

De la mine au GSM... et après ?

Reprenant l'expression attribuée à Lavoisier «Rien ne se perd, rien ne se crée» (en réalité une paraphrase du philosophe grec Anaxagore), le Professeur Éric Pirard et l'ingénieure Fanny Lambert (Université de Liège) se penchent sur nos ressources minérales...

Texte : Paul Devuyst

Photos : © BHP Billiton (p.32), © COMPOUND INTEREST 2014 (p.34)

Comment fabriquer toujours plus de portables, de voitures, de téléviseurs, de frigos en relevant un triple défi : répondre à une demande croissante tout en baissant les coûts et en prenant davantage en compte l'environnement ? Car d'ici à 2030, le nombre de consommateurs va plus que doubler dans le monde et passer de 1,5 à plus de 3 milliards de personnes. Ce qui aura pour conséquence d'augmenter la demande pour l'ensemble des matériaux, dont les prix, pour certains d'entre eux, sont déjà montés en flèche ces dernières années. Pour accélérer la recherche de solutions innovantes, moins chères et plus vertes,

il faut donc travailler à la fois sur les matériaux, le design du produit et le procédé de fabrication, ce qui implique des équipes pluridisciplinaires.

Aujourd'hui, il n'y a pratiquement plus aucun élément du tableau de Mendeleïev qui ne trouve pas son utilisation dans nos technologies, au point que nous oublions parfois d'où viennent ces ressources.

L'ODYSSÉE DES MÉTAUX

«Or, nous n'avons jamais autant extrait de ressources minérales de la Terre qu'aujourd'hui et, si on étudie l'histoire

des métaux (qui est aussi l'histoire de l'humanité), jusqu'en 1735, le monde n'était fait que de 7 métaux, un nombre symbolique qui correspond au nombre de jours de la semaine et à leur nom», explique le professeur et ingénieur géologue à la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Liège, Éric Pirard, à l'occasion d'une journée organisée par le Muséum des Sciences naturelles sur le thème *Nos ressources minérales dans tous leurs états !* Et de faire leur connaissance...

Il y a l'or tout d'abord. L'élément 79 du tableau des éléments de Mendeleïev, le disque doré du Soleil (le *Sunday* pour les anglais) était déjà connu au 6^e siècle avant JC par le dernier roi de Lydie, Crésus, qui tenait sa richesse du Pactole, une rivière qui charriait des paillettes d'or. On



trouve de l'or partout dans le monde, même en Belgique, sous 10 m d'eau, au *Trô des Massotais*, le long de l'E25 à hauteur de la Baraque de Fraiture ! Cette mine était exploitée à l'époque par les Romains. Parmi les mines toujours exploitées, celle de *Kisladag* de la société *Eldorado Gold*, en Turquie, produit encore une importante quantité d'or. Il faut bien ça lorsqu'on sait qu'il faut traiter une tonne de minerai pour obtenir un seul gramme du métal précieux. Bien sûr, nous pourrions très bien vivre sans mais il constitue, en bourse, une valeur refuge.

Élément 47, l'argent, qui se réfère au disque de la Lune (*Moon day* en anglais), faisait déjà office de monnaie du temps de la Grèce antique et sa valeur était

très proche de celle de l'or. Ce métal avait principalement cours en Amérique du Sud et était extrait du *Cerro Rico* («Montagne riche»), une mine située à Potosi (en Bolivie). Déjà exploitée par les peuples précolombiens, les conquérants espagnols aux 16^e et 17^e siècles firent de l'extraction de l'argent une véritable industrie et des dizaines de milliers de tonnes d'argent furent envoyées en Europe. Sa valeur s'effondra au point de ne valoir que le dixième de celle de l'or. La mine a été déclarée épuisée bien que la production d'argent soit encore de 25 tonnes par an (38 grammes par tonne de minerai). Vu sa qualité de bon conducteur d'électricité, il est notamment utilisé en soudure et dans le photovoltaïque.

