Vers une utilisation éco-efficace des matières premières minérales

Dominique Guyonnet, Markus Reuter, Raimund Bleischwitz

▶ **To cite this version:**

Dominique Guyonnet, Markus Reuter, Raimund Bleischwitz. Vers une utilisation éco-efficace des matières premières minérales. Géosciences, 2012, 15, pp.56-63. hal-01059666

HAL Id: hal-01059666
https://brgm.hal.science/hal-01059666

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.

Le recyclage des matières premières minérales est un moyen d'améliorer la productivité des ressources et leur éco-efficacité. Mais le recyclage a des contraintes thermodynamiques et ne peut suffire à satisfaire des besoins croissants. Cet article examine ces contraintes et souligne l'importance d'une infrastructure métallurgique et d'une industrie extractive européennes innovantes pour le maintien des capacités de recyclage en Europe et l'amélioration de l'éco-efficacité.

Vers une utilisation éco-efficace des matières premières minérales

Markus Reuter
Directeur Technique Outotec
markus.reuter@outotec.com

Dominique Guyonnet
Directeur ENAG-BRGM School
d.guyonnet@brgm.fr

Raimund Bleischwitz
Directeur de Recherche Institut Wuppertal
raimund.bleischwitz@wupperinst.org

Tubes de cuivre pour recyclage.
Copper tubes for recycling.
© Fotolia.

Depuis les Trente glorieuses, la croissance économique en Europe a été construite en large partie sur des gains de productivité du travail. La *figure 1* présente l'évolution du PIB relatif (année de référence 2000) par actif en France depuis 1880 et fait apparaître une courbe en « crosse de hockey », avec un gain d'un facteur proche de 10 depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Une telle augmentation a été rendue possible notamment par la mécanisation et l'automatisation du travail. Une autre source majeure de croissance économique a été la dépendance vis-à-vis de services environnementaux non monétisés, par exemple la capacité du milieu naturel à atténuer les polluants générés par nos industries. Prendre pour acquis de tels services engendre leur remise en question suite à la dégradation des milieux, avec des risques économiques considérables. De tels mécanismes de croissance montrent actuellement leurs limites et conséquences négatives, tant d'un point de vue environnemental que social (chômage, etc.).

Comme il est de plus en plus difficile de générer davantage de richesse par unité de temps de travail et en raison d'une prise de conscience accrue des impacts liés aux activités humaines, on assiste aujourd'hui à un changement de paradigme économique et social en faveur d'une augmentation de la richesse par unité de ressource. Il s'agit d'améliorer la productivité de la ressource en complément de la productivité du travail *(voir figure 1 page 9)* et

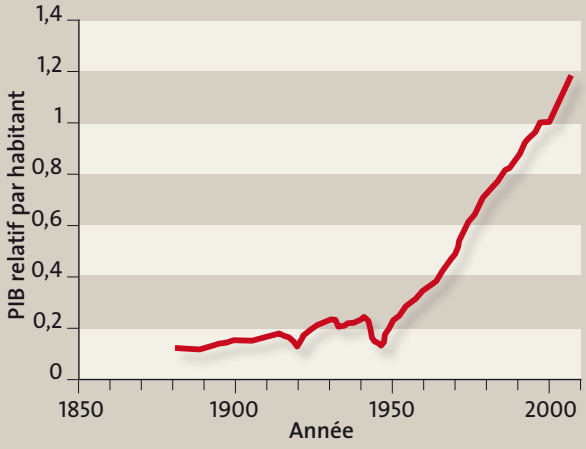


Fig. 1 : Productivité en France depuis 1820.
Fig. 1: Productivity in France since 1820.
Source : Insee.

de promouvoir l'éco-efficacité pour réduire les impacts sur l'environnement (à noter que la productivité de la ressource peut être considérée comme une des composantes de l'éco-efficacité). Cette tendance s'applique tout particulièrement au cas des matières premières minérales, puisqu'une des caractéristiques de ces matières, et notamment des métaux, est d'être souvent facilement recyclables. Les principaux bénéfices attendus sont, outre la production de richesse et les avantages sociaux associés, la préservation de ressources non renouvelables et l'évitement d'impacts liés à l'extraction de la ressource primaire. De tels objectifs sont en phase avec les concepts d'économie circulaire et d'écologie industrielle, où les déchets d'un acteur économique deviennent la ressource d'un autre acteur et sont inclus dans plusieurs documents stratégiques rédigés par la Commission européenne, comme l'initiative sur les matières premières *(encadré ci-contre)*.

Cycles des métaux et utilisation éco-efficace des matières premières minérales

Une condition *sine qua non* pour une évaluation réaliste de la productivité des matières premières minérales est une bonne connaissance du cycle des métaux dans l'anthroposphère, la portion de la géosphère qui est influencée par les activités de l'homme. L'application de l'analyse des flux de matière au cycle des métaux a été étudiée en particulier par l'université de Yale.

