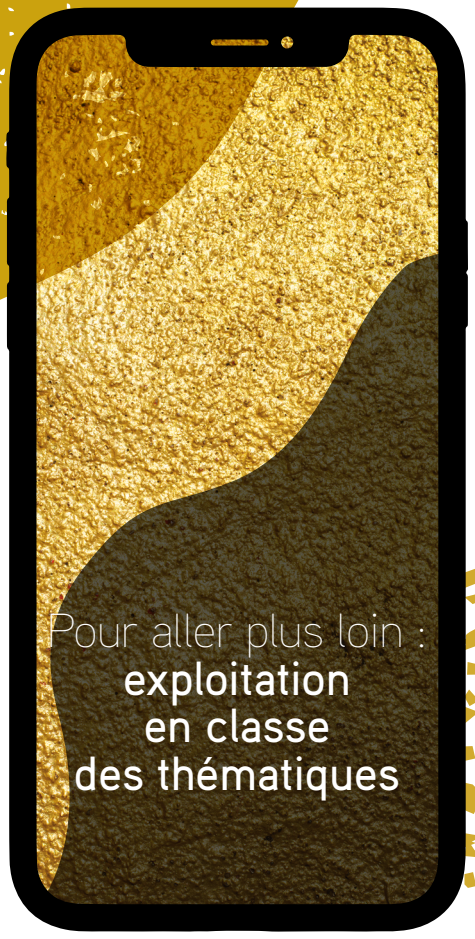
DOSSIER PÉDAGOGIQUE
à l'usage des enseignants du secondaire

Une MINE D'OR dans MA POCHE



CRÉDITS :

Recherche originale :
Fanny Lambert et **Eric Pirard** (Gemme, ULiège)

Recherches documentaires et rédaction :
Marie Lekane (MMIL)

Mise en page :
www.scalp.be

Éditeur responsable :
Martine Vanherck (Réjouisciences, ULiège)

info : http://rejouisciences.uliege.be/activites/rms/

Dans le cadre du projet européen Raw Matters Ambassadors at Schools - https://rmschools.isof.cnr.it/

TABLE DES MATIERES

Terres rares, indispensables dans nos téléphones (caméra, vibreur et couleurs rouge/verte de l'écran) ..... page 32

- Thématiques exploitables en classe ..... page 32
- Les terres rares : définition et utilisations ..... page 32
- Le monopole de la Chine ..... page 34
- « Matières premières critiques » : des préoccupations sur les réserves ..... page 36
- L'impact environnemental et sanitaire des terres rares ..... page 37
- Chaîne de production des terres rares ..... page 38
- Le recyclage des terres rares : une industrie en développement ? ..... page 38
- Sources et approfondissement ..... page 39

Les batteries : lithium et cobalt ..... page 41

- Le cobalt ..... page 42
- Le lithium ..... page 44
- Bibliographie ..... page 46

L'aluminium ..... page 47

- Parcours de l'aluminium ..... page 47
- Gestion des déchets de fabrication : les boues rouges ..... page 51
- Focus sur la catastrophe de Ajka (Hongrie) ..... page 51

Le cuivre et l'or : de bons conducteurs pour les connexions électriques ..... page 53

- Le cuivre ..... page 53
- L'or ..... page 59

Des questions, sources d'exposés ? ..... page 61

Sources des illustrations ..... page 62

La visite et l'atelier-découverte proposés à la MMIL peuvent être initiateurs de séances de travail et de réflexion en classe. Pour ce faire, le service éducatif de la MMIL met le focus sur certains éléments utilisés dans leur GSM et explore quelques thématiques. Nous vous proposons ici, pour préparer vos séquences, une synthèse, des références, des cartes et des graphiques relatifs aux éléments choisis : les terres rares, le lithium, le cobalt, l'aluminium, le cuivre et l'or. Ces matières sont emblématiques des éléments utilisés dans les téléphones portables et d'autres technologies nouvelles. Vous pourriez demander aussi à vos étudiants de proposer des synthèses analogues sur d'autres éléments dont l'exploitation est liée au développement technologique : l'indium, par exemple.

1➲ TERRES RARES,
(caméra, vibreur et couleurs rouge/verte de l'écran)

L'étude des « terres rares » permet une exploitation riche et multidisciplinaire dans le cadre de plusieurs cours (géographie, économie, citoyenneté, sciences sociales et sciences). Il est possible de traiter de plusieurs thèmes :

- la pollution et les impacts environnementaux de l'exploitation
- les flux marchands
- les matières premières et métaux stratégiques
- la mondialisation
- l'ouverture de mines nouvelles
- économie : offre et demande de ressources
- recyclage

• Les terres rares : définition et utilisations •

Les terres rares ont des propriétés magnétiques, catalytiques, électriques, chimiques, optiques et de résistance à la chaleur qui font d'elles des éléments de grande valeur dans une large gamme de secteurs de haute technologie, à forte valeur ajoutée et à croissance rapide. Elles sont considérées comme stratégiques en raison de leur utilisation dans des applications à portée militaire et de défense (moteurs à réaction, système de guidance des missiles, *etc.*).
L'appellation « terres rares » regroupe dix-sept éléments du tableau de Mendeliev (*le scandium* [n° atomique 21] ; *l'yttrium* [n° atomique 39] et la famille des lanthanides [n° atomiques allant de 57 à 71])[12].

[12] Malgré une appellation commune et certains critères communs, les terres rares constituent un ensemble de 17 marchés différents, régis par des perspectives et des modèles de demande spécifiques. Nous proposons ici une synthèse qui ne prend pas en compte, faute de place, les spécificités propres à chaque élément. Pour une étude plus spécifique, voir notamment WALTERS Abigail et LUSTY Paul (dir.), Rapport *Rare Earth Elements*, British geological Survey. Natural environment research council, 2011, disponible à l'adresse http://www.bgs.ac.uk/research/highlights/2010/rare_earth_elements.html [page consultée le 13/07/2017].

