initié par SENS, au sein du Forum WEEE, a montré aux fabricants allemands en particulier que sans système de reprise, leur pays était à la traîne en matière de recyclage. Bosch Household Appliances a rapidement mis sur pied un groupe de travail chargé d'élaborer une norme européenne CENELEC pour le recyclage des réfrigérateurs et des congélateurs. Les premières discussions préliminaires ont eu lieu dans un petit groupe de travail à Munich, avec Jan Bellenberg (B/S/H), Christoph Becker (RAL) et Erhard Hug (SENS). En janvier 2009, les travaux du Comité Technique 111X WG 4 du CENELEC ont officiellement commencé. Cela devait devenir une occasion pour M. Hug et M. Becker de convaincre l'ensemble du secteur, notamment les fabricants de réfrigérateurs et de congélateurs, que le tri des appareils VFC et VHC dans des canaux différents détruirait la qualité atteinte des canaux VFC existants, ce qui était en contradiction avec la responsabilité des producteurs inscrite dans la loi.

Dans le cadre de ce travail, Erhard Hug et Niklaus Renner ont pu rédiger des descriptions mathématiques de l'ensemble des procédures de test et d'évaluation pour les tests des niveaux 1 et 2 à

partir des formules d'évaluation et de calcul Excel développées pour SENS. Pendant cette période, Erhard Hug a dirigé la première formation d'auditeurs en 2010 à Isernia, en Italie, pour les futurs auditeurs WEEELABEX de toute l'Europe.

Le résultat du WG 4 du TC 111X a été publié dans la norme CENELEC EN 50574 en 2012.

Les exigences qui y étaient formulées étaient si strictes que les projets de triage des dispositifs VFC et VHC ont été rapidement écartés.

Dans le cadre d'un mandat de l'UE au CENELEC, cette norme a été étendue et republiée en 2017 pour correspondre à la systématique de la série de normes EN 50625-x.

Pendant toute la durée de son engagement, de 1991 jusqu'à sa retraite en 2019, Erhard Hug a non seulement supervisé les recycleurs de réfrigérateurs et de congélateurs, mais aussi la majorité des recycleurs de sources lumineuses et de gros appareils électroménagers en Suisse alémanique.

En Suisse, Erhard Hug avait la réputation d'être un contrôleur sévère mais juste, qui était également prêt à accorder aux recycleurs le temps nécessaire pour effectuer des réparations, des ajustements et des extensions. À cet égard, non seulement les recycleurs, mais aussi leurs fournisseurs ont été mis au défi à plusieurs reprises de présenter des solutions techniques efficaces.

Il était également souvent chargé par les recycleurs de les guider lors de l'achat de nouveaux équipements dans le but d'informer les fournisseurs dès le début des exigences strictes. Cela a permis d'éviter, comme en 1990, l'acquisition de systèmes qui n'étaient manifestement pas en mesure de répondre aux exigences.

SENS et Swico profitent de ce rapport technique pour remercier officiellement Geri Hug pour son précieux travail et lui souhaiter une multitude d'expériences enrichissantes au cours de cette nouvelle tranche de vie.



Rédactrices et rédacteurs



Anahide Bondolfi
CT Sens, Abeco Sàrl

Anahide Bondolfi est titulaire d'un bachelor en biologie et d'un master en sciences de l'environnement de l'Université de Lausanne. Elle débute son activité dans le secteur des déchets électriques en 2006, pendant son travail de master

effectué en Afrique du Sud, en collaboration avec l'Empa. Elle travaille ensuite pendant près de dix ans comme conseillère environnementale et cheffe de projet dans deux entreprises suisses de conseil environnemental, tout d'abord chez LeBird à Prilly, puis chez Sofies à Genève. En janvier 2017, elle fonde la société Abeco Sàrl. Elle est membre de la commission technique Swico/SENS depuis 2015. Elle réalise près de la moitié des audits des entreprises de démontage de Swico et SENS. Depuis 2016, Anahide Bondolfi audite également plusieurs recycleurs et centres de collecte SENS.