« Il s'agit d'améliorer la productivité de la ressource en complément de la productivité du travail et de promouvoir l'éco-efficacité. »

La politique européenne pour l'utilisation éco-efficace des ressources naturelles

Patrice Christmann – BRGM, Direction de la stratégie, Responsable de la stratégie du groupe BRGM en matière de ressources minérales pour la France et l'Europe – p.christmann@brgm.fr

Les impacts sur les différentes composantes de l'environnement (air, biodiversité, climat, eaux, sols...) de la croissance de la consommation de ressources naturelles font peser des pressions très importantes sur l'écosystème global. À titre d'exemple, en 20 ans, la production de minerai de fer, et donc de fonte et d'acier, a crû de plus de 240 %, celle d'aluminium primaire de 210 % et celle de cuivre primaire de près de 180 %(1). La croissance démographique mondiale, qui va se poursuivre au moins jusqu'aux alentours de 2050, et les changements de style de vie vont influencer l'évolution de cette production.

Ce constat a conduit la Commission européenne à développer une politique d'usage éco-efficace des ressources naturelles, constituant aujourd'hui l'une des 7 initiatives phares de l'agenda politique de la Commission à l'horizon 2020(2). Elle indique la nécessité de « *s'attaquer au problème des marchés, des prix, des taxes et des subventions qui ne reflètent pas les coûts réels de l'utilisation des ressources et qui enferment l'économie dans une logique non durable ; encourager, dans le secteur des entreprises, de la finance et de la politique, une réflexion à long terme innovante qui conduise à l'adoption de nouvelles pratiques durables, stimule les avancées en matière d'innovation et permette de définir des règles prospectives et efficaces sur le plan des coûts; mener les recherches nécessaires pour combler les lacunes dans nos connaissances et nos compétences et fournir les informations et la formation appropriées ; de régler les problèmes de compétitivité internationale et de chercher à obtenir un consensus avec nos partenaires internationaux afin d'évoluer dans la même direction.* »

Cela nécessitera de mettre en place un étiquetage informant le consommateur sur la consommation en énergie et en eau des produits qui lui sont proposés ; de privilégier les produits économes en ressources dans les procédures publiques d'achat ; de développer une économie utilisant davantage les déchets en tant que ressources ; d'intensifier le recyclage ; de développer des modes de production plus économes en ressources ; de concevoir de nombreux produits utilisant moins de matières premières primaires à fonctionnalités égales ; de substituer les ressources les plus rares par des ressources plus abondantes.

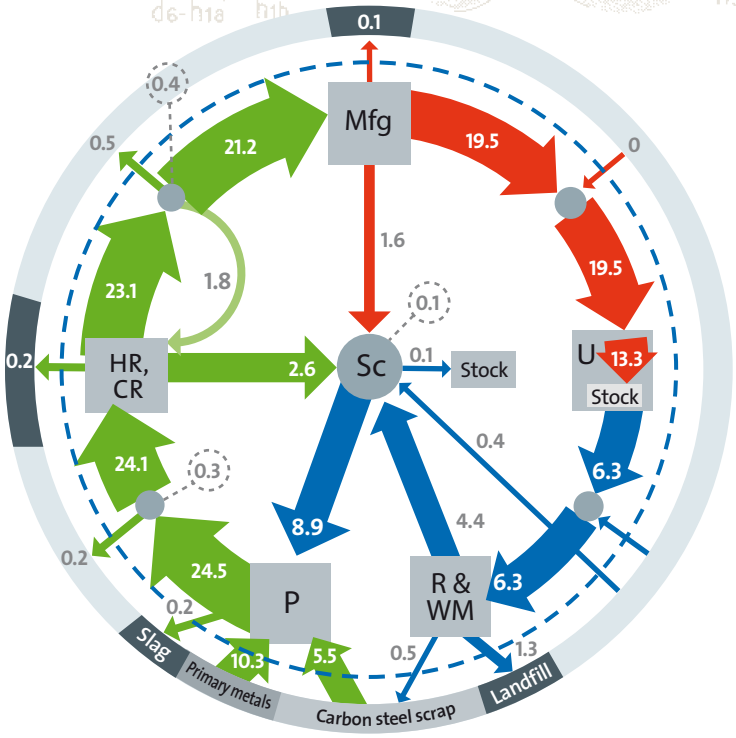
Ce sera l'un des grands chantiers communautaires des années à venir, nécessaire pour prévenir les effets de la pire des crises possibles, celle d'un effondrement progressif des multiples services vitaux que nous rend l'écosystème dont nous dépendons.

(1) Source USGS.

(2) [COM (2010) 2020] Initiative matières premières : feuille de route pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources [COM (2011), 571].