Parmi ces terres rares, *le néodyme* [n° atomique 60] est un élément nécessaire au fonctionnement d'un *smartphone*. C'est l'élément chimique le plus magnétique du tableau périodique. Il est utilisé dans les aimants de nos téléphones, notamment pour le fonctionnement de la caméra et du vibreur. Les terres rares permettent également de donner les couleurs rouges et vertes des écrans.

Les terres rares ont une large gamme d'utilisations dont les principales sont reprises dans le tableau ci-dessous :

N° ATOMIQUE	NOM ET SYMBOLE DE L'ÉLÉMENT	EXEMPLE(S) D'UTILISATION
57	Lanthane - La	Batteries; catalyseurs pour le raffinage du pétrole; appareil photo high-tech; batteries d'ordinateurs portables ; camera; batteries de voiture électrique (souvent en grande quantité : exemple, la batterie de la voiture *Prius* de Toyota nécessite *ca.* 10 kg de lanthane
39	Yttrium - Y	Luminophore des téléviseurs ; pots catalytiques de voiture ; lasers; télévisions couleurs ; écrans d'ordinateurs;
58	Cérium - Ce	Catalyseurs ; Secteur optique (pour le polissage des verres : lunettes, télévisions à écran plat, miroirs, verre optique et lecteurs de disque)
64	Gadolinium – Gd	Imagerie médicale (utilisé comme agent de contraste lors d'IRM)
60	Néodyme – Nd	Pour la fabrication d'aimants permanents – en alliage avec le fer $Nd_2Fe_{14}B$ – puissants mais fragiles, utilisés dans les générateurs des éoliennes, dans les moteurs électriques et les générateurs de certaines voitures hybrides, dans les disques durs; Luminophores rouges des tubes cathodiques ; En combinaison avec le Praséodyme : coloration du verre (pour les lunettes de protection solaire et les lunettes de soudeur)
65	Terbium – Tb	Luminophores : ampoule basse-consommation ; tubes cathodiques des téléviseurs et écrans d'ordinateur ; radiographie médicale
66	Dysprosium - Dy	aimants de haute puissance ; lasers

Contrairement à ce que son nom suggère, les terres ne sont pas rares. Ces éléments sont plus courants que les métaux précieux – à l'exception du *Prométhium* [n° atomique 61]. Certaines terres rares sont même plus courantes que certains métaux industriels (exemple : le Cérium est plus commun que le cuivre dans l'écorce terrestre). Mais elles sont dispersées sur l'écorce terrestre, géographiquement et géologiquement. Ces éléments sont qualifiés de « rares » car ils ne sont généralement pas présents en quantités commercialement exploitables et qu'il est complexe de les séparer – ce qui les rend difficile à extraire et à récupérer de manière rentable.

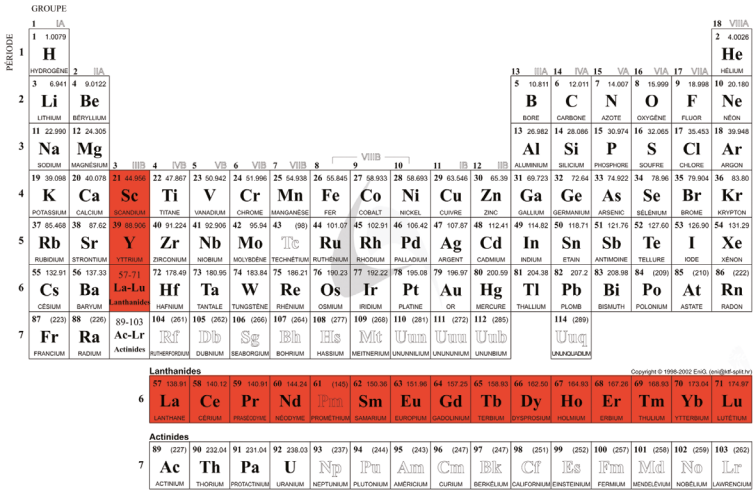


Figure 12 – Tableau périodique mettant en évidence les terres rares

• Le monopole de la Chine •

Avant le milieu des années 1980, la production chinoise de terres rares était inexistante, tandis que les États-Unis, premier producteur mondial, approvisionnaient la moitié du marché international [13].

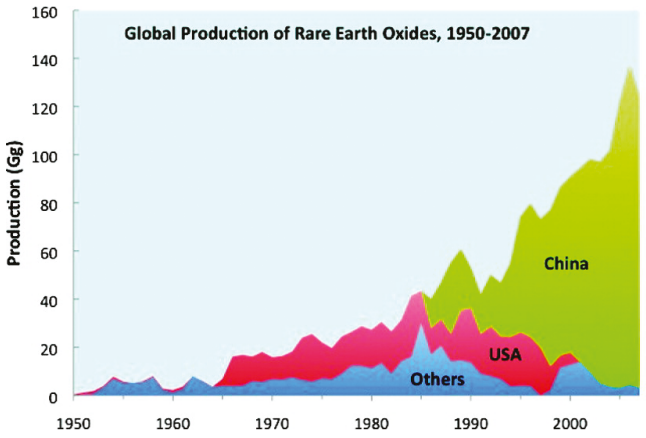


Figure 13 – Production d'oxydes de terres rares dans le monde

Au tournant des années 1990, avant que les terres rares ne deviennent des éléments stratégiques pour les industries de pointe, la Chine a développé sa production. Les autres pays producteurs ont fermé, petit à petit, leurs mines devenues moins rentables que leurs concurrentes chinoises.
Aujourd'hui, la Chine contrôle environ 97% de la production mondiale des terres rares. En position de monopole d'exploitation, elle ne détient pourtant qu'un tiers des réserves estimées. L'essentiel des terres rares y est concentré dans le Nord du pays (région autonome de Mongolie-Intérieure et dans d'autres régions du Nord du pays). Depuis les années 90, la Chine occupe donc une position de leader du marché grâce à une stratégie à long terme qui lui a permis de supplanter les Etats-Unis.[14] Cette stratégie s'est déroulée en plusieurs phases :

