



Pollution de l'air intérieur : les ateliers d'actualité 2010

> Consulter > Environnement & Technique n°293 - Janvier/Février 2010

Recyclage des métaux rares contexte et besoins

Face à la perspective de pénurie de métaux rares, il est dès à présent urgent de créer les conditions permettant leur recyclage. Ceci implique d'anticiper la R&D sur les procédés de recyclage, dès la commercialisation de produits contenant ces métaux, et de combler les lacunes de connaissances en termes de flux et de stocks de métaux rares.

Christian HOCQUARD, Dominique GUYONNET, BRGM

Dans les pays développés, les innovations high-tech sont toutes associées à des métaux rares jusqu'ici peu ou pas utilisés. Ces métaux high-tech sont indispensables à l'innovation technologique, mais la plupart d'entre eux sont totalement contrôlés par des concurrents économiques au premier rang desquels figure la Chine. Il en découle des risques élevés d'approvisionnement et des contraintes insupportables pour nos industries high-tech. L'actualité montre en effet la montée d'un « nationalisme de la ressource » qui se traduit par exemple par les quotas d'exportation instaurés par la Chine pour quasiment tous les métaux rares, quotas qui sont en diminution régulière comme cela a encore été annoncé récemment pour l'antimoine, le tungstène, l'étain et les terres rares.

Ces métaux sont produits en très faibles quantités et sont par conséquent très sensibles à d'éventuelles hausses rapides de la demande, induite par un nouveau produit technologique de consommation massive. D'autres risques peuvent affecter l'offre ; comme la spéculation (en particulier les échanges trading funds (ETF), qui sont des certificats d'investissement gagés sur du métal physique), la rétention par stockage, ou encore les quotas déjà mentionnés. Leur production étant par essence très inélastique, il en résulte des déséquilibres offre/demande qui peuvent se traduire par une crise des cours tel qu'illustré schématiquement dans la figure 1 (Hocquard, 2005, actualisée à 2009).

Des crises à court et moyen termes sont prévisibles. On pourra citer notamment le lithium pour les batteries des futurs véhicules électriques/hybrides, le cas du photovoltaïque à technologies films minces CIGS (cuivre, indium, gallium, sélénium) et Cd-Te (cadmium, tellure), ou encore le gallium pour les diodes à « vraie » lumière blanche qui doivent permettre des économies d'énergie électrique significatives, etc. D'une manière générale, on notera que la pression sur l'approvisionnement en terres rares crée des tensions sur l'économie dite « verte » (panneaux solaires, batteries, moteurs électriques à aimants permanents, etc.). Pour les seules terres rares (17 éléments), dont la Chine détient un monopole (95 % de la production mondiale), la réduction progressive de ses exportations concernent notamment l'Yttrium (tubes cathodiques de téléviseurs), le Terbium (écrans à rayons X), le Lanthane (batteries NiMH), le Cérium (catalyse automobile) ou encore le Samarium, Néodyme, Dysprosium et Gadolinium (aimants permanents).



Dans ce contexte il devient de plus en plus urgent de considérer les gisements secondaires, la première étape étant de mieux connaître ces gisements en termes qualitatifs et quantitatifs. Le recyclage a en effet de multiples avantages : il permet d'éviter les impacts liés à l'exploitation minière, de réaliser de considérables gains d'énergie par rapport à la ressource primaire, de mitiger le risque d'approvisionnement en raison de son statut de gisement domestique, voire d'éviter l'aspect dispersif dans l'environnement de composés chimiques à base de métaux rares potentiellement toxiques à de très faibles concentrations.

Mais l'enjeu du recyclage des métaux rares comprend de nombreux défis. Jusqu'à présent il se limite le plus souvent au recyclage des chutes neuves de fabrication, tandis que le recyclage des métaux rares contenus dans les produits en fin de vie se limite à ceux ayant une très forte valeur comme les métaux précieux (or, argent, platine, palladium) et le cobalt.

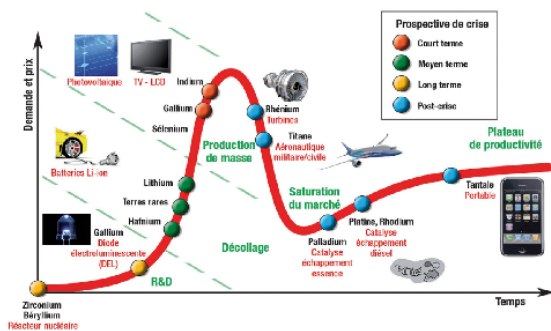


Figure 1 : Prospective de crises potentielles à court, moyen et long terme (modifié d'après Hocquard, 2005).