Le fer quant à lui (élément 26), métal de la guerre par excellence (et du dieu Mars, de la planète rouge, le mardi), était inconnu des Incas et des Mayas avant l'arrivée des Espagnols. Ils manipulaient facilement les métaux précieux mais n'avaient pas vu l'utilité du fer. Par contre, on retrouve des «bas-fourneaux» dans l'Entre-Sambre et Meuse datant du 4^e siècle avant JC. Ce savoir-faire wallon s'est exporté jusqu'en Suède et en Espagne aux 15^e et 16^e siècles, une aventure d'ailleurs retracée à la *Maison de la Métallurgie* à Liège. Aujourd'hui, concernant la production du fer, c'est le gigantesque absolu: le minerai est (notamment) extrait de la plus grande mine à ciel ouvert au monde, à Carajas (Brésil), au rythme de... 275 000 tonnes par jour ! Il est aussi extrait au Canada, en Mauritanie et en Australie. Sa consommation est tout aussi gigantesque: 400 à 500 kg par an et par européen (et aussi par Belge) !

Le mercure ensuite (numéro 80), dont le nom évoque le mercredi, est un métal liquide à température ambiante, dont l'usage est totalement banni aujourd'hui. Et pourtant, en 2010, un peu moins de 2 000 tonnes ont été dispersées dans l'environnement. En cause, son utilisation dans l'orpaillage (pour séparer l'or des poussières et alluvions) et la combustion du charbon. De la mine d'Almadén (en Espagne, au sud de Madrid), environ 250 000 tonnes ont été produites dans le passé, sur une période de 2 000 ans. Le minerai, le cinabre, avait été utilisé par les Romains pour le maquillage et comme pigment pour les peintures; plus tard par les Arabes en médecine et en alchimie.

LES TROIS DERNIERS

L'étain (numéro 50), le jeudi du dieu Jupiter, est connu depuis l'Antiquité car il s'allie facilement avec le cuivre pour donner du bronze: le plus vieil objet en bronze trouvé à Nebra-sur-Unstrut (Allemagne) date de 1600 avant JC. Le commerce de ce métal se limitait alors aux îles Cassitérides (d'où le nom du minerai *cassitérite*), considérées à l'époque comme étant situées au nord-ouest de l'Espagne, du sud de la Grande-Bretagne ou en Armorique. Ces mines ont été fermées en 1960 mais il est question de les rouvrir. Ce métal est aujourd'hui associé au tungstène.

Le cuivre (numéro 29), le vendredi de la déesse Vénus et le symbole de la féminité, est un métal essentiel qui, associé au zinc, forme le laiton. Il était extrait depuis la préhistoire de mines situées en Andalousie (Espagne) sur le Rio Tinto, un fleuve aux eaux rouges et classé aujourd'hui au Patrimoine industriel de l'humanité. Cette couleur provient de la météorisation des minéraux qui contiennent des sulfures de métaux lourds trouvés dans les gisements tout au long du fleuve. Ces gisements sont des dépôts hydrothermaux composés en grande majorité de pyrite et de chalcoppyrite. Le processus de météorisation est dû à l'oxydation microbologique de ces minéraux, provoquée principalement par des bactéries spéciales qui transforment les ions sulfures en acide sulfurique en libérant des métaux lourds dans l'eau. À cause du flux d'acide sulfurique, l'eau du fleuve a un côté très acide (pH 2). La production de la mine pour le cuivre s'est achevée en 1986. Actuellement, il provient de Pologne, du Canada et d'une mine à ciel ouvert située à Escondida, dans le désert d'Atacama, au Chili (*voir photo de titre p. 32*). On y extrait 1 million de tonnes de minerai par jour dans un «trou» de 5 km sur 3 km et d'une profondeur de 500 à 800 m ! Sa production, la première du monde, représente 8% de la production mondiale.