- Asphyxier les producteurs, en particulier les Etats-Unis, en ayant une main-d'œuvre bon marché et en étant indifférent aux conditions sociales et environnementales ;
- Inciter les industries à localiser en Chine les usines qui utilisent les terres rares au travers d'une politique de remboursement de taxes et d'octroi de prêts à taux intéressants[15] ;
- Une fois qu'il y a dépendance des marchés aux terres rares et que la demande explose, la Chine impose des quotas et des taxes sur les exportations, menant à une flambée des prix (2011-2012). La limitation des exportations s'explique également, en partie, par des politiques mises en place en Chine pour protéger son environnement et favoriser le développement durable de sa filière. Elle a également pour but de satisfaire la demande intérieure.

Cette stratégie impose un rapport de force avec des industriels étasuniens, européens et japonais. Les clients ont d'ailleurs déposé une plainte auprès de l'organe de règlements de différends de l'O.M.C. (Organisation Mondiale du Commerce) en mars 2014. Les plaignants ont obtenu gain de cause : la Chine a été forcée de supprimer les quotas sur les terres rares en 2015.

[13] Rapport complet de la CNUCED, pp. 10-14 pour avoir des schémas montrant l'évolution historique de la production mondiale de terres rares depuis 1900 jusqu'à 2012.
[14] Rapport complet de la CNUCED
[15] Zhanheng C., «Rare earth protection plan», in *China Daily*, 28 mai 2011, http://www.chinadaily.com.cn/opinion/2011-05/28/content_12596658.htm

Une MINE D'OR dans MA POCHE 34

Tous ces éléments expliquent les restructurations du marché des terres rares et les tensions mondiales. Les pays cherchent à diminuer leur dépendance à la Chine et à trouver leurs propres sources d'approvisionnement. Selon les estimations de l'US Geological Survey (2007), les gisements de terres rares sont répartis assez uniformément entre les continents. Comme le montre le graphique reproduit ci-dessous (fig. 14), les estimations diffèrent selon les sources d'information. Cela montre non seulement la difficulté à évaluer les réserves mondiales des minéraux, mais aussi le degré élevé de sensibilité politique et économique de cette problématique sur la scène internationale. La position des terres rares comme ressources stratégiques rend opaques les données livrées par certains États.

Selon une estimation, le site de Kvanefjeld, au Groenland, renfermerait la deuxième réserve mondiale[16]. Le gouvernement groenlandais a voté, en 2013, la levée de l'interdiction d'exploitation minière des matières radioactives[17]. Cette décision pourrait favoriser les investissements dans de nouveaux gisements de terres rares au Groenland. Les écologistes s'y opposent, en raison des dommages sur l'environnement de la région. Le site de Jongju, en Corée du Nord, serait, quant à lui, plus important [18]. Si ces estimations s'avéraient exactes, elles bouleverseraient les équilibres géopolitiques régionaux.