Heinz Boni
Directeur de l'organisme d'évaluation de la conformité Swico Série de normes EN 50625, Empa

Après avoir obtenu son diplôme d'ingénieur en génie rural à l'EPF de Zurich et terminé ses études post-grade en aménagement des cours d'eau et protection des eaux

(EAWAG/EPF), Heinz Boni devient collaborateur scientifique de l'EAWAG Dübendorf. Chef de projet à l'institut ORL de l'EPF de Zurich et à l'UNICEF au Népal, Heinz Boni reprend plus tard la direction de la société Büro für Kies und Abfall AG à Saint-Gall. Il est ensuite pendant plusieurs années copropriétaire et directeur de la société Ecopartner GmbH à Saint-Gall. Depuis 2001, il travaille à l'Empa, où il dirige le groupe CARE (Critical Materials and Resource Efficiency). Depuis 2007, il est expert de l'organe de contrôle de Swico et depuis 2009, chef du département de contrôle technique de Swico Recycling.



Stefanie Conrad
CT SENS, Carbotech AG

Stefanie Conrad est titulaire d'un master en sciences de l'environnement à l'EPF de Zurich, avec une spécialisation en biogéochimie et en dynamique des polluants. Elle a ensuite travaillé sur des projets environnementaux en se

concentrant sur l'assainissement et la décontamination des sites pollués, les contaminants des bâtiments et la diligence raisonnable en matière d'environnement. Depuis 2020, elle travaille au sein du département de conseil environnemental de Carbotech AG dans le domaine des analyses de cycle de vie et des audits et, depuis janvier 2021, elle est membre de la CT SENS/Swico et auditrice pour les entreprises de démantèlement et les points de collecte de SENS et Swico.



Flora Conte
CT SENS, Carbotech AG

Flora Conte est titulaire d'un master en sciences de l'environnement à l'EPF de Zurich, avec une spécialisation en biogéochimie et en dynamique des polluants. Depuis 2013, elle travaille au département de conseil environnemental de

l'entreprise Carbotech AG. Elle mène différents projets sur le plan national et international dans les domaines des énergies renouvelables, du recyclage ou de l'entrepreneuriat. Depuis 2015, elle est membre de la CT SENS/Swico et auditrice pour les ateliers de démontage et les centres de collecte de SENS et de Swico. Flora Conte audite les recycleurs SENS depuis 2016. En plus d'être consultante en environnement, elle est également impliquée dans une organisation non gouvernementale pour l'accès à l'énergie solaire dans les pays en développement.



Roman Eppenberger
Responsable Contrôle technique SENS, Responsable Technologie et Qualité chez SENS

Roman Eppenberger est titulaire d'un diplôme d'ingénieur électricien à l'EPF de Zurich. Tout en travaillant, il suit une formation post-grade pour obtenir un diplôme d'Executive

MBA à la Haute École spécialisée de la Suisse orientale. Il fait ses premières expériences dans l'industrie en tant qu'ingénieur et chef de projet dans la robotique médicale et pharmaceutique. En tant que chef de produit, il passe au secteur Contactless de la société Legic (Kaba), où il est responsable des achats à l'international des produits semi-conducteurs. Depuis 2012, Roman Eppenberger est membre de la direction de la Fondation SENS et dirige le secteur Technologie et qualité. C'est dans cette fonction qu'il coordonne la CT SENS/Swico en collaboration avec Heinz Boni.



Michael Gasser
CT Swico, Michael Gasser Consulting

Michael Gasser est titulaire d'un master en sciences de l'environnement à l'EPF de Zurich. Il a commencé à travailler sur les déchets électroniques en 2014 pour un projet de l'Empa en Inde, où il a ensuite également travaillé pour

la CT Swico en tant qu'auditeur et a soutenu et géré divers projets dans le domaine du recyclage. Son expertise englobe en particulier la mise en place et la surveillance de systèmes de recyclage en Suisse et dans les pays émergents et en développement, ainsi que la valorisation des matières plastiques. Depuis 2021, Michael Gasser continue à effectuer les contrôles annuels des flux de matériaux en tant que consultant indépendant.