Enfin, le samedi (*Saturday* en anglais) nous amène au saturnisme et donc au plomb (l'élément 82). Ce métal était déjà utilisé par les Romains pour leurs canalisations d'eau car il est très facile à travailler. On trouve 2 mines de plomb dans notre pays: à Moresnet (Altenberg) et à

LÉGENDE COULEURS: ● MÉTAL ALCALIN ● MÉTAL ALCALINO-TERREUX ● MÉTAL DE TRANSITION ● GROUPE 13 ● GROUPE 14 ● GROUPE 15 ● GROUPE 16 ● HALOGENES ● LANTHANIDES

ÉCRAN

L'oxyde d'indium et d'étain est un mélange d'oxyde d'indium et d'oxyde d'étain, utilisé dans un film transparent dans l'écran qui conduit l'électricité. Ceci permet à l'écran de fonctionner comme un écran tactile.

Le verre utilisé sur la majorité des smartphones est un verre aluminosilicate, composé d'un mélange d'alumine et de silice. Ce verre contient aussi des ions potassium qui aident à le renforcer.

Une variété de composés Rare Earth Element sont utilisés en petites quantités pour produire les couleurs dans l'écran du smartphone. Certains composés sont également utilisés pour réduire la pénétration de la lumière UV dans le téléphone.

ÉLECTRONIQUE

Le cuivre est utilisé pour le câblage dans le téléphone, tandis que le cuivre, l'or et l'argent sont les principaux métaux à partir desquels les composants microélectroniques sont façonnés.

Le Nickel est utilisé dans le microphone ainsi que pour d'autres connexions électriques. Des alliages comprenant les éléments praséodyme, gadolinium et néodyme sont utilisés dans les aimants du haut-parleur et du microphone. Le néodyme, le terbium et le dysprosium sont utilisés dans l'unité de vibration.

Le silicium pur est utilisé pour fabriquer la puce dans le téléphone. Il est oxydé pour produire des régions non conductrices, puis d'autres éléments sont ajoutés afin de permettre à la puce de conduire l'électricité.

L'étain et le plomb sont utilisés pour souder l'électronique dans le téléphone. Les nouvelles soudures sans plomb utilisent un mélange d'étain, de cuivre et d'argent.

BATTERIE

La majorité des téléphones utilisent des batteries au lithium-ion, qui sont composées d'oxyde de cobalt au lithium comme électrode positive et de graphite (carbone) en tant qu'électrode négative. Certaines batteries utilisent d'autres métaux, comme le manganèse, à la place du cobalt. Le boîtier de la batterie est en aluminium.

EXTÉRIEUR

Les composés du magnésium sont alliés pour faire des cas de téléphone, tandis que beaucoup sont faits de plastiques. Les plastiques comprendront également des composés ignifuges, dont certains contiennent du brome, tandis que le nickel peut être inclus pour réduire les interférences électromagnétiques.

La Calamine (la mine *Stollen*) mais elles ne sont plus exploitées de nos jours. Par contre, celles situées dans le Tennessee (États-Unis) produisent 10 millions de tonnes de plomb par an, destinés surtout aujourd'hui à la fabrication des batteries de voitures et camions.

UN MONDE DE RESSOURCES

Vous le savez sûrement mais l'élément le plus abondant dans l'Univers est l'hydrogène, suivi de l'hélium, soit les 2 éléments les plus simples au niveau atomique et les plus légers de tous. Mais si nous redescendons dans notre univers, on trouve sur la Terre toutes nos ressources alimentaires et dans son sous-sol la matière vitale à la survie de l'homme. «On y trouve les ressources énergétiques non renouvelables, comme le pétrole, le gaz, le charbon, l'uranium, explique le professeur Pirard, tout en faisant remarquer qu'on n'a jamais extrait autant de charbon qu'aujourd'hui dans le monde et que l'Allemagne, qui a renoncé au nucléaire, le remplace par le lignite, un polluant par excellence ! La deuxième ressource est l'eau, une ressource vitale, purifiable et qui compose 80% du sol. Si le bilan hydrique de la Belgique est en équilibre, il n'en est pas de même pour tous

les pays du monde, poursuit-il. Enfin, il y a les minéraux industriels non recyclables tels que le sable, le gypse, le talc, le kaolin, les gemmes, etc... et les minéraux métalliques. Ces derniers comptent les 7 minéraux de base (cités auparavant), les minéraux critiques (souvent appelés terres rares, au nombre de 17, stratégiques pour l'industrie de pointe et contrôlés pour plus de 95% par la Chine) et les minéraux précieux comme le platine, le palladium, etc...».