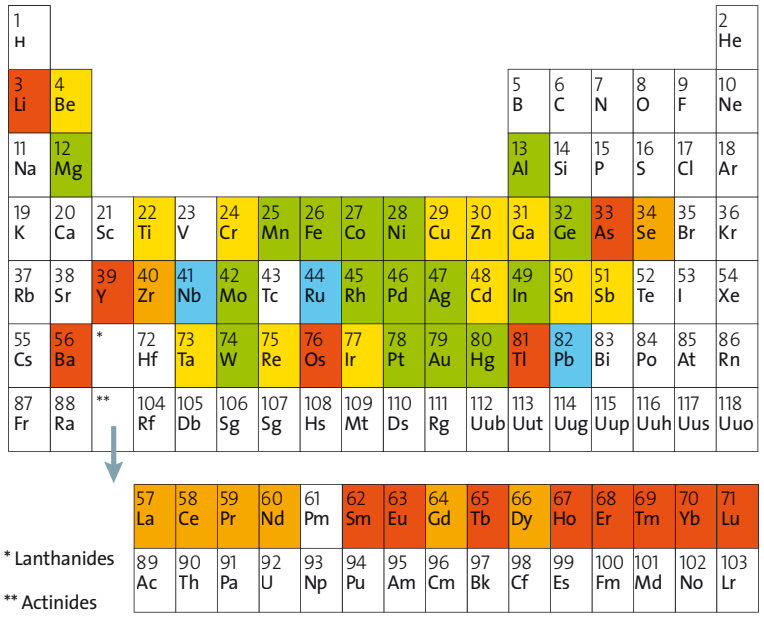
La *figure 2* montre le cycle global anthropogénique de l'acier inoxydable en 2005 [Reck *et al.* (2010)], un alliage pour lequel les taux de recyclage sont significatifs. Les flux en vert ont trait à la production d'acier, ceux en rouge à son utilisation (dans des produits manufacturés) et en bleu à leur fin de vie ou leur recyclage. Les flèches qui quittent le cycle sont des pertes. La *figure* montre qu'en entrée de cycle la ferraille d'acier représente 58 % de la ressource entrant dans le système de production ; un chiffre qui est élevé comparé à la plupart des métaux et métalloïdes du tableau périodique *(figure 3)*. Elle montre également que la plus grosse part du flux de matière vient alimenter le stock utilisé dans l'économie : ce sont les produits présents dans la « mine urbaine » et potentiellement recyclables.

De tels chiffres sont cohérents avec les données présentées dans le rapport de l'Unep (2011). Les auteurs définissent différentes mesures pour caractériser le recyclage et notamment la proportion de ressource secondaire (déchets) qui est recyclée. Comme on peut le voir dans la *figure 3* pour de nombreux métaux ou métalloïdes, et notamment pour les métaux dits « énergétiques » (utilisés dans les technologies liées aux énergies renouvelables ; éoliennes, lampes basse-consommation, etc.), les taux de recyclage sont modérés à faibles. Outre le cuivre, le cobalt ou le cadmium, ces métaux incluent les métaux rares comme le gallium, l'indium, les terres rares, etc. D'où l'important effort en R&D *(voir F. Carencotte* et al., *ce numéro)* pour accroître la fraction recyclée de ces métaux. En effet, il est attendu que les taux d'utilisation de ces métaux croissent de manière significative dans les prochaines décennies, au fur et à mesure que l'humanité s'éloigne des énergies fossiles pour s'orienter vers des sources d'énergies renouvelables.



▲ **Fig. 2 : Cycle global anthropogénique de l'acier inoxydable en 2005. Unités en millions de tonnes d'acier inoxydable par an.**
P : production d'acier inoxydable brut ;
HR, CR : laminage à chaud et à froid ;
Mfg : manufacture ;
U : utilisation ;
R&WM : recyclage et gestion des déchets ;
SC : ferraille.
Selon Reck *et al.* (2010).

Fig. 2: Global anthropogenic stainless steel cycle in 2005.
Units are in million tons of stainless steel per year.
P: crude stainless steel production;
HR, CR: hot and cold steel rolling;
Mfg: manufacturing;
U: use;
R&WM: recycling and waste management;
SC: scrap.
From Reck *et al.* (2010).



► **Fig. 3 : Taux moyens de recyclage en termes de proportion de métal d'origine secondaire (déchets) qui est recyclée (IRP/Unep, 2011).**

Fig. 3: Global average recycling rate, i.e. the fraction of secondary (from waste) that is recycled (IRP/Unep, 2011).

Utilisation éco-efficace de matières premières minérales : quels indicateurs ?

Un concept d'indicateur plus élaboré, introduit par Schmidt-Bleek [Bringezu et Bleischwitz (2009)] est le concept de MIPS *(Material Input Per Service)*. Le calcul d'un MIPS vise à estimer l'efficacité de la ressource d'un produit en prenant en compte les émissions environnementales à chacune des étapes de son cycle de vie. Tandis que les quantités de ressources entrant dans la fabrication du produit (MI) sont définies en kilogrammes, les unités pour le service (S) doivent être définies au cas par cas, en fonction du type de service. Il peut s'agir de kilogrammes de vêtements lavés par une machine à laver, un nombre de kilomètres parcourus par un véhicule de transport, etc. L'inverse du MIPS (c'est-à-dire : S/MI) est une expression de la productivité de la ressource, c'est-à-dire la quantité de service obtenue par unité de masse de ressources entrant dans le produit.