Roger Gnos
Contrôle technique, responsable des marchandises dangereuses Swico et membre de la CT

L'implication de Roger Gnos dans la filière du recyclage remonte à 1991. Il a donc vécu et participé activement au développement du recyclage des appareils électriques

usagés. Pendant près de 20 ans, il a occupé le poste de directeur d'usine dans une entreprise de traitement des déchets électroniques et, depuis 10 ans, il est chargé du conseil des points de collecte de Swico Recycling. En 2019, il a travaillé au lancement du fonds d'innovation Swico et occupe depuis le poste de président du conseil consultatif. Il est fasciné par la technique, mais également par les gens qui rendent possible l'activité du recyclage.



Daniel Savi
CT SENS, Büro für Umweltchemie

Daniel Savi a obtenu son diplôme d'ingénieur en environnement à l'EPF de Zurich. Après ses études, il travaille chez SENS en tant que responsable de la division Centres de collecte puis en tant que responsable de l'assurance qualité.

Sept années plus tard, il intègre le Büro für Umweltchemie (bureau pour la chimie environnementale) en sa qualité de collaborateur scientifique. Depuis 2015, il est copropriétaire et directeur de la société Büro für Umweltchemie GmbH. Il s'occupe des risques sanitaires et des effets des activités de construction et de la valorisation des déchets sur l'environnement.



Charles Marmy
Organisme d'évaluation de la conformité Swico Série de normes EN 50625, Empa

Une fois ses études en sciences et ingénierie de l'environnement à l'EPFL terminées, Charles Marmy débute sa carrière d'ingénieur en 2016, dans un bureau d'ingénieurs-conseils en Suisse Romande. Au sein de cette

entreprise, il travaille comme collaborateur puis chef de projet sur plusieurs thématiques environnementales, parmi lesquelles la gestion des déchets occupe une place de choix. En particulier, il s'attelle aux problématiques liées au stockage définitif des déchets, ainsi qu'aux aspects institutionnels et financiers de leur gestion, en Suisse et à l'étranger. Depuis 2020, il travaille au département technologie et société de l'Empa, où il collabore et conduit des projets de recherche appliquée. Son domaine reste celui de la gestion des déchets, qu'il explore cette fois sous l'angle de l'économie circulaire et du recyclage des métaux rares issus des batteries et des déchets électroniques. Il est membre de la CT SENS/Swico et réalise des audits des recycleurs Swico depuis 2021.



Rolf Widmer
Organisme d'évaluation de la conformité Swico Série de normes EN 50625, Empa

Rolf Widmer a terminé ses études en obtenant un diplôme d'ingénieur en électronique EPF (MSc ETH EE) ainsi qu'un diplôme de troisième cycle NADEL (MAS) à l'EPF de

Zurich. Pendant plusieurs années, il a fait des recherches à l'Institut d'électronique quantique sur de nouveaux processus de fabrication pour des composants à semi-conducteurs.

Il travaille aujourd'hui dans le laboratoire Technologie et société de l'Empa, l'institut de recherche sur les matériaux du domaine des EPF. Actuellement, Rolf Widmer dirige quelques projets dans le domaine de la gestion des déchets électroniques et mène dans ce contexte des recherches sur des cycles fermés de matériaux, par exemple pour des métaux rares, des substances problématiques et du verre. Les déchets électroniques englobent de plus en plus des appareils électroniques embarqués pour l'électromobilité, les systèmes énergétiques et les bâtiments. Il est membre de longue date de la CT Swico.