«Si vous creusez un jardin de 20 m sur 50 m (1 000 m²), sur 1 m de profondeur (2 000 tonnes), vous trouverez pratiquement tous les éléments. Le plus abondant sera l'oxygène (930 tonnes, plus que dans l'atmosphère), le second sera le silicium (660 tonnes). Puis viennent l'aluminium (160 tonnes), le fer (60 tonnes), le titane, le zinc, le chrome, le calcium, le sodium, le potassium, etc... Il y aura même 2 grammes d'or ! Évidemment, pour extraire ces matériaux, il vous en coûtera une fortune en énergie !», conclut le professeur Pirard.

NE RIEN PERDRE

La Belgique est une économie dite «ouverte»: si ses industries exportent, elles importent surtout pour ses propres

productions. Elles dépendent donc du prix des matières premières et des pays qui les exportent. Et tout indique une très forte hausse du prix des ressources naturelles dans les années à venir. Or, la population mondiale atteindra les 9 milliards en 2050 et plus de la moitié des individus seront avides de consommation ! Le message est donc clair: si nos industries souhaitent être plus compétitives à l'avenir, elles devront apprendre à mieux consommer les ressources naturelles. Ce qui implique de repenser «en cercle» c'est-à-dire qu'elles devront tendre vers un objectif «zéro déchet» en apprenant à réutiliser matériaux ou matières premières usagées ou à les revendre afin qu'ils soient insérés dans un autre processus de production.

«Zéro déchet» ? Mais qu'est-ce qu'un «déchet» ? Pour l'ingénieure Fanny Lambert (ULg), reprenant la définition de la Région wallonne, un déchet est «toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défait. Évidemment, un même déchet ne l'est pas pour tout le monde puisque celui qui le recycle le considère comme... matière première», ajoute-t-elle. «Après tout, la différence entre une tablette et un morceau de minerai n'existe que durant les quelques mois où un système d'exploitation informatique est

Reverse Metallurgy

capable de faire tourner des applis... Après, ce n'est plus qu'un assemblage d'atomes qu'il convient de séparer et de purifier pour les remettre dans le circuit industriel sous forme de fer, d'aluminium ou de gallium !», renchérit le professeur Pirard.

Selon Fanny Lambert, il existe 3 catégories de déchets métalliques: les véhicules hors d'usage (VHU), les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) qui comprennent tout ce qui est matériel informatique, mais aussi les «gros blancs», c'est-à-dire les frigos, machines à laver, séchoirs, etc... et enfin les ferrailles. En ce qui concerne les véhicules hors d'usage, le taux de recyclage moyen en Belgique était de 97% en 2015, ce qui classe notre pays parmi les bons (si pas le meilleur) élèves européens. En masse, il s'agissait de 109 612 052 kg ! Quant aux DEEE, on en collecte environ 100 000 tonnes par an en Belgique, ce qui est conforme aux normes européennes. Leur composition est la suivante: 48% de fer et acier, 20% de plastique, 9% de cuivre, 8% de fraction minérale, 5% d'aluminium, 3% de bois et 7% de matériaux divers.

ET NOS GSM LÀ-DEDANS ?

Il faut savoir que l'on ne récupère que 15% des GSM et smartphones hors d'usage, ce qui est très peu. Une grande partie de ceux qui ne sont pas collectés sont remisés dans un tiroir ou, malheureusement, jetés à la poubelle. Leur recyclage est fonction du fabricant, du modèle et de l'évolution de la technologie. Et pour un même modèle, sa composition peut varier en fonction de la date de fabrication car le fabricant n'utilise pas toujours la même puce électronique. En gros, nos téléphones se composent d'une dizaine de pour cent de cuivre, d'une partie plastique, d'une partie soit d'acier soit d'aluminium pour la structure de l'appareil et de tout ce qui constitue la carte électronique. Celle-ci est faite de polymères et de fibres de verre formant un tapis; entre ces couches est inséré du cuivre pour assurer la conduction électrique. La carte électronique, le cerveau du GSM ou du smartphone, est comme un sandwich constitué de différents matériaux: cuivre (9 g en moyenne), polymère, fibre de verre, de l'étain pour les soudures, du

