

The background of the entire page is a dense, chaotic pile of electronic waste, including various types of circuit boards, capacitors, resistors, and other components, all rendered in a monochromatic teal color. In the top left corner, there is an orange banner with white text.

**SENS
Swico
SLRS**

Rapport technique 2016

- 4** Portrait – Systèmes de recyclage
- 6** Commission technique
- 7** Norme européenne e-waste
- 10** Bilan écologique
- 14** Quantités
- 17** La Suisse, îlot de cherté
- 20** Piles au lithium-ion
- 22** 10 ans de recyclage de sources lumineuses
- 25** Condensateurs contenant des PCB
- 27** Recyclage de modules photovoltaïques
- 30** Essais par lots Swico
- 32** Appareils de réfrigération
- 34** Appareils à tubes cathodiques
- 36** Auteurs
- 39** Liens & adresses

À vos marques, prêt, changez votre façon de penser!

Le « choc du franc » est le terme financier de l'année 2015. Avec la suppression inattendue du cours plancher du franc par rapport à l'euro, la banque nationale met l'économie suisse en état de choc dès le début de l'année et annonce une année pleine de défis. Ce soudain changement de direction affecte aussi notre branche. Les prix des matières premières évoluent déjà depuis un certain temps dans une seule direction: vers le bas – et le franc fort a renforcé encore cet effet en 2015.

Ce n'est pas un coup d'éclat, mais bien plus le changement continu du paysage politique en Suisse qui nécessite de nouvelles approches, surtout dans le domaine des préoccupations environnementales. La recommandation de refuser la loi sur la protection de l'environnement (LPE) ainsi que l'initiative « Économie verte » ne sont que deux exemples de cette tendance. Les effets pour les trois systèmes de reprise se sont avérés surprenants, surtout lors de la révision de l'OREA. Ainsi, l'OFEV a retiré contre toute attente la solution de financement élaborée en commun, tandis que les importants travaux en matière d'état de la technique et basés sur le standard européen CENELEC ont (pour)suivi leur cours.

Mais changer sa façon de penser signifie aussi remettre ses habitudes en question. Ainsi, le bilan écologique du recyclage des appareils électroménagers révèle de remarquables corrélations. La prévention d'émissions de polluants produit des effets nettement plus importants sur l'avantage environnemental que le recyclage de matériaux recyclables. Il convient donc de remettre en question la forte attention accordée aux matériaux de recyclage, au profit d'une nouvelle approche.

Les résultats de l'étude « La Suisse, îlot de cherté » initiée par Swico, SLRS et SENS ne manquent pas non plus de surprendre dans une certaine mesure. Établir une comparaison juste des coûts des prestations d'élimination entre la Suisse et des pays européens sélectionnés est une tâche difficile en raison des données faiblement agrégées sur les pays. Cependant, les éclaircissements sur les différences en majeure partie explicables ainsi que les remarques sur un certain potentiel d'optimisation incitent à changer sa façon de penser.

Il est nécessaire de trouver de nouvelles solutions pour l'entreposage et le transport de marchandises dites dangereuses. La Suisse a signé l'accord international de l'ADR, une décision qui influence en particulier le maniement des appareils E+E avec des piles contenant du lithium. Des représentants de la commission technique Swico/SENS ont participé à l'élaboration de directives applicables, en étroite collaboration avec les autorités.

Malgré certaines décisions et tendances économiques ou politiques inattendues en 2015, notre orientation n'en demeure pas moins très claire. SENS, Swico et SLRS veulent continuer de développer leur rôle de pionnier dans le domaine de l'élimination des appareils électriques usagés. Pour y parvenir, une alliance forte des trois systèmes est tout aussi importante que la collaboration transparente et le dialogue constructif avec nos partenaires.

Heidi Luck, SENS

Jean-Marc Hensch, Swico

Silvia Schaller, SLRS

Fondation SENS, Swico, SLRS: compétence et durabilité

134 000 t

d'appareils électriques et électroniques usagés ont été éliminées en 2015 par SENS, Swico et SLRS.

Depuis plus de 20 ans, les trois systèmes de reprise SENS, Swico et SLRS assurent la reprise et la valorisation respectueuses des ressources des appareils électriques et électroniques ainsi que leur élimination professionnelle. La quantité croissante des appareils repris témoigne de la réussite de ces trois systèmes.

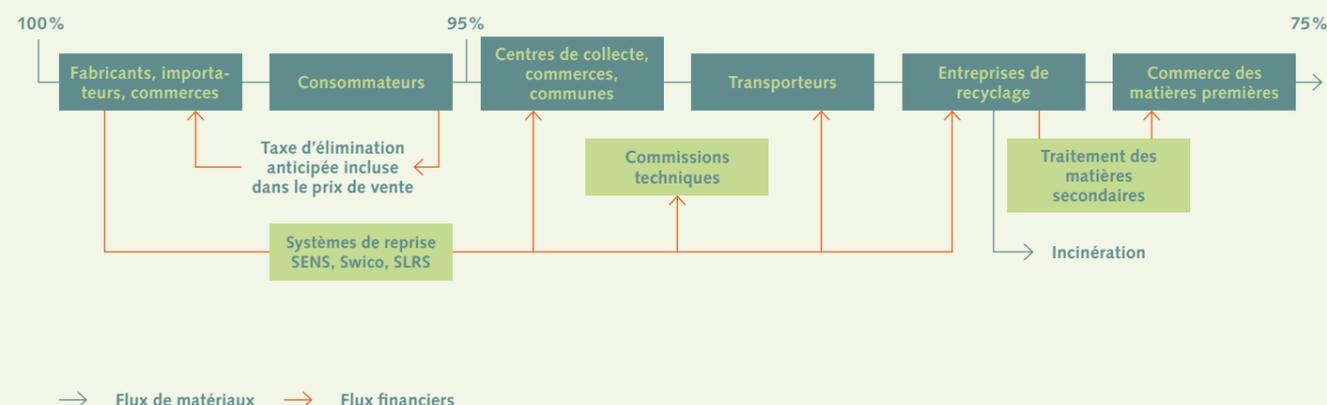
En Suisse, il existe trois systèmes de reprise dans le secteur des appareils électriques et électroniques. Cette répartition sur trois systèmes s'explique par des raisons historiques, des systèmes propres à chaque secteur ayant en effet été mis en place aux premières heures du recyclage institutionnalisé. 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 vaincre les réserves par

rapport à une participation volontaire à un système de reprise. En fonction du type d'appareil électrique ou électronique concerné, la reprise est aujourd'hui effectuée par Swico, par la Fondation SENS ou par la Fondation Suisse pour le recyclage des sources lumineuses et lumineuses (SLRS).

En 2015, ces trois systèmes ont permis d'éliminer près de X tonnes¹ d'appareils électriques et électroniques usagés. Swico, la Fondation SENS et la 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 déjà prélevée lors de 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 Swico, à la fondation SENS et à la SLRS de se charger du traitement professionnel du secteur des appareils qui leur est propre et de relever les défis de l'avenir.

Vue d'ensemble des systèmes de reprise



Fondation SENS

La Fondation SENS 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, la Fondation 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, la Fondation SENS s'engage à ce que le recyclage de ces appareils respecte les principes économiques et écologiques.

Swico

Swico Recycling est un fonds spécial au sein de l'Association économique Swico, qui s'occupe exclusivement du recyclage des appareils usagés. Les activités de Swico consistent à récupérer des matières premières et à éliminer les polluants tout en respectant l'environnement. Swico se concentre avant tout sur les appareils des secteurs suivants: informatique, électronique de divertissement, bureau, télécommunication, industrie graphique, technique de mesure et technologie médicale (par exemple photocopieurs, imprimantes, téléviseurs, lecteurs

MP3, portables, appareils photo, etc.). L'étroite collaboration avec l'Empa, une institution de recherche et de services consacrée à la science des matériaux et au développement technologique au sein du secteur des EPF, contribue de façon déterminante à ce que Swico puisse imposer des standards qualité élevés et homogènes dans toute la Suisse auprès de tous les services d'élimination.

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

La Fondation Suisse pour le recyclage des sources lumineuses et lumineuses (SLRS) se charge du système des sources lumineuses et lumineuses. La SLRS s'occupe de l'organisation de l'élimination généralisée des sources lumineuses et des lumineuses dans toute la Suisse. Pour financer ces activités, la 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 la SLRS. La SLRS entretient dans tous les domaines un étroit partenariat avec la Fondation SENS. En tant que partenaire contractuel de la 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.

¹ Il s'agit de la quantité basée sur les déclarations de flux de matières des entreprises de recyclage. Cette quantité ne correspond pas à la quantité indiquée dans les rapports d'activités et les rapports annuels de SENS et de Swico.

Commission technique

Audit pilote selon CENELEC 506255

Roman Eppenberger & Heinz Böni

En 2015, l'activité de la commission technique était clairement placée sous le signe de la mise en œuvre du standard CENELEC. Les derniers documents de la série de normes CENELEC EN 50625 seront bientôt disponibles et le standard CENELEC sera défini comme état de la technique en Europe. Cette série de normes a son origine dans le standard WEEE-Labex, qui trouve lui-même son origine dans les règlements techniques de SENS/Swico. De plus, le futur contrôle des entreprises de démontage a pu être réglé et quatre autres cantons ont opté pour l'exécution déléguée.

En février 2015, tous les partenaires de recyclage de SENS et de Swico ont été informés par courrier des informations les plus importantes en début d'année. Le thème récurrent des piles lithium-ion demeure à l'ordre du jour et le groupe de travail continue d'œuvrer à l'élaboration d'instructions pour la gestion soignée des appareils contenant des piles lithium-ion. Les essais par lots de Swico ont été réalisés pour la première fois avec des quantités de matériaux de base déterminées et donc identiques afin de pouvoir d'une part mieux comparer les performances des recycleurs mandatés sur la base de leurs taux de recyclage et de valorisation et, d'autre part, de permettre aussi la com-

paraison entre les recycleurs eux-mêmes. Avec Bâle-Campagne, Appenzell Rhodes-Extérieures, Schaffhouse et Zoug, quatre autres cantons ont signé des conventions cantonales sur l'exécution déléguée. Un total de huit cantons ont actuellement rejoint la convention (l'Argovie, Zurich, Saint-Gall et la Thurgovie en faisaient déjà partie).



Les audits pilotes comprenaient au total sept entreprises. Tous les experts de contrôle ont été au moins une fois audi-

teur en chef, ce qui a permis de regrouper diverses compétences. Deux audits ont également été accompagnés par des représentants des autorités environnementales. Ces derniers ont pu participer activement à l'essai pilote et se sont laissés convaincre par le degré de précision élevé et le travail intensif investi dans nos contrôles.

La succession pour le contrôle des entreprises de démontage à partir de mars a pu être assurée. Silvan Rüttimann a remis ses tâches entre les mains féminines de Flora Conte de Carbotech AG, Zurich, et d'Anahide Bondolfi de Sofies SA, Genève. Toutes deux parlent parfaitement le français et l'allemand, ce qui était un prérequis impératif du côté des systèmes pour mieux étayer le travail en Suisse francophone.

Dans le contexte actuel du niveau très bas des prix des matières premières, la commission technique s'est penchée sur le thème du métal et de la ferraille lors de la formation annuelle à l'automne dernier. La visite de Swiss Steel à Emmenbrücke (l'une des deux aciéries en Suisse) a fourni un intéressant aperçu d'une installation de pointe à haut rendement. Les experts en contrôle ont pu discuter, dans le cadre d'un entretien avec le responsable de l'approvisionnement stratégique, Daniel Jung, des défis à venir de la branche de recyclage des métaux.

Norme européenne e-waste

La mise en œuvre ambitieuse de la norme européenne EN 50625 en Suisse

Ueli Kasser & Heinz Böni

Fin 2014, les fondations SENS et Swico ont décidé la mise en œuvre contraignante en Suisse de la série de normes européenne EN 50625 relative aux exigences de collecte, de logistique et de traitement pour les déchets d'équipements électriques et électroniques. Les prestations des partenaires contractuels doivent être évaluées en fonction de l'état de la technique en Europe. Cette évaluation requiert certaines adaptations, notamment sur le plan formel, concernant les contrôles d'entreprises. Ces derniers ont été testés l'année passée dans leur version pilote et il est prévu de les améliorer ou de les approfondir cette année. La nouvelle évaluation de la conformité selon la norme européenne EN 50625 sera définitivement introduite dans toutes les entreprises à partir de 2017.

La commission technique Swico/SENS veut rester fidèle au principe ambitieux qui vise à mettre tous les recycleurs sur un pied d'égalité. Cependant, ces conditions d'égalité seront évaluées à partir de 2017 à l'aune de la norme européenne EN 50625. Si tout se déroule comme prévu, la norme sera prescrite de manière contraignante dans le cadre de la directive DEEE remaniée et s'appliquera à partir de 2018 ou 2019 dans tous les États de l'UE comme reflétant l'état de la technique.

Plus ou moins achevé

L'ensemble de normes européennes a beaucoup avancé (cf. figure 1). Il est

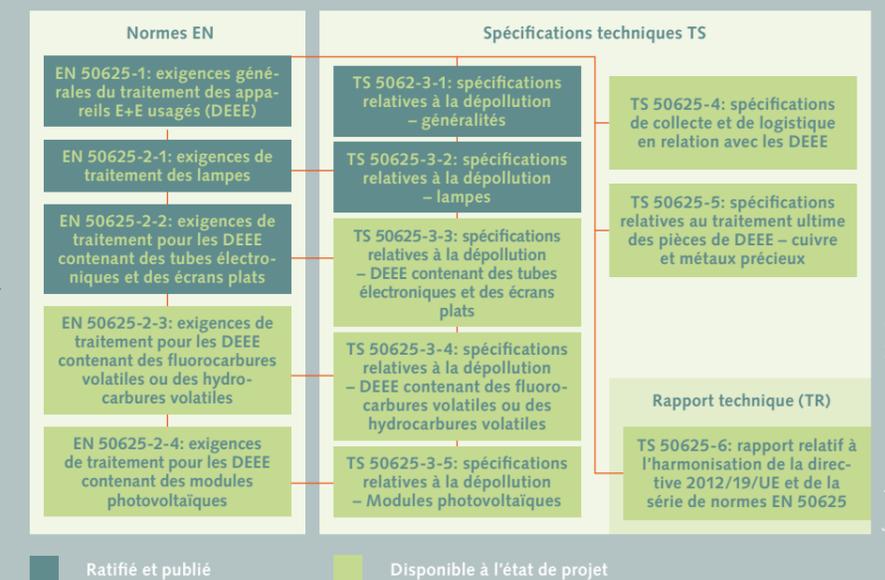
constitué d'une norme principale qui vaut pour toutes les entreprises ainsi que de normes supplémentaires pour les entreprises spécialisées dans le recyclage de sources lumineuses, d'écrans, d'appareils de réfrigération et de modules photovoltaïques. Aux normes à proprement parler (documents EN) s'ajoutent sept spécifications techniques (documents TS), qui contiennent les valeurs limites et qui déterminent les détails techniques tels que les prélèvements d'échantillons et les procédures d'analyse. Les spécifications techniques se prêtent plus facilement et plus fréquemment à un remaniement (tous les trois ans). Elles sont moins exigeantes sur le plan des procédures de consultation et de décision au sein de la commis-

sion des normes européenne. La norme principale, qui vaut pour toutes les entreprises de recyclage d'appareils électriques et électroniques usagés, deux normes spéciales pour les lampes et les écrans ainsi que deux spécifications techniques sont déjà publiées¹. Toutes les autres normes (cf. figure 2) et les spécifications techniques encore manquantes sont disponibles sous forme de projets à un stade avancé.

Aucun grand changement en Suisse

Conformément à la description en détail des deux derniers rapports techniques de 2014 et 2015, les principales différences entre les normes européennes et les prescriptions techniques, telles que

Figure 1: série EN 50625 – collecte, logistique et traitement d'appareils électriques et électroniques usagés (WEEE)



Bilan écologique

La prévention des émissions de polluants, un élément décisif pour l'avantage environnemental de SENS

Emil Franov

L'élément décisif pour l'avantage environnemental maximal du système SENS au cours des 25 dernières années n'est pas la récupération de matériaux recyclables comme le fer et le cuivre contenus dans les appareils électriques, mais la séparation et l'élimination contrôlée de polluants. Cela concerne en particulier les PCB, un polluant environnemental qui, comme la dioxine, fait partie des douze polluants environnementaux les plus toxiques. Les PCB sont notamment présents dans les condensateurs des ballasts de lampes ainsi que dans les gros appareils électroménagers, qu'il faut donc continuer de collecter et d'éliminer avec le plus grand soin et dans les règles de l'art. Il est également de plus en plus important de prévenir les émissions d'autres polluants tels que les CFC, les RFB et le mercure en fonction de la part qu'ils représentent, car ces polluants ont été interdits après les PCB, ce qui implique que leur teneur dans les appareils diminuera nettement moins vite.

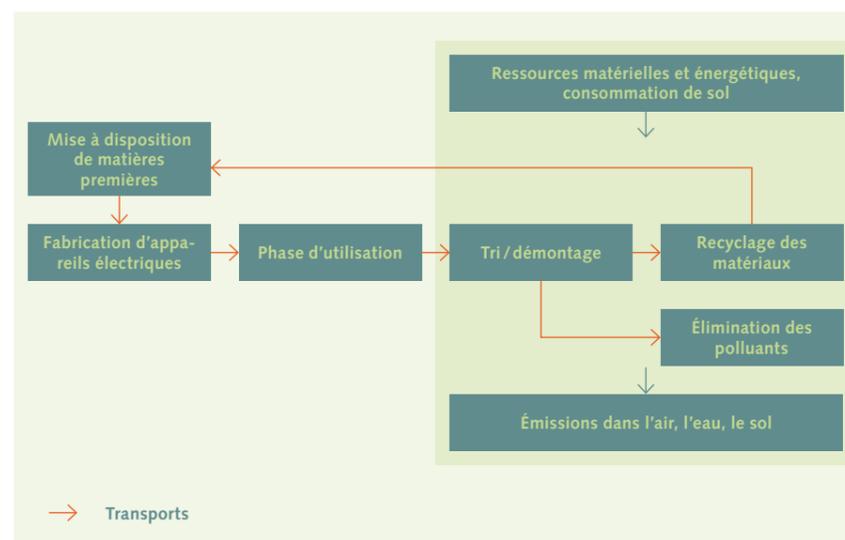
Pour la célébration de ses 25 ans en 2015, SENS a fait faire un bilan écologique avec pour objectif de calculer l'avantage environnemental représenté par 25 ans de recyclage des appareils électriques par SENS et ses partenaires (consommateurs, fabricants, importateurs, commerçants, partenaires prestataires (centres de collecte, transporteurs, recycleurs), administrations). À titre complémentaire, le bilan présente

également l'avantage climatique et les quantités de matériaux récupérés.

