

Economie circulaire et recyclage des métaux

Carencotte Frédéric, Geldron Alain, Jacques Villeneuve, Hervé Gaboriau

▶ **To cite this version:**

Carencotte Frédéric, Geldron Alain, Jacques Villeneuve, Hervé Gaboriau. Economie circulaire et recyclage des métaux. Géosciences, 2012, 15, pp.64-71. hal-01059676

HAL Id: hal-01059676
https://brgm.hal.science/hal-01059676

Submitted on 1 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Économie circulaire et recyclage des métaux

Les métaux jouent un rôle essentiel dans la croissance de l'économie et de la société. Or, le développement rapide de pays émergents fragilise la sécurité des approvisionnements de la France et de l'Europe, notamment pour certains métaux stratégiques, et il devient pressant d'éviter leur gaspillage. Le recyclage offre des perspectives en ce sens, car il diminue le besoin de ressources primaires et évite la mise en décharge des produits en fin de vie. Cependant, nombre de verrous techniques et organisationnels nous éloignent encore de l'ambitieux concept d'économie circulaire.

Cartes à composants électroniques issus d'anciens appareils électroménagers, en attente de recyclage.

Electronic component circuit boards from discarded home appliances waiting to be recycled.

© Ademe – J. Le Goff.



Frédéric Carencotte
Directeur industriel, Rhodia Terres Rares
frederic.carencotte@eu.rhodia.com



Alain Geldron
Chef du Service Filières responsabilité élargie du producteur et recyclage, ADEME, Direction consommation durable et déchets DCDD/SFRR
alain.geldron@ademe.fr



Jacques Villeneuve
Chef de projet cadre gestion durable des déchets, Direction Eau, Environnement & Ecotechnologies, BRGM
j.villeneuve@brgm.fr



Hervé Gaboriau
Directeur, Direction des Laboratoires BRGM
h.gaboriau@brgm.fr

Depuis le début de leur exploitation, les métaux sont extraits d'un stock géologique supposé inépuisable. Ils servent à fabriquer des produits qui s'accumulent dans l'anthroposphère avant de devenir des déchets. Jusqu'à une période récente (chocs pétroliers des années 1970), nos sociétés se sont développées essentiellement selon ce modèle d'économie linéaire où les ressources naturelles sont exploitées sans compter, transformées en infrastructures, bâtiments, machines, véhicules, etc., puis stockées en fin de vie sous la forme d'encombrants dépôts.

Dans les années 1980 apparaissent les prémices d'un consumérisme débridé qui engendre depuis lors une consommation de matières accrue en même temps que les crises pétrolières sensibilisent au caractère « fini » des ressources. En parallèle apparaît une prise de conscience des valeurs environnementales. Des relations sont établies entre pollution et santé, extraction de ressources et pollution, rendements agricoles et pollution, en particulier grâce aux travaux du Club de Rome. Le rapport de Meadows (1972) met en relation des variables comme la population, les ressources naturelles, le quota alimentaire, le produit industriel et la pollution, et questionne ce modèle d'économie linéaire. Il fournit les germes de l'évolution vers un modèle d'économie circulaire *(figure 1)*.

À l'image du fonctionnement cyclique des écosystèmes, l'économie circulaire tend à maîtriser les flux d'énergie et de matières à toutes les étapes du cycle de vie avec en particulier, la préoccupation de limiter les prélèvements de ressources primaires non renouvelables, de développer une utilisation éco-efficace des ressources et le recyclage des déchets en tant que ressources secondaires.

Le recyclage, composante fondamentale de l'économie circulaire, s'inscrit ainsi dans une logique de transition vers une économie verte, faiblement carbonée et efficiente dans l'utilisation des ressources. Le rapport de l'Unep *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth* précise que si le XXe siècle a montré un progrès remarquable pour le développement humain, l'extraction de matériaux de construction a été multipliée par 34, l'extraction de minerais et minéraux par 27, la consommation d'énergie fossile par 12 et celle de biomasse par 3,6. Les progrès vers une économie plus durable demandent une réduction drastique de l'utilisation des ressources naturelles au niveau global, à laquelle le recyclage peut contribuer de manière importante.