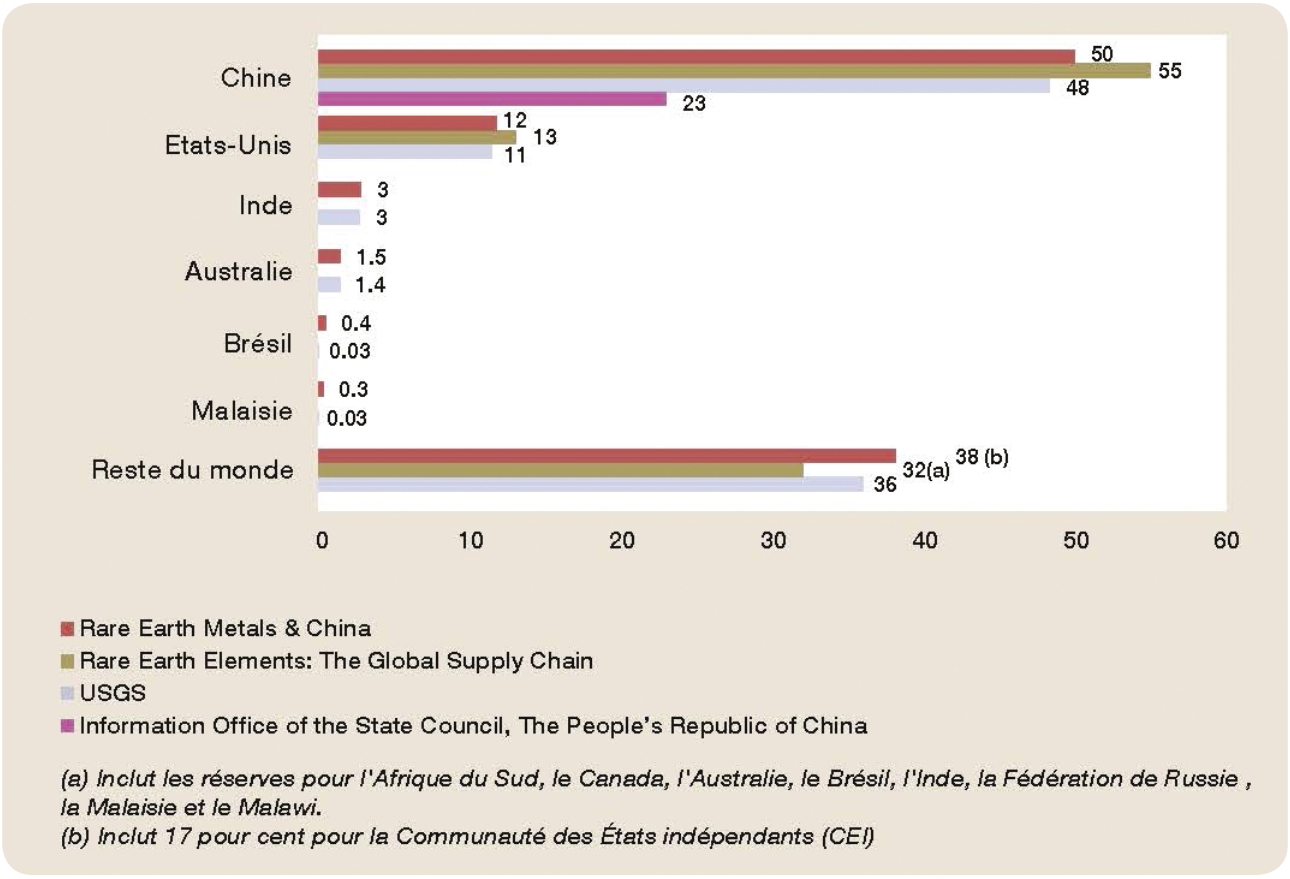


Figure 14 - Répartition des réserves mondiales de terres rares en 2012

[16] http://www.ggg.gl/rare-earth-elements/rare-earth-elements-at-kvanefjeld/

[17] VAHL Katya, "Greenland votes to allow uranium, rare earths mining", in Reuters, 25 octobre 2013, article disponible à l'adresse : http://www.reuters.com/article/us-greenland-uranium/greenland-votes-to-allow-uranium-rare-earths-mining-idUSBRE99O05A20131025 [page consultée le 21/9/2017]. Cette decision doit être soumise au vote danois : *While Greenland is self governing, it is still a part of the Kingdom of Denmark. The former colonial ruler still has a say in security and defense issues and the uranium decision may need to be approved by the Danish parliament - possibly putting the two nations on a diplomatic collision course.*

[18] Vidéo, *Le dessous des cartes*. Chères terres rares, 14.03.2015, vidéo disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=KSUqExJY8fY [page consultée le 1/9/2017].

• « Matières premières critiques » : des préoccupations sur les réserves •

Cette position dominante de la Chine et sa politique d'exportation des terres rares jettent le doute sur la capacité des pays importateurs à avoir accès à des ressources suffisantes et accessibles pour alimenter leurs industries.
En raison de leur demande accrue et de la diversité de leurs utilisations, les terres rares sont considérées par certains pays et certains secteurs comme des « matières premières critiques ». L'Union européenne définit les terres rares – ainsi que 19 autres matériaux – comme des « matières premières critiques », car elles présentent un risque particulièrement élevé de pénurie d'approvisionnement dans les prochaines années et qu'elles sont essentielles pour l'économie européenne. L'importance stratégique s'explique par l'association de trois facteurs principaux :

- leur faible capacité de substitution – lorsque des produits de substitution existent, ils sont généralement moins efficaces,
- leur faible taux de recyclage,
- la concentration du marché sur un nombre restreint d'acteurs.

La consommation, et donc la demande, de terres rares augmentent considérablement, alors que la Chine a décidé de réduire l'export, et donc l'offre, de terres rares. Cette situation a engendré des préoccupations sur la future disponibilité des terres rares. Des pays industriels, comme le Japon, les États-Unis et des pays de l'Union européenne font face au resserrement des approvisionnements et à des prix plus importants pour les terres rares.
Malgré la découverte de nouveaux gisements dans le monde, les projets miniers sont rarement lancés, en raison de leur coût élevé et des oppositions écologiques. En 2012, suite à la flambée des cours des terres rares, le site étasunien de Montain Pass (Colorado), fermé en 2002 à cause des dégradations environnementales et de la perte de compétitivité des Etats-Unis par rapport à la Chine, a repris l'activité. Les États-Unis ont alors directement pris la deuxième place des pays producteurs de terres rares, mais ce site a fait faillite en 2015 [19].

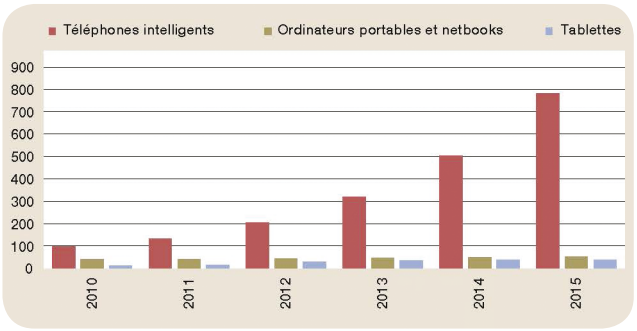


Figure 15 - Perspectives de la demande en matière de nouvelles technologies, 2010-2015

[19] Il a été vendu aux enchères en 2017 à un groupement mené par la minière chinoise spécialisée Shenghe Resources, associée aux fonds américains JHL Capital Group et QVT Financial, détenteurs de la dette senior de Molycorp (ndlr : compagnie spécialisée dans l'extraction de terres rares aux Etats-Unis et qui a fait faillite en 2015). Ce groupement va débourser 20,5 millions de dollars pour la mine, qui produisait ¬principalement du néodyme-fer-bore, un alliage entrant dans la composition des aimants permanents, ainsi que quelques terres rares associées (lanthane, cérium et samarium) [Source : http://www.usinenouvelle.com/article/le-gisement-de-terres-rares-de-mountain-pass-vendu-aux-encheres.N555203 - page consultée le 8 août 2017]. Cette vente pose problème, en raison de l'origine étrangère, chinoise, d'un des principaux acheteurs. Le Committee on Foreign Investment in the U.S., une commission gouvernementale, a le pouvoir de bloquer des compagnies étrangères qui sont impliquées dans l'achat de ressources stratégiques importantes [Source : https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-22/the-distressed-debt-standoff-over-america-s-only-rare-earth-mine - page consultée le 8 août]. Le rachat de la mine par un groupement contenant une société minière chinoise paraît, aux yeux de certains, comme un essai de contrôle chinois de ce secteur croissant et capital. Une affaire à suivre....