Avant la création de la fondation SENS¹ en 1990 et le début de ses activités, les petits appareils électriques étaient généralement éliminés avec les ordures ménagères (appareils E+E). Les gros appareils à forte teneur en métaux, tels que les lave-linges, étaient partiellement éliminés via des entreprises spécialisées dans le recyclage des métaux. Mais on n'accordait aucune attention aux polluants contenus dans les appareils. C'est seulement suite à des accords internationaux tels que la décision d'interdiction à moyen terme des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (protocole de Montréal, entré en vigueur en 1988 en Suisse) que l'attention s'est portée sur les polluants contenus dans les appareils électriques usagés. Se fixant comme objectif d'éliminer de manière écologique les substances appauvrissant

la couche d'ozone contenues dans les appareils de réfrigération, la fondation SENS a alors commencé par mettre en place un système de collecte et d'élimination sur une base volontaire. L'entrée en vigueur de l'ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination des appareils électriques et électroniques (OREA) en 1998 a fourni à SENS l'occasion d'élargir son système de récupération aux petits appareils électriques (appareils électroménagers, appareils de jardinage, de loisirs, jouets, etc.) ainsi qu'aux gros appareils électriques (lave-linges, fours, etc.). La révision de 2005 a ensuite permis d'intégrer les sources lumineuses et les luminaires.

L'élimination des appareils électroniques est assurée via un système séparé (de Swico²). L'OREA prescrit aux commerçants/importateurs la reprise gratuite et l'élimination non polluante d'appareils, dans le cadre desquelles



les substances problématiques en particulier doivent être éliminées dans les règles de l'art. La fondation SENS propose cette prestation.

Comment l'avantage environnemental a-t-il été calculé?

L'avantage environnemental résulte de la différence entre le bilan écologique de SENS et le bilan écologique du scénario de base «sans SENS» à titre de référence. La performance environnementale du système SENS est donc représentée par l'avantage environnemental obtenu en plus du scénario de référence. La limite du système a été choisie comme suit:

Les données de base relatives aux quantités d'appareils traitées, aux fractions de matériaux recyclables et aux polluants extraits et éliminés dans les règles de l'art proviennent en grande partie des statistiques annuelles de SENS. Concernant les polluants PCB et les retardateurs de flamme bromés (RFB), il n'existe que des données plus anciennes, spécifiques aux années (2006 et 2003), raison pour laquelle il a fallu extrapoler l'évolution de la teneur de ces polluants dans les appareils pour les années suivantes.

Pour l'évaluation du bilan d'action, la méthode de la saturation écologique 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013) a été utilisée. L'évaluation au moyen de la méthode de la saturation écologique a été développée en collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement et est établie en Suisse. Cette méthode a d'une part été retenue car elle tient compte dans l'éva-

luation non seulement de la situation environnementale mais aussi des objectifs environnementaux de la Suisse, ce qui signifie qu'elle s'appuie sur une large base en matière de maintien de la valeur. D'autre part, cette méthode évalue effectivement tous les aspects environnementaux importants dans ce bilan écologique, tels que les émissions de POP et la consommation de ressources.

L'élimination de la quantité d'appareils de réfrigération, de congélation, de climatisation ainsi que de petits et gros appareils électriques et de sources lumineuses collectée de 1990 à 2015 via la fondation SENS a été retenue comme unité fonctionnelle

Le scénario de référence de la Suisse sans la fondation SENS

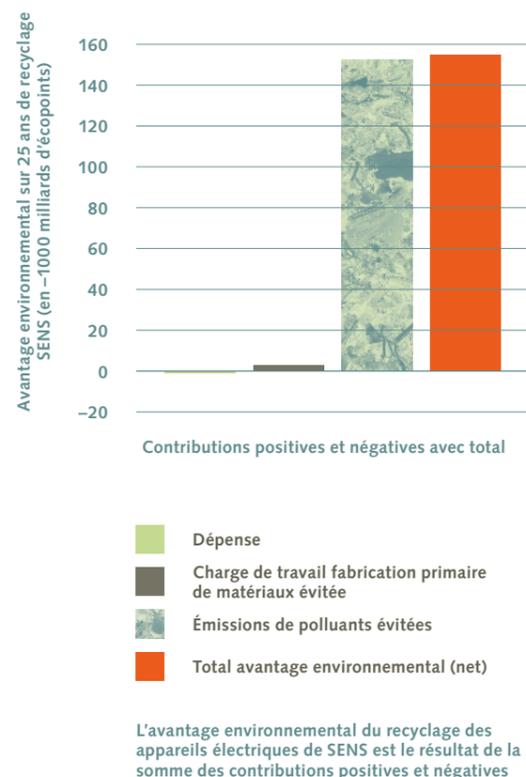
Pour le scénario «sans SENS», diverses variantes sont envisageables: du scénario «Rien n'est recyclé et tout est déposé dans des décharges à ciel ouvert ou brûlé» jusqu'au scénario «Gestion de l'élimination des appareils électriques dans le respect des lois suisses». Dans cette étude, un scénario «sans SENS» aussi réaliste que possible a été défini comme juste milieu. Celui-ci s'appuie également sur les scénarios proposés dans l'étude Ecodom sur l'avantage climatique du recyclage des appareils électriques en Italie (ECODOM, 2008). Dans ce cadre, nous posons les hypothèses suivantes:

- Le nombre d'appareils mis au recyclage par les consommateurs est le même qu'avec SENS.
- Une moitié des appareils électriques est traitée dans des installations non

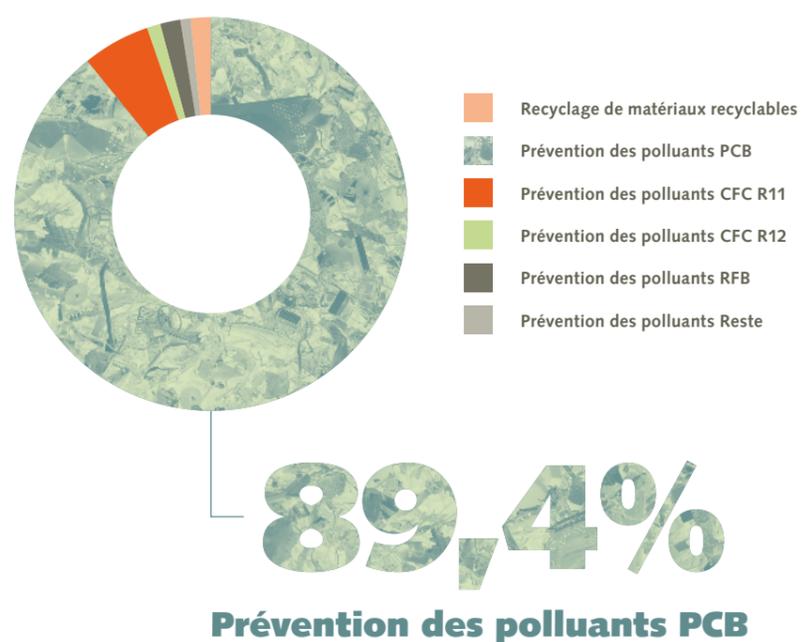
spécifiques, de manière optimisée sur le plan économique, sans observation de normes spécifiques en matière de protection de l'environnement, tandis que l'autre moitié est traitée par des entreprises spécialisées, mais – en raison de l'absence de contrôles externes – avec un taux de récupération des polluants plus bas.

- Le principe suivant s'applique à tous les appareils collectés: lors de l'optimisation économique, le fer/l'acier est récupéré pour moitié avec un rejet de l'intégralité des réfrigérants, des gaz propulseurs et du mercure dans l'environnement. Tous les autres matériaux sont éliminés.
- Quant à l'autre moitié, tous les matériaux sont récupérés comme avec SENS – 50% des réfrigérants, des gaz propulseurs et du mercure sont rejetés dans l'environnement.
- Concernant les PCB, les hypothèses suivantes ont été émises, en s'appuyant sur des mesures de la teneur en PCB de diverses fractions des processus de tri et de démontage (Morf & Taverna, 2004):
 - Après le démontage, 85% des PCB se retrouvent dans les matériaux résiduels des broyeurs (RESH³ en anglais) qui sont éliminés dans une usine d'incinération. 15% se retrouvent dans les matériaux recyclables: il faut s'attendre à plus ou moins long terme à ce que cette part des PCB soit directement rejetée dans l'environnement, que ce soit lors de la préparation en matériaux secondaires ou pendant la phase d'utilisation. En raison du manque de données, il a été supposé que 90% de la part de PCB qui arrive dans une usine d'incinération sont détruits et 10% se retrouvent dans l'environnement.
 - Au total, 24% des PCB sont rejetés de cette manière dans l'environnement.

25 ans de recyclage d'appareils électriques



Part du recyclage de matériaux et de la prévention de polluants dans l'avantage environnemental du recyclage d'appareils électriques de SENS



– Concernant les retardateurs de flamme bromés (RFB), les hypothèses suivantes ont été émises, en s'appuyant sur Morf et al.(2002):

- Une moitié des matières plastiques contenant des RFB n'est pas recyclée en raison de l'optimisation économique supposée et arrive directement dans une usine d'incinération, dans laquelle ces RFB sont pratiquement entièrement détruits.
- L'autre moitié des matières plastiques contenant des RFB est recyclée (à l'étranger). On suppose ici que ces matières plastiques émettent des RFB pendant leur phase d'utilisation, qu'elles rejettent des RFB par friction dans l'environnement et qu'elles finissent par arriver pour moitié dans une usine d'incinération et pour moitié dans une décharge, dans laquelle une partie des RFB s'échappent par lessivage dans de l'eau.
- Ainsi, 1,02 pour mille d'OctaBDPE, 0,94 pour mille de décaBDPE ainsi que 1,50 pour mille de TBBPA sont rejetés en plus dans l'environnement comparé à l'analyse de l'état réel de SENS.

Qu'est-ce que les 25 ans d'existence de SENS ont apporté à l'environnement?

L'avantage environnemental généré par les 25 ans de recyclage d'appareils électriques par SENS s'élève à un total net de 155 000 milliards d'écopoints⁴ évités, dont presque l'intégralité (98,4%) est générée par la prévention d'émissions de polluants (cf. figure). L'avantage environnemental des matériaux recyclables et les frais écologiques pour l'environnement (transport, consommation d'énergie entreprises de recyclage, etc.) sont très réduits en comparaison. Le montant de l'avantage environnemental total de 155 000 milliards d'écopoints correspond à environ:

- l'empreinte environnementale de l'ensemble de la population suisse (huit millions d'habitants) sur onze mois (ce qui est équivalent à une baisse de la pollution annuelle de la Suisse de 4% en moyenne), ou
- l'avantage environnemental généré par l'utilisation d'essence sans plomb en Suisse pendant neuf ans.

Parmi les émissions de polluants évitées, l'élimination correcte de condensateurs contenant des PCB est la principale contribution à l'avantage environnemental (89,4%), suivie de l'élimination correcte de CFC R11 (5,5%), de RFB (1,7%) et de CFC R12 (1,0%) (cf. figure).

Les neuf tonnes de PCB qui sont correctement éliminés en plus par le système de SENS comparé au scénario «sans SENS», et qui n'arrivent donc pas dans l'environnement, dominent le résultat car les PCB sont classés comme nettement plus polluants que tous les autres polluants présents dans les appareils électriques. Les PCB sont principalement présents dans les condensateurs des petits appareils électriques (en particulier les ballasts de sources lumineuses) et des gros appareils électriques.

L'avantage climatique généré par 25 ans de recyclage d'appareils électriques par SENS s'élève à 7,1 millions de tonnes d'équivalents CO₂. La majeure partie de l'avantage provient de l'élimination correcte de CFC R11 (66,7%) et de CFC R12 (26,4%). Ces gaz à effet de serre sont principalement utilisés dans les différents appareils de réfrigération, tels que les réfrigérateurs, les congélateurs et les appareils de climatisation.

Sur la période considérée, 650 000 tonnes de matériaux recyclables ont été traitées et près de 3900 tonnes de polluants ont été éliminées de manière contrôlée. En fonction de leur part, les principaux matériaux recyclables sont le fer (70,0%), l'acier (10,9%) et les matières plastiques (8,5%). Les quantités collectées de cuivre (4,2%), d'aluminium (2,6%), de zinc (2,5%) et de verre (1,2%) sont nettement moins significatives. Les autres matériaux recyclables ne représentent que des quantités très réduites (moins de 0,1%). En fonction de leur part, les polluants les plus importants sont les CFC R11 (33,8%) et l'huile (32,5%). Les quantités collectées de retardateurs de flamme bromés (14%), de CFC R12 (6,1%), de cyclopentane (6,0%) et de R600a (5,2%) sont nettement moindres. Les autres polluants ne représentent que des quantités très réduites (moins de 2,1%).

L'étude réalisée pour le bilan écologique a montré que la fondation SENS a généré, en collaboration avec ses partenaires, un avantage environnemental très élevé pendant ses 25 ans d'acti-

té. Grâce à l'élimination écologique des appareils électriques, la pollution annuelle de la Suisse a baissé d'environ 4% en moyenne, une valeur considérable pour une mesure individuelle.

Qu'est-ce que cela signifie pour l'avenir?

Malgré le fait que l'on trouve aujourd'hui toujours moins de condensateurs contenant des PCB dans les appareils électriques, ce polluant conserve encore, d'après nos calculs, le potentiel de nuisance environnementale le plus élevé. Il faut continuer d'extraire et d'éliminer avec grand soin et dans les règles de l'art les condensateurs en particulier dans les ballasts des sources lumineuses, mais également ceux dans les gros appareils électriques. Pour une évaluation plus approfondie de l'avantage environnemental actuel, une mise à jour de l'étude de 2007 sur les teneurs en PCB des condensateurs serait très utile et, dans le cadre de cette mise à jour, il serait recommandé d'étudier également le potentiel polluant des substituts de PCB.

Il est également de plus en plus important de prévenir les émissions d'autres polluants tels que les CFC, les RFB et le mercure en fonction de la part qu'ils représentent, car ces polluants ont été interdits après les PCB et leur teneur dans les appareils diminuera donc nettement moins vite.

La contribution à l'avantage environnemental par le recyclage de matériaux tels que le fer, le cuivre, l'aluminium, etc. est encore très faible en raison de la prédominance des polluants, mais elle augmente sans cesse, en particulier du fait que la part de PCB dans les appareils ne cesse de diminuer. Malgré cela, le recyclage de ces matériaux est pertinent sur le plan environnemental car l'avantage écologique (ménagemement des ressources, etc.) est nettement plus important pour le recyclage que les frais pour la préparation (consommation d'énergie, etc.). Une évaluation du potentiel pour le recyclage futur de métaux électroniques présents sous forme de traces a de plus révélé que l'avantage environnemental généré est marginal, même lorsqu'on part du principe que les teneurs en métaux électroniques dans les circuits imprimés des appareils électriques seraient aussi élevés que ceux des circuits imprimés d'ordinateurs.

Références bibliographiques

ECODOM (2008). RAEE, IL CONTRIBUTO DEL RICICLO AGLI OBIETTIVI DI KYOTOO – Bilancio energetico-ambientale del recupero di alcune tipologie di rifiuti elettrici ed elettronici. Consulté le 24 septembre 2015 sur www.ecodom.it

Frischknecht, R., Büsser Knöpfel, S. (2013). Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit – Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz (n° 1330) (p. 256). Berne: Office fédéral de l'environnement.

Morf, L., Taverna, R. (2004). Metallische und nichtmetallische Stoffe im Elektronikschrott – Stoffflussanalyse. Schriftenreihe Umwelt Nr. 374. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP).

Morf, L., Taverna, R., Daxbeck, H., Smutny, R. (2002). Schriftenreihe Umwelt Nr. 338: Umweltgefährdende Stoffe – Ausgewählte polybromierte Flammschutzmittel – Stoffflussanalyse. Bern.

¹ Anciennement Stiftung Entsorgung Schweiz (S.EN.S).

² Abrégé pour l'Association économique suisse spécialisée dans les technologies de l'information, de la communication et de l'organisation.

³ Matériaux résiduels des broyeurs (déchets combustibles).

⁴ Représentés dans les graphiques comme écopoints négatifs.

Quantités

Augmentation des quantités traitées

Esther Thiébaud

Après un léger recul des quantités traitées au cours des deux dernières années, ces dernières ont une fois de plus nettement augmenté et atteignent un nouveau niveau record. Près de 73 % des fractions de matériaux recyclables produites par les recycleurs suisses rejoignent un système de valorisation des matériaux.

En 2015, les recycleurs de Swico et de SENS ont traité près de 132 200 tonnes d'appareils E+E. Comparé à l'année précédente, ce résultat correspond à une augmentation de 4% et à un nouveau niveau record de quantités traitées (tableau 1 et figure 1). La quantité d'appareils électriques traités, qui s'élève à 14%, est celle qui a le plus augmenté. Les appareils de réfrigération et les petits appareils électriques affichent chacun une augmentation de 5%. Le traitement des appareils électroniques, des sources lumineuses et des appa-

reils qui ne figurent pas dans les listes de l'Ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination d'appareils électriques et électroniques (OREA), n'a guère changé comparé à 2014. Il s'y ajoute désormais le traitement d'équipement photovoltaïque, bien que les quantités, chiffrées à 100 tonnes, soient encore faibles.