Le calcul de la quantité de matière entrant dans le produit revient à estimer sa charge environnementale *(environmental rucksack)*, qui inclut les quantités d'eau, de matières premières biotiques ou abiotiques, etc., liées à son cycle de vie. Ce calcul présente des analogies avec l'approche ACV (analyse de cycle de vie), telle que décrite par les normes en vigueur *(cf. la série des ISO 14040)*. À noter que ces approches reposent souvent sur des bases de données existantes que les utilisateurs tendent à employer sans suffisamment de discrimination. Par exemple, un système de production de métal « générique » est typiquement sélectionné dans une base de données sans prendre en compte les spécificités

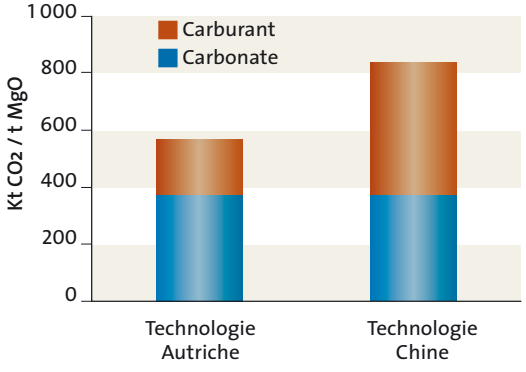


Fig. 4 : Émissions de CO_2 par tonne de magnésium produite (Drnek, 2008).

Fig. 4: Comparison of CO_2 emitted per ton of magnesium produced (Drnek, 2008).

> *« Le maintien en Europe d'une infrastructure métallurgique appliquant les meilleures technologies disponibles est essentiel pour l'éco-efficacité. »*

de la situation réelle. Une exception est illustrée dans la *figure 4* dans le cas de la production de magnésium à partir de magnésite ($MgCO_3$). La majorité de la magnésite extraite dans le monde est convertie directement en oxyde de magnésium (magnésie ; MgO) par calcination. La calcination d'une tonne de magnésite génère environ une tonne de CO_2. Mais le bilan carbone de la production de magnésie dépend également du type de carburant utilisé pour la calcination. La technologie de calcination utilisée en Chine (à base de charbon) se traduit par des émissions de CO_2 plus élevées qu'en Autriche. Cette distinction entre différentes technologies de production en ACV est importante pour l'acceptation sociétale de l'activité industrielle en Europe. Le paradoxe de la prise de conscience environnementale en Europe et d'une certaine « aversion au risque », est qu'elle contribue à une relocalisation des industries, mais aussi de leurs impacts. Le maintien en Europe d'une infrastructure métallurgique appliquant les meilleures technologies disponibles *(BAT, best available technology)* est donc essentiel pour l'éco-efficacité.

L'institut Wuppertal a souligné certaines insuffisances des indicateurs utilisés actuellement pour caractériser le recyclage des matières premières minérales d'un point de vue de leur éco-efficacité. Les ratios entre les quantités de métal d'origine secondaire (à partir de déchets) et primaire (extraite du sous-sol) dans la production totale de métal négligent généralement les quantités de déchets miniers non utilisés (résidus, stériles, etc.). Pourtant, ces déchets constituent la grande majorité des matériaux extraits du sous-sol et leur déplacement peut engendrer des nuisances significatives. Les données de Mudd (2009) montrent une augmentation importante des quantités de stériles miniers générés par l'industrie extractive en Australie. Dans le cas du cuivre par exemple, tandis que les quantités extraites étaient de l'ordre de 30 Mt vers la fin des années 1980, elles sont aujourd'hui proches de 200 Mt. Cette tendance va vraisemblablement se poursuivre à l'avenir, les grosses compagnies minières exploitant des gisements dont les teneurs sont de plus en plus basses, en raison de la rareté croissante des gisements à fortes teneurs et des progrès dans le traitement des minerais.

Possibilités et limites du recyclage

Contraintes thermodynamiques

Comprendre les possibilités du recyclage pour les différents métaux du tableau périodique des éléments nécessite une bonne connaissance des principes thermodynamiques qui régissent le traitement des minerais. De telles contraintes sont inhérentes à la « Roue des métaux » *(figure 5)*, qui illustre la filiation entre des métaux porteurs produits par l'infrastructure métallurgique et les éléments accessoires (comme les métaux dits « énergétiques »), présents dans la ressource primaire (extraite) ou secondaire (recyclée). Une conséquence importante de cette roue est le fait que la récupération de nombreux éléments mineurs dépend directement de la production du métal porteur. Si l'infrastructure qui produit ces métaux porteurs venait à disparaître, la production de la plupart des métaux en aval serait fortement compromise. À noter que l'efficacité de la ressource suppose qu'on puisse minimiser les quantités d'éléments se retrouvant dans la bande verte, car ils sont généralement perdus, mais également augmenter la quantité de métaux porteurs générés à partir de ressources secondaires (ferrailles). Ceci suppose des innovations importantes en matière de technologies métallurgiques mais aussi de conserver une infrastructure métallurgique proche de la « mine urbaine ».