Niklaus Renner
CT SENS, IPSO ECO AG

Après avoir terminé ses études à l'école de musique de Lucerne, Niklaus Renner a étudié les sciences de l'environnement à l'EPF de Zurich. Depuis 2007, il travaille chez IPSO ECO AG à Rothenburg (anciennement Roos + Partner AG, Lucerne). Les thématiques auxquelles il se consacre sont les sites contaminés, la protection des sols et la compatibilité environnementale de divers processus de recyclage.

Il conseille également les entreprises sur les questions de leur conformité au droit de l'environnement. Avec le Dr Erhard Hug, il a développé le modèle d'évaluation mathématique pour la norme européenne de recyclage des réfrigérateurs CENELEC EN 50625-2-3. Depuis 2017, Niklaus Renner est membre de la commission technique de SENS et auditeur pour les entreprises de recyclage. Son domaine d'expertise comprend les audits et les tests de performance des équipements pour les entreprises de recyclage de réfrigérateurs.



Andreas Bill
Organisme d'évaluation de la conformité Swico, Série de normes SN EN 50625, Empa

Andreas Bill obtient son master en gestion de l'énergie et développement durable à l'EPF de Lausanne. Il accomplit ensuite son service civil à l'Empa, où il se familiarise

avec le secteur des déchets électroniques. Depuis 2019, il y travaille comme collaborateur scientifique dans le département Technologie et société. Sa mission principale est de soutenir les projets de mise en place de systèmes de recyclage de DEEE dans les pays émergents et en développement. Il est également membre de la CT SENS/Swico et réalise l'audit des recycleurs Swico depuis 2020.



Liens internationaux

➤ www.weee-forum.org

Le WEEE Forum (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) est la fédération européenne de 36 systèmes de collecte et de recyclage d'appareils électriques et électroniques.

➤ www.step-initiative.org

Solving the E-waste Problem (StEP) est une initiative internationale qui regroupe non seulement les principaux acteurs des secteurs de la fabrication, de la réutilisation et du recyclage des appareils électriques et électroniques, mais également des organisations gouvernementales et internationales.

Trois organisations des Nations Unies sont membres de cette initiative.

➤ www.basel.int

La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination (Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal), signée le 22 mars 1989, est également connue sous le nom de Convention de Bâle.

➤ www.weee-europe.com

WEEE Europe AG est une association de 19 systèmes de reprise européens et, depuis janvier 2015, l'interlocuteur privilégié des fabricants et autres acteurs du marché en vue de l'accomplissement de leurs diverses obligations nationales.

Liens nationaux

➤ www.eRecycling.ch

➤ www.swicorecycling.ch

➤ www.slrs.ch

➤ www.swissrecycling.ch

En tant qu'organisation faîtière, Swiss Recycling est chargée de promouvoir les intérêts de toutes les organisations de recyclage participant à la collecte sélective en Suisse.

➤ www.empa.ch/care

Le centre de recherche du domaine des Écoles polytechniques fédérales pour la science des matériaux et la technologie, Empa, est chargé de l'audit des partenaires de recyclage depuis le début des activités de recyclage de Swico en 1994 – en tant qu'organisme d'évaluation de la conformité des partenaires de recyclage Swico. Le groupe «CARE – Matériaux critiques et efficacité des ressources», sous la direction de Heinz Böni, en est responsable.

➤ www.bafu.admin.ch

L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) donne sur son site Internet, à la rubrique «Déchets», une série d'informations et de messages permettant d'approfondir le thème du recyclage des appareils électriques et électroniques.

Cantons avec exécution déléguée

➤ www.awel.zh.ch

Le site Internet de l'Office pour les déchets, les eaux, l'énergie et l'air (ODEEA) donne, à la rubrique «Abfall, Rohstoffe & Altlasten» (déchets, matières premières et terrains pollués), toute une série d'informations concernant directement le recyclage des appareils électriques et électroniques.

➤ www.ag.ch/bvu

Le site Internet du département de la construction, du trafic et de l'environnement du canton d'Argovie donne, à la rubrique «Umwelt, Natur & Landschaft» (environnement, nature et paysage), des informations permettant d'approfondir les thèmes du recyclage et de la valorisation des matières premières.