Cette problématique émergente du recyclage des métaux rares implique l'identification des problèmes associés à chaque étape du processus du recyclage : au niveau de la collecte (produits jetables), de la complexification multi-matériaux et de la miniaturisation des composants (limites de l'éco-conception), de la variété des solutions techniques (durée de vie d'une technologie et substitution), des procédés de traitement (séparations mécaniques automatiques, hydrométallurgie, etc.).

Il est essentiel de considérer le cycle complet de ces métaux en incluant les cycles amont (fourniture) et aval (demande-applications et prospective), de manière à identifier les paramètres clés à prendre en compte pour leur recyclage. C'est ainsi que l'on pourra identifier sous quelle forme ils sont utilisés (matériaux), les substitutions, leur durée d'immobilisation (la durée de vie des produits), leur identification (dispersion) au sein des produits, ainsi que les acteurs industriels.

Les matériaux

Les métaux bruts sont rarement utilisés tels quels dans les applications industrielles. Il peut s'agir de métal (mais sous forme très spécifique), mais le plus souvent, ils sont utilisés sous forme de composés chimiques et d'alliages. Aborder cette complexité en détail est un déterminant essentiel du recyclage.

Poudres et puretés spécifiques

Le tantale est principalement utilisé sous forme de poudres très pures et fines pour élaborer des condensateurs qui se trouvent non seulement dans les téléphones et ordinateurs portables, mais aussi dans l'électronique automobile (parties chaudes dites « sous le capot »). Durant ces dix dernières années, les condensateurs au tantale ont considérablement gagné en capacité tout en diminuant de taille de manière significative. On ne recycle pas (encore) ces condensateurs au tantale.

Autre exemple : le gallium doit être quant à lui, raffiné jusqu'à 7N (99,99999 %) pour certaines applications, c'est-à-dire d'une pureté extrême qui va disparaître une fois transformé en alliage GaAs. Cette perte de pureté a des conséquences sur les potentialités de réutilisation du métal rare recyclé.

Composés chimiques

Le germanium est utilisé sous la forme GeCl₄ pour la fibre optique, de GeO₂ pour les applications infrarouges et la catalyse (pour les bouteilles optiques en PET, polyéthylène téréphtalate) et de Ge-métal très pur (ou 5N) dans les applications électroniques (transistors Si-Ge) et optoélectroniques (vision infrarouge, photovoltaïque de type hétérojonction à substrat de germanium). Il en est de même pour le gallium avec des applications spécifiques pour GaIn (diodes LED, GPS, etc.) et GaAs (puces électroniques). Jusqu'ici ces matériaux ne sont pas recyclés. L'indium, quant à lui, est à 75 % utilisé sous forme d'alliage ITO (indium Tin Oxide) comme électrode transparente dans les écrans plats LCD. C'est



Environnement & Technique n°293 - Janvier/Février 2010
 > Sommaire

1. En vous souhaitant bien du pèril
2. Copenhague : le bilan qui divise
3. L'adaptation au changement climatique : terreau fertile pour les écotecnologies
4. Taxe eaux pluviales : nouvelle moure aux oubliettes ?
5. DEEE : les éco-organismes réagés
6. Emballages plastiques : trier plus pour payer plus ?
7. Veolia Propreté roule au biogaz de décharge
8. Energies fossiles, métaux essentiels : comment s'adapter après l'épuisement des réserves ?
9. Avenir d'Ivry : Quel débat ? Quel public ?
10. Recyclage des métaux rares contexte et besoins
11. Compostage domestique : Comment convaincre l'usager et l'aider dans sa pratique ?
12. Compost et biogaz renouvelables à Montpellier
13. De la RT2005 à la RT2012
14. Les indicateurs de la qualité de l'air intérieur et l'indice InAir
15. ICPE : les exigences et préconisations pour l'étude des substances dangereuses
16. Les méthodes utilisées en forensie environnementale
17. Eau et maîtrise de l'énergie : les lauréats des PTIE 2009
18. L'accoutumance au poste de travail dans les laboratoires : attention danger
19. Rentabilité et compétitivité via l'économie de fonctionnalité : comment valider un projet ?
20. Bibliothèque 293 - Janvier-Février 2010

Dans un souci d'efficacité, il paraît indispensable, pour chaque métal rare, de tracer un schéma des flux semi-quantitatifs du cycle (Material Flow Analysis : Brunner et Rechberger, 2003) du produit (exemple de l'indium en Figure 4). Cela permet d'identifier notamment les goulets et apprécier leur importance pour le recyclage.