Recycler des déchets imbriqués les uns dans les autres n'est pas simple et les techniques actuelles ne permettent pas encore de tous les isoler ou de les récupérer dans leur intégralité. «Il suffit de penser à tous ces fils de cuivre, tout tordus et enrobés de gaines plastiques, ou aux circuits imprimés miniaturisés qui arrivent encore en fin de chaîne lorsque tout (ou presque) a été récupéré des vieilles voitures, des vieux frigos et téléviseurs. C'est là que l'ingéniosité doit faire ses preuves !», ajoute l'ingénieure Fanny Lambert qui, depuis 2015, travaille dans le cadre du projet *Reverse Metallurgy*. Ce projet est de faire de la Wallonie, terre historique de métallurgie «à l'endroit», le haut lieu de la métallurgie «à l'envers», c'est-à-dire que dans le cadre d'une économie circulaire, des déchets de matériaux (parfois rares et précieux) sont extraits et recyclés pour devenir des matières premières pour l'industrie.

Reverse Metallurgy réunit divers acteurs des bassins liégeois et carolos (entreprises, centres de recherche et le laboratoire de *GeMME*, pour *Génie Minéral, Matériaux et Environnement*, de l'ULg). Il repose sur un financement d'environ 65 millions d'euros dont 41,5 millions apportés par la Région wallonne (DGO6). «Le travail de recyclage des résidus du recyclage s'effectue selon 2 technologies différentes: la pyrométallurgie, c'est-à-dire par le feu, à des températures supérieures à 1 000 C° (la technologie utilisée chez Umicore à Hoboken) tandis qu'en collaboration avec le groupe Comet (à Obourg, Châtelet, Mont-sur-Marchienne), nous développons l'hydrométallurgie, c'est-à-dire une technique basée sur le liquide. Elle consiste à mettre au travail des colonies de bactéries pour digérer le cuivre résiduel, ce qu'elles faisaient naturellement dans les eaux rouges du Rio Tinto !», conclut Fanny Lambert.

► <http://www.wallonie.be/fr/actualites/reverse-metallurgy-415-millions-pour-recycler-les-metaux>

cobalt pour la batterie, du platine (9 mg), du silicium, du gallium, de l'or (24 mg), etc... pour la puce. Au total, on compte une soixantaine d'éléments différents dans un seul appareil.

La complexité de ces produits constitue un frein au recyclage: dans la nature, on trouve des associations de métaux et l'homme a développé des méthodes pour les séparer, mais ici, on se trouve face à des associations métalliques totalement différentes. Tous les procédés de recyclage ont donc dû être inventés et mis au point», explique Fanny Lambert. Il y a 3 sites de recyclage pour les téléphones portables, les appareils électroniques et les panneaux solaires en Europe, dont *Umicore* en Belgique. Une chose est certaine, au vu de l'incroyable croissance des appareils électroniques en tous genres, il y a encore matière à faire en terme de recyclage... ■

Plus d'infos

- **Professeur Eric Pirard et ingénieure Fanny Lambert**
Université de Liège,
Faculté des Sciences appliquées,
Département d'Architecture, Géologie,
Environnement et Construction,
Sart Tilman (B52), 4000 Liège
☎ 04/366.37.99 et 04/366.91.23
✉ eric.pirard@ulg.ac.be
et fanny.lambert@ulg.ac.be
- La conférence du professeur Pirard:
<http://reflexions.ulg.ac.be>
- Les réserves des ressources en minerais: <http://minerals.usgs.gov/science/>
- Resource Efficiency: http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/index
- *World Materials Forum* (le Davos des matériaux à Nancy (France) les 29 et 30 juin 2017): www.worldmaterials-forum.com