Les enjeux du recyclage des métaux

Les ressources minérales, et les métaux qui en sont dérivés, sont indispensables à la production d'une très large gamme de produits manufacturés et industriels. C'est pourquoi des tensions importantes sur les prix, voire des ruptures d'approvisionnement, peuvent compromettre la santé de pans entiers de l'économie. Les approvisionnements du futur sont loin d'être garantis, car le développement rapide de pays émergents, remet en cause la sécurité des approvisionnements de la France et de l'Europe. Cette tension est tout particulièrement marquée pour l'industrie high-tech, dont les innovations nécessitent l'utilisation de métaux stratégiques jusqu'ici peu ou pas utilisés.

Face à ces évolutions, l'économie est confrontée au défi d'optimiser sa consommation de matière et de sécuriser ses approvisionnements en métaux, et plus particulièrement en métaux stratégiques. Le développement d'une économie du recyclage, valorisant les gisements secondaires de matières premières, c'est-à-dire les déchets, est une composante importante de la réponse à ce défi. L'importance des enjeux du recyclage a été pleinement reconnue avec en particulier l'initiative matières premières de la Commission européenne (COM(2008) 699), dont le troisième pilier d'actions a pour objectif de « *dynamiser l'efficacité globale des ressources et promouvoir le recyclage afin de réduire la consommation de matières premières primaires de l'UE et de réduire la dépendance relative vis-à-vis des importations* ».

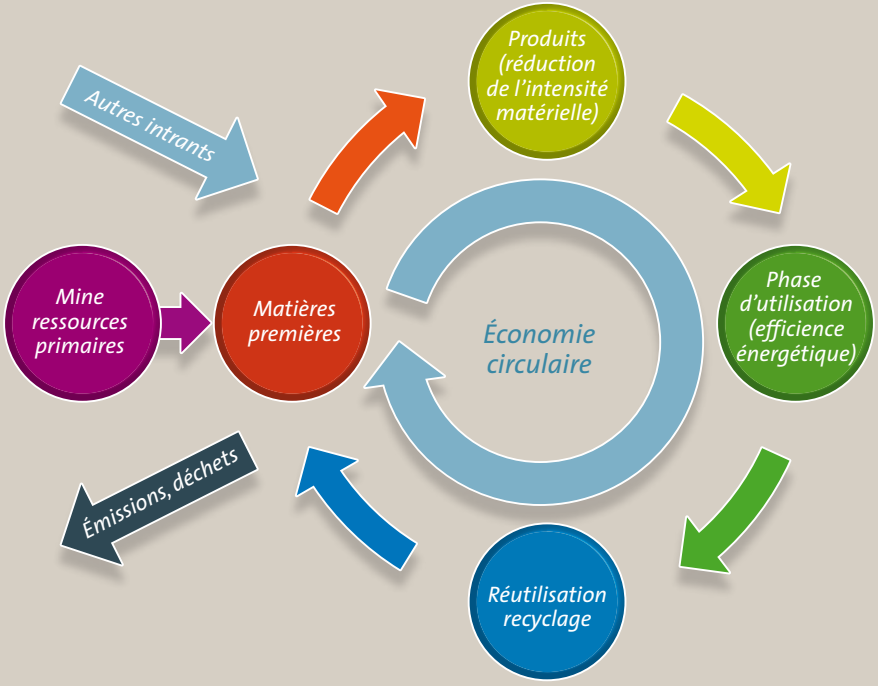


Fig. 1 : Schéma de principe de l'économie circulaire.

Fig. 1: A conceptual diagram for the circular economy.