Les séparations radiales dans la Roue des métaux délimitent des zones correspondant à des technologies métallurgiques spécifiques (minerais oxydés, sulfures, etc.), élaborées à l'origine pour traiter des assemblages minéraux observés dans des minerais naturels. Ceci a eu tendance à générer une vision « orientée matière » du recyclage [Reuter *et al.* (2005)], qui considère le recyclage comme opérant à l'intérieur d'une seule « tranche » de la Roue des métaux et portant sur des produits relativement simples. Mais l'ingéniosité humaine a généré des produits présentant des assemblages métalliques bien plus complexes que ce que l'on trouve dans la nature. Ceci est illustré dans la *figure 6* qui montre les assemblages métalliques rencontrés dans des produits « génériques ». Pour promouvoir le recyclage et par

> *« L'ingéniosité humaine a généré des produits présentant des assemblages métalliques bien plus complexes que ce que l'on trouve dans la nature. »*

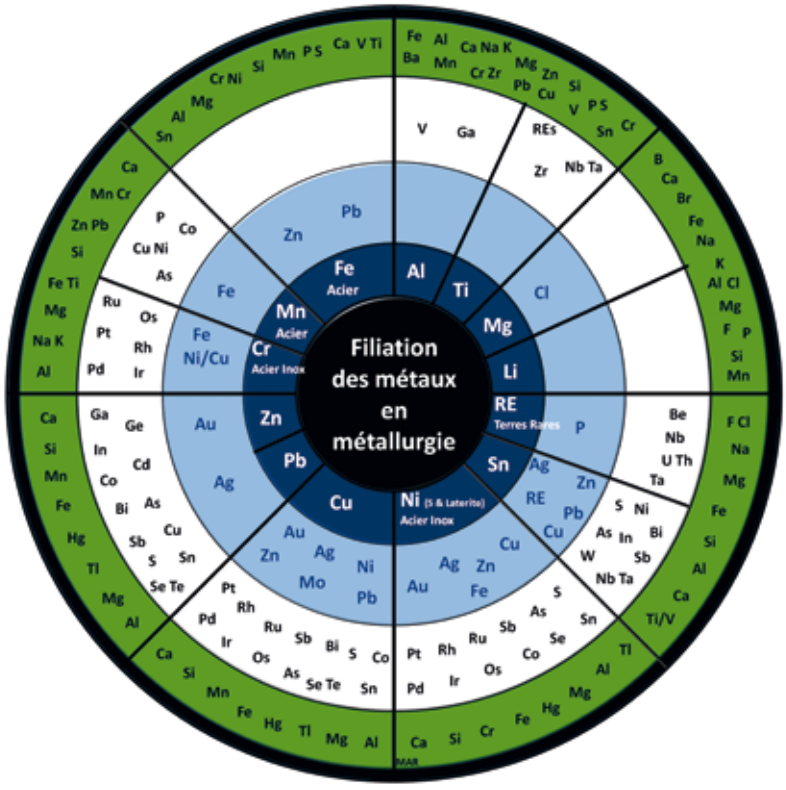


Fig. 5: La Roue des métaux illustre la dépendance de nombreux métaux accessoires (notamment les métaux « énergétiques ») vis-à-vis de la production de métaux porteurs.
Bleu foncé : métaux porteurs de base
Bleu clair : métaux porteurs coproduits
Blanc : métaux accessoires
Vert : résidus (scories, cendres…).

Fig. 5: The Metal Wheel, reflecting the dependence of many accessory metals (e.g. energy metals) on the production of carrier metals.
Dark blue ring: society's carrier metals
Light blue ring: co-produced carrier metals
White ring: accessory metals (e.g. energy metals)
Green ring: residues (slags, ashes…).

Source: Reuter *et al.* (2005).