Valorisation des matériaux

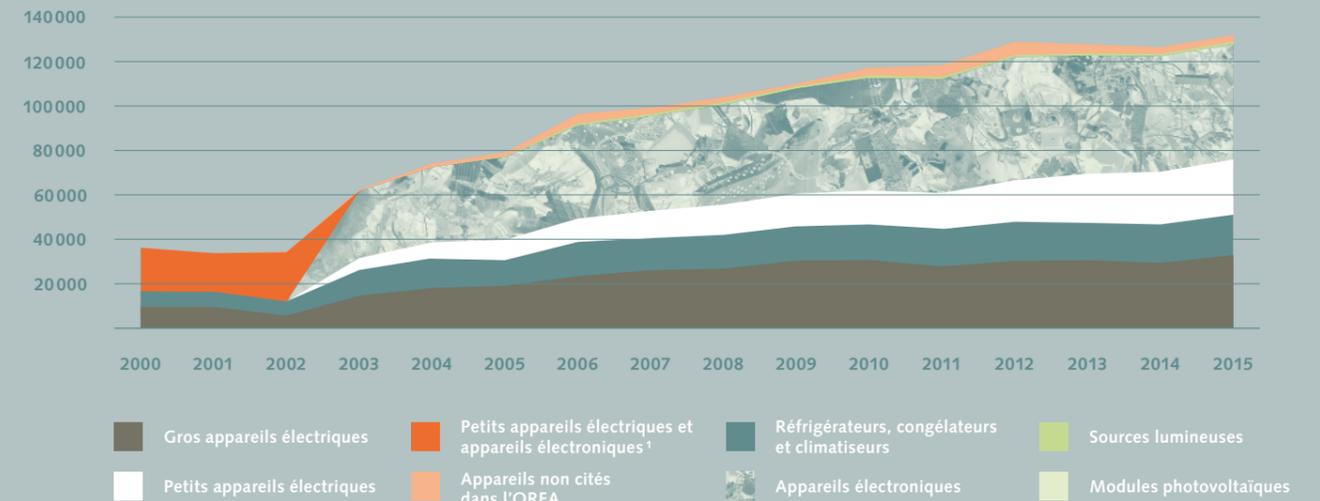
Des fractions de matériaux recyclables et de substances toxiques sont récupérées à partir du traitement manuel et mécanique d'appareils E+E (figure 2). La part des métaux, qui s'élève à 58%, constitue la plus grande fraction de matériaux recyclables. Comparé à l'année précédente, la part des mélanges matière plastique-métal a augmenté de 11% à 18%, tandis que la part de fractions de matières plastiques pures a baissé de 13% à 8%. La part de verre issue du traitement des tubes cathodiques a baissé à 5%. Les précieux circuits imprimés constituent seulement 1,5%

de la quantité totale. Cependant, il est souvent plus avantageux d'extraire manuellement les matériaux particulièrement précieux avant de les soumettre à un traitement mécanique. Les fractions de matériaux recyclables récupérées sont recyclées ou valorisées sur le plan thermique. Les métaux sont récupérés dans de grandes fonderies, généralement européennes. Les mélanges de matières plastique-métal arrivent pour moitié dans un autre système de préparation, au sein duquel une séparation a lieu en fractions pures de métaux et de matériaux plastiques. L'autre moitié est soumise à une valorisation thermique dans des installations de combustion. En 2015, les matières plastiques récupérées ont été recyclées à environ 64%, ce qui correspond à une quantité de 7 300 tonnes. L'année précédente, 12 700 tonnes de matières plastiques sont arrivées dans un processus de valorisation. Cette baisse de près de 40% pourrait être liée aux prix bas des matières premières pour les matières plastiques.

Tableau 1: quantité totale en tonnes des appareils électriques et électroniques traités en Suisse, issue de l'étude sur le flux des matériaux

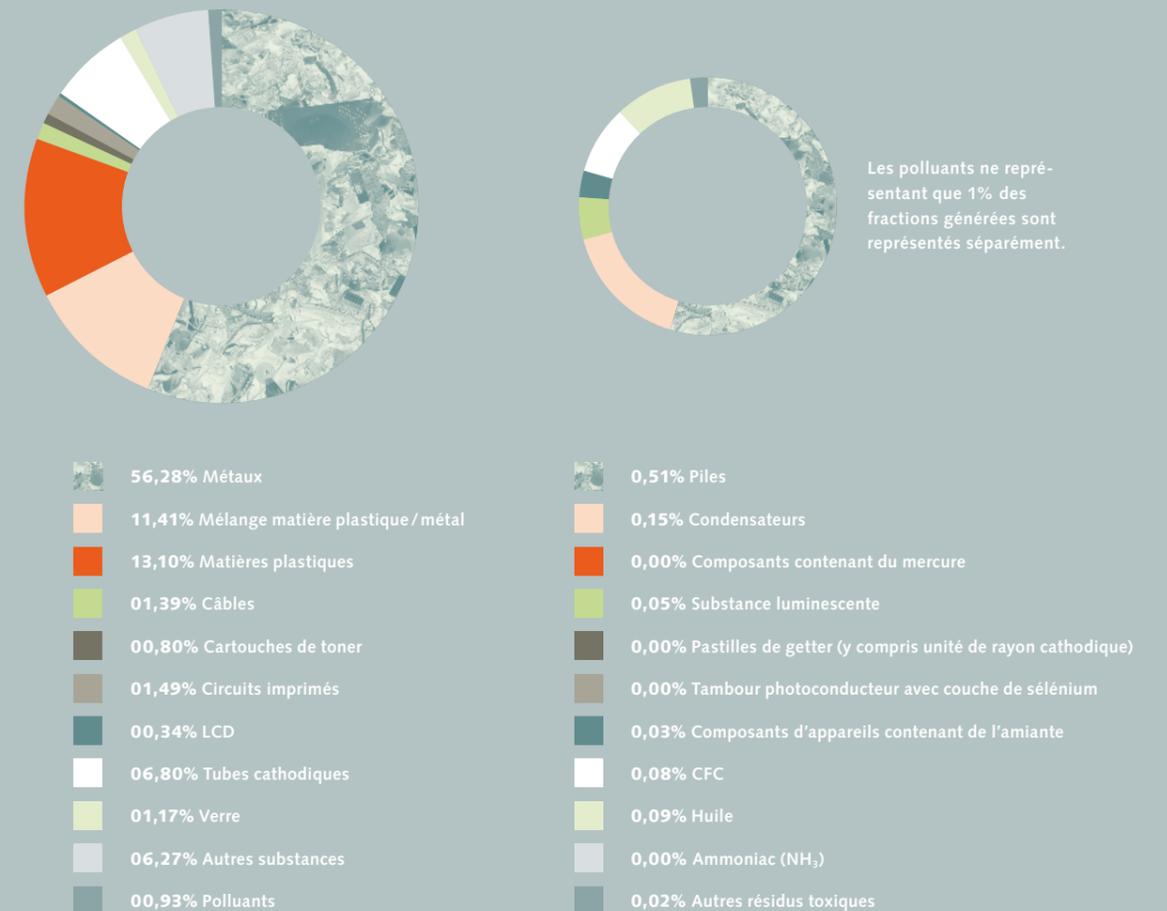
Année	Gros appareils électriques	Réfrigérateurs, congélateurs et climatiseurs	Petits appareils électriques	Appareils électroniques	Sources lumineuses	Modules photovoltaïques	Appareils non cités dans l'OREA	Total tonnes/année
2009	30 400	15 300	14 900	47 300	1 100		1 200	100 200
2010	30 700	15 900	15 400	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	980		6 000	129 100
2013	30 600	16 700	22 300	53 200	1 130		4 000	127 900
2014	29 400	17 200	23 900	52 000	1 060		3 000	126 600
2015	32 900	18 100	25 000	51 900	1 090	70	3 000	132 100
Variation par rapport à l'année précédente	12%	5%	5%	-0,2%	0%		0%	4%

Figure 1: évolution de la quantité en tonnes des appareils traités en Suisse



¹ Ce chiffre est supérieur aux 51 900 tonnes d'appareils électroniques dans le tableau 1, car il contient aussi des appareils que des signataires A ont éliminés via des contrats directs.

Figure 2: composition des fractions générées en % pour l'année 2015



Les polluants ne représentant que 1% des fractions générées sont représentés séparément.

Tableau 2: volumes Swico collectés et composition par type d'appareil

	Nombre ³	Poids moyen	Métaux	Mat. plastiques	Mélanges de métaux/mat. plastiques	Câbles	Verre et/ou modules LCD	Circuits imprimés	Pol-luants	Autres ⁴	Total	Augmentation/diminution par rapport à 2014
Moniteur PC CRT	121 000	17kg	302t	409t	195t	53t	899t	188t	0,1t	9t	2 056t	-11%
Moniteur PC LCD	513 000	8,5kg	1264t	707t		12t	744t	206t	9,6t	14t	2 956t	-4,9%
PC / Serveur	402 000	13kg	4377t	306t	14t	163t		443t	17t		5 320t	0,6%
Ordinateur portable	410 000	3kg	369t	343t	124t	6,2t	107t	177t	84t	5,1t	1 214t	-1,4%
Imprimante	532 000	11kg	2161t	3280t	375t	33t	42t	107t	1,9t	99t	6 099t	27%
Gros photocopieurs/gros appareils	44 000	147kg	3504t	240t	2301t	116t	4,3t	52t	56t	164t	6 439t	-13%
IT mixte ¹	503 000	4,1kg	1132t	75t	750t	38t	1,1t	16t	18t	53t	2 082t	-47%
Téléviseurs CRT	420 000	28kg	1146t	2379t	387t	40t	7523t	142t	11t	6,3t	11 636t	-11%
Téléviseurs LCD	161 000	15kg	1025t	369t		50t	638t	303t	23t	86t	2 495t	0,7%
UE mixte ²	2 620 000	4,3kg	6 112t	405t	4 048t	204t	5,7t	88t	97t	284t	11 243t	-4,2%
Téléphone portable	704 000	0,21kg	24t	54t			7,8t	34t	30t		150t	37%
Téléphone autres	1 460 000	1,9kg	1 508t	100t	999t	50t	1,4t	22t	24t	70t	2 773t	-4,8%
Photo / vidéo	324 000	0,54kg	94t	6,3t	63t	3,1t	0,1t	1,4t	1,5t	4,4t	174t	4,2%
Dentaire											86t	32%
Total			23 018t 42%	8 673t 16%	9 256t 17%	768t 1,4%	9 975t 18%	1 779t 3,3%	372t 0,7%	794t 1,5%	54 721t 100%	-6,6%

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 continuent à être traités. Ceci entraîne au total un taux de valorisation des matériaux de près de 73%.

Extraction des substances toxiques

La part de fractions de substances toxiques produites est inférieure à 1% (figure 2). Outre le recyclage des fractions de matériaux recyclables, l'extraction des substances toxiques fait cependant partie des tâches les plus importantes des recycleurs suisses. L'extraction des substances toxiques est également effectuée en grande partie manuellement. Il s'agit par exemple d'extraire les condensateurs des gros appareils électroménagers, les piles des appareils électroniques ou de démonter l'éclairage de fond des écrans plats, des scanners et des photocopieurs. Ce faisant, il faut constamment adapter l'extraction et la gestion des substances toxiques aux technologies modifiées et aux nouveaux acquis. Les entreprises doivent cependant être en mesure d'ac-

cepter les appareils de toutes les générations avec les substances toxiques qu'elles contiennent, d'extraire celles-ci et de les éliminer dans les règles de l'art, ce qui constitue des exigences élevées pour les entreprises de recyclage et implique des systèmes d'assurance qualité très performants.

Reprise et composition d'appareils électroniques

Sur la base des analyses de paniers et d'essais de traitement ciblés de certains groupes de produits, Swico Recycling effectue un examen détaillé des quantités récupérées d'appareils électroniques et de leur composition (tableau 2). En 2015, Swico Recycling a repris 54 721 tonnes d'appareils électroniques, soit 6,6% de moins que l'année précédente. Du point de vue du poids, la reprise qui a le plus baissé est celle des appareils IT ainsi que des gros appareils. Les reprises de moniteurs CRT et de téléviseurs CRT, s'élevant chacune à 11%, a également baissé. Le nombre de moniteurs LCD, de téléviseurs LCD et d'ordinateurs portables a légèrement augmenté comparé à 2014. Comme l'analyse du panier 2015 montre un poids moyen légèrement inférieur, les quantités trai-

tées en tonnes sont restées quasiment les mêmes. Le nombre de téléphones portables et de smartphones collectés a augmenté de près de 3%. Avec un poids moyen légèrement plus élevé qu'en 2014, ceci correspond cependant à une augmentation du poids de 37%.

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 auparavant et on documente les fractions en résultant. Les quantités détaillées d'appareils électroniques repris et leur composition sont listées dans le tableau 2.

¹ Appareils IT, mixtes, sans moniteurs, PC/serveurs, ordinateurs portables, imprimantes, gros photocopieurs / gros appareils.

² Électronique de divertissement, mixte, sans téléviseurs.

³ Extrapolation.

⁴ Emballages et autres déchets, cartouches de toner.

⁵ Ce chiffre est supérieur aux 51 900 tonnes d'appareils électroniques dans le tableau 1, car il contient également des appareils que les signataires A ont éliminés via des contrats directs.

La Suisse, îlot de cherté

Le chemin vers le succès

Deepali Sinha Khetriwal, Hannes Zellweger & Ulrike Voett

Un subtil équilibre

Les trois organisations suisses compétentes en matière de responsabilité des producteurs (Producer Responsibility Organisations, en abrégé: PRO) – SENS, Swico et SLRS – proposent un système de reprise très performant, qui convainc par un taux de collecte élevé ainsi que des standards de valorisation et d'élimination rigoureux. Elles font par conséquent partie des pionniers internationaux dans le domaine de l'eRecycling. Mais elles subissent une pression de plusieurs côtés: d'une part, les entreprises membres réclament la baisse des taxes anticipées de recyclage (TAR), d'autre part les entreprises de recyclage demandent une compensation pour leurs frais d'exploitation élevés. C'est la raison pour laquelle les PRO ont confié à l'automne 2014 à la société Sofies SA la mission d'expertiser leur efficacité en matière de coûts afin d'en savoir plus sur les facteurs se prêtant à d'éventuelles optimisations. L'objectif était d'instaurer un meilleur équilibre entre les taxes pour les entreprises membres

et les paiements aux entreprises de recyclage.

Une démarche méthodique

La comparaison des coûts des PRO suisses avec ceux de pays européens sélectionnés implique un cadre structurel qui permette une confrontation pertinente. L'étude menée par Sofies SA s'est donc concentrée dans un premier temps sur les dépenses totales des systèmes et sur leur répartition entre les principaux éléments de coûts. Dans un deuxième temps, les coûts des PRO de quatre pays européens – la France, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Suède (sélectionnés sur la base de la performance de leur système ou de leur proximité à la Suisse) – ont été comparés à ceux des PRO suisses. Sofies SA a élaboré des questionnaires minutieux ainsi que des enquêtes approfondies et a regroupé de cette manière un ensemble de données détaillées fournies par les PRO, les entreprises de recyclage et les spécialistes de la branche. Les résultats intermédiaires de l'analyse d'origine ont

cependant montré que le taux de collecte ainsi que le taux ou les standards de recyclage n'influencent pas les coûts de manière significative. Les experts ont donc effectué des analyses quantitatives et qualitatives encore plus poussées pour rechercher de manière ciblée les facteurs de coûts décisifs et pour mieux comprendre l'influence de ces derniers sur les coûts totaux des PRO.

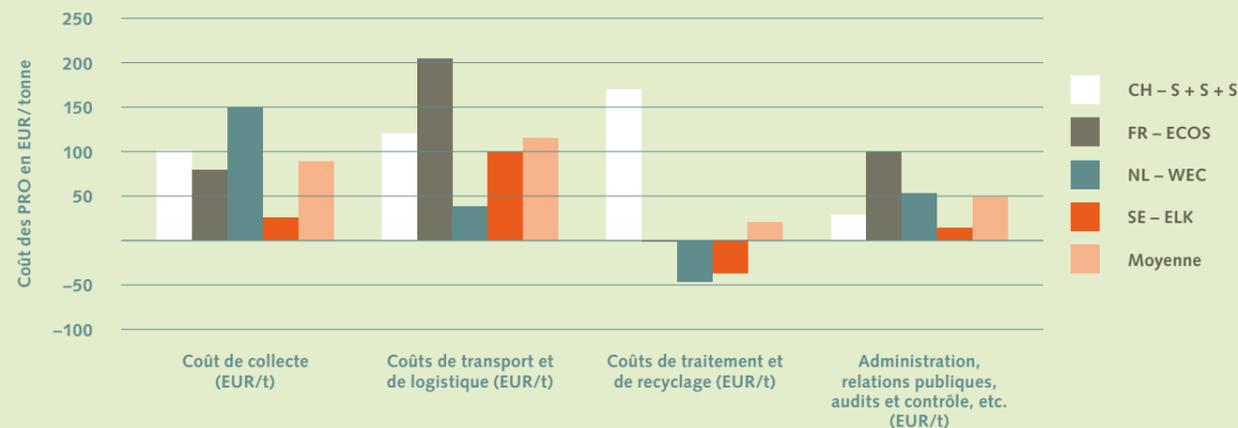
Garder une vue d'ensemble

Comme la figure 1 le montre, les PRO suisses proposent leurs services pour un total de CHF 564.00 par tonne d'appareils électriques et électroniques collectés¹. Les principaux éléments de coûts étaient: les dépenses pour la collecte d'appareils usagés, le transport et la logistique ainsi que la préparation et le recyclage. Ces postes représentent 87 pour cent de toutes les dépenses. Les facteurs restants n'avaient qu'une influence réduite sur les coûts des PRO suisses et pouvaient être principalement regroupés sous le poste «Administration, marketing et contrôles».