© BRGM – P. Christmann

Le recyclage des métaux répond à des enjeux essentiels et présente de multiples avantages :
– il s'inscrit dans une politique de développement durable en réduisant la pression sur les ressources primaires ;
– il contribue aux économies d'énergie, l'énergie consommée pour produire des métaux recyclés étant significativement inférieure à celle nécessaire pour la production primaire. Rappelons que 8 à 10 % de l'énergie primaire mondiale sont utilisés pour extraire ou raffiner des métaux [Bihouix et De Guillebon (2010)] ;
– il participe à l'atténuation du réchauffement climatique du fait des émissions évitées de CO_2. Ainsi, au niveau mondial, les gains maximaux évités liés au recyclage des métaux ferreux et de l'aluminium sont respectivement de 472 et 57 Mt CO_2 [Bureau of International Recycling, (2008)] ;
– il permet, dans la mesure où une industrie existe sur un territoire, d'en réduire la dépendance par la limitation des exportations de déchets et des importations de matières premières ;
– il contribue au développement économique et à l'emploi avec le développement de filières de hautes technologies.

> *« L'économie circulaire tend à maîtriser les flux d'énergie et de matières à toutes les étapes du cycle de vie. »*

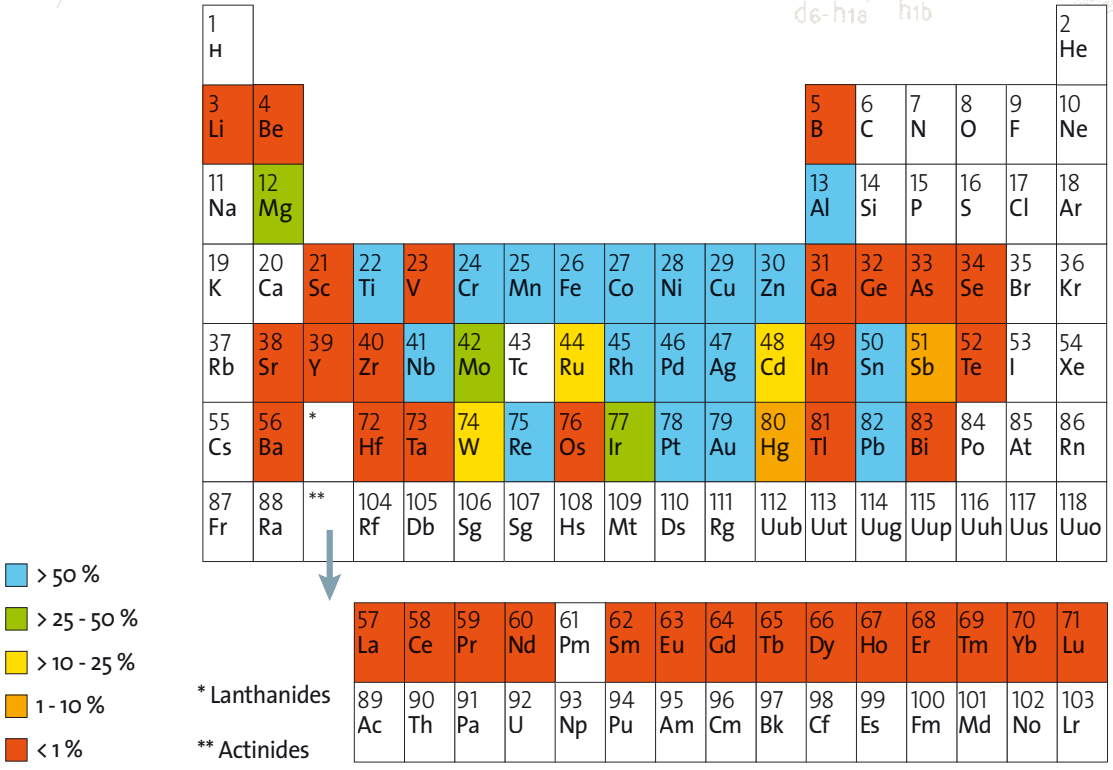


Fig. 2 : Taux de recyclage de 60 métaux issus de produits en fin de vie.

Fig. 2: Recycling rate of 60 metals from end-of-life products.

Source : IRP/Unep (2011).

Le bilan du recyclage des métaux

Pour les ressources métalliques, l'UNEP-International Resource Panel(1), groupe d'experts spécialisés dans l'efficacité des ressources, a produit un rapport sur les stocks de métaux dans l'anthroposphère(2) et un rapport sur les taux de recyclage des métaux(3). Il ressort du premier rapport qu'assez peu d'information existe sur les stocks de métaux ; il reste donc un travail important de caractérisation de nos riches « mines hors sol ».