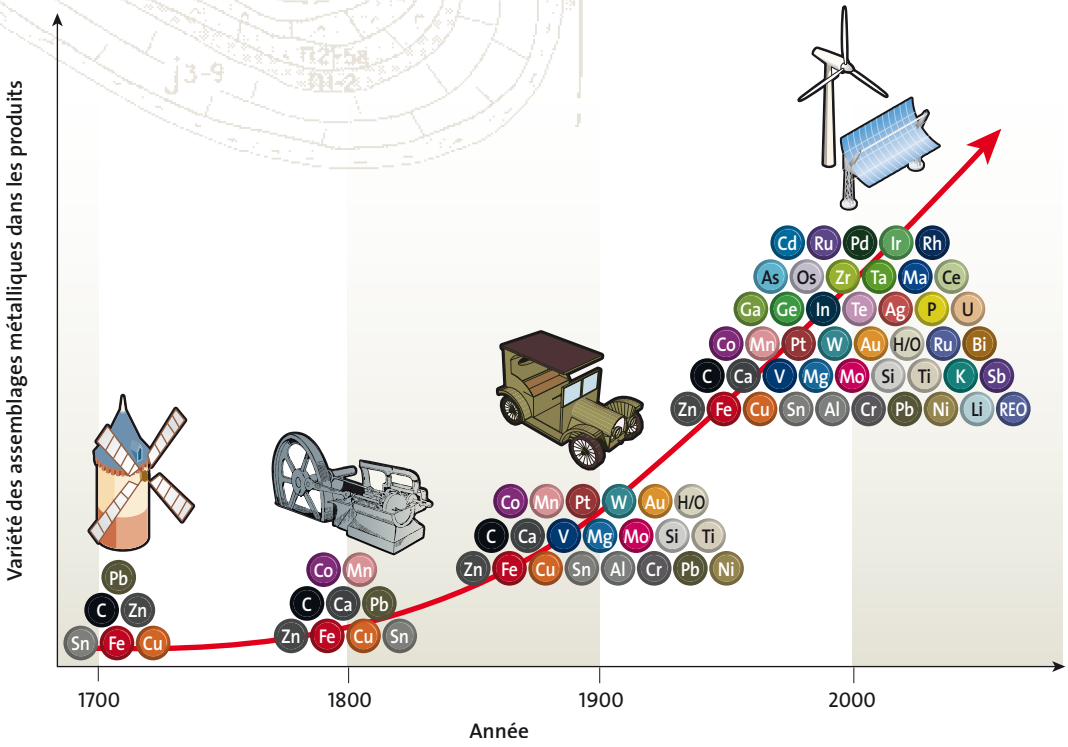


Fig. 6 : Augmentation de la complexité des assemblages métalliques dans des produits génériques.

Source : Van Schaik et Reuter, 2012 (adapté d'Achzet et Reller).

Fig. 6: The increase in the complexity of metal assemblages in generic products.

Source: Van Schaik and Reuter, 2012 (adapted from Achzet and Reller).

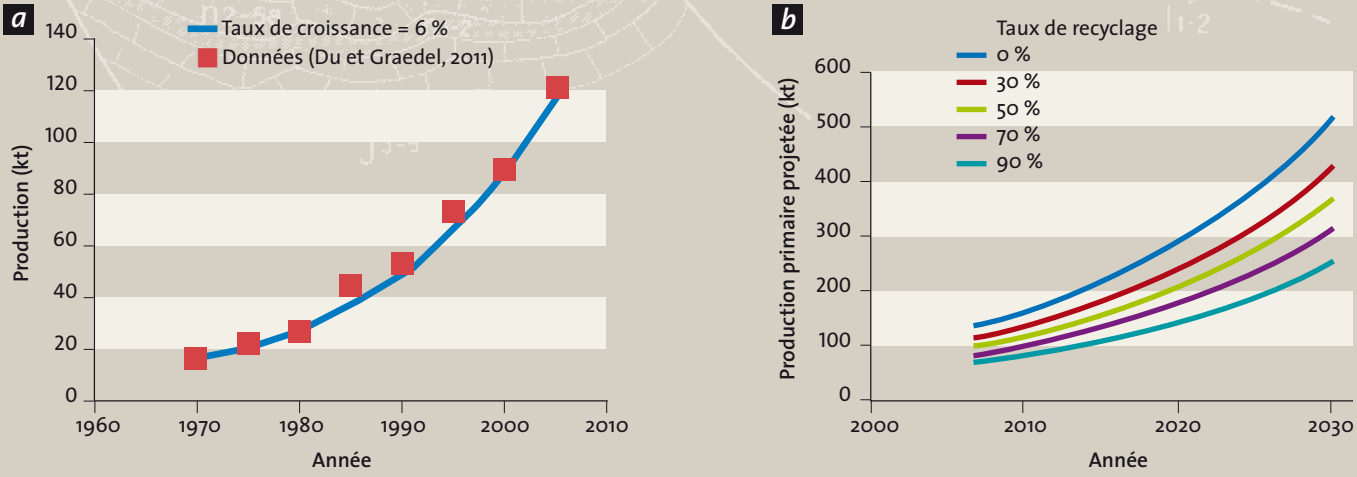
conséquent la productivité de la ressource, les technologies métallurgiques doivent passer d'une vision « orientée-matière » (tournée vers un seul métal), vers une vision « orientée produit » (tournée vers l'ensemble des métaux qui constituent le produit). Ceci nécessite la mise en place de technologies capables d'optimiser la récupération des éléments métalliques à partir des produits recyclés et améliorant par conséquent la productivité de la ressource. À noter que le législateur doit veiller à préserver la compétence et l'infrastructure métallurgique de base afin de garantir le recyclage dans l'avenir, puisqu'il nécessite une connaissance approfondie de cette métallurgie.

Si l'amélioration de l'éco-efficacité suppose d'abattre les frontières entre les tranches de la Roue des métaux, les efforts nécessaires sont significatifs, car chaque tranche comporte ses propres limites thermodynamiques. Le nombre de tranches au sein desquelles un matériau secondaire devra être traité dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels la facilité de séparation de ses composants, leur nature et hétérogénéité, etc. Il est donc important de promouvoir une écoconception des produits qui vise à faciliter le désassemblage des produits en composants qui peuvent aisément être recyclés. Mais un des principaux objectifs de la conception d'un produit est généralement de lui procurer un avantage concurrentiel sur un marché qui tend à récompenser la complexité. Les conditions pour lesquelles l'écoconception permet de procurer un avantage dans un marché concurrentiel font actuellement l'objet de recherches.

> *« Il faut promouvoir une écoconception des produits afin de faciliter leur désassemblage en composants aisément recyclables. »*

Une augmentation du recyclage peut-elle répondre à une demande accélérée en ressources ?

