

# Recycler l'indium des écrans, un choix judicieux ?

Les écrans contiennent des métaux rares qui ne sont aujourd'hui pas recyclés lors de l'élimination. Une étude sur la récupération de l'indium montre que le recyclage est écologiquement sensé et qu'il est supportable économiquement. Toutefois, des questions sur la faisabilité technique restent à clarifier. *Marie Brechbühler Pešková, Stefan Grösser, Heinz Böni, Patrick A. Wäger*

**Abrégé** L'importance des métaux dits rares a fortement augmenté ces dernières années. Ils sont recherchés pour leurs propriétés singulières et utilisés dans de nombreux produits comme les aimants, les appareils électroniques ou les installations photovoltaïques. Beaucoup de ces métaux n'étant pas recyclés, ils sont perdus pour les futures générations. Il s'agit donc de savoir comment les récupérer dans des produits mis au rebut et les recycler en tant que matières premières secondaires. L'analyse de faisabilité est encourageante : recycler l'indium des équipements à écran est techniquement possible, écologiquement judicieux et économiquement supportable. Pour poursuivre sur cette voie, des examens plus approfondis seront toutefois nécessaires ces prochaines années.

De nombreux produits de notre quotidien, notamment des appareils électroniques, contiennent des métaux rares (voir encadré). Ce sont eux qui, même en infimes quantités, donnent leurs qualités spécifiques aux appareils. L'indium, par exemple, transparent et conducteur, s'utilise en couche mince dans les écrans plats. Le néodyme, une autre terre rare, sert à la fabrication d'aimants à fort champ magnétique (appelés aimants permanents), présents dans les disques durs, les écouteurs et les haut-parleurs.

La demande mondiale de métaux rares augmente avec celle de produits électroniques, comme les écrans, portables, tablettes, mais aussi véhicules électriques, installations photovoltaïques et éoliennes ou encore alliages spéciaux<sup>1</sup>. Largement non recyclés aujourd'hui, ces matières précieuses sont donc perdues pour les futures générations.

C'est la raison pour laquelle il est urgent d'étudier la possibilité de récupérer les métaux rares<sup>2</sup>. La question se pose tout parti-



L'indium est un métal rare qu'on trouve dans les écrans plats. Installation artistique à Venise.

culièrement pour les appareils électriques et électroniques, qui en font un usage intensif. La proportion de métaux rares qu'ils contiennent peut même largement dépasser ce que l'on trouve dans une mine<sup>3</sup>.

Un projet dirigé par le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) s'est donné pour tâche d'examiner la faisabilité technique, écologique et économique du recyclage de l'indium et du néodyme. L'Office fédéral de l'environnement (Ofev) et l'Association économique suisse

de la bureautique, de l'informatique, de la télématique et de l'organisation (Swico) ont cofinancé ce projet, nommé E-Recmet. La Haute école spécialisée bernoise, autre membre de ce consortium, a effectué une analyse dynamique portant sur l'économicité du recyclage de l'indium contenu dans les équipements à écran de visualisation.

En ce qui concerne la faisabilité technique, les résultats de recherches en cours (surtout en Allemagne et au Japon) indiquent qu'il est possible d'industrialiser la récupération de l'indium dans les écrans plats. Dans les premiers bilans écologiques, il apparaît en outre que – indépendamment du procédé de récupération –

1 Angerer et al., 2009 et Wäger et al., 2012.

2 Wäger P. et al. (2012).

3 Böni et al. (2015a).



Dans une société suisse de recyclage, un employé trie des déchets électroniques.

le recyclage d'indium avec prétraitement manuel (production secondaire) est avantageux en comparaison de l'extraction à partir de minerai (production primaire), ou tout au moins équivalent à celle-ci<sup>4</sup>.

### La vente des matières premières ne couvre pas les coûts

La faisabilité économique du recyclage d'indium a été calculée et analysée à l'aide d'un

modèle dynamique impliquant tout le système, de la vente des appareils à la récupération en passant par l'utilisation et l'élimination. Le modèle<sup>5</sup> met les coûts et les recettes en parallèle. Les premiers découlent du recyclage des écrans et de la récupération de l'indium; les secondes proviennent de la taxe anticipée de recyclage et de la vente de matières premières secondaires (y compris la fraction contenant l'indium).