Le deuxième rapport aboutit à une estimation du « taux de recyclage en fin de vie » de tous les métaux *(figure 2)*. Il est noté que pour seulement 12 des 60 métaux, principalement les métaux de base, les experts estiment que les taux de recyclage en fin de vie excèdent 50 %.

(1) http://www.unep.org/resourcepanel/
(2) UNEP 2010, Metal stocks in Society.
(3) UNEP 2011, Recycling rates of Metals, A status report.

« On estime que les taux de recyclage en fin de vie excèdent 50 % pour seulement douze métaux. »

8 autres métaux sont dans la fourchette 25 à 50 %. Pour le plus grand nombre, dont les métaux stratégiques, il n'y a pas ou peu de recyclage.

Perspectives pour le recyclage des métaux stratégiques

Le potentiel de recyclage de certains métaux stratégiques en France a fait l'objet d'une étude récente de Bio-IS pour l'Ademe(4). Le gisement en 2008 est estimé en fonction des teneurs en métaux dans 10 applications consommatrices, de la date de mise sur le marché des produits et de leur durée de vie *(tableau 1)*.

Le rapport fait un état des lieux de la collecte et du traitement de ces produits pour conclure que seuls le cobalt et le lithium (à l'échelle préindustrielle) des accumulateurs Li-ion sont actuellement recyclés sur le territoire français.

L'argent et les platinoïdes des cartes électroniques, les platinoïdes des pots catalytiques et l'indium des téléphones portables ne sont pas recyclés en France, mais ils le sont à l'étranger (Allemagne, Belgique, Suède, Canada), tout comme l'argent des panneaux photovoltaïques (Allemagne).

(4) Étude du potentiel de recyclage de certains métaux rares, juillet 2010.

Applications	Principales utilisations	Estimation des gisements de métaux collectables en France en 2008	Autres métaux présents
Accumulateurs Li-ion	Appareils portables (téléphones, ordinateurs, etc.). Véhicules hybrides et électriques. Appareils industriels.	Cobalt (Co) : 180 t Lithium (Li) : 18 t	–
Aimants	Équipement électrique et électronique. Véhicules. Moteurs, alternateurs.	Néodyme : > 140 t Praséodyme : < 160 t Dysprosium : 30 t Terbium : 1 t	–
Cartes électroniques	Équipement électrique et électronique.	Argent : 60 t Palladium : 4 t Platine : 1 t	Gallium. Rhodium. Ruthénium. Tantale.
Condensateurs	Petits équipements électroniques (ordinateurs et téléphones portables).	Tantale : de 30 à 80 t	
Écrans LCD	Téléviseurs, ordinateurs, téléphones portables.	Indium : 90 kg	Terres rares (terbium, europium, yttrium, gadolinium, lanthane, cérium). Argent, tantale.
Lampes fluo compactes	Éclairage domestique. Éclairage collectif.	Terbium : < 25 t Europium : < 25 t Yttrium : > 120 t Gadolinium : < 25 t Lanthane : < 25 t Cérium : < 25 t	–
LED	Lampes. Équipement électrique et électronique.	–	Gallium. Germanium.
Panneaux photovoltaïques	Résidentiel, tertiaire. Champs terrestres.	–	Argent. Indium. Gallium. Germanium.
Pots catalytiques	Véhicules.	Platine : 2 t Palladium : 0,3 t Rhodium : 0,5 t	Terres rares (lanthane, cérium, praséodyme, néodyme).
Poudres de polissage	Verres. Cristal. Céramiques.	Cérium : 600 t Lanthane : 200 t Praséodyme : 60 t	–

Tableau 1 : Gisements de métaux stratégiques issus des recyclages collectables en 2008.

Table 1: Deposits of collectable strategic metals in 2008.

Source : Ademe.

Certains métaux ne sont actuellement recyclés à l'échelle industrielle ni en France, ni ailleurs :
– le tantale (condensateurs) ;
– l'indium (écrans LCD, panneaux photovoltaïques (PP)) ;
– le gallium (cartes électroniques, LED, PP) ;
– le germanium (LED, PP) ;
– les terres rares (aimants, lampes fluocompactes, pots catalytiques, poudres de polissage) *(voir encadré p. 72)*.