Une limite intrinsèque du recyclage est liée au fait que, dans un contexte de croissance de la demande en matières premières, il y a toujours un décalage entre la demande et la disponibilité de la matière dans le flux de déchets, en raison du temps de résidence de la matière dans l'économie. Ceci est illustré ci-après en référence à la demande croissante en terres rares au niveau mondial. La tendance globale en matière de production d'oxydes de terres rares, de 1970 et 2007, montre un taux de croissance annuel de 6 % *(figure 7a)*. En supposant un temps de résidence moyen de 10 ans pour les



produits utilisant des terres rares [Du et Graedel, (2011)], et en prenant différentes valeurs du taux de recyclage, on peut calculer la production de métal primaire qui permet de satisfaire la demande. La *figure 7b*, établie à l'aide de l'équation n°6 de Guyonnet *et al.* (2011) et basée sur une approche de Grosse (2010), montre que le volume de production primaire (industrie extractive) permettant de satisfaire la demande croissante est peu atténué par le recyclage, même à des taux élevés. Ceci souligne la forte dépendance des technologies énergétiques vertes par rapport à l'industrie primaire extractive. Or, pour ce qui concerne certains métaux comme les terres rares, celle-ci est contrôlée principalement par la Chine *(encadré ci-contre)*.

Ce calcul théorique sert ici à illustrer que, si le recyclage permet d'éviter des impacts liés à la production de la ressource primaire et à l'élimination des déchets, une dépendance élevée vis-à-vis du recyclage pour satisfaire les besoins industriels n'est pas envisageable : il est indispensable de recourir également à la ressource primaire.

Conclusion

Des efforts significatifs sont consacrés en Europe à l'amélioration de la productivité de la ressource et à l'utilisation éco-efficace des matières premières minérales, en cohérence avec les principes d'une économie circulaire et d'une écologie industrielle. Mais l'amélioration des taux de recyclage pour un large éventail de métaux nécessite, d'une part, une transition des technologies métallurgiques d'une orientation matériau vers une orientation produit et d'autre part, de réaliser des progrès importants en matière d'écoconception des produits. L'examen des contraintes liées au recyclage souligne l'importance de l'ensemble du cycle des métaux et notamment la production de matières minérales à partir de sources primaires, qui ne doit pas être déconnectée du recyclage. En effet, si l'industrie métallurgique des minerais primaires devait être délocalisée hors des frontières de l'Europe, la capacité de l'Union en termes de recyclage de ses produits en fin de vie serait sérieusement compromise.

Pour le législateur, la Roue des métaux montre qu'une connaissance approfondie des procédés et une infrastructure métallurgique solide doivent être soutenues pour optimiser la récupération de métaux. L'utilisation intelligente des principes thermodynamiques et des technologies adaptées permet de piloter l'innovation et d'explorer les opportunités et limites du recyclage. La perte d'une des tranches de la Roue aurait des conséquences sévères pour la capacité de recyclage. Le législateur doit adopter une approche « systémique » des matières premières minérales en tenant compte des différents stades du cycle des métaux [Van Schaik et Reuter (2012)] et mettre en place les conditions permettant de conserver une infrastructure métallurgique performante, située à proximité de la « mine urbaine ».

L'industrie extractive des matières premières minérales doit également être un acteur de la productivité de la ressource et de l'éco-efficacité. Si ces matières sont extraites et traitées dans des pays qui n'utilisent pas les meilleures technologies disponibles, les émissions ainsi que les volumes de stériles miniers extraits augmentent, ce qui diminue la véritable productivité de la ressource. Mais l'industrie extractive est un domaine relativement négligé dans l'Union européenne : les investissements annuels en matière d'exploration minérale de métaux non ferreux sont parmi les plus faibles au monde (après, en ordre croissant, l'Afrique, les États-Unis, l'Amérique du Sud, l'Asie, le Canada et l'Australie). Il faut fournir à l'industrie extractive européenne la possibilité de développer des techniques extractives permettant de minimiser les quantités de déchets générés et les impacts, grâce par exemple aux méthodes d'exploitation en souterrain, aux techniques de comblement des galeries ou de gestion de résidus secs *(dry tailings)*.

Fig. 7 :
(a) Croissance de la production mondiale en terres rares entre 1970 et 2007 ;
(b) projection de la production à partir de sources primaires pour satisfaire une demande à 6 % de taux croissance annuel, pour différents taux de recyclage et en supposant un temps de résidence dans l'économie de 10 ans.
Source des données : Du et Graedel, 2011.

Fig. 7: (a) Growth of the worldwide production of Rare Earth Elements (REE) from 1970 through 2007 ; (b) Projected cumulated production of primary rare earth (RE) oxides, in order to satisfy a yearly demand growth rate of 6%, versus theoretical recycling rates and assuming a 10-year average material residence time in the economy.
Date source: Du and Graedel, 2011.