• L'impact environnemental et sanitaire des terres rares •

L'exploitation des terres rares génère une pollution importante, à proximité des zones d'extraction et de traitement. En Chine, les terres rares proviennent du gisement minier de Bayan Ob. Les roches qui les renferment sont acheminées 120 kilomètres plus au Sud, dans la ville de Baotou. Baotou, en Mongolie-Intérieure, est le plus grand site chinois de production de ces matériaux stratégiques. L'arrivée d'usines de traitement des terres rares a métamorphosé la région, où jusque là, des champs s'étendaient à perte de vue.

> « *À la place de ces boues radioactives, on pouvait voir des pastèques, des aubergines, des tomates…* », soupire Li Guirong. C'est en 1958 - dix ans après sa naissance, se souvient-il - que l'entreprise d'Etat Baogang, numéro un sur ce marché, a commencé à produire des terres rares. Le lac est alors apparu. « *Au début, nous ne nous sommes pas aperçus de la pollution engendrée. Comment aurions-nous pu savoir ?* », raconte le vieux paysan au visage creusé de rides. »
>
> Extrait de : BONTRON Cécile, « En Chine, les terres rares tuent des villages », dans *Le Monde*, 19.07.2012, version électronique, article disponible à l'adresse : http://www.lemonde.fr/asie-pacifique/article/2012/07/19/en-chine-les-terres-rares-tuent-des-villages_1735857_3216.html [page consultée le 26/09/2017]

Figure 16 - vue du bassin de boue créé par l'activité minière des terres rares

Ce lac est un bassin d'effluents* [Fraction liquide rejetée à la suite d'un traitement qui l'a débarrassée de tout produit de valeur], aux eaux troubles. Il comporte toutes sortes de substances chimiques toxiques, ainsi que des éléments radioactifs, comme du *thorium* [n° atomique 90]. La présence de ces éléments engendre des maladies (cancers du pancréas, du poumon et du sang ; problèmes pulmonaires), mais également la mort de l'écosystème et des cultures. Une usine de charbon a également été installée à proximité des usines de traitement. Elle alimente les industries de Baotou en énergie. Les villageois entourant les usines respirent à la fois les vapeurs de solvant, notamment d'acide sulfurique, et les poussières de charbon. Les sols et les nappes phréatiques sont aujourd'hui saturés de produits toxiques, rendant la vie sur place pénible. Les villages se vident, les paysans fuient leurs terres. La plupart des habitations sont abandonnées ; des villages fantômes se créent.

> « Sur le plan économique, […] la terre n'est plus valorisée comme un espace concret […], elle est devenue un bien marchand comme les autres, un actif financier, une monnaie d'échange entre deux Etats. […] La pression marchande « déterritorialise » la terre en la pressant, en la comprimant, en l'asphyxiant, en l'arpentant sans mesure comme n'importe quel espace. Paradoxe ultime, les « terres rares » de minerais stratégiques indispensables aux secteurs de pointe de l'industrie high-tech (smartphones, GPS) et des industries vertes (éoliennes), dont la Chine détient le quasi-monopole, sont des déversoirs toxiques provoquant des désastres environnementaux. La rareté des matériaux nécessaires au capitalisme vert a pour contrepartie une pollution qui asphyxie les villages situés à proximité des sites de production. Dans la double dynamique juridique et marchande évoquée ici, la terre n'est plus un lieu destiné à être habité mais un objet qu'il faut s'approprier. […] »
>
> Extrait de Mongin Olivier, *La Ville des flux : L'envers et l'endroit de la mondialisation urbaine*, Paris, 2013, p. III

• La chaîne de production des terres rares •

Généralement, les éléments des terres rares sont associés à d'autres métaux, dans des concentrations variables. La concentration des terres rares dans les roches sont très faibles. Il faut les séparer de cette roche (la gangue) et les purifier, par des procédés hydrométallurgiques et des bains d'acide. Comme la plupart des matières premières, les éléments des terres rares passent par plusieurs étapes.

• Le recyclage des terres rares : une industrie en développement ? •

Malgré un accroissement de la demande, les terres rares représentent une partie négligeable des coûts de production des biens finaux, ce qui n'incite pas à leur substitution, à la recherche et développement les concernant et aux technologies de recyclage. Le recyclage n'est pas considéré comme une priorité, ni par les industriels, ni par les gouvernements. Selon la commission de l'Union Européenne, il n'existe *actuellement aucun procédé de recyclage ou de substitution commercialement viable pour les terres rares* [20]. Le taux de recyclage est de 1%, faisant des terres rares un des matériaux critiques les moins recyclables [21] . Sous l'effet de la hausse des prix en 2011-2012, les industriels ont commencé chercher à des solutions, notamment de recyclage, pour réduire la dépendance vis-à-vis des producteurs de terres rares.

Actuellement, le recyclage des terres rares à partir de circuits électroniques implique leur broyage, leur dissolution en solution acide puis leur extraction à l'aide de composés chimiques, destinés à les décrocher.

[20] Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil et au Comité économique et social européen et au Comité des régions, *Relever les défis posés par les marchés des produits de base et les matières premières*, Commission européenne, 2.2.2011, disponible en téléchargement à l'adresse : http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0025:FIN:fr:PDF [page consultée le 21/9/2017].