Tableau 1: ventilation des coûts du système suisse

Éléments de coûts	Swico 2013	SENS 2013	SLRS 2013	Total Suisse 2013
Volumes totaux collectés (en tonnes)	55 305	76 175	4 099	135 579
Coûts de collecte par tonne (CHF/t)	111.–	144.–		126.–
Transport et logistique par tonne (CHF/t)	169.–	144.–		150.–
Coûts de valorisation et de recyclage par tonne (CHF/t)	187.–	182.–	1 115.–	212.–
Coûts d'administration, de marketing et de contrôles par tonne (CHF/t)	29.–	29.–	268.–	36.–
Autres coûts – piles – coûts par tonne (CHF/t)	18.–	10.–		13.–
Autres coûts – emballages – coûts par tonne (CHF/t)	64.–			26.–
Coûts totaux par tonne (CHF/t)	578.–	509.–	1 383.–	564.–

Figure 1: comparaison des principaux éléments de coûts



Les coûts des PRO suisses pour la collecte ainsi que pour le transport et pour la logistique se situaient dans la moyenne européenne. Les coûts d'administration, de marketing et de sensibilisation ainsi que pour les contrôles et la surveillance étaient inférieurs à la moyenne. Cependant, les coûts totaux des PRO suisses étaient nettement supérieurs à ceux d'organisations similaires sur d'autres marchés européens: les coûts supplémentaires s'élevaient en moyenne à environ EUR 200.- par tonne d'appareils électriques et électroniques usagés collectés. Le facteur à la source de cette énorme différence a ensuite été identifié: il s'agissait des coûts de préparation et de recyclage. Là où d'autres PRO ont pu générer des revenus nets à partir des coûts de préparation, les Suisses ont payé des montants élevés pour la préparation et le recyclage, comme l'illustre la figure 1.

Évaluation plus détaillée du facteur de coûts «Préparation et recyclage»

Un examen plus approfondi des différents facteurs au sein de la catégorie «Coûts de préparation et de recyclage» a montré que ces coûts peuvent être répartis en:

- coûts spécifiques au pays, sur lesquels les PRO n'ont que peu d'influence, voire aucune, comme les prix de l'énergie nationaux ou les niveaux de salaire minimaux;
- coûts directement contrôlables par les PRO, par exemple les conditions qu'ils négocient avec les entreprises de recyclage pour la préparation.

La figure 2 illustre l'influence des facteurs sur les coûts et les possibilités d'influence des PRO sur les coûts:

Des idéaux scandinaves

Les systèmes de la Suède et de la Suisse se prêtent particulièrement bien à une comparaison en raison des chiffres semblables en terme de population, du niveau comparable des revenus, des taux de collecte élevés pour les appareils électriques et électroniques ainsi que des PRO bien établis. Une comparaison des systèmes de reprise et de recyclage des deux pays nous montre que jusqu'à 81 pour cent des différences de coûts sont dus au total à cinq facteurs centraux:

- En Suède, les coûts pour la collecte des appareils et la sensibilisation sont externalisés et pris en charge par les communes, alors qu'en Suisse, ce sont les PRO qui doivent assumer ces coûts.
- De plus, les entreprises de recyclage suisses sont plus chères en raison des coûts des salaires, du capital et de l'élimination plus élevés, eux-mêmes dus aux facteurs macro-économiques en Suisse.

- En Suisse, les coûts du transport et de la logistique sont également plus élevés. Ils s'expliquent par des exigences légales et des conditions géographiques différentes.
- Les entreprises de recyclage en Suisse présentent une réalisation de la valeur des matériaux moindre, principalement du fait des coûts plus élevés de transport aux fonderies et aux installations de retraitement en Europe.
- L'élaboration du modèle d'index des matériaux pour le calcul des rétributions des entreprises de recyclage.

Pistes possibles

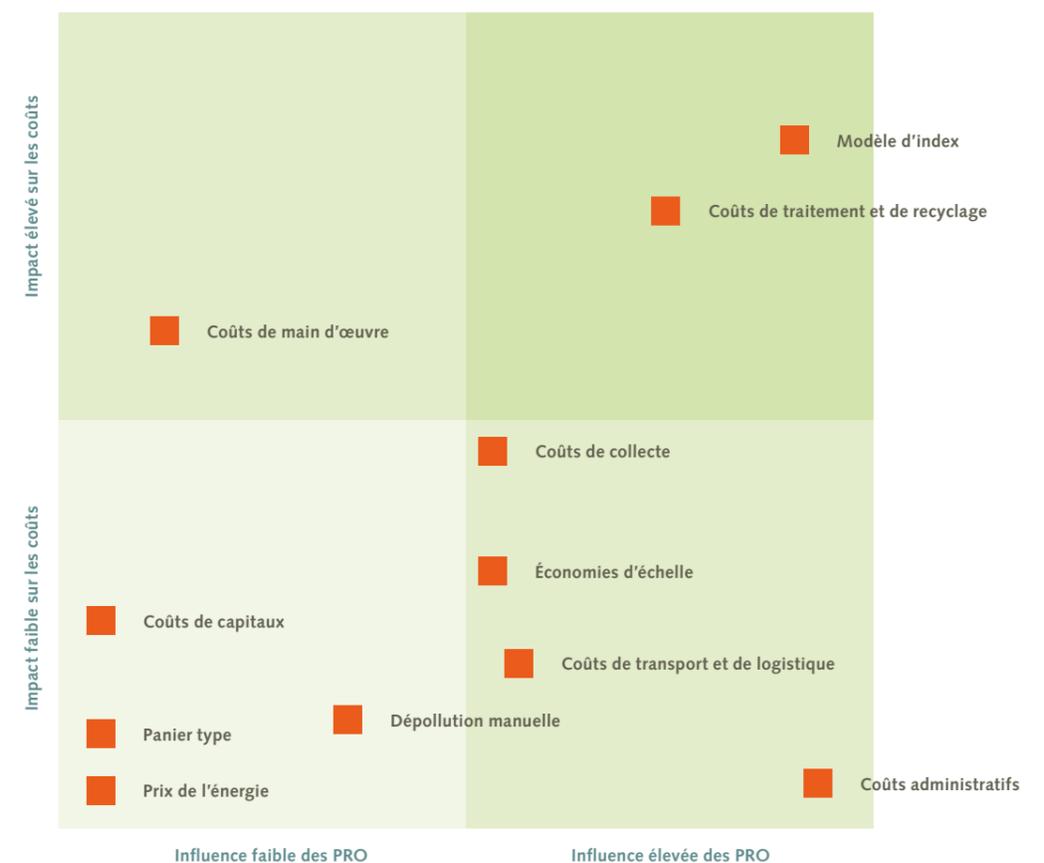
Si l'on se concentre sur les facteurs de coûts intensifs qui peuvent être influencés directement par les PRO, on peut formuler les deux recommandations suivantes à l'intention des PRO:

- Le règlement des frais de préparation doit être strictement séparé des recettes générées par la récupération

des matériaux: cela assurerait non seulement une transparence accrue pour les PRO et les entreprises de recyclage concernant les dépenses et les recettes, mais également la possibilité de séparer les recettes issues des matériaux, qui sont très volatiles et dépendent du marché, des coûts indépendants du marché pour la préparation et l'élimination.

- Une liste de matériaux plus représentative se prêterait mieux à l'actualisation de la formule pour le modèle de l'index. Cette liste devrait comprendre des métaux non mentionnés jusqu'ici ainsi que d'autres fractions non prises en compte jusqu'à présent. L'objectif serait ici de ventiler avec une meilleure transparence les recettes et les pertes d'une entreprise de recyclage.

Figure 2: matrice des effets et des influences



Piles au lithium-ion

Maniement des piles au lithium

Rolf Widmer

Le groupe de travail «PLI dans les appareils E+E usagés¹» créé par les trois systèmes de reprise Swico, SENS et Inobat élabore en accord avec l'OFROU des notes explicatives et des recommandations destinées à tous les acteurs de la collecte et du transport des appareils électriques usagés contenant des PLI, c'est-à-dire à tous les centres de collecte en particulier, mais aussi aux commerçants assurant la reprise des appareils E+E usagés ainsi qu'aux recycleurs réceptionnant les livraisons.

Selon la législation actuelle, les PLI sont des marchandises dangereuses et ne doivent pas être transportées, sauf si elles respectent les règlements spéciaux et les instructions d'emballage conformément à l'ADR 2015, notamment pour tous les appareils E+E contenant des PLI qui:

- de toute évidence pourraient contenir des PLI défectueuses (par exemple téléphones portables déformés)²,
- contiennent exclusivement des PLI de petit format ou de faible puissance (jusqu'à 500 grammes de poids brut, jusqu'à 20 Wh | 100 Wh d'énergie nominale ou 1 g | 2 g de lithium par cellule | pile)³,
- contiennent aussi de grandes PLI⁴.



Figure 1: PLI de toute évidence défectueuses et dangereuses dans des notebooks ou des téléphones portables. Il convient de trier de tels appareils E+E.



Figure 2: récipient de collecte d'Inobat existant.

Etant donné que les appareils E+E contenant des PLI assurent la fonction d'emballage, ils ne doivent pas être endommagés. De plus, le transport en vrac, par exemple dans des containers, n'est pas prévu dans l'ADR pour les appareils E+E usagés contenant des PLI. Il est donc interdit.

Par conséquent, les appareils E+E contenant des PLI peuvent être transportés conformément à DS 636 ou DS 377. Les deux variantes possèdent des avantages et des inconvénients, il faut notamment effectuer un tri ciblé soit des grandes PLI (DS 636) soit des PLI défectueuses (DS 377). Par conséquent, les appareils E+E usagés doivent aujourd'hui impérativement être triés au centre ou au point de collecte, puis protégés et identifiés en conséquence pour le transport. Le groupe de travail «PLI dans les appareils E+E» recommande aux systèmes de reprise concernés, d'aligner à l'heure actuelle la collecte et le transport de petits appareils sur DS 377, ce qui nécessite de faire un tri sélectif des appareils E+E avec des PLI défectueux et, pour le transport des appareils restants, de munir les appareils E+E susceptibles de contenir des PLI d'une étiquette de danger, du numéro UN et de documents de transport. Ces appareils E+E doivent être transportés dans des emballages de petites dimensions, comme c'est déjà le cas pour les écrans.

Au niveau européen, cela nécessite un changement de grande ampleur, voire même radical, dans les méthodes utilisées habituellement. Il n'est donc pas étonnant de voir arriver sans cesse de nouvelles propositions de modification des règles ADR adoptées ensuite

par les commissions compétentes pour ajuster les prescriptions correspondantes. Dans les cas urgents, il est possible de procéder à des modifications dans le cadre d'accords multilatéraux, de manière à ce que ces modifications puissent être appliquées avant la prochaine révision intégrale de l'ADR. DS 636 est par exemple en cours de remaniement pour que tous les appareils E+E contenant des PLI, c'est-à-dire pas seulement ceux avec de petites PLI, soient transportables sans être préalablement emballés. Cela permettrait de supprimer dans une large part le tri et l'étiquetage des appareils E+E contenant des PLI.

La décision pour cette révision est tombée en mars 2016 et la date d'introduction de cette modification la plus proche pourrait déjà être l'été 2016, par le biais d'un accord multilatéral, sinon début 2017 avec la prochaine version de l'ADR. Les appareils E+E pourront être transportés dès l'entrée en vigueur de la DS 636 modifiée. Jusqu'à cette date, les règles actuelles s'appliquent.

Les PLI défectueuses (voir figure 1) présentent de nombreux risques et devraient dans tous les cas être retirées du flux de recyclage des marchandises. Même si la nouvelle DS 636 ne prescrira plus de tri rigoureux, le groupe de travail recommande, en accord avec CENELEC 50625, de continuer à retirer les PLI de toute évidence défectueuses.

Inobat teste actuellement diverses possibilités pour transporter des PLI défectueuses dans des récipients certifiés UN. Les considérations à ce sujet sont entre autres:

- continuer d'utiliser les récipients de collecte Inobat existants (figure 2); les récipients de collecte sont emballés dans un récipient de transport Inobat conforme aux règles de l'ADR (figure 3);

utiliser des sacs certifiés UN pour le transport des PLI dans les fûts en matière plastique habituels d'Inobat ou dans de nouveaux fûts en acier (figure 4). Les PLI en vrac, mais également les petits appareils E+E seraient mis dans de tels sacs où, en cas de dommage, la même chose se produit qu'avec la matière de remplissage des récipients de transport: l'électrolyte s'évaporant des cellules des PLI dégageant des gaz chasse l'oxygène du sac, parallèlement la vapeur refroidit sous la température

de flamme en traversant le matériau tissé et une quantité de vapeur aussi importante que possible se condense et est absorbée par le tissu.

La conclusion de l'évaluation des variantes et l'introduction des récipients sélectionnés sont prévus pour cette année.



Figure 3: les récipients de collecte certifiés UN sont soulevés hors des récipients de transport et y sont redéposés à l'aide de sangles de transport.

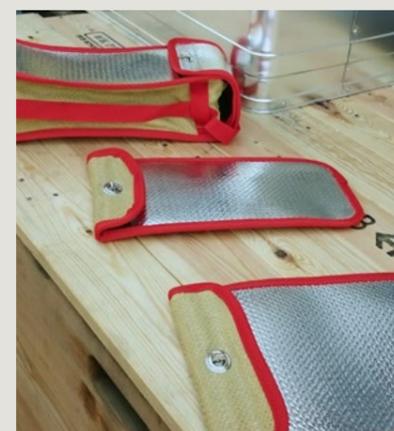


Figure 4: sacs certifiés UN (argentés) pour le transport de PLI dans les fûts en matière plastique habituels d'Inobat ou dans d'éventuels fûts nouveaux en acier.

¹ PLI signifie «cellules et piles lithium-métal ou lithium-ion», et E+E signifie «électroniques et électroniques».

² DS 376 avec P908 ou LP 904.

³ DS 636 avec P909.

⁴ DS 377 avec P909.

10 ans de recyclage de sources lumineuses

Petites quantités – grand effet

Ueli Kasser

La taxe d'élimination anticipée a été introduite à l'automne 2006 pour les sources lumineuses fluorescentes, les lampes à économie d'énergie et autres lampes dites à décharge. Depuis, un total de plus d'un kilo par habitant de ce déchet toxique a été collecté et valorisé. Il est donc temps de dresser une rétrospective pour savoir ce qui est advenu de ces quelque 10 000 tonnes de déchets.

Le marché des sources lumineuses a connu de grands changements au cours des dernières années. L'interdiction progressive entre 2010 et 2012 de l'ampoule Wolfram classique pour

des raisons énergétiques a d'une part entraîné une augmentation massive des lampes dites à économie d'énergie. Ces lampes résultent d'un développement du luminaire fluorescent LF sur la base de la technologie de décharge de vapeur de mercure. Mais cette technologie devait s'avérer n'être qu'une solution de transition car la technologie LED est encore plus efficace, tout en étant exempte de mercure. Ces évolutions sur le marché des nouveaux luminaires influencent également les quantités et la qualité des déchets.

Nette augmentation des lampes à économie d'énergie dans les déchets

Les lampes à décharge classées comme déchets spéciaux tout comme

les LED soumises à l'OREA doivent, contrairement à l'ampoule classique, être séparément retournées, collectées et éliminées sous contrôle. Le système de reprise de la Fondation Suisse pour le recyclage des sources lumineuses et luminaires SLRS finance depuis 2007 la logistique et le traitement des sources lumineuses grâce à la taxe anticipée de recyclage. La figure 1 indique les quantités de sources lumineuses acceptées par les entreprises d'élimination depuis 2007. Chez les recycleurs, l'enregistrement des données ne fait la distinction qu'entre les sources lumineuses rectilignes et les sources lumineuses non rectilignes. Les quantités de LF classiques sont restées pratiquement constantes au cours des huit dernières années, tandis que les sources lumineuses non rectilignes ont augmenté de 110 tonnes à 280 tonnes par an.