En revanche, de nombreux projets de recherche, au stade pilote, voire à un stade de démonstration sont en cours et aboutiront à court ou moyen terme au démarrage d'unités industrielles.

Le rapport souligne aussi que certains gisements sont en cours de constitution et ne seront « exploitables » que dans quelques années (écrans LCD en 2012, lampes à LED en 2020, batteries Li-ion des véhicules en 2025, panneaux photovoltaïques hors d'usage en 2030...).

« Seuls le cobalt et le lithium des accumulateurs Li-ion sont actuellement recyclés sur le territoire français. »

► Recycler pour sécuriser et diversifier ses approvisionnements

Frédéric Carencotte – Directeur industriel, Rhodia Terres Rares, en charge de l'activité de recyclage.

Face à une demande mondiale en terres rares en constante croissance (de 5 à 10 % par an en fonction des applications), Rhodia a lancé dès 2007 une réflexion sur la sécurisation de ses approvisionnements en matières premières. Il en résulte une stratégie de diversification articulée autour de trois leviers :

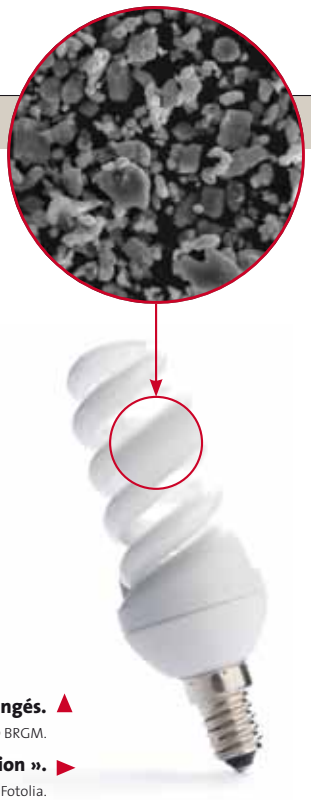
– le premier consiste en une série de partenariats noués avec des acteurs miniers en Chine et en dehors de Chine pour diversifier ses sources d'approvisionnement ;

– le deuxième repose sur l'innovation, avec comme principal objectif de diminuer la quantité de terres rares nécessaires dans les formulations pour une performance équivalente ;

– le troisième levier passe par le développement du recyclage. Rhodia a ainsi démarré en novembre 2010 sur son site de La Rochelle une unité de recyclage qui permet de valoriser ses chutes de production. Par ailleurs, à partir du premier trimestre 2012, Rhodia va donner une nouvelle vie aux poudres contenues dans les lampes basse consommation usagées, qui contiennent des terres rares. Aujourd'hui, la filière de recyclage existe en Europe, mais seuls le verre, les métaux et le plastique sont recyclés. Les poudres luminescentes étaient jusqu'à présent mises en décharge.

Trois ans de recherche et développement sur le sujet ont permis de mettre au point un nouveau procédé de recyclage des terres rares contenues dans les poudres luminescentes. Ce procédé permettra de récupérer et de purifier six terres rares contenues dans les lampes, dont le terbium, l'yttrium et l'europium, parmi les plus recherchées sur le marché !

Rhodia travaille également sur le recyclage des terres rares issues des batteries nickel métal hydrure (NiMH), en partenariat avec la société Umicore, ou encore sur le recyclage des terres rares contenues dans les aimants.



En haut : Photo MEB d'une poudre de luminophores mélangés. ▲
© BRGM.

En bas : Ampoule « basse consommation ». ►
© Fotolia.

Les verrous techniques et organisationnels du recyclage

Le recyclage des métaux, et plus particulièrement celui des métaux stratégiques, se heurte à des verrous techniques et organisationnels. Leur identification est primordiale pour proposer des mesures de nature à améliorer les performances quantitatives et qualitatives du recyclage.