[21] Unep, 2011, cité dans Walters Abigail et Lusty Paul (dir.), Rapport *Rare Earth Elements*, British geological Survey. Natural environment research council, 2011, p. 28, disponible à l'adresse http://www.bgs.ac.uk/research/highlights/2010/rare_earth_elements.html [page consultée le 13/07/2017]

Les terres rares sont difficiles à recycler car il faut pouvoir, malgré des caractéristiques proches, les diviser pour les utiliser.

> « Prenez une toile de maître recouverte de pigments de couleurs. Imaginez devoir les séparer et les rassembler en tas, par couleurs. Un travail titanesque ! C'est, en quelque sorte, le défi relevé par Solvay. Le chimiste s'est lancé dans le recyclage des terres rares, ces 17 métaux utilisés dans des applications de haute technologie pour leurs performances en matière de luminescence et de magnétisme. Leurs caractéristiques physico-chimiques étant très semblables, les diviser pour les réutiliser tient de la gageure ! »
>
> Extrait de JAMES Olivier, Matières premières : recyclage made in France des terres rares, dans *L'usine nouvelle*, 24/01/2013, article disponible à l'adresse http://www.usinenouvelle.com/article/matieres-premieres-recyclage-made-in-france-des-terres-rares.N190132 [page consultée le 13/07/2017]

Pourtant, malgré la difficulté, le groupe belge Solvay s'est lancé dans l'aventure au moment de la hausse des prix, en 2012. Il a mis au point un procédé innovant, inédit et breveté pour y parvenir (projet Coléop'terre). Le processus de recyclage des terres rares, comme sa production, nécessite de grandes quantités d'eau et d'acides. La séparation des terres rares lors du recyclage peut avoir un impact sur l'environnement et la santé. L'entreprise assure avoir *disposé tout au long du cycle des systèmes de traitements des effluents liquides, grâce à une station d'épuration, et des évents gazeux, à l'aide d'une colonne de lavage et d'absorption* [22]. Malgré l'intérêt de cette technique de recyclage et les sommes investies dans le projet, cette activité s'est arrêtée fin 2016, faute de rentabilité. Les prix des terres rares ont retrouvé leurs niveaux antérieurs à la crise de 2011 et le procédé a perdu de sa compétitivité.

Les projets et les recherches quant au recyclage des terres rares sont nombreux et variés [23]. Pour qu'ils deviennent plus compétitifs que l'achat dans les usines de production (primaire), il faut que le process soit industriel, peu coûteux et plus vert. Affaire à suivre !

• Sources et approfondissement •

- www.ggg.gl/docs/Projects/Faktablad_2_ENG.PDF [page consultée le 13/07/2017]
- http://www.theaustralian.com.au/business/mining-energy/greenland-minerals-poised-to-move-on-kvanefjeld-rare-earths-plan/news-story/da60e4e6f1caf71e8ec38036bdd55e1b [page consultée le 13/07/2017]
- http://www.ggg.gl/rare-earth-elements/rare-earth-elements-at-kvanefjeld/ [page consultée le 13/07/2017]
- http://thediplomat.com/2014/01/north-korea-may-have-two-thirds-of-worlds-rare-earths/ [page consultée le 13/07/2017]
- http://www.mining.com/largest-known-rare-earth-deposit-discovered-in-north-korea-86139/ [page consultée le 13/07/2017]

[22] JAMES Olivier, Matières premières : recyclage made in France des terres rares, dans *L'usine nouvelle*, 24/01/2013, article disponible à l'adresse http://www.usinenouvelle.com/article/matieres-premieres-recyclage-made-in-france-des-terres-rares.N190132 [page consultée le 13/07/2017]

[23] Par exemple : GENITO Lorenzo, « Recycling as a repose to Rare Earts Elements'import dependence », dans *European Parliamentary Research Service Blog*, 03/09/2013, article disponible sur https://epthinktank.eu/2013/09/03/recycling-as-a-response-to-rare-earth-elements-import-dependence/ [page consultée le 28/07/2017] ; ANAND T., MISCHRA B., APELIAN D. et BLANPAIN B., « The Case for Recycling of Rare Earth Metals – A CR Communication », dans *JOM*, juin 2011, pp. 8-9 ; Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues, Engineering Technical Support - Land Remediation and Pollution Control Division - National Risk Management Research Laboratory - Office of Research and Development - Cincinnati, OH, décembre 2012; disponible en ligne sur le site de l'EPA.