De nombreux déchets non financés

Derrière le terme «sources lumineuses non rectilignes» se cachent divers types de déchets (cf. figure 2). D'une part, le consommateur ne peut plus guère faire la différence aujourd'hui entre des ampoules, des lampes à économies d'énergie et des lampes de substitution à LED. D'autre part, font également partie des sources lumineuses non rectilignes les lampes à décharge à haute pression et de nombreuses autres applications spéciales ainsi que les cartouches de filtres, les thermomètres et d'autres déchets dans lesquels le consommateur et les centres de collecte supposent la présence de mercure. La composition

Figure 1: quantités de sources lumineuses acceptées par les entreprises de traitement des sources lumineuses suisses

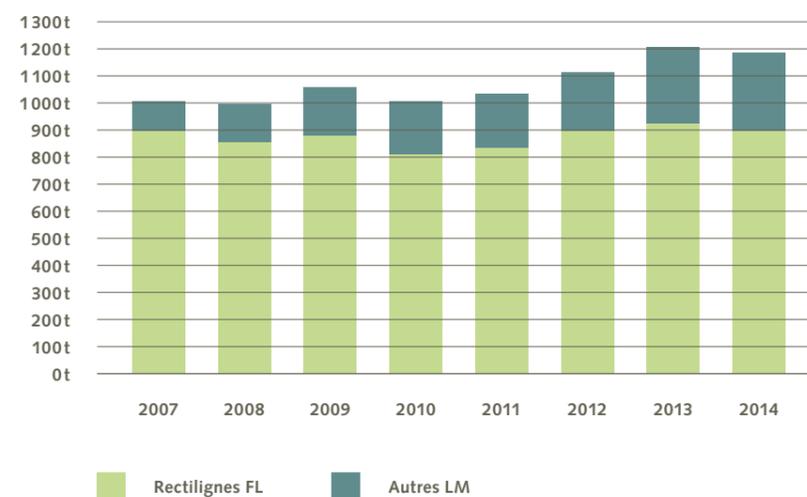
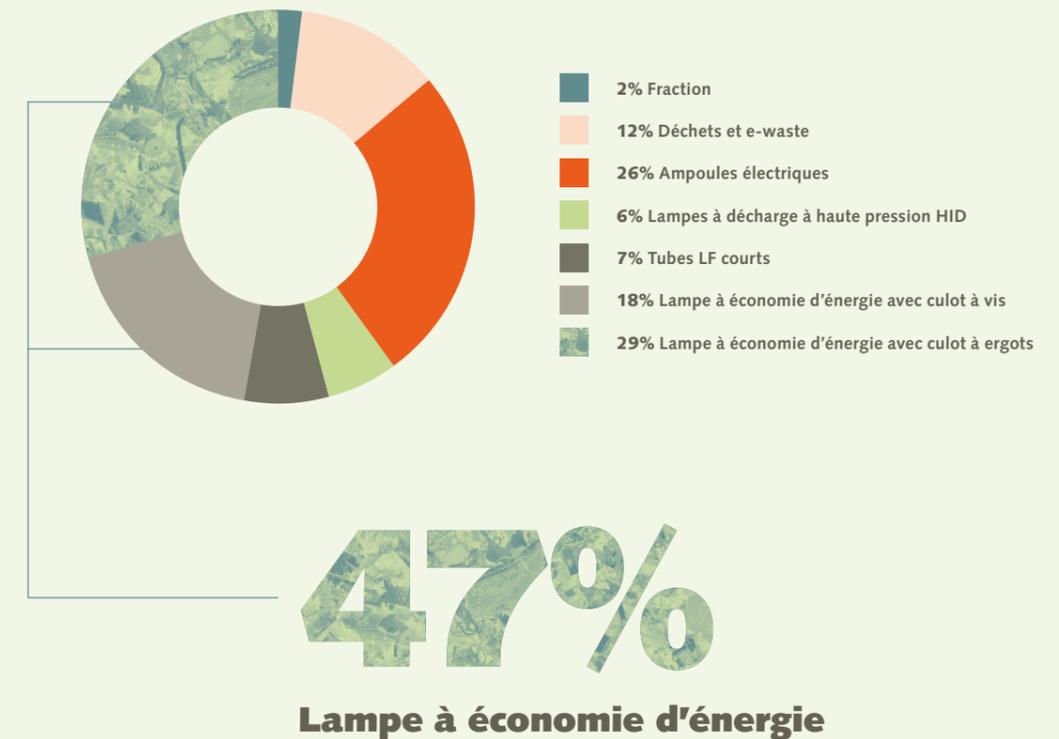


Figure 2: composition des déchets de sources lumineuses non rectilignes à partir d'une analyse par sondage de 2010



des sources lumineuses non rectilignes est connue d'une seule analyse¹ par sondage menée auprès d'un recycleur suisse.

À l'époque, environ 2 tonnes de sources lumineuses non rectilignes ont été examinées, telles qu'elles sont livrées par les centres de collecte aux recycleurs. L'échantillon n'est pas représentatif et ne donne qu'une image floue, qui a sans doute fait place depuis 2010 à une part nettement plus grande de lampes à économie d'énergie. La part élevée d'ampoules et autres déchets non financés par le système est frappante. Les sources lumineuses non rectilignes ne sont pas intéressantes pour les recycleurs. En effet, le tri représente une charge de travail importante et la création de valeur sur le plan des matières premières de récupération est encore inférieure à celle des LF rectilignes.

Augmentation du traitement à l'échelon national

La figure 3 présente les parts des sources lumineuses qui ont été exportées sans être traitées, comparé aux parts qui ont été traitées en Suisse. Tandis qu'entre 2007 et 2010 jusqu'à 40% des sources lumineuses collectées ont été exportées, cette part a reculé à 15% en 2014.

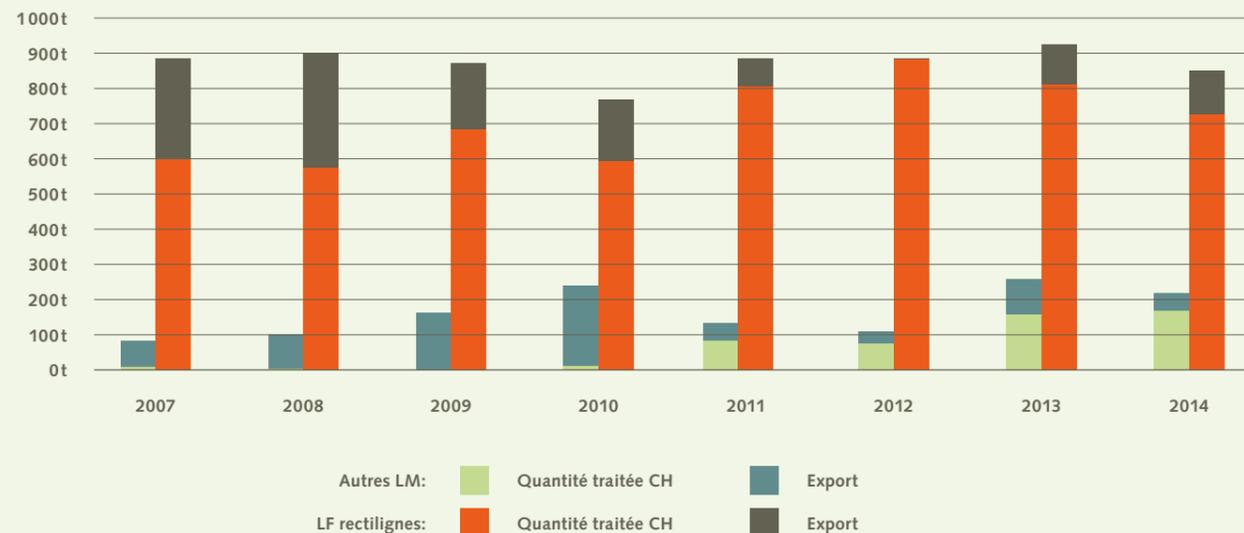
Cela dépend de divers facteurs. Jusqu'en 2011, il n'y avait aucune technologie éprouvée pour le traitement efficace des lampes à économie d'énergie. De plus, deux entreprises de recyclage titulaires d'une licence SENS ne disposaient au début d'aucun atelier de traitement en Suisse et n'agissaient que comme logisticiens pour l'exportation. Des LF ont donc été exportés en Allemagne et en France, alors que la Suisse disposait déjà à l'époque de surcapacités. En 2014, il n'y avait plus qu'une seule entreprise

qui exportait toutes les sources lumineuses collectées vers la France.

Séparation élevée du mercure – un faible gain de matériaux recyclables

L'objectif primaire du traitement des sources lumineuses est la séparation du mercure et l'isolation durable du métal toxique de la biosphère. Le flux de mercure des quelque 10 000 tonnes de sources lumineuses traitées depuis 2007 en Suisse s'élève au total à environ une tonne. D'après l'état de la technique, près de 90% de cette quantité peuvent être séparés². La plus grande part est absorbée dans les filtres au carbone actif des installations et récupérée par le biais de leur régénération ou éliminée de manière sûre. L'autre part se trouve dans la poudre lumineuse qui, au cours des années passées, était exportée et partiellement distillée. Ce processus permettait de récu-

Figure 3: sources lumineuses exportées sans avoir été traitées, par comparaison avec les quantités traitées en Suisse



pérer du mercure. Depuis l'interdiction d'exporter du mercure hors de l'UE et la fermeture de la société Dela GmbH en Allemagne, celui-ci arrive principalement sous forme de liaison chimique stable dans les mines de sel d'Allemagne et dans les décharges de déchets spéciaux de France. La préparation de la poudre lumineuse pour la récupération des terres rares³ n'a fonctionné que deux ans à peine, elle va être arrêtée cette année par l'entreprise exploitante française⁴.

Transformation des lampes en matériau isolant

La fraction de verre issue de la préparation des sources lumineuses constitue environ 80% du flux de matériaux total. Au cours des années passées, une part significative de verre a été réintégrée dans la production de nouvelles sources lumineuses. Avec la suppression progressive des procédures de séparation des culots et la délocalisation de la production de lampes vers l'Asie, ce closed-loop recycling a pratiquement disparu. La majeure partie du verre est actuellement intégrée à la production de laine

de verre comme matériau isolant. Tous les autres repreneurs, situés principalement à l'étranger, utilisent les débris de verre des sources lumineuses dans des applications de verre industrielles (par exemple la céramique). Les fractions de métal directement recyclables constituent environ 5% du flux de matériaux. Celles-ci arrivent dans le circuit des vieux métaux et les efforts portent ici sur le respect de la valeur limite du mercure. En ce qui concerne les sources lumineuses usagées, il s'agit d'un flux de déchets peu significatif sur le plan quantitatif, qui place au premier plan la séparation et l'isolation du mercure.

Les LED dans un avenir lointain

Il n'y a aucun intérêt à traiter des LED dans des systèmes technologiques conçus pour la séparation du mercure. Ces nouveaux déchets sont donc triés au préalable dans les entreprises de recyclage et stockés séparément. D'après l'avis de personnes initiées, environ 15 tonnes de LED se sont ainsi accumulées en Suisse au cours des dernières années. De l'avis général des experts, une dépollution n'est pas nécessaire et

constituerait un effort disproportionné si l'on considère les faibles quantités de substances éventuellement toxiques. Ainsi, le traitement va probablement se solder par la récupération des métaux rares présents sur le précieux circuit imprimé des lampes de substitution à LED⁵. Quant aux LED sans électronique intégrée, elles seront probablement brûlées.

¹ Nicht stabförmige Leuchtmittel – ein bunter Haufen; rapport technique 2010; fondation SENS, Zurich, 2011, p. 20.

² Hug, E., Renner, N.; Erhebung von Quecksilberkonzentrationen in Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung unter Berücksichtigung von Aspekten zur Probenahme und Analytik, SENS/SLRS, 26 mai 2010.

³ Kasser, U., Wäger, P.; Vom Sondermüll zur Rohstoffquelle – ein weiterer Kreislauf wird geschlossen: rapport technique; SENS, Swico, SLRS; 2014, Zurich.

⁴ Communication de collaborateurs de Solvay Aroma Performance sans confirmation officielle à l'heure actuelle, février 2016.

⁵ LED avec culot à vis et électronique intégrée.

Condensateurs contenant des PCB

Dans quelle mesure les condensateurs sont-ils dangereux?

Daniel Savi

Les condensateurs peuvent contenir des polychlorobiphényles (PCB) s'ils datent de plus de 30 ans. Après l'interdiction générale des PCB en 1986, la question se pose de manière toujours plus pressante de savoir combien de condensateurs contiennent encore des PCB dans le retour actuel. Pour l'avenir, il est nécessaire de déterminer si les condensateurs plus récents contiennent des liquides nocifs pour l'environnement ou la santé, dans des quantités qui exigent de continuer à dépolluer sans destruction ces derniers

Quels sont les condensateurs contenant des PCB?

Les condensateurs contenant des PCB sont généralement des condensateurs métal-papier qui ont été imprégnés de PCB. Après l'interdiction des PCB de 1986, la production des condensateurs a encore mis un peu de temps avant de supprimer les PCB. On peut donc partir du principe qu'à partir de 1990, les condensateurs de tous les fabricants importants étaient exempts de PCB. Les PCB sont très stables dans l'environnement et ils sont particulièrement toxiques pour les poissons. Comme ils sont très liposolubles, ils rejoignent la chaîne alimentaire. Les PCB peuvent causer des maladies chroniques, en particulier le cancer du foie. Dans la pratique, l'élimination doit donc avoir pour objectif de ne permettre au-

cune fuite de PCB dans la mesure du possible. L'Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim) considère que les condensateurs renferment des polluants lorsqu'ils contiennent des huiles avec une teneur de plus de 50 ppm en PCB. L'interdiction dans l'ORRChim ne se réfère pas qu'aux PCB, mais aussi à toutes les substances aromatiques polyhalogénées. On peut en déduire qu'un mélange de condensateurs d'appareils peut être considéré comme exempt de PCB lorsque le mélange d'huiles de ces condensateurs contient moins de 50 ppm de PCB. Par conséquent, combien de condensateurs peuvent être considérés comme contenant des PCB pour que ce critère soit respecté? En sup-

suffit déjà pour que le mélange d'huile de tous les condensateurs contienne 50 ppm de PCB. Une extrapolation sur la Suisse souligne l'ordre de grandeur de cette exigence. Environ 1,2 millions de condensateurs issus d'appareils électriques sont dépollués chaque année par les recycleurs suisses. Parmi eux, il faudrait que seules 60 unités contiennent des PCB pour que le mélange d'huile de tous les condensateurs contienne moins de 50 ppm de PCB.

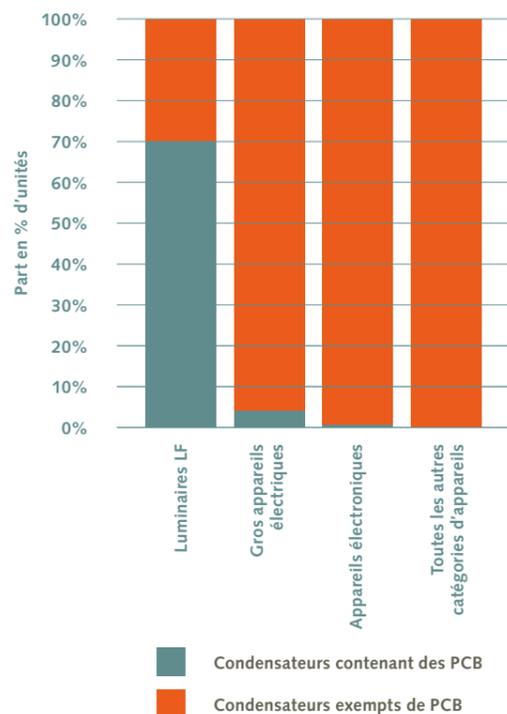
Combien de temps encore les condensateurs contenant des PCB vont-ils exister?

Il va encore falloir un peu de temps avant que le nombre de condensateurs contenant des PCB permette de renoncer à une dépollution. Les quelques rares études disponibles montrent un recul des condensateurs contenant des PCB dans les gros appareils électroménagers de 8% en 1994 à 4% en 2008 et à 0,4% en 2013. Les ballasts de sources lumineuses LF indiquent tant en 1994 qu'en 2009 près de 70% de condensateurs contenant des PCB. Les petits appareils électriques contenaient en 2008 environ 0,1% et en 2013 environ 0,4% de condensateurs contenant des PCB (Eugster et al., 2008; Gasser, 2009; in 't Groen, 2013; Müller, 1994). Les chiffres actuels sont entre-temps très bas, mais ils sont toujours supérieurs à une unité pour 20000 appareils (0,005%), niveau qu'il faudrait atteindre pour respecter le critère des 50 ppm. En raison du peu de chiffres



Figure 1: condensateurs mélangés issus d'appareils électriques éliminés.

Figure 2: parts estimées de condensateurs contenant des PCB > 2,5 cm selon catégories d'appareils (base des données: études SENS, Swico, SLRS 2008 et 2009)



connus, il est très difficile de prévoir dans le temps à quel moment cette part très faible de condensateurs contenant des PCB sera atteinte. Presque dix ans après la dernière enquête en Suisse, il conviendrait de réexaminer la situation actuelle. La combinaison de savoirs pratiques et de détermination analytique des composants permet de classer au prix d'un effort raisonnable un grand nombre de condensateurs compte-tenu de leur teneur en PCB.

Les condensateurs exempts de PCB contiennent-ils des substances préoccupantes?

Les condensateurs exempts de PCB ne sont pas exempts en soi de polluants. Selon les prescriptions techniques de SENS et de Swico, les condensateurs électrolytiques qui contiennent des substances préoccupantes (hauteur > 25 mm, diamètre > 25 mm ou volume proportionnellement identique), doivent également être retirés des appareils usagés. Sont considérés comme condensateurs électrolytiques les condensateurs polarisés dont l'électrode négative est formée par un électrolyte liquide conducteur d'électricité. Les

condensateurs non polarisés peuvent eux aussi contenir des imprégnations liquides. Pour la détermination d'une élimination écologique, ces liquides doivent être contrôlés afin de détecter les composants préoccupants. Le terme «composants préoccupants» n'a pas été clairement défini jusqu'à présent. Dans la pratique du recyclage, cela ne peut concerner que les composants qui, comparé à d'autres composants dans les appareils électriques, sont particulièrement préoccupants. Pour les prescriptions techniques futures, une interprétation de ce terme doit être fournie par TK-SENS-Swico. Il est par exemple possible de s'appuyer sur le système de signalisation des substances dangereuses et leurs phrases de risque H, la toxicité pour les eaux ou la stabilité dans l'environnement et la liposolubilité.

Dans le cas des condensateurs électrolytiques, les condensateurs à l'aluminium, non solides, sont de loin les plus répandus. Selon les informations de la documentation à ce sujet (Hering et al., 2014), il se peut que les électrolytes contenus dans les condensateurs électrolytiques à l'aluminium actuels soient

nuisibles pour l'enfant à naître ainsi que pour la santé en cas de contact avec la peau ou d'inhalation. Les condensateurs pour l'électronique de puissance sont utilisés partout où des tensions de crête peuvent se produire. Parmi les appareils électriques, cela concerne entre autres les lave-linges, les lave-vaisselles, les photocopieurs ou les fours à micro-ondes. Les condensateurs MKV sont un modèle de construction de ces condensateurs de puissance. Ces condensateurs sont construits avec un film papier recouvert par vapeur d'une couche de métal et d'un film en matière plastique intercalé. Le papier est imprégné avec une huile. L'étude sur les PCB des systèmes de reprise suisses nous a permis de connaître un nombre de substances possibles contenues dans ces huiles. Parmi celles-ci, certaines peuvent nuire aux enfants à naître, sont cancérigènes et très toxiques pour les cours d'eau.