Ces simulations doivent notamment permettre d'identifier les coûts additionnels

qu'engendrerait le recyclage d'indium par rapport à la situation actuelle, où il se fait pas. Aujourd'hui, les coûts des sociétés de recyclage sont couverts par le produit de la vente des fractions commercialisables (matières premières secondaires) et par les contributions – provenant de la taxe anticipée de recyclage payée par les consommateurs lors de l'achat de nouveaux appareils – que les gestionnaires de systèmes versent aux entreprises. Ce modèle permet d'étudier l'évolution du coût et du produit total du recyclage d'appareils sur une certaine durée, en l'occurrence de 2016 à 2030. Les enseignements recueillis sont importants, parce que selon toutes prévisions le volume d'appareils recyclés continuera d'augmenter ces prochaines années, ce qui affectera les coûts de recyclage.

L'analyse à l'aide d'une modélisation dynamique permet de simuler l'influence, par exemple, des facteurs suivants sur l'économicité :

- quantité d'équipements à écran retournés au fil du temps (taux de collecte);
- recettes de la taxe anticipée de recyclage existante en fonction du nombre d'appareils vendus;
- recettes de la vente des fractions récupérées (aussi bien fractions d'aluminium, de cuivre et de plastique que fraction contenant de l'indium);
- frais de recyclage pour chaque étape sur la base de valeurs empiriques ou d'estimations d'experts<sup>6</sup>;
- mode de traitement des déchets électriques et électroniques (p.ex. démon-

4 Extraction par solvant ou échange d'ions; voir Böni et al. (2015a) ainsi que Wolfensberger M. et al. (2015).

5 Grösser (2012).

6 Les coûts du «démontage des produits en fractions» et du «concassage de la fraction contenant de l'indium» ont été pris en compte sur la base de valeurs empiriques provenant de Suisse, tandis que les coûts de la «concentration en concentré commercialisable» et de la «récupération finale d'indium» sont entrés dans la modélisation de la rentabilité sous forme d'estimations d'experts (voir *tableau 2*).

**Tableau 1. Coûts de recyclage (hypothèses)**

	Démontage des appareils en fractions	Concassage de la/des fraction/s avec indium	Concentration en concentré commercialisable	Recyclage de l'indium à partir de la fraction concentrée d'indium
Traitement manuel	270 fr./t appareils	25 fr./t panneaux	175 fr./t panneaux	Inférieur au prix actuel d'env. 750 fr./kg sur le marché mondial
Traitement mécanique	250 fr./t appareils	35 fr./t granulés	452 fr./t granulés	Inférieur au prix actuel d'env. 750 fr./kg sur le marché mondial

### Métaux rares et critiques

Les métaux sont dits « rares » lorsque leur masse représente moins de 0,01 % de la croûte terrestre<sup>a</sup>. C'est le cas du gallium, de l'or, de l'indium, du platine ou des terres rares.

Souvent, ces matières premières sont aussi réputées « critiques », cela pour deux raisons : il existe, d'une part, un risque relativement important d'interruptions de l'approvisionnement (stocks mondiaux et sites d'exploitation concentrés sur peu de pays, dont la Chine); d'autre part, l'impact des interruptions de l'approvisionnement est considéré comme grave<sup>b</sup>.

a Wäger et al., 2010.

b Erdmann L. et Graedel T. E. (2011). Commission européenne (2014) et Stähli B. (2012).



tage manuel ou traitement mécanique des appareils).

## Hausse modérée de la taxe de recyclage

L'économicité du recyclage d'indium a été évaluée en fonction de la hausse de la taxe anticipée de recyclage nécessaire pour couvrir les coûts. Pour tenir compte des données parfois incertaines ont été analysés en modifiant chaque fois un facteur d'influence.

L'évaluation concerne systématiquement la période de 2016 à 2030. Les analyses ont estimé la hausse de taxe nécessaire pour couvrir les coûts du recyclage d'indium (voir *tableau 1*).

L'analyse des scénarios de recyclage montre que, avec un traitement manuel, cette hausse serait approximativement de 19 centimes pour un écran TV, de 7 centimes pour un moniteur d'ordinateur et de 8 centimes pour un ordinateur portable (voir *tableau 2*). Le prétraitement manuel des appareils s'avère alors presque vingt fois plus avantageux qu'un prétraitement entièrement mécanique<sup>7</sup>.