- ALEX Bastien, MATELLY Sylvie « Pourquoi les matières premières sont-elles stratégiques ? », *Revue internationale et stratégique* 2011/4 (n° 84), p. 53-60.
- ANAND T., MISCHRA B., APELIAN D. et BLANPAIN B., « The Case for Recycling of Rare Earth Metals – A CR Communication », dans *JOM*, juin 2011, pp. 8-9.
- ARTE (VIDÉO), *Le dessous des cartes. Chères terres rares*, 14.03.2015, vidéo disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=KSUqExJY8fY [page consultée le 1/9/2017].
- BONTRON Cécile, « Les terres rares, un quasi monopole chinois », 19 juillet 2012, disponible sur http://www.lemonde.fr/asie-pacifique/article/2012/07/19/terres-rares-un-quasi-monopole-chinois_1735858_3216.html [page consultée le 13/8/2018]
- BONTRON Cécile, « En Chine, les terres rares tuent des villages », dans Le Monde, 19 juillet 2012, disponible sur http://www.lemonde.fr/asie-pacifique/article/2012/07/19/en-chine-les-terres-rares-tuent-des-villages_1735857_3216.html [page consultée le 26/09/2017]
- CHRISTMANN Patrice, « Les nouvelles ressources en minerais stratégiques : l'exemple des terres rares », *Géoéconomie* 2011/4 (n° 59), p. 75-86, article disponible à l'adresse : https://www.cairn.info/revue-geoeconomie-2011-4-page-75.htm [page consultée le 21/9/2017]
- CNUCED (conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement), Rapport complet *Coup d'œil sur les produits de base. Edition spéciale sur les terres rares*, n° 5, New-York et Genève, 2014, disponible en téléchargement à l'adresse : unctad.org/fr/PublicationsLibrary/suc2014d1_fr.pdf [page consultée le 1/9/2017].
- DEPECKER Caroline , « La pollution aux terres rares gagne l'Europe », 16 mai 2013, disponible sur https://www.letemps.ch/sciences/2013/05/16/pollution-aux-terres-rares-gagne-europe [page consultée le 13/8/2018]
- GENITO Lorenzo, « Recycling as a repose to Rare Earts Elements'import dependence », dans *European Parliamentary Research Service Blog*, 03/09/2013, article disponible sur https://epthinktank.eu/2013/09/03/recycling-as-a-response-to-rare-earth-elements-import-dependence/ [page consultée le 28/07/2017]
- JAMES Olivier, « Matières premières : recyclage made in France des terres rares », 24 janvier 2013, disponible sur http://www.usinenouvelle.com/article/matieres-premieres-recyclage-made-in-france-des-terres-rares.N190132 [page consultée le 14/8/2018].
- PARLEMENT EUROPÉEN, Communication de la Commission au Conseil et au Comité économique et social européen et au Comité des régions *Relever les défis posés par les marchés des produits de base et les matières premières*, 2.2.2011, disponible en téléchargement à l'adresse : http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0025:FIN:fr:PDF [page consultée le 21/9/2017].
- PITRON Guillaume, La guerre des métaux rares : La face cachée de la transition énergétique et numérique, Paris, 2018.
- SCALA Bruno, « Des terres rares au fond du Pacifique », 7 juillet 2011, disponible sur http://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-terres-rares-fond-pacifique-31280/ [page consultée le 21/9/2017].
- RAPPORT "Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues", Engineering Technical Support - Land Remediation and Pollution Control Division - National Risk Management Research Laboratory - Office of Research and Development - Cincinnati, OH, décembre 2012; disponible en ligne sur le site de l'EPA.
- VIF L'EXPRESS, *Réouvrir les mines en Europe*, n° 38, 20 septembre 2018.

2➲ LES BATTERIES : COBALT ET LITHIUM

L'étude du cobalt et du lithium permet une exploitation riche et multidisciplinaire dans le cadre de plusieurs cours (géographie, économie, citoyenneté, sciences sociales et sciences). Il est possible de traiter de plusieurs thèmes :

- la pollution et les impacts environnementaux de l'exploitation
- les matières premières et métaux stratégiques
- les conditions humaines de travail dans les mines
- les atteintes à la biodiversité et au mode de vie des habitants
- la destruction d'écosystèmes et de paysages uniques

Pour aller plus loin...

Pour les professeurs de sciences qui voudraient « pousser plus loin » le sujet, voici un document de synthèse sur le fonctionnement et les composants des batteries : Jean-Loup PRENSIER – Cédric LUSSEAU, « Principe de fonctionnement et constituants d'une batterie. Les vélos à assistance électrique au pédalage», 1/1/2004, disponible sur http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/6107/6107-annexe-principe-de-fonctionnement-et-constituants-dune-batterie-ens.pdf.

Des visites sur le sujet sont également organisées à la Maison de la Science de Liège (http://www.maisondelascience.ulg.ac.be/). Pourquoi ne pas grouper les deux visites pour une journée complète ? Nous vous invitons à prendre contact avec le personnel de la Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège (pour les visites de musées) ou Réjouisciences (pour les visites de laboratoires ou d'entreprises).

Nous dépendons de plus en plus des batteries rechargeables, indispensables pour alimenter nos appareils électroniques mobiles (GSM, ordinateurs, tablettes, …) et pour alimenter les batteries de voitures électriques. Le marché mondial, en plein essor, des appareils portables et des moyens de locomotion « verts » engendre une demande accrue de matières premières nécessaires à la conception de ces batteries.

On remarque, depuis le début des années 2010, une augmentation exceptionnelle et constante de la demande globale de lithium et de cobalt qui constituent la batterie Li-ion. Cette batterie a des propriétés uniques grâce aux matériaux qu'elle comporte : le lithium garantit qu'une batterie puisse se recharger et la densité énergétique élevée du cobalt lui apporte un effet « boostant ».

• Le cobalt •

Le cobalt [n° atomique 27 – symbole Co] est un élément essentiel pour la fabrication de batteries rechargeables de type lithium-ion. Il est difficilement substituable, car il est gage d'une performance importante. Le cobalt est un métal gris, brillant et ferromagnétique. Actuellement, environ 40% de la production mondiale de cobalt sont utilisées pour les batteries (Ni-Cd, et surtout NMH ou Li-ion) des véhicules électriques ou des appareils électroniques. Le reste de la production est notamment utilisé dans la fabrication de superalliages (pour la fabrication d'aubes de turbines pour des réacteurs d'aéronefs et de turbines à gaz pour compresseurs de pipelines) ou comme additifs dans des applications chimiques (peintures, verres, céramiques) [24]. Il fait partie des matières premières critiques définies par l'Union européenne en 2014 [25].
Les réserves mondiales de cobalt sont situées pour moitié en République démocratique du Congo et en Zambie, où il est associé au cuivre. Dès lors, plus de la moitié de l'offre mondiale totale provient de la République Démocratique du Congo, qui est pourtant un des pays les plus pauvres du monde.