Il faudra déterminer quelles classifications de substances permettent de qualifier une substance de «préoccupante», celle-ci nécessitant un traitement particulier lors de l'élimination, et quelles classifications de substances correspondent aux dangers habituels dans la gestion des déchets électriques. Il est encore trop tôt actuellement pour affirmer clairement à quoi les pratiques d'élimination devront ressembler lorsqu'il n'y aura plus de condensateurs contenant des PCB. Mais il est désormais temps de poser les bases requises pour les décisions à venir.

Références bibliographiques

Eugster, M., Chappot, A.-C., Kasser, U. (2008). PCB's in Small Capacitors from Waste Electrical and Electronic Equipments (September). SENS, Swico et SLRS.

Gasser, D. (2009). Pilotzerlegung Fluoreszenz-Leuchten; SENS.

Hering, E., Bressler, K., Gutekunst, J. (2014). Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler (6^e édition); Berlin Heidelberg: Springer.

B. A. F. in 't Groen (2013). Polychloorbifenylyls (PCBs) in the Dutch e-waste stream (74101765-CES/IPT 12-3248). Arnhem: KEMA Nederland B.V. Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem.

Müller, J. (1994). Diffuse Quellen von PCB in der Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 229. (éd. OFEFP). Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

Recyclage de modules photovoltaïques

Le problème avec les composants dangereux

Ueli Kasser

La production de courant à partir de cellules solaires fait partie des technologies très prometteuses pour l'avenir et sa promotion doit être accrue. Il est donc surprenant que, dans le domaine du recyclage des modules photovoltaïques, les travaux de recherche et les investissements soient comparativement faibles. Le recyclage est surtout rendu difficile par le fait que les modules photovoltaïques ne sont pas tous exempts de composants dangereux.

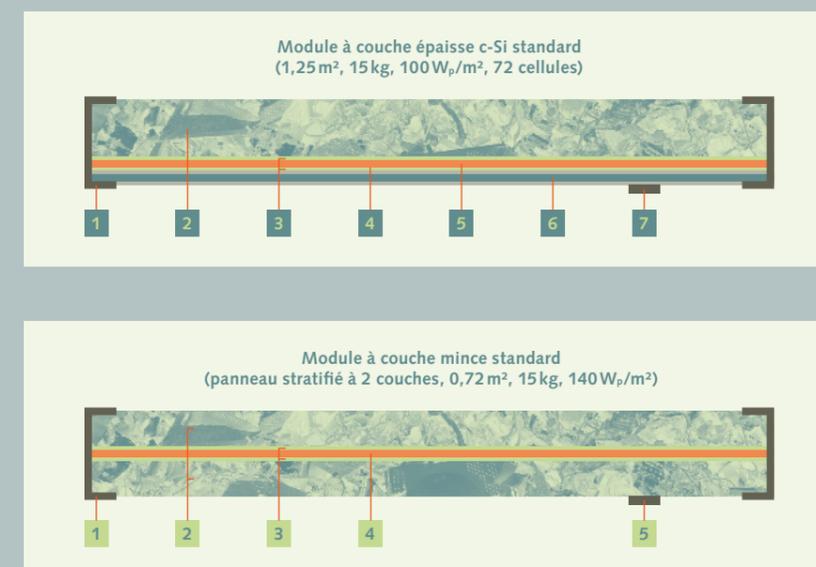
Le recyclage de modules photovoltaïques en Suisse a commencé début 2015 et fonctionne sur le même principe que pour les autres appareils électriques usagés. Il se déroule par le biais du système SENS en ligne, les exigences techniques sont déterminées¹ par le standard européen et la logistique en Suisse est assurée par deux entreprises². Les quantités de recyclage, encore négligeables, se sont élevées l'année dernière à presque 50 tonnes. D'après les prévisions en la matière, les quantités ne deviendront significatives qu'à moyen terme. On prévoit à l'échelon européen environ 20 000 tonnes d'anciens modules photovoltaïques³ pour l'an 2025. Un total d'environ 7 500 tonnes d'anciens modules ont été collectés et traités en Europe sur une période de sept ans, soit de 2010 à 2016⁴. Cela représente moins d'un pour mille de la quantité totale de déchets électriques. Malgré ces quantités minimes, il est temps d'aborder les défis liés au recyclage.

Verre et polluants

Le matériau des modules photovoltaïques le plus important sur le plan quantitatif est le verre plat, qui constitue 60 à 75% du poids. Ce verre est pour l'essentiel identique au verre de fenêtres. Cependant, de l'antimoine est ajouté comme agent de clarification au verre pour modules photovoltaïques. Les constructions standards

de modules photovoltaïques à couche épaisse et à couche mince sont représentées dans la figure 1. Le composant le plus précieux dans les conditions économiques actuelles est le cadre en aluminium, qui constitue environ 20 à 25% du poids. La couche fonctionnelle effective, composée de films, de semi-conducteurs et de la boîte de connexion avec les conducteurs élec-

Figure 1: constructions standards de modules photovoltaïques à couche mince et à couche épaisse



Module à couche épaisse

1. Cadre de module en aluminium 20-25%
2. Verre plat, 3-4 mm, 60-65%
3. Film EVA, 2 x 300 µm, 6,5-8,0%
4. Métaux de conducteurs électriques, 1%
5. Semi-conducteurs en gaufre de silicium 300 µm, 4-5%
6. Film de la face arrière PET/PVF, 200 µm, 2,0-2,7%
7. Boîte de raccordement, 0,8-1,4%

Module à couche mince

1. Cadre de module en aluminium, 20%
2. Verre plat, 2 x 3 mm, 75%
3. Film EVA, PVB; PU, PE 200-300 µm, 3-4%
4. Semi-conducteur à couche mince a-Si, Cd, In, Se, S, 3-8 µm, appr. 0,1%
5. Boîte de raccordement, 0,8-1,4%

triques ne constitue qu'une faible part du poids. La construction en sandwich, composée de films en matière plastique et de verre, rend le recyclage plus difficile. La séparabilité est un défi, comme pour les verres feuilletés de sécurité utilisés dans le domaine de la construction ou de l'automobile.

Couche mince, couche épaisse

Pour pouvoir effectuer une évaluation des risques concernant les modules photovoltaïques, il faut distinguer les deux systèmes classés en fonction de l'épaisseur de la couche semi-conductrice photoactive (cf. figure 2). Les désignations «couche épaisse et couche mince» sont un peu déroutantes. Elles ne se réfèrent qu'à la couche de semi-conducteurs et non à l'épaisseur des modules dans leur ensemble. Les modules à couche épaisse sont composés de semi-conducteurs en silicium polycristallin, reconnaissables à leur structure gaufrée typique (cf. figure 3). La couche de semi-conducteurs en silicium pur d'une épaisseur d'environ 300 à 400 micromètres (μm)⁵ ne contient aucun polluant. Elle peut cependant contenir du cuivre et du plomb métalliques provenant des conducteurs et des soudures, comme c'est toujours le cas dans tous les appareils électriques et électroniques usagés. Les modules photovoltaïques avec des cellules à base de silicium sont désignés en Suisse par le

code OMOd 16 02 16 «sans composants dangereux». Les personnes capables de faire la différence entre les cellules solaires à couche épaisse et celles à couche mince ont la certitude de se trouver uniquement en présence de déchets «sans composants dangereux» au sens de l'OMoD.

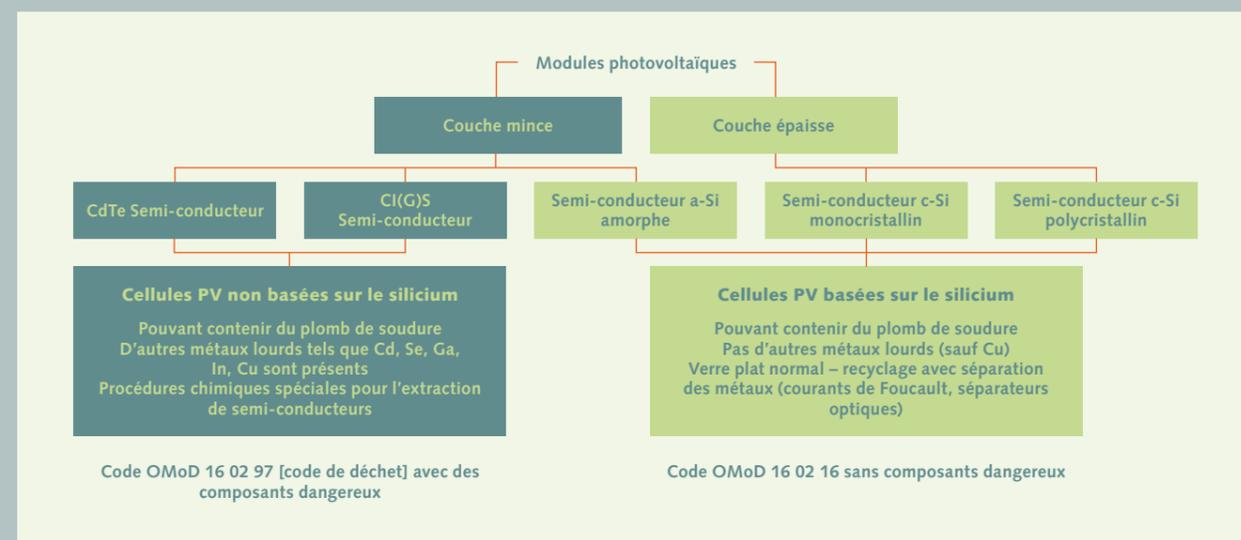
Tous ne sont pas aussi propres qu'ils le paraissent

La situation est différente avec les modules à couche mince. Les modules à couche mince avec les types de semi-conducteurs CdTe et CI(G)S doivent être désignés comme déchets contenant des composants dangereux, c'est-à-dire avec le code de déchets 16 02 97. Derrière ces sigles se cachent les éléments chimiques cadmium, tellure, cuivre, indium, gallium et sélénium. Leurs liaisons sont en partie très toxiques. Le cadmium est interdit dans la plupart des domaines d'application⁶. Les teneurs dans les modules à couche mince sont relativement élevées. Elles sont mentionnées dans la documentation spécialisée à raison de 500 ppm pour le cadmium et de 100 ppm pour le sélénium pour l'ensemble du module⁷. Cependant, les modules à couche mince ne contiennent pas tous des composants dangereux. Les modules composés de semi-conducteurs à base de silicium amorphe (a-Si) sont «non polluants» dans la nomenclature de l'OMoD (cf. figure 2).

Identification des types de modules contenant des polluants via Internet

Tandis qu'une différenciation visuelle des modules à couche mince et de ceux à couche épaisse est possible, une telle différenciation au sein des modules à couche mince entre d'une part les modules à semi-conducteurs à base de silicium amorphe et d'autre part les modules à base de CdTe ou de CI(G)S n'est pas possible. Cela complique la séparation précise dans les deux catégories selon l'OMoD. Cette séparation est une prestation importante assurée par les entreprises de recyclage suisses de modules photovoltaïques. Elle permet de décider dans quel processus de valorisation étranger un type de module doit être envoyé. L'entreprise de recyclage doit procéder à la différenciation des modules «avec» et «sans composants dangereux» à l'aide d'une base de données sur les modules du forum de photovoltaïque⁸. Cette base de données liste environ 86000 types de modules au total, d'environ 1500 fabricants dans le monde. Parmi eux, près de 60000 ne sont plus en vente dans le commerce, mais ils demeurent pertinents pour le classement des déchets. Le matériau semi-conducteur est indiqué pour chaque type de module, ce qui permet d'effectuer la classification avec précision. Le fait que les modules photovoltaïques d'un même type arrivent en général en grand nombre, facilite la tâche.

Figure 2: types de modules photovoltaïques et leurs substances éventuellement dangereuses



Chaque type de module sur six est un déchet codé

Conformément à PV Cycle, la coordination européenne des systèmes de reprise nationaux, environ 17% des modules repris et traités entre 2010 et 2016 étaient des modules avec des composants dangereux et 81% étaient des modules à base de silicium⁹. Mais d'après les rapports les plus récents, la technologie à couche mince CI(G)S gagne du terrain sur le marché¹⁰. Les modules à base de silicium utilisés en Suisse sont traités dans deux entreprises de recyclage du verre plat en Allemagne. Celles-ci ne valorisent que le verre plat séparable et le cadre en aluminium. Les semi-conducteurs de qualité ne sont pas recyclés bien que le silicium monocristallin et polycristallin à haute pureté puisse en principe être récupéré¹¹. Des considérations économiques freinent encore partiellement la volonté d'investir dans des installations de recyclage au-delà de l'installation pilote. Les cristaux de silicium pur rejoignent aujourd'hui principalement les débris de verre. Ceux-ci sont utilisés dans les fonderies où le silicium ne pose certes pas de problème, mais n'a aucune utilité.

Que faire des cellules à couche mince contenant des composants dangereux?

Comme pour les écrans plats, il existe encore des questions sans réponses pour les modules CdTe et CI(G)S à couche mince. Des technologies capables en premier lieu de séparer et d'isoler le cadmium et le sélénium sont nécessaires. Les fabricants en Allemagne, tenus par la loi d'assurer l'élimination, auraient déjà développé des installations pilotes pour cette tâche. Les cercles professionnels de la branche n'en savent cependant pas beaucoup sur ces technologies. Une prise de mesures est nécessaire pour les années à venir car une série d'anciens modules CI(G)S a déjà été remise à une entreprise de recyclage en Suisse également. Ces anciens modules sont entreposés séparément dans un premier temps. À l'heure actuelle, l'élimination des modules photovoltaïques consiste principalement à séparer les modules contenant des polluants de ceux n'en contenant pas, à entreposer les premiers et à confier les seconds aux entreprises de recyclage de verre plat à l'étranger.

Figure 3: il est possible de différencier visuellement les modules photovoltaïques à couche mince de ceux à couche épaisse



Module PV à couche mince

Module PV à couche épaisse

¹ La norme européenne EN 50625-2-4 «Traitement de modules photovoltaïques» et la spécification technique TS 50625-3-5 correspondante figurent dans la consultation auprès des commissions de normes nationales.

² KWB Planreal AG à 9443 Widnau et GVZ Glasverbund Zukunft AG à 6252 Dagmarsellen.

³ Recycling von PV-Modulen; Hintergrundpapier zum Round Table 2013, éditeur green jobs Austria, Vienne, sans date.

⁴ Operational Status Report Europe 01/2016, PV Cycle, www.pvcycle.org, 12 février 2016.

⁵ Cela correspond à 0,3 millimètres.

⁶ Le cadmium dans les modules photovoltaïques n'est pas concerné par l'interdiction, conformément aux dispositions actuelles à l'échelon national (ORRChim) ou en Europe (directive RoHS).

⁷ P.ex. Studie zur Entwicklung eines Rücknahme- und Verwertungssystem für photovoltaische Produkte, Sanders K., ökopool, Hambourg, novembre 2007.

⁸ www.photovoltalkforum.com

⁹ Operational Status Report Europe 01/2016, PV Cycle, www.pvcycle.org, 12 février 2016.

¹⁰ D'après un rapport du Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) 2016, Helmholtz-Zentrum Berlin 2016, sur solarmedia.blogspot.ch le 26 janvier 2016.

¹¹ Tao, J., Yu, S.; Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules; Solar Energy Materials and Solar Cells 141(2015), 108-124.

Éssais par lots Swico

Éssais par lots: une comparaison de la performance est-elle possible?

Heinz Böni, Roger Gnos, Patrick Wäger & Rolf Widmer

Des essais par lots sont régulièrement réalisés auprès des partenaires de traitement de Swico et SENS, dans le but de contrôler le respect des taux de recyclage et de valorisation stipulés dans les prescriptions techniques de Swico et SENS eRecycling. Dans l'optique d'une meilleure comparabilité, les essais par lots de Swico ont été réalisés en 2015 avec une quantité de matériaux de base déterminée. L'objectif est de mettre à jour en quoi les taux atteints lors du recyclage se différencient entre les entreprises et de déterminer si une comparaison de la performance est possible.

La prescription relative aux matériaux de base d'un essai par lots (traitement par lots d'échantillons selon CENELEC 50625-1) prévoit de traiter une quantité d'appareils représentant l'arrivée des marchandises. En raison des différences dans la composition des matériaux de base chez les recycleurs, les résultats de ces essais ne sont comparables que sous certaines conditions. Les partenaires de recyclage ont de nouveau invoqué la composition de mauvaise qualité des matériaux pour justifier ce maigre résultat.

Depuis l'introduction de l'analyse du panier type 2.0 (cf. rapport technique 2015), Swico est en mesure de déterminer en détail la composition de ce panier type. Il est donc possible d'enregistrer des ensembles, des appareils, des composants et même l'état des appareils (par exemple avec/sans câble ou piles). Les flux de marchandises peuvent être

testés directement au centre de réception, chez le recycleur ou également en fonction d'un client spécifique (par exemple en fonction du fabricant, du produit, du type, de l'âge, etc.). Seules ces possibilités d'analyse permettent de déterminer de manière réaliste les matériaux de base pour des essais par lots et de réaliser ainsi chez tous les partenaires de traitement des essais par lots (ou «traitements par lots d'échantillons» selon CENELEC 50625-1) quasiment identiques.

Composition des matériaux de base et quantités traitées

En collaboration avec l'Empa, Swico a initié en 2015 un projet innovant en Europe: la réalisation d'essais par lots avec une quantité de matériaux de base déterminée. Le mélange de plusieurs types d'appareils des technologies du domaine de l'information et de la communication (catégorie 3 selon la directive DEEE) ainsi que de l'électronique de divertissement (catégorie 4 sans la photovoltaïque) a été fixé de manière à ce que celui-ci corresponde à peu près à la composition du flux de matériaux moyen dans le système Swico, mais sans tenir compte des écrans, étant donné que ces derniers sont traités dans un canal de recyclage séparé. La composition résultante est présentée dans le tableau 1.

Taux de recyclage et de valorisation

En Suisse, les dispositions légales en vigueur conformément à l'Ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination des appareils électriques et électroniques (OREA) du 14 janvier 1998 n'imposent pas de taux de recyclage et de

valorisation minimaux. Le projet d'audition relatif à la révision de l'OREA ne prévoit pas non plus de taux minimums, contrairement à son pendant au niveau européen, la directive DEEE¹, qui contenait déjà de tels taux minimums dans sa version de 2003.