► Analyse systémique des terres rares

Johann Tuduri – ENAG-BRGM School – j.tuduri@brgm.fr

L'utilisation éco-efficace des matières premières minérales passe par l'amélioration de la productivité de la ressource, mais également par un emploi adapté dans la réalisation des produits à faible empreinte écologique. C'est le cas notamment des terres rares (lanthane, néodyme, dysprosium, yttrium, etc.), utilisées dans plusieurs écotechnologies de première importance (aimants permanents, turbines des éoliennes, lampes basse consommation, accumulateurs et aimants compacts pour les voitures électriques...). Ces substances sont dites « critiques » car elles associent rareté et difficultés économiques en cas de pénurie. Or la production mondiale des terres rares est assurée à plus de 95 % par la Chine, alors que ce pays ne détient qu'environ 36 % des réserves mondiales.

Le projet Aster(1) (Analyse systémique des terres rares – flux et stocks) a pour objectif de fournir une vision globale de la « criticité » de certaines terres rares à partir d'une analyse des flux et stocks de ces substances dans l'anthroposphère. Un des principaux livrables du projet est la fourniture de diagrammes de type « Sankey » qui permettent de visualiser les flux et stocks de substances dans les différents compartiments de l'économie (production primaire, importations, manufacture de produits finis, recyclage...). Les flux et stocks étant généralement entachés d'incertitudes, en raison de la nature incomplète et/ou imprécise de l'information disponible (incertitude dite « épistémique »), les outils adaptés à la prise en compte de « jugement d'expert » seront mis à profit.

Ainsi le projet Aster revêt-il plusieurs caractères innovants. D'une part, la prise en compte, dans une même analyse dynamique, des flux et stocks de terres rares dans l'anthroposphère, de ressources primaires liées à de potentiels gisements de minerais de terres rares (territoire national et région « Europe »), en sus des ressources dites secondaires (issues du recyclage) et, d'autre part, la prise en compte des incertitudes épistémiques liées à ces flux et stocks.

(1) Le projet Aster, soutenu par le Programme ANR Ecotech 2011, est réalisé dans le cadre d'un partenariat entre le BRGM, la société Rhodia, le bureau d'études Bio-IS, le laboratoire IRIT de l'Université de Toulouse et l'Institut polytechnique LaSalle Beauvais.

Montage d'une éolienne.
Assembly of a wind turbine.
© Fotolia.

Towards an eco-efficient use of mineral raw materials

Since it is increasingly difficult to generate additional wealth per unit time of labor and because of improved awareness of the impacts of human activities on the environment, there is currently a paradigm shift towards generating more wealth per unit mass of resource; i.e., to increase resource productivity as a complement to labour productivity and to improve eco-efficiency to reduce environmental impacts.
Such a trend applies in particular to mineral, resources, since a particular characteristic of minerals and especially metals, is that they are often easily recycled. This paper discusses the eco-efficient use of mineral resources, with a particular focus on the possibilities and limits of recycling as a means to increase resource productivity and meet the needs of our economies. It underlines the importance of maintaining a Best Available Technology (BAT) metallurgical infrastructure, in given geographic regions, to ensure the maximum recovery of metals.
Policy-makers should ensure that such playing fields be optimized to enable the exploitation of the "urban mine". It also illustrates the limits of recycling in terms of its ability to satisfy the needs of an increasing demand.
This is due to the residence time of materials in the economy and hence the offset between current demand and recycling opportunities provided by the waste stream.
In order to promote resource productivity and eco-efficient use of mineral raw materials, policy-makers must adopt a systemic view and consider the entire life-cycle of metals. Should primary mineral raw material metallurgical infrastructures disappear or be relocated, the ability to recycle secondary materials would be seriously jeopardized. The EU primary extractive industry must also be a player in eco-efficiency: if raw materials are imported from countries which do not apply BAT, jobs, but also emissions, are relocated.

Bibliographie : **Bringezu S., Bleischwitz R. (2009)** – Sustainable resource management. Global trends, visions and policies. Greenleaf Publisher Sheffield. **Drnek T. (2008)** – www.rhi-ag.com. **Du W., Graedel T.E. (2011)** – Global in-use stocks of the rare earth elements: a first estimate, Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 4096–4101. **CE (2010)** – COM(2008) 699 final, Commission européenne – initiative sur les matières premières. **Grosse F. (2010)** – Is recycling "part of the solution"? The role of recycling in an expanding society and a world of finite resources. SAPIENS 3(1), 1-17. **Guyonnet D. *et al.* (2011)** – Sardinia-2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium (R. Cossu and R. Stegmann, eds.), S. Margherita di Pula, Cagliari (Italy). **Mudd G. (2009)** – The Sustainability of mining in Australia: key production trends and their environmental implications for the future. Monash University Report. **Reck B. *et al.* (2010)** – Global stainless steel cycle exemplifies China's rise to metal dominance, Environ. Sci. Technol., 44, 3940–3946. **Reuter M.A. *et al.* (2005)** – The Metrics of material and metal ecology – harmonizing the resource, technology and environmental cycles, Elsevier BV, Amsterdam, 706 p. **Van Schaik A., Reuter M.A. (2012)** – Shredding, sorting and recovery of metals from WEEE: linking design to resource efficiency, In: Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook (V. Goodship and A. Stevels, eds) (sous presse). **Unep (2011)** – Recycling rates of metals. A status report. United Nations Environment Programme. **WBCSD (1992)** – Changing course. A global business perspective on develoment and the environment. World Business Council for Sustainable Development.