Les coûts (« coûts de concentration et de récupération ») engendrés par le recyclage d'indium dépendent, entre autres, de la qualité du concentré: plus la part d'indium dans une fraction est grande, plus le traitement est avantageux.

L'étude a également envisagé l'entreposage des panneaux d'écran, dans l'éventualité que le recyclage de l'indium ne puisse débiter qu'en 2020. Cela n'a pas d'incidence notable sur la taxe anticipée de recyclage. En d'autres termes, les frais additionnels de stockage n'ont qu'un effet marginal sur l'économicité du recyclage.

Le nombre d'appareils par personne, la quantité d'indium utilisée dans les appareils électroniques et la durée d'utilisation ont également été examinés. Il s'avère que des changements au niveau de ces différentes variables n'ont, pour les équipements à écran considérés, pas d'effet significatif sur la hausse requise de la taxe anticipée de recyclage.

Par contre, si le taux de retour venait à baisser d'un cinquième, la taxe anticipée de recyclage nécessaire pour un trai-

<sup>7</sup> Afin de simplifier le discours, seule la hausse de la taxe anticipée de recyclage pour les écrans TV (où le besoin d'ajustement est le plus grand) est reprise ci-après. Les valeurs pour les autres groupes de produits (écrans d'ordinateur et ordinateurs portables) figurent au tableau 1. Voir Böni H. et al. 2015a, 2015b ainsi que Brechbühler Pešková M., Grösser S. et Wäger P. (2015).

**Tableau 2. Hausse de la taxe anticipée de recyclage, en francs suisses**

	Écran TV	Écran PC	Ordinateur portable
<b>Scénario 1. Traitement pour le recyclage d'indium</b>			
Scénario 1a. Prétraitement 100 % manuel	0,19	0,08	0,07
Scénario 1b. Prétraitement 50 % manuel et 50 % mécanique	1,86	0,76	0,68
Scénario 1c. Prétraitement 100 % mécanique	3,52	1,44	1,28
<b>Scénario 2. Coût du recyclage d'indium</b>			
Scénario 2a. Coûts de concentration -50 %	0,06	0,03	0,02
Scénario 2b. Coûts de concentration +50 %	0,45	0,18	0,16
Scénario 2c. Coûts de recyclage -10 %	0,11	0,04	0,04
Scénario 2d. Coûts de recyclage +90 %	0,27	0,11	0,10
Scénario 2e. Coûts de recyclage = prix du marché mondial +10 %	0,34	0,14	0,12
<b>Scénario 3. Modifications du nombre de produits par personne</b>			
Scénario 3a. Nombre de produits/personne -50 % de 2016 à 2026	0,19	0,08	0,07
Scénario 3b. Nombre de produits/personne x2 de 2016 à 2026	0,20	0,08	0,07
<b>Scénario 4. Modifications de la quantité d'indium dans les produits</b>			
Scénario 4a. Indium/m <sup>2</sup> de panneaux -30 % de 2016 à 2026	0,21	0,08	0,07
Scénario 4b. Indium/m <sup>2</sup> de panneaux +30 % de 2016 à 2026	0,18	0,08	0,07
<b>Scénario 5. Modifications de la durée d'utilisation des produits</b>			
Scénario 5a. Durée d'utilisation -50 % de 2016 à 2026	0,19	0,08	0,07
Scénario 5b. Durée d'utilisation x2 de 2016 à 2026	0,19	0,08	0,07
<b>Scénario 6. Modifications dans le taux de retour</b>			
Scénario 6a. Taux de retour -20 %	0,15	0,06	0,06
Scénario 6b. Taux de retour -40 %	0,11	0,05	0,04

Le tableau montre la hausse de la taxe anticipée de recyclage nécessaire pour couvrir les coûts de recyclage.

tement entièrement manuel devrait être augmentée de 15 centimes supplémentaires.

### L'utilisation durable des métaux rares est essentielle

Du point de vue écologique, la situation est claire: la montagne d'appareils électriques et électroniques mis au rebut équivaut à un gisement de matières premières. La masse de métaux rares y est souvent plus élevée que dans une mine de production primaire. C'est donc une bonne base pour le recyclage.