➤ www.umwelt.tg.ch

Le site Internet de l'Office de l'environnement du canton de Thurgovie donne, à la rubrique «Abfall» (déchets), des informations régionales pertinentes sur le recyclage des appareils électriques et électroniques.

➤ www.afu.sg.ch

Le site Internet de l'Office de l'environnement et de l'énergie de Saint-Gall fournit des informations générales et des notices sur différents thèmes et donne, à la rubrique «UmweltInfos» (informations concernant l'environnement) et «UmweltFacts» des informations sur des thématiques d'actualité.

➤ www.ar.ch/afu

Le site Internet de l'Office de l'environnement du canton d'Appenzell Rhodes-Extérieures fournit des informations générales ainsi que des publications sur différents sujets ayant trait à l'environnement.

➤ www.interkantlab.ch

Le site Internet du laboratoire intercantonal du canton de Schaffhouse fournit, à la rubrique «Informationen zu bestimmten Abfällen» (informations sur des types spécifiques de déchets), des renseignements complets sur le recyclage des appareils électriques et électroniques.

➤ www.umwelt.bl.ch

Le site Internet de l'Office pour la protection de l'environnement et l'énergie (AUE) du canton de Bâle-Campagne fournit, à la rubrique «Abfall/Kontrollpflichtige Abfälle/ Elektroschrott» (déchets/ déchets soumis à contrôle/ déchets électroniques), des informations sur le recyclage et la valorisation des matières premières issues des appareils électriques et électroniques.

➤ www.zg.ch/afu

Le site Internet de l'Office pour la protection de l'environnement du canton de Zoug fournit, à la rubrique «Abfallwirtschaft» (gestion des déchets), des informations générales ainsi que des notices sur les déchets. L'Association des communes zougaises pour la gestion des déchets (ZEBa) fournit sur son site internet www.zebazug.ch des informations détaillées sur la collecte des fractions de matériaux recyclables.

Contacts

Swico

Lagerstrasse 33
8004 Zurich
Téléphone +41 44 446 90 94
✉ info@swicorecycling.ch
↗ www.swicorecycling.ch

Fondation SENS

Obstgartenstrasse 28
8006 Zurich
Téléphone +41 43 255 20 00
✉ info@eRecycling.ch
↗ www.eRecycling.ch

Fondation Suisse pour le recyclage des sources lumineuses et luminaires (SLRS)

Altenbergstrasse 29
Case postale 686
3000 Berne 8
Téléphone +41 31 313 88 12
✉ info@slrs.ch
↗ www.slrs.ch

Organisme d'évaluation de la conformité SENS

Série de normes EN SN 50625

Coordination CT SENS
Roman Eppenberger
Obstgartenstrasse 28
8006 Zurich
Téléphone +41 43 255 20 09
✉ roman.eppenberger@sens.ch

Organisme d'évaluation de la conformité Swico Série de normes EN SN 50625

Commission technique Swico

c/o Empa
Heinz Boni
Département Technologie et Société
Lerchenfeldstrasse 5
9014 Saint-Gall
Téléphone +41 58 765 78 58
✉ heinz.boeni@empa.ch

Mentions légales

Éditeur

Swico,
Fondation SENS,
Fondation Suisse pour le recyclage des sources lumineuses
et luminaires (SLRS)

Ce rapport technique est publié en allemand, en anglais et en français. Il est disponible sur les sites ↗ www.swicorecycling.ch, ↗ www.eRecycling.ch et ↗ www.slrs.ch sous forme de publication en ligne et de PDF à télécharger.

Concept, graphisme:

Lovey Wymann, Swico

↗ [Tabea Guhl](#), ↗ [Thomas Schicker](#)

© 2021 Swico, SENS, SLRS

Parties (même partielles) expressément souhaitées avec mention de la source et copie à Swico, SENS, SLRS