Des caractéristiques particulières des gisements de matières premières de recyclage

Les cycles anthropiques complexifient par mélanges et contaminations les hétérogénéités des solides qui peuvent présenter leurs éléments sous des phases et des associations très variées (hétérogénéité de constitution). En complément, les collectes et la présentation physique des gisements au recyclage peuvent présenter des hétérogénéités géographiques et temporelles pour un même type de produit collecté en fin de vie (hétérogénéité de distribution). Ces hétérogénéités et leurs interdépendances sont des paramètres fondamentaux de la conception de modalités de gestion des déchets aptes à produire des fractions suffisamment homogènes pour les traitements métallurgiques subséquents *(voir encadré ci-contre)*.

Ainsi se superposent aux problèmes de caractérisation technique de la matière des problèmes de maîtrise des hétérogénéités au plan de la gestion industrielle : comment assurer une « constance » de la qualité des matières premières de recyclage pour les traitements métallurgiques qu'ils alimentent ? Comment gérer les variations de qualité au regard des exigences des traitements postérieurs ? La *figure 3*, page suivante, illustre ces questions.

Des développements technologiques importants pour des retombées économiques incertaines

Si les filières de recyclage pour des métaux comme le plomb, le cuivre, le fer ou l'aluminium, qu'elles soient alimentées par des déchets neufs (déchets d'usinage) ou vieux (déchets postconsommation) sont bien établies, elles ne peuvent servir de modèles pour nombre de métaux stratégiques. En effet, dans ce cas, il faut souvent, pour chaque substance et chaque type de déchet, mettre au point les procédés (5). Comment récupérer des matières très dispersées dans un produit ? Le problème se pose par exemple pour le néodyme des disques durs d'ordinateur

(5) Voir le rapport de l'OPECST, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, sur Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares, Compte rendu de l'audition publique du 8 mars 2011, et de la présentation des conclusions, le 21 juin 2011, par MM. Claude Birraux et Christian Kert, députés.
Voir http://www.assemblee-nationale.fr/13/rap-off/i3716.asp

► Optimisation des procédés de traitement des minerais

Marie-Véronique Durance – Caspeo – mv.durance@caspeo.net – www.caspeo.net

Si le minerai est une roche contenant des substances utiles, il est d'abord un assemblage de minéraux que l'on peut, par simplification, diviser en deux catégories : les minéraux valorisables et ceux de la gangue. Ces minéraux sont dans un premier temps séparés les uns des autres, puis, lorsqu'ils ne constituent pas le produit fini (cas du talc, des carbonates ou du kaolin), ils subissent des transformations physiques et chimiques (pyrométallurgiques ou hydrométallurgiques) afin d'en extraire les substances utiles.

Dans presque tous les cas, la première étape consiste en une réduction granulométrique visant à produire des grains suffisamment petits pour n'être idéalement constitués que d'un seul minéral. Les grains ainsi « libérés » peuvent ensuite être séparés par des techniques variées, telles que la gravimétrie, le magnétisme ou la flottation.

Des considérations économiques entrent en jeu afin de déterminer l'optimum entre taille des grains et coût énergétique. Cette taille de grain, appelée « maille de libération », constitue une grandeur économique du procédé, propre à chaque minerai.

Lorsque l'on sait que 8 à 10 % de l'énergie mondiale sert à extraire et traiter les minerais [Bihouix et De Guillebon (2010)] et que 70 % de cette énergie est consommée par la réduction granulométrique(1), on imagine bien les enjeux liés à l'optimisation de cette maille de libération et aux procédés à mettre en œuvre pour l'atteindre.

Depuis près de 30 ans, les ingénieurs procédés sont assistés dans cette tâche par des techniques de modélisation et de simulation. Des outils logiciels permettent de tester de nombreuses hypothèses en termes de configuration de circuit, de tailles ou de réglages d'équipement et fournissent des indicateurs économiques pour affiner la maille de libération et définir les moyens les plus efficaces pour l'obtenir.

Développé par le BRGM, édité et distribué par Caspeo, USIM PAC est sans doute le plus abouti de ces outils. Au-delà du domaine du broyage, ce type de logiciel permet d'augmenter la récupération des substances utiles tout en réduisant les consommations de ressources naturelles et les pollutions.

Les industriels prennent aujourd'hui conscience que produire plus propre est tout à leur avantage. Produire plus propre est une des composantes de l'économie circulaire.