Les résultats des analyses révèlent que la récupération d'un kilogramme d'indium à partir d'écrans plats – après prétraitement manuel – a un impact sur l'environnement égal ou, dans le meilleur des cas, inférieur à l'actuelle production primaire (l'indium est un sous-produit de la production de zinc).

Du point de vue technique, le recyclage d'indium à partir d'écrans plats doit encore répondre à plusieurs questions, notamment concernant la faisabilité technique

à l'échelle industrielle. Les travaux de recherche en cours sont porteurs d'espoir à ce niveau.

En ce qui concerne l'aspect économique, il faut ajouter que le seul recyclage de métaux rares (comme l'indium) ne permet pas de couvrir les frais. Récupérer l'indium des écrans plats mis au rebut engendre des coûts additionnels.

L'analyse des scénarios montre que ces surcoûts, selon les hypothèses définies, (par exemple: coûts de récupération par rapport au prix de l'indium sur le marché) seront modérés. La hausse de la taxe anticipée de recyclage s'élèvera à 50 centimes par écran au maximum. L'examen des conditions techniques devra également tenir compte des systèmes de recyclage actuellement en place et évaluer dans quelle mesure ceux-ci peuvent s'appliquer aux métaux rares, car des synergies sont éventuellement possibles.

Qu'en est-il des autres métaux critiques ? L'étude de cas pour l'indium (et le néodyme) est représentative des 36 terres rares que l'on trouve dans les appareils électriques et électroniques. Le choix s'est

porté sur l'indium parce qu'il est l'un des métaux les plus à même d'être recyclés. Cela ne signifie pas que l'on aura le même succès dans d'autres cas, ni que la récupération est à portée de main pour tous les métaux rares ou même pour un grand nombre d'entre eux.

Néanmoins, ce résultat marque un jalon important sur la voie d'une utilisation durable des métaux critiques en Suisse.

#### Marie Brechbühler Pešková

Cheffe de l'équipe compétente « Stratégie et innovation », Haute école spécialisée bernoise

#### Stefan Grösser

Chef de l'Institut de développement des entreprises, Haute école spécialisée bernoise ; chef du laboratoire « Stratégie et simulation »

#### Heinz Böni

Chef du groupe de recherche « Matériaux critiques et efficacité des ressources », Empa, Saint-Gall

#### Patrick A. Wäger

Senior Scientist Technology and Society Lab, Empa, Saint-Gall

### Bibliographie

Angerer G. et al., *Rohstoffe für Zukunftstechnologien*, Karlsruhe, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), 2009.

Böni H. et al., *Rückgewinnung von kritischen Metallen aus Elektronikschrott am Beispiel von Indium und Neodym: Schlussbericht*, Berne, 2015 (a).

Böni H. et al., « Indium und Neodym: Ist ein Recycling sinnvoll? », dans Swico, *SENS, SLRS Fachbericht 2015, 2015 (b)*.

Brechbühler Pešková M., Grösser S. et Wäger P., *Dynamische Modellierung der Kosten des Recyclings von Indium aus Bildschirmgeräten: e-Recmet Projekt Bericht 2.3*, Berne, 2016.

Commission européenne, *Report on Critical Raw Materials for the EU*, Bruxelles, 2014.

Erdmann L. et Graedel T. E., « Criticality of non-fuel minerals: A review of major approaches and analyses », *Sci. Technol.*, 45 (18), 2011, pp. 7620–7630.

Stähli B., *Die Bedeutung seltener Metalle für Schweizer Unternehmen*, travail de Bachelor, Berne, 2012, Département Gestion de la Haute école spécialisée de Berne.

Stähli B., Brechbühler Pešková M. et Seyler Ch., « Métaux rares: la pénurie pose-t-elle problème à l'industrie suisse? », *La Vie économique*, 12-2012, pp. 39–43.

Wäger P. et Lang D. J., « Seltene Metalle Rohstoffe für Zukunftstechnologien », *SATW Schrift*, 41, 2010. Wäger P. et al., « Towards a more sustainable use of scarce metals – a review of intervention options along the metals life cycle », *GAIA*, 21(4), 2012, pp. 300–9.

Wolfensberger M. et al., *Ökobilanz der Rückgewinnung von Indium und Neodym aus Elektronikaltgeräten, e-Recmet Projekt Bericht 2.4*, Berne, 2015.