Le recyclage en boucle ouverte et fermée

L'important est de ne considérer ici le recyclage que si le métal ou le produit recyclé revient à alimenter la filière dont il est directement issu (boucle fermée). Aujourd'hui, la filière de recyclage des batteries Li-ion ne recycle pas le lithium. Pour le moment, le gisement de recyclé est constitué par les équipements électronique portables en fin de vie dont les batteries ne contiennent que quelques grammes de lithium chacune. Avec l'automobile électrique, on change donc d'échelle, c'est de l'ordre de 1,5 à 15 kg de lithium par véhicule qui sont concernés. Toutefois, le gisement ne commencera à se constituer qu'à partir de 2020 (2012 + 8 ans de durée de vie moyenne des batteries). Ce n'est donc pas avant 2012 que la filière de recyclage du lithium se mettra vraiment en place. Mais en raison du volume en jeu, les industriels responsables de leurs produits ne pourront s'y soustraire, et une filière de recyclage incontournable verra le jour, même si elle est contrainte par les difficultés techniques et le prix encore faible du lithium. Une R&D préalable intensive sur ce thème est d'ores et déjà urgente. Au Japon notamment, cette recherche est le fait de Nippon Mining qui a réalisé, en collaboration avec deux universités, un pilote ayant une capacité de production de 10 t de carbonate de lithium en 2011. A noter qu'une Prius contient 1 kg de néodyme (aimant permanent du moteur électrique) et 10 à 15 kg de lanthane, ainsi que du nickel et du cobalt (batterie NiMH). En Allemagne, Berzelius Metall va recycler les batteries NiMH des premiers véhicules hybrides qui arrivent en fin de vie.

Conclusions

Le recyclage des métaux rares est à la fois complexe et spécifique. Il ne peut être abordé qu'au cas par cas, en fonction des filières « produits ». Au-delà de la collecte des produits et de l'identification et séparation des composants à recycler, il semble que les techniques de traitement privilégient le plus souvent un broyage fin suivi par des séparations de phase. Se développent actuellement de nouvelles méthodes de tri optique et de traitements pyro- ou hydrométallurgiques complexes, comme la mise en solution avec extraction sélective par des résines échangeuses d'ion, ou la vaporisation métallique à très haute température. Il s'agit, en tout état de cause, de procédés coûteux qui ne peuvent être envisagés que dans le cas de certains métaux rares à forte valeur et suffisamment concentrés dans le produit en fin de vie (le minéral secondaire). Ce sont en effet des conditions indispensables pour que le bilan économique soit, en l'absence d'aides, de crédits d'impôts ou d'une taxe de recyclage incluse à l'achat du produit, à la fois positif et attractif (Figure 5). Le recyclage des métaux rares ne peut se justifier, pour un industriel privé, aides publiques comprises, que s'il peut dégager une marge significative et durable, ce qui représente la rémunération de son travail et de son savoir-faire.



Figure 5 - Illustration de la marge sur métal issu du recyclage.
Note : LME = London Metal Exchange.

Dans ce contexte il semble essentiel d'anticiper la R&D sur les procédés de recyclage, dès la commercialisation massive d'un produit high-tech, c'est-à-dire anticiper et ne pas attendre qu'il arrive en fin de vie pour s'en préoccuper. On peut citer par exemple les batteries NiMH (TR, Co, Ni), les batteries Li-Ion des prochaines automobiles électrique/hybrides (Li), ou les cellules photovoltaïques à technologie film mince Cd-Te ou CIGS (Cu, In, Ga, Se).

Or l'état des lieux actuel met en lumière d'importantes lacunes de connaissances en termes de flux et de stocks de métaux rares. Le comblement de ces lacunes, notamment par des synthèses économiques de l'offre-demande (applications), mais également de la mesure des caractéristiques des gisements de métaux rares secondaires, directement dans les unités de recyclage des produits en fin de vie, semble un préalable nécessaire à une bonne exploitation de ces gisements.

Références citées :

Brunner, P., Rechberger, H., 2003, Practical handbook of material flow analysis. CRC Press.
Hocquard, C., 2008, « Les nouveaux matériaux stratégiques, métaux high tech, métaux verts, vers une convergence. » Agence Rhône-Alpes pour la maîtrise des matériaux (ARAMM). Dans : Mag'Mat, n° 28, avril-juin 2008, pp.18-30.
Hocquard, 2005, « Les enjeux des nouveaux matériaux métalliques. », Géosciences - La revue du BRGM pour une terre durable, n° 1, pp. 6-11.