(1) Daniel M., Lane G. and McLean E., Efficiency, economics, energy and emissions – emerging criteria for comminution circuit decision making, XXV International Mineral Processing Congress 2010 proceedings, Brisbane, Australia, 6-10 Sept. 2010.

▼ **Vues extérieure et intérieure d'un broyeur à boulets.**
External and internal views of a ball mill.
© Caspeo.





Dans le cas des métaux stratégiques, il faut souvent, pour chaque substance et chaque type de déchet, mettre au point les procédés.

ou l'indium et le germanium des semi-conducteurs de plus en plus présents dans les produits high-tech.

De plus, le lancement d'une unité industrielle de recyclage implique de maîtriser un gisement pérenne et de masse suffisante pour assurer le retour sur investissement. Le lancement d'une filière de recyclage par un industriel est donc difficile, et lui fait prendre des risques considérables dans un contexte d'extrême volatilité des cours.

Des gisements naissants, potentiellement éphémères et mal connus

Jusqu'à présent, le recyclage des métaux stratégiques concernait essentiellement les chutes neuves de fabrication ou les produits de fin de vie ayant une très forte valeur et une métallurgie assez « simple » (or, argent, platine, palladium) et le cobalt. Par ailleurs, pour ces derniers, la durée de vie des équipements conditionne la disponibilité des déchets. Ainsi, le néodyme des aimants permanents est immobilisé pour au moins 3 à 5 ans dans les disques durs des ordinateurs. Il ne sera récupérable qu'après 10 ans au mieux pour les aimants permanents des moteurs électriques de nouvelle génération (équipant en particulier certains véhicules hybrides et électriques dont la production vient de démarrer). Ce délai d'immobilisation dépassera 20 ans pour les aimants des éoliennes off-shore. En d'autres termes, un gisement de néodyme secondaire à la fois significatif et alimenté par un flux annuel conséquent ne sera pas constitué au plus tôt avant 15 ans. De plus, d'ici là, les évolutions technologiques pourraient conduire à la substitution de la demande vers d'autres matières, modifiant le niveau de la demande.

Enfin, il existe des lacunes considérables en matière de données relatives à la taille des stocks de métaux et leur potentiel de recyclage.

Une chaîne d'acteurs à mobiliser

Les filières de recyclage des matériaux aujourd'hui en place regroupent une chaîne d'acteurs qui permettent de « fermer » le cycle de l'économie circulaire.



Fig. 3 : Lien entre les produits, leur broyage ou démantèlement, leur séparation en fractions suffisamment homogènes pour la métallurgie subséquente.

Fig. 3: Relationship between the products, their shredding or demolition, and their separation into fractions that are uniform enough to allow subsequent metallurgy.

Source: Reuter (2011).

Une chaîne du recyclage optimisé implique d'atteindre des taux élevés de collecte, des performances de démontage et de prétraitement/tri et enfin des rendements élevés pour les procédés aval de métallurgie extractive. Le défaut d'un acteur ou d'une opération rend toute la chaîne caduque. Ainsi pour de nombreux déchets se posent les problèmes de collecte et de massification de gisement, comme par exemple pour les batteries NiMH dont le gisement collecté représente à peine 15 % par an du gisement collectable.

Un cadre juridique et réglementaire complexe

Le cadre juridique et réglementaire peut selon les cas constituer un levier ou un frein pour le développement de nouvelles filières de recyclage des métaux. Par exemple, le lancement d'une unité industrielle de recyclage de déchets porteurs de métaux d'intérêt peut nécessiter de constituer en amont un entreposage visant à garantir l'approvisionnement. La réglementation offre cette possibilité ; dans tous les cas, la durée ne peut excéder trois ans. Cette possibilité se complique dans le cas des filières « Responsabilité élargie du producteur » avec les questions connexes relatives aux modalités contractuelles, au financement des stocks et au partage des risques liés à ces stocks. Ce cadre complexe peut conduire des acteurs du recyclage à se « priver » de gisements stratégiques.