Les prescriptions relatives au traitement de Swico et de SENS exigent depuis 2008 des taux minimums de recyclage et de valorisation. Le taux de recyclage désigne ici la part de la quantité totale d'appareils traités qui est soumise à une revalorisation des matériaux (recyclage) tandis que le taux de valorisation tient compte en plus de la part soumise à une valorisation thermique. Selon la version actuelle des prescriptions techniques de Swico et de SENS, il convient de réaliser un taux de recyclage (TR) de 65% et un taux de valorisation (TV) de 75% pour les catégories 3 (appareils informatiques et de télécommunication) et 4 (électronique de divertissement). Les taux minimums précités s'appliquent aussi quand le flux d'appareils ne contient pas d'écrans.

Depuis le 15 août 2015, des exigences renforcées s'appliquent, conformément à la directive européenne DEEE. Les taux minimums ont été relevés de 5%, de sorte qu'ils s'élèvent désormais, dans le cas des catégories 3 et 4, à 70% pour le recyclage et à 80% pour la revalorisation. Swico et SENS n'ont pas encore introduit les taux relevés, de sorte que les anciens taux minimums continuent de s'appliquer.

Réalisation

Pour composer les quelque douze tonnes des matériaux de base, deux

Tableau 1: détermination du lot

Types d'appareils	Prescription en t ou en %	Écart maximal*
PC/serveurs	2850 23,9%	2,9%
Imprimantes	2570 21,6%	2,5%
Radios	2000 16,8%	0,5%
Enceintes/haut-parleurs	1470 12,3%	0,5%
Téléphones fixes	750 6,3%	5,3%
Claviers	630 5,3%	0,7%
Notebooks, ordinateurs portables, powerbooks	600 5,0%	1,6%
Switch	450 3,8%	0,1%
Routeurs/modems	300 2,5%	0,1%
Amplificateurs	300 2,5%	0,1%
Total	11920 100%	

* Écart maximal pour chacun des types d'appareils par rapport à la prescription (prise en compte de cinq entreprises seulement sur six).

collaborateurs du secteur d'élimination de chacun des recycleurs ont rassemblé les matériaux pendant près de trois semaines. Les appareils usagés ont ensuite été rendus à chacun des recycleurs concernés. Les recycleurs étaient tenus de démonter préalablement les appareils comme en situation d'exploitation normale et de traiter ensuite une partie de ceux-ci mécaniquement. L'Empa a accompagné le démontage préalable de manière sporadique et le traitement de manière continue. L'ensemble du processus de traitement a été représenté en détail dans un schéma fonctionnel des procédés selon CENELEC 50625-1, annexe C. Tous les flux de travaux internes et externes ont été enregistrés; chez certains recycleurs, on a distingué jusqu'à 50 fractions différentes. Sur l'ensemble de la quantité de matériaux de base, jusqu'à 40% environ ont été démontés manuellement et n'ont pas subi de traitement mécanique.

Les données issues des essais ont été transmises à l'outil de reporting «Rep-Tool»² développé par le forum DEEE européen pour l'évaluation du TR et du TV. Dans cet outil, chaque fraction est associée à un processus de traitement, qui crée de nouvelles fractions qui sont traitées dans d'autres processus. Cette chaîne de traitement se poursuit jusqu'à ce que toutes les fractions soient recyclées ou éliminées. Ceci vaut également pour le traitement ultérieur chez les deuxièmes repreneurs, en particulier pour la préparation de fractions mélangées afin de récupérer des métaux ou des matières plastiques. Par conséquent, il faut connaître le déroulement des processus externes et les taux qui sont réalisés dans le cadre de ces pro-

cessus. Ces informations proviennent soit des préparations d'essai chez le recycleur ou chez le deuxième repreneur, soit des justificatifs de flux de matériaux, dans lesquels le repreneur déclare les processus et les fractions, ou d'informations dans la documentation de processus connus.

Piles et condensateurs

En complément de l'enregistrement de chaque flux de matériau, tous les condensateurs et piles extraits ont été collectés. Pour le mélange de piles, il est prévu de déterminer la fraction massique des piles au lithium ainsi que leur teneur énergétique et leur état. Pour le mélange des condensateurs, il est prévu d'effectuer au besoin des analyses des composants, en particulier des électrolytes.



Sélection de fractions issues du démontage manuel préalable.

De plus, des échantillons de la fraction la plus fine (poussière et matériaux résiduels des broyeurs) ont été extraits chez les recycleurs. Ceux-ci sont examinés pour déterminer leur teneur en PCB, cuivre, mercure et cadmium, ce qui permet de tirer des conclusions sur l'extraction de substances toxiques.

Résultats et perspectives

Les résultats individuels sont accessibles aux recycleurs sous forme de rapport mais, à cette exception près, ils demeurent confidentiels. Les résultats détaillés permettent au recycleur de déterminer quel potentiel d'amélioration existe encore et sa position par rapport aux autres recycleurs. Pour l'exploitant du système Swico, il sera important de savoir s'il existe des différences importantes entre les recycleurs et si les entreprises sont en mesure de respecter les exigences renforcées en vigueur en Europe.

Comme il n'a pas été possible d'achever tous les essais en 2015, les résultats du projet ne sont pas encore disponibles.

Les efforts investis pour réaliser des essais par lots avec des matériaux de base déterminés sont très importants. Il ne sera donc guère possible de réaliser les essais annuels obligatoires sous cette forme; mais on peut cependant envisager de réitérer de tels essais tous les trois à cinq ans afin de pouvoir au moins repérer des tendances dans les données comparables.

¹ Directive 2012/19/UE du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2012 sur les appareils électriques et électroniques usagés.

² www.wf-reptool.org

Appareils de réfrigération

Appareils de réfrigération (année sous revue 2015)

Geri Hug & Niklaus Renner

Aujourd'hui, on ne fabrique plus en Europe d'appareils de réfrigération dont les compresseurs ou les mousses d'isolation contiennent des hydrocarbures fluorés nuisibles pour le climat. Pourtant, un grand nombre de ces appareils arrivent toujours au recyclage à la fin de leur cycle de vie. En 2015, les quatre entreprises de recyclage suisses hautement spécialisées ont recyclé 360 000 appareils de réfrigération ou 18 000 tonnes, ce qui signifie de nouveau une augmentation de 4%. Près de 40% de ces appareils sont encore de l'ancien type CFC/HCFC. Cependant, les parts des appareils HC plus respectueux de l'environnement augmentent sans cesse.

Progression continue des appareils HC

En 2015 également, la tendance aux compresseurs de type HC s'est poursuivie: parmi les appareils traités au niveau 1 en 2015, 56% (soit +6% par rapport à l'année précédente) étaient déjà équipés d'un compresseur de type HC (ligne continue en rouge dans la figure 1). Les absorbeurs contenant de l'ammoniac constituaient encore 3% de tous les appareils.

Les données recueillies indiquent la même tendance pour les mousses d'isolation. À vrai dire, cette tendance s'est dessinée encore plus tôt, car le remplacement du R11 par du cyclopentane a eu lieu de manière directe (sans étape intermédiaire avec des hydrocarbures partiellement fluorés comme dans le cas des

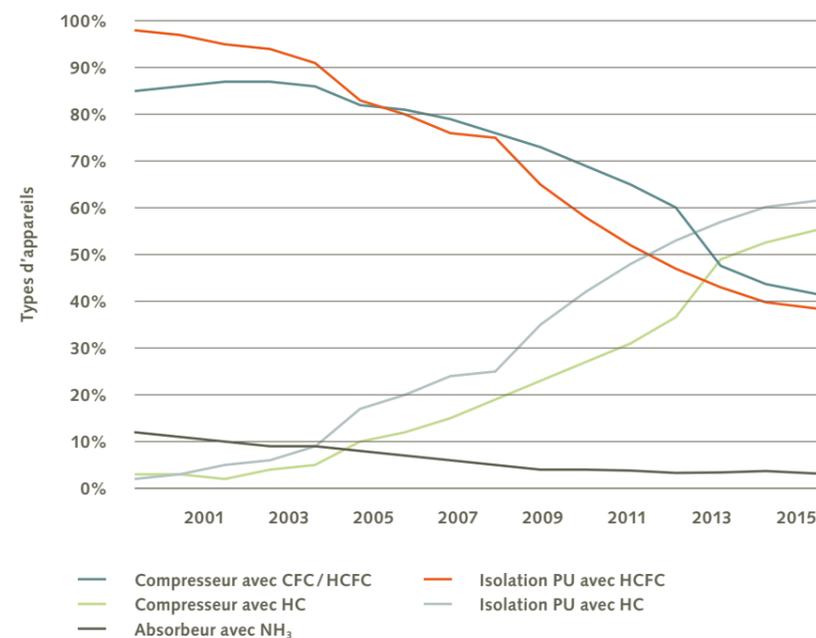


Figure 1: évolution des types d'appareils traités au niveau 1 (compresseurs contenant des CFC/HCFC et HC, systèmes d'absorbeurs contenant de l'ammoniac) et au niveau 2 (mousse d'isolation en PU contenant des CFC et HC).

réfrigérants). Actuellement, l'isolation en mousse de polyuréthane (PU) contenant du cyclopentane était contenue dans 62% de tous les appareils de réfrigération mis au recyclage, ce qui correspond à l'augmentation prévue (+2%) par rapport à l'année précédente.

Réduction dans la fabrication, réduction dans la récupération

Indépendamment de la qualité continuellement élevée des installations de recyclage, les quantités de réfrigérants et de gaz propulseurs récupérées baissent depuis que les appareils de type HC usagés arrivent au recyclage. Les quantités de remplissage ou la concen-

tration en mousse PU des compresseurs de ces appareils sont nettement inférieures à la moitié des valeurs de comparaison des appareils de type CFC, ce qui explique pourquoi les quantités de récupération absolues (mais pas les quotas de récupération) sont en baisse.

S'il était encore possible en 2010 d'aspirer 99 grammes de réfrigérant par compresseur au niveau 1, cette quantité était de 81 grammes l'année dernière et de 79 grammes pour la période actuellement sous revue. La quantité a donc baissé de 20% depuis 2010. La quantité d'huile s'élevait en 2010 à 217 grammes et a baissé jusqu'en 2014 à 186 grammes. En

2015, elle s'élevait à 189 grammes (-13% comparé à 2010). En raison de la baisse observée également pour l'huile des compresseurs, il y a lieu de conclure que les quantités d'huile utilisées dans la fabrication des appareils modernes a également baissé.

Au tournant du millénaire, des quantités avoisinant les 90 grammes par kilogramme de PU étaient encore récupérées au niveau 2. Ce chiffre n'a cessé de baisser depuis. En 2014, la quantité récupérée était de 55 grammes. Cette valeur n'a guère bougé au cours de l'année sous revue, où elle était de 54 grammes (cf. figure 2). Les données sont cohérentes, avec un léger recul au niveau des nombres de bâtis de type CFC et de la baisse mentionnée du poids spécifique du gaz propulseur récupéré sous forme de mélange de CFC, de HCFC et de HC.

La récupération des CFC entraîne une augmentation du CO₂ non rejeté

L'objectif ambitieux défini par SENS d'une récupération à 90 pour cent des réfrigérants et des gaz propulseurs est doublement pertinente sur le plan de la protection de l'environnement: il s'agit d'une part d'éliminer du flux de déchets les CFC contenus dans les compresseurs et les mousses d'isolation en PU en raison du potentiel de déplétion ozonique (PDO). D'autre part, ces substances disposent d'un potentiel de réchauffement planétaire (GWP, Global Warming Potential) qui dépasse de mille à dix mille fois celui du CO₂ (cf. figure 1). C'est également la raison pour laquelle la récupération, suivie de la destruction contrôlée des réfrigérants et des gaz propulseurs (et leur transformation en dioxyde de carbone avec un impact nettement moins fort sur l'environnement ainsi qu'en eau et en acides ou sels) est une contribution importante à la protection de l'environnement.

La quantité des gaz ayant un impact sur le climat non rejetés dans l'atmosphère grâce à la récupération contrôlée de chacune des substances au niveau 1 (réfrigérants) et au niveau 2 (gaz propulseurs) s'élevait au cours de l'année sous revue à près de 390 000 tonnes d'équivalent CO₂. Cette quantité considérable correspond à un cube de 600 mètres de côté composé de CO₂ pur (cf. graphique). Le cube est 4,5 fois plus haut que le bâtiment de la Prime Tower à Zurich!

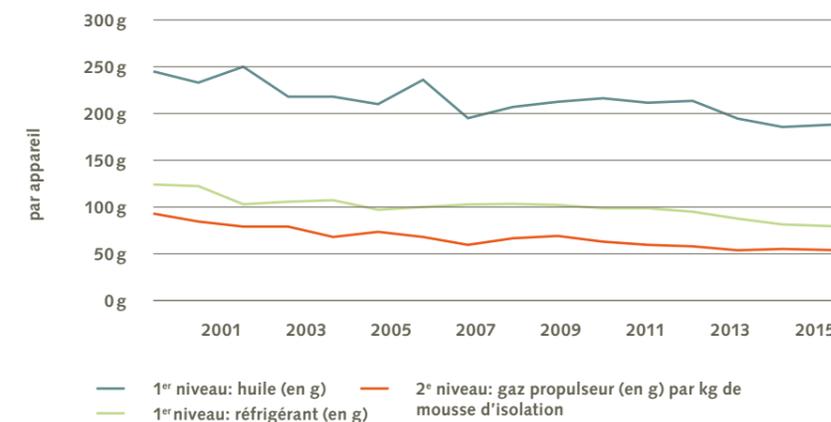


Figure 2: évolution des quantités récupérées au niveau 1 (gramme de réfrigérant, et huile, par appareil) ou au niveau 2 (gramme de gaz propulseurs par kilogramme de mousse d'isolation).

Substance	Potentiel de déplétion ozonique (PDO)	Potentiel de réchauffement planétaire (PRP) à l'horizon de 100 ans
	Équivalent R11	Équivalent CO ₂
Réfrigérants (1^{er} niveau)		
CFC-12 (R12)	1	10 900
CFC-134a (R134a)		1 430
Isobutane (R600a)		3
Gaz propulseurs (2^e niveau)		
CFC-11 (R11)	1	4 750
Cyclopentane (CP)		<25

Tableau 1: potentiel de déplétion ozonique (PDO) et potentiel de réchauffement planétaire (PRP) des réfrigérants et gaz propulseurs utilisés dans les appareils de réfrigération. Sources: OFEV (2013), EPA (2016), GIEC (2007).

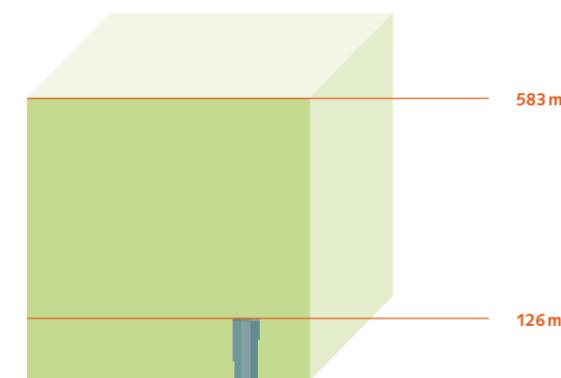


Figure 3: quantité d'équivalents CO₂ non rejetée grâce au recyclage contrôlé d'appareils de réfrigération en 2015, représentée sous forme de cube de CO₂ (conditions standard). En comparaison: la Prime Tower à Zurich.

Appareils à tubes cathodiques

Élimination future des appareils à tubes cathodiques en Suisse

Rolf Widmer

Le tube des écrans, un tube à rayon cathodique ou Cathode Ray Tube (CRT) en anglais, qui était très largement répandu dans les écrans de télévision et les moniteurs de PC, a été remplacé au cours des dernières années par les nouvelles technologies d'écrans telles que les écrans à cristaux liquides. La demande de verre d'écran pour la production de nouveaux tubes cathodiques a donc chuté et un closed-loop recycling (recyclage en circuit fermé) des tubes cathodiques en tubes cathodiques n'est plus possible. Des alternatives pour leur recyclage en d'autres produits (open-loop recycling – recyclage en circuit ouvert) ainsi que pour leur élimination non polluante sont donc requises.

Le tube cathodique représente près de 85% du poids de l'écran. Il est composé à environ 65% de verre d'écran ou de dalle (un verre à base de baryum et de strontium), ainsi que de 30% de verre d'entonnnoir ou de cône et 5% de verre de col (tous deux du verre au plomb). Le recyclage en circuit ouvert du verre de dalle dans des produits tels que les bouteilles (verre creux de conteneur) constitue l'état actuel de la

technique, raison pour laquelle aucune autre alternative d'application pour le verre de dalle sans plomb n'a été examinée dans la présente étude. À l'opposé, le recyclage du verre de cône et de col selon la méthode de recyclage en circuit ouvert est complexe en raison de la teneur élevée en plomb, ce dernier étant indésirable dans la plupart des utilisations du verre. Dans le cadre de l'étude, huit options de recyclage en circuit ouvert et trois options d'élimination du verre de cône et de col ont été évaluées suivant des critères techniques, sanitaires, écologiques et économiques. En

complément, le besoin annuel de verre au plomb CTR a été évalué pour chacune de ces possibilités de recyclage et comparé aux valeurs de la documentation sur les écrans CRT éliminés dans le monde entier. Toutes les options soumises à cette évaluation seraient en mesure d'utiliser du verre au plomb CRT sans affecter les caractéristiques techniques des produits. Toutefois, sur les huit options de recyclage en circuit ouvert, quatre utiliseraient du verre au plomb dans des produits pour lesquels le plomb n'est pas nécessaire et dans lesquels des essais de lixiviation libèrent du plomb. Il apparaît de plus qu'en raison de la vaste distribution spatiale des produits, par exemple du verre au plomb comme substitut au sable dans le béton, le plomb serait irrémédiablement perdu dans ces produits.

La comparaison de ces différentes options entre elles a permis de trouver trois options de recyclage adéquates: i) extraction du plomb (métallique) contenu dans le verre au plomb CRT pour sa réutilisation dans des batteries au plomb, ii) utilisation du verre au plomb comme fondant de quartz dans les fonderies de cuivre et de plomb et iii) utilisation du verre au plomb pour la vitrification des déchets. Parmi les options d'élimination évaluées, toutes conviennent, mais celle proposant un



Figure 1: (en haut) le tube cathodique de Braun datant de 1900 et (en bas) un entrepôt pour écrans CRT au Cap, Afrique du Sud (Empa, 2006)

entreposage limité dans le temps reçoit toutefois la meilleure évaluation.

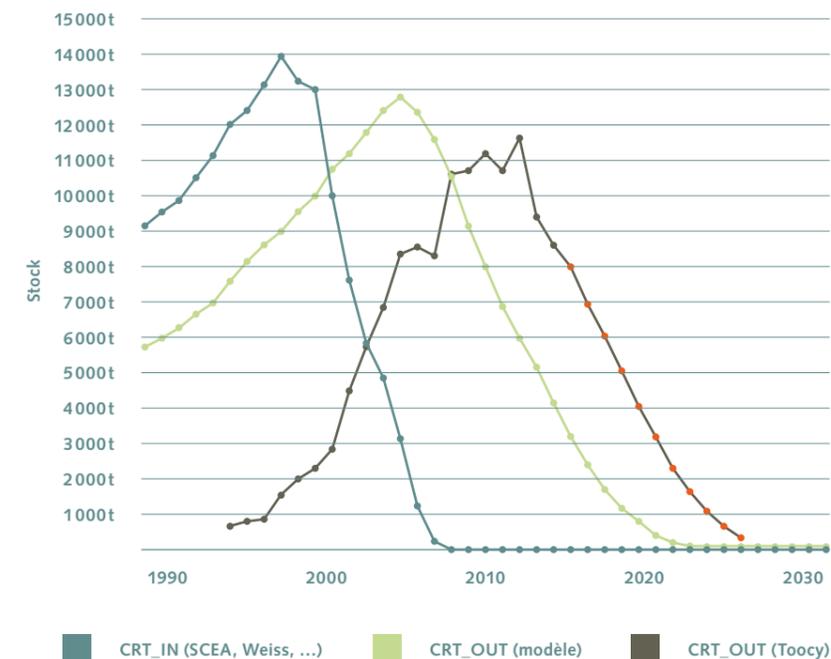
En Suisse, l'entrepôt pour le verre d'écran a atteint le niveau maximal d'environ 120 000 tonnes en l'an 2000, avec un flux de recyclage maximal d'environ 11 500 tonnes en 2012. Selon les indications des recycleurs, les options largement ramifiées de valorisation des écrans à tubes cathodiques qui existaient encore en 2008 se sont réduites pour l'essentiel jusqu'à fin 2015 à un seul acquéreur étranger de débris de verre CRT mixtes, non dépollués. Ceci cache des risques non négligeables, d'autant plus que d'autres acquéreurs de verre CRT suisses de renom ont dû récemment cesser leurs activités pour insolvabilité. Selon les modèles de calcul, il restait à partir de 2016 encore près de 30 000 tonnes de verre CRT (ce qui représente environ 10 000 tonnes de verre au plomb) dans les stocks. Ceux-ci devraient s'épuiser après 2020 et jusqu'en 2025 à raison d'un écoulement inférieur à 2 000 tonnes par an.

Pour pouvoir manipuler ces quantités non négligeables en cas d'urgence, il faudrait une solution de remplacement comme la dépollution et l'entreposage des débris en Suisse.

L'entrée en vigueur de la norme européenne CENELEC EN 50625 impose des changements dans le traitement des écrans CRT tel qu'il est pratiqué actuellement en Suisse:

- La manipulation d'appareils CRT intacts ne doit pas engendrer un endommagement de l'ampoule en verre. Les mesures nécessaires à cet effet doivent être consignées par écrit.
- La libération de substances nocives (substances luminescentes et poussières de verre au plomb) doit être empêchée; la preuve explicite doit en être apportée.
- La séparation effective des tubes cathodiques de l'écran ou du verre au plomb ainsi que de la couche luminescente du verre sans plomb doit être prouvée conformément à la spécification technique TS 50625-3-3.

Figure 2: CH – verre CRT: stock et flux



Données de modèles ou de mesure des flux de verre CRT suisses en tonnes par an. Les données concernant le retour «CRT_OUT (Toocy)» ont été recueillies jusqu'en 2014 et calculées à partir de 2015 (●). Les données pour «CRT_IN (SCEA, Weiss,...)» sont des chiffres de vente recueillis à partir de 1995 (TV) et à partir de 1985 (PC). «CRT_OUT (modèle)» indique le retour déjà simulé depuis 2006. La simulation a utilisé une durée de présence sur le marché selon une distribution gaussienne pour les appareils à tube cathodique jusqu'à leur élimination ($\mu = 10$; $\sigma = 3$ pour les TV et $\mu = 7$; $\sigma = 1,5$ pour les PC). Le retour réel est retardé d'environ cinq ans et la durée de présence moyenne pour les TV est calibrée sur 15 ans ($\mu = 15$).

- Les débris de verre CRT contaminés par des substances luminescentes et des poussières de verre doivent être considérés comme des déchets dangereux [S], et classés et traités en tant que tels (ce point reste encore à éclaircir avec l'OFEV).

Pour les années à venir, mais aussi en particulier pour l'élaboration de l'état de la technique dans le cadre de la révision de l'OREA conduite sous la direction de l'OFEV, il faudra continuer d'accorder de l'attention au traitement des tubes cathodiques.

Auteurs



Heinz Böni

Après une formation d'ingénieur diplômé en génie rural à l'EPF Zurich et des études postgrades en hydrologie urbaine et en protection des cours d'eau (NDS/EAWAG), Heinz Böni devient collaborateur scientifique auprès de l'EAWAG Dübendorf. Chef de projet à l'institut ORL de l'EPF Zurich et à l'UNICEF au Népal, il reprend plus tard la direction de la société Büro für Kies und Abfall AG à St-Gall. Il est ensuite pendant plusieurs années copropriétaire et directeur de la société Eco-partner GmbH à St-Gall. Depuis 2001, il travaille à l'Empa où il dirige le groupe CARE (Critical Materials and Resource Efficiency) ainsi que le département Technologie et Société par intérim. Depuis 2009, il est directeur de la commission technique de Swico Recycling et, depuis 2007, expert de l'organe de contrôle de Swico et de la Fondation SENS.



Roman Eppenberger

Roman Eppenberger obtient son diplôme d'ingénieur électricien à l'EPF de Zurich. Tout en travaillant, il suit une formation postgrade 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 Operations. A ce poste, il coordonne la commission technique de Swico / SENS aux côtés de Heinz Böni.



Emil Franov

Après des études de sciences de l'environnement à l'EPF de Zurich (spécialisé en chimie environnementale analytique et systèmes aquatiques), Emil Franov reste cinq ans conseiller environnemental dans une société de services internationale. Depuis 2001, il travaille chez Carbotech AG à Bâle en tant que conseiller et chef de projet, ses spécialités étant le conseil environnemental, les



Geri Hug

Après des études de chimie, suivies d'un doctorat à l'Institut de chimie organique de l'université de Zurich, Geri Hug devient collaborateur scientifique et chef de projet chez Roos+Partner AG à Lucerne. De 1994 à 2011, il est partenaire puis, à partir de 1997, également directeur de Roos+Partner AG. En plus des conseils environnementaux prodigués dans quinze branches, conformément aux codes EAC, il accompagne des audits environnementaux et rédige des rapports d'impact sur l'environnement conformément à l'OEIE. Geri Hug établit également des comptes rendus et des analyses de risque conformément à l'OPAM, ainsi que des écobilans des entreprises et des produits et la validité des rapports sur l'environnement. Il est expert de l'organe de contrôle de la Fondation SENS pour le secteur de l'élimination des appareils électriques et électroniques. Il est également Lead Auditor pour des systèmes de gestion environnementale selon ISO 14001 chez SGS. Il est membre du groupe de travail CENELEC pour le développement de standards en matière de recyclage des appareils de réfrigération.



Ueli Kasser

Diplômé en chimie/lic. phil. nat. à l'université de Berne et à l'EPF Zurich, il a suivi également des études postgrades (cours postgrade INDEL sur les problèmes des pays en voie de développement). D'abord collaborateur indépendant dans les secteurs de la radioécologie, l'écotoxicologie et l'hygiène du travail, il devient copropriétaire de ökoscience, un bureau de conseil en écologie appliquée à Zurich, ainsi que

écobilans et la conformité avec les exigences environnementales (audits environnementaux, indicateurs environnementaux, droit environnemental, etc.). Il est chargé d'établir des écobilans annuels pour différentes entreprises et de saisir des indicateurs d'ordre environnemental selon différents standards internationaux. Depuis 2002, il est expert de l'organe de contrôle et membre de la commission technique de la Fondation SENS. Emil Franov est directeur de département et membre de la direction de Carbotech AG.

chef de projet dans les secteurs de l'hygiène de l'air, du conseil environnemental et de l'écotoxicologie. Aujourd'hui encore, Ueli Kasser est propriétaire du Büro für Umwelt-chemie à Zurich, spécialisé dans le conseil pour les secteurs des déchets, de la sécurité des produits chimiques, de l'écologie des matériaux et de la qualité de l'air intérieur. En plus d'enseigner, il est auditeur pour les systèmes de gestion environnementale ISO 14001. Depuis le milieu des années quatre-vingt-dix, Ueli Kasser est expert de l'organe de contrôle pour les entreprises de recyclage sur mandat de la Fondation SENS et élabore les standards et les directives pour les activités de contrôle. Il est également représentant de la Fondation SENS au sein de la Fédération Européenne et consultant dans le cadre du projet de normes européen WEEELABEX.



Niklaus Renner

Niklaus Renner a étudié les sciences de l'environnement à l'EPF de Zurich. Depuis 2007, il est collaborateur scientifique chez Roos+Partner AG à Lucerne. Dans le cadre de différentes études, il s'intéresse à l'impact environnemental du recyclage des métaux usagés et des appareils en fin de vie. Pour les Fondations SENS et SLRS, il a participé entre autres à une enquête sur la teneur en mercure des fractions du traitement des sources lumineuses. Il s'occupe également du suivi du droit environnemental, de la gestion du Legal Compliance Tool LCS.pro et des audits internes de conformité avec le droit environnemental. Ses tâches englobent également des contrôles d'entreprise pour l'inspection de l'environnement UPSA (Union professionnelle suisse de l'automobile) et, depuis 2013, le suivi des constructions pédologiques. sein Profil ab.



Daniel Savi

Daniel Savi a obtenu son diplôme d'ingénieur en environnement à l'EPF de Zurich. Après ses études, il a travaillé 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 a intégré le Büro für Umweltchemie (bureau pour la chimie environnementale) en 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.



Deepali Sinha Khatriwal

Deepali Khatriwal a obtenu son doctorat à l'université de St-Gall en présentant une thèse sur les prévisions de flux de déchets pour les biens de consommation en fin de vie. Avant son doctorat, elle avait suivi un master de gestion commerciale en management international à l'université de St-Gall. Elle a commencé ses travaux sur les DEEE à l'EMPA et a participé au programme suisse sur les déchets électriques et électroniques de 2004 à 2009. Depuis, Deepali Khatriwal a collaboré à différents projets dans ce domaine à travers le monde. Sous le patronage de l'«E-waste Academy», elle a notamment joué un rôle déterminant dans le renforcement des capacités de l'initiative StEP, un forum soutenu par l'ONU sur le thème des déchets électriques et électroniques.



Esther Thiébaud

Après avoir obtenu son diplôme d'ingénieur en environnement (spécialités: gestion des matières et technique d'élimination) à l'EPF de Zurich, Esther Thiébaud est chef de projet dans le secteur des déchets toxiques chez BMG Engineering AG à Schlieren. Depuis 2007, elle travaille comme collaboratrice scientifique dans le groupe CARE (Critical Materials and Resource Efficiency) de l'Empa, et plus précisément dans le secteur de l'analyse et de la modélisation des flux de matières nationaux et globaux en relation avec des technologies porteuses d'avenir et les matières correspondantes. Depuis 2012, Esther Thiébaud se consacre à sa thèse.



Patrick Wäger

Après avoir suivi des études de chimie à l'EPF de Zurich et écrit sa thèse à l'Institut de toxicologie de l'EPF et l'université de Zurich, Patrick Wäger reste deux ans conseiller environnemental chez Elektrowatt Ingenieurunternehmung à Zurich. En tant que collaborateur scientifique et chef de projet à l'Empa, il a participé depuis à de nombreux projets de recherche sur l'élimination des déchets et le recyclage des matières premières à partir de produits en fin de vie. Il est expert de l'organe de contrôle pour la Fondation SENS et Swico Recycling et a été également provisoirement Lead Auditor pour des systèmes de gestion de l'environnement selon la norme ISO 14001. Patrick Wäger est professeur chargé de cours dans le secteur de la gestion de l'environnement et des res-

sources et il est, entre autres, membre du directoire de la Société Académique Suisse pour la Recherche sur l'Environnement et l'Écologie (SAGUF). Son travail est axé actuellement sur la recherche de stratégies permettant d'utiliser durablement des matières premières non renouvelables, en particulier les métaux rares.



Rolf Widmer

Rolf Widmer obtient un diplôme d'ingénieur électricien (MSc ETH EE) et suit des études postgrade NADEL (MAS) à l'EPF de Zurich. Il a fait de la recherche pendant plusieurs années à l'Institut d'électronique quantique de l'EPF de Zurich et travaille aujourd'hui au Technology and Society Lab de l'Empa, l'institut de recherche sur les matériaux de l'EPF. Rolf Widmer dirige actuellement différents projets dans le secteur de la gestion des déchets électroniques et, dans ce cadre, s'intéresse aux circuits fermés de matériaux de l'électromobilité. Il est particulièrement intéressé par le recyclage des métaux rares qui s'accumulent de plus en plus dans les «mines urbaines».



Hannes Zellweger

Après avoir suivi une formation d'ingénieur en environnement (spécialités: gestion des matières et technique d'élimination), à l'EPF de Zurich, Hannes Zellweger travaille chez Amstein + Walthert en tant que conseiller dans le secteur des interconnexions innovantes entre l'industrie et les lotissements pour des systèmes de chauffage efficaces et à faible niveau d'émissions. Il travaille ensuite pendant trois ans au service du Secrétariat d'État à l'économie (SECO) et de l'Empa St-Gall au Pérou. Il participe à différents programmes dans ses domaines de compétences: l'utilisation rationnelle des ressources et de l'énergie. Depuis 2013, Hannes Zellweger est employé chez Sofies où il est responsable du développement des affaires dans les pays de langue allemande.

Contact

Fondation SENS
Obstgartenstrasse 28
8006 Zurich
Téléphone +41 43 255 20 00
Fax +41 43 255 20 01
info@eRecycling.ch
www.eRecycling.ch

Commission technique SENS
Koordination TK-SENS
Roman Eppenberger
Obstgartenstrasse 28
8006 Zurich
Téléphone +41 43 255 20 09
Fax +41 43 255 20 01
roman.eppenberger@sens.ch

Swico
Hardturmstrasse 103
8005 Zurich
Téléphone +41 44 446 90 94
Fax +41 44 446 90 91
info@swicorecycling.ch
www.swicorecycling.ch

Commission technique Swico
c/o Empa
Heinz Böni
Département Technologie et Société
Lerchenfeldstrasse 5
9014 Saint-Gall
Téléphone +41 58 765 78 58
Fax +41 58 765 78 62
heinz.boeni@empa.ch

Fondation Suisse pour le recyclage des sources lumineuses et lumineuses (SLRS)
Altenbergstrasse 29
Postfach 686
3000 Berne 8
Téléphone +41 31 313 88 12
Fax +41 43 31 313 88 99
info@slrs.ch
www.slrs.ch

Liens internationaux

www.ewasteguide.info Un ensemble d'informations et de sources sur le recyclage des appareils électriques et électroniques.

www.weee-forum.org Le WEEE Forum (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) est la Fédération Européenne de 41 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 sous la direction de l'Université des Nations Unies (UNU). Elle ne regroupe pas uniquement 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 autres organisations des Nations Unies sont membres de cette initiative.

www.basel.int La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières 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 fusion de 15 systèmes de reprise européens et, depuis janvier 2015, l'interlocuteur privilégié des fabricants et autres acteurs du marché quant à l'ensemble de leurs obligations nationales.

Liens nationaux

www.eRecycling.ch

www.swicorecycling.ch

www.slrs.ch

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

www.empa.ch Le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) est une institution de recherche suisse consacrée à la science des matériaux et aux applications technologiques.

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», 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», 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», des informations régionales 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» et «UmweltFacts», des informations sur des thèmes actuels.

www.ar.ch/afu Le site Internet de l'Office de l'environnement du canton d'Appenzel 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» 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) fournit à la rubrique «Abfall/Kontrollpflichtige Abfälle/Elektroschrott» 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» des informations générales ainsi que des notices sur les déchets. L'Association des communes zougaises pour la gestion des déchets (ZEB) fournit sur son site Internet www.zebazug.ch des informations détaillées sur la collecte des fractions de matériaux recyclables.

Mentions légales

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

Photos Couverture (stock.adobe.com), page 6 (stock.adobe.com), page 9 (Lacher-Dumas Communications), pages 20-21 illustrations 1-4 (Rolf Widmer), page 25 illustration 1 (Ueli Kasser), page 29 illustration 3 (istockphoto.com), page 31 (Empa), page 34 illustration 1 (Empa, crtsite.com)

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

© 2016 Swico / SENS / SLRS

Impression souhaitée avec mention de la source et copie à la Fondation Swico/SENS/SLRS