Conclusion

Les stocks croissants de métaux accumulés dans nos déchets peuvent servir de « mines hors-sol ». Le recyclage combiné à une utilisation éco-efficace des ressources contribuera à satisfaire les besoins de nos économies en métaux.

Le recyclage des métaux ferreux ou des métaux de base est une pratique ancienne. En revanche, l'utilisation croissante de métaux dits stratégiques pour des applications technologiques de plus en plus pointues a significativement modifié la donne du recyclage. En effet, ces métaux, souvent utilisés à des concentrations faibles, forment des assemblages complexes dans des produits qui évoluent très rapidement et dont on ignore souvent la composition lorsqu'ils sont devenus déchets. La prise en compte de cette évolution conditionne les performances des activités de recyclage. Aussi des efforts doivent-ils être consentis selon plusieurs axes.

Tout d'abord, il est fondamental d'avoir une meilleure connaissance des flux et des stocks de déchets contenant les métaux pour être en mesure d'anticiper le développement des futures filières et technologies de recyclage. Il faut développer des méthodes pour comptabiliser les métaux mis en œuvre dans les produits et les infrastructures.

Un effort est à mener sur l'éco-conception. L'efficacité du recyclage est largement déterminée en amont par la conception du produit qui doit prendre en compte *a minima* les infrastructures et les technologies existantes de recyclage.

Il faut développer des outils de contrôle et de suivi des performances, car la bonne gestion des matières premières et l'augmentation de l'efficacité du recyclage doivent reposer sur des évaluations d'impacts axées sur les conséquences potentielles pour l'environnement, la compétitivité et la société.

De même la mise au point d'innovations technologiques, comme le développement de technologies de démantèlement et de tri permettant de produire des fractions plus homogènes et de meilleure qualité, serviront à améliorer les performances des opérations aval de métallurgie.

En définitive, c'est une mobilisation coordonnée des acteurs publics et privés de la recherche autour de la thématique du recyclage des métaux qui est nécessaire. ■

Circular economy and the recycling of metals

Our expanding consumer society fuels a mounting demand for natural resources, including metals. Goods manufactured with these metals pile up in the anthroposphere before generally ending up in waste disposal facilities. While basic metals (iron, aluminum, copper, lead...) have been recycled for a long time, only lately, due to growing demand in emerging nations, have European and French authorities become aware of the stakes involved in improving its efficiency and extending it to metals that are minor, in the amounts used, but strategic as to the economic impact of consequences, were their supply to be cut off. Current recycle rates for most of these strategic metals amount to less than 1%. Their uses, mainly in high-tech products, are on the rise, and "aboveground" reserves of these metals are being amassed. End-of-life products from these reserves are a "deposit", and its exploitation is a topic central to the political agenda. Yet the deposit's highly heterogeneous nature – time-wise, space-wise, and in what it consists of – makes achieving major technological advances mandatory for extracting the metals. The rapid rate of technological mutations calls into question the deposit's durability and makes it hard to obtain a quantitative estimate. Lastly, recycling implies a whole chain of players who need to mesh for the economic cycle to be complete and metals derived from secondary sources substitute for those from primary ones. Through improved knowledge of the flow and reserves of waste containing the metals, efforts on the ecodesign of goods to boost recycling efficiency, development of tools to control and monitor overall performances of this circular economy for the environment, competitiveness and society, innovation in recycling technologies and downstream metallurgical operations, our society can become less exposed and more eco-efficient in resource use. Thus, effort of public and private players in research targeting the theme of metal recycling must be coordinated.

Bibliographie : **Ademe (2008) –** Document de réflexion pour l'élaboration d'une stratégie de développement du recyclage en France, juillet 2008. **Ademe (2010)** – Étude du potentiel de recyclage de certains métaux rares, juillet 2010. **Bihouix P., De Guillebon B. (2010)** – Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société. EDP Sciences. **Bureau of International Recycling (2008)** – Report of the Environmental Benefits of Recycling **Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W.W. (1972)** – The limits to Growth: a report for the Club of Rome's project on the Predicament of Mankind. New York: Universe books. **Reuter M.A. (2011)** – Limits of design for recycling and "sustainability": a review. Waste Biomass Valor 2: 183-208.