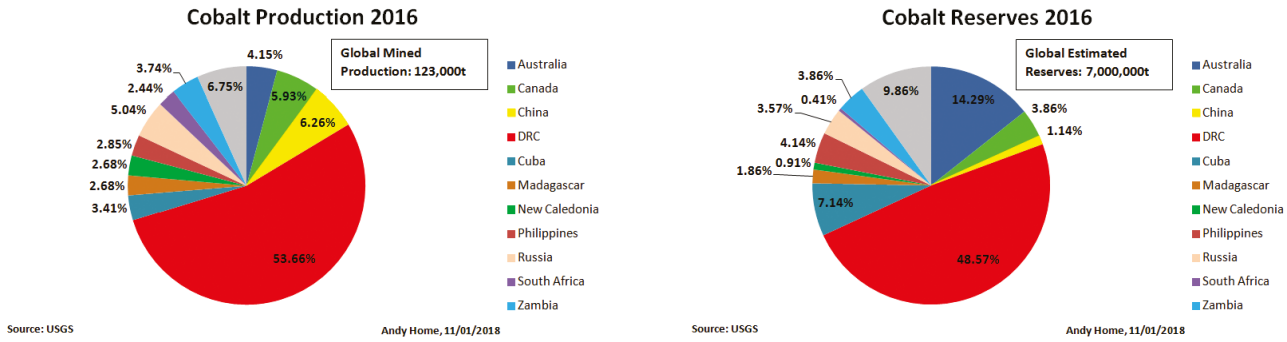


Figure 17 : proportion, par pays, de la production et des réserves connues

La majorité de la production de la R.D.C., soit 80%, provient de mines industrielles et modernes telles que Kamoto ou Tenke Fugurame non sujettes à des problèmes sociétaux et environnementaux. Ces grandes exploitations sont bien souvent à la pointe de la technologie et de la sécurité. Ces mines sont aux mains de sociétés occidentales ou asiatiques.
Dans le cas de l'extraction industrielle, le minerai est extrait à l'aide de moyens mécanisés : explosifs, pelleteuses, bulldozers… Le minerai concassé est ensuite traité dans l'usine de concentration. Dans cette usine, le minerai est broyé à l'aide de broyeur à boulets (un tambour rempli de boulets en aciers). Le minerai broyé va ensuite transiter dans un bain d'acide qui dissout le cobalt et le cuivre présents dans le minerai (le cuivre est de la malachite $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ et le cobalt de l'hétérogénite (CoOOH). La solution enrichie par ces métaux subit une électrolyse qui produit des cathodes de cuivre ainsi que du sulfate de cobalt qui pourra directement être utilisé dans les batteries.

Figures 18 et 19 : Mine de Tenke Fugurame en R.D.C.

Pourtant, ce métal attise de nombreuses critiques en raison des conditions d'extraction au Congo. Les images les plus souvent diffusées dans les médias proviennent des mines artisanales. D'après les estimations du gouvernement, 20% du cobalt actuellement exporté depuis la RDC – soit un peu plus de 10% de la production mondiale – proviennent de mineurs artisanaux, basés au Sud du pays[26]. Entre 110.000 et 150.000 mineurs artisanaux travaillent dans ces mines, à côté d'exploitations industrielles beaucoup plus importantes. Cette situation alarmante au Congo est due à l'extrême pauvreté de la population suite aux nombreuses guerres civiles qui ont ravagé – et qui ravagent toujours – la région, ainsi qu'à la grande richesse minière du sous-sol local en cobalt. L'augmentation du prix de ce métal conjuguée à la crise humanitaire qui secoue la région pousse les habitants à se tourner vers l'extraction artisanale de cobalt.

Les mineurs artisanaux, bien souvent relégués à la clandestinité, trouvent dans l'extraction du cobalt une source indispensable de revenus (économie de survie). Ils extraient le minerai (des fragments d'hétérogénite – CoOOH) à l'aide d'outils élémentaires (marteaux, burins et autres outils manuels) dans des tunnels souterrains. Après les avoir lavées et triées, ils revendent ces roches à des intermédiaires.

Figures 20 et 21 : Extraction artisanale de l'hétérogénite en RDC

L'exploitation entraîne des effets néfastes sur la santé des « creuseurs » et des trieurs, qui ne portent pas de protection adaptée. La poussière contenant du cobalt provoque une malade pulmonaire appelée « fibrose pulmonaire aux métaux lourds ». Les charges portées, des sacs de minerais pesant parfois jusqu'à 50 kilos, engendrent des problèmes musculaires. À ceci s'ajoutent des problèmes de sécurité. Certains mineurs travaillent dans des mines qu'ils creusent eux-mêmes, souvent mal sécurisées, sans structure porteuse, mal ventilées. Les accidents, pour la plupart mortels, sont fréquents.

Parmi ces mineurs, appelés « creuseurs » en RDC, figurent des enfants, qui, dès sept ans, cherchent à récupérer des roches contenant du cobalt rejetées parmi les résidus des mines industrielles, souvent sans la permission des entreprises. En 2014, l'UNICEF a estimé qu'environ 40 000 jeunes garçons et filles travaillaient dans l'ensemble des mines au sud de la RDC, beaucoup d'entre eux étant impliqués dans l'extraction du cobalt. Ce travail, éprouvant physiquement, consiste à trier, à laver et à transporter les minerais. Ils peuvent travailler jusqu'à 12 heures par jour pour un salaire oscillant entre un et deux dollars (soit entre 1000 et 2000 francs congolais). Les enfants non scolarisés travaillent toute l'année. Ceux qui ont la chance d'aller à l'école travaillent toutefois les week-ends, les vacances ainsi qu'avant et après leurs heures de classe. Ces enfants se voient obligés de travailler pour prendre en charge leurs frais de scolarité. À cause d'un manque de financement de la part de l'État, la plupart des écoles demandent le paiement d'un minerval, qui est de 10 000 à 30 000 francs (10 à 30 dollars USD) par mois, soit une somme inabordable pour la plupart des familles.

---

[24] Pour une analyse détaillée des applications du cobalt, voir BIHOUIX Philippe et DE GUILLEBON Benoît, *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société*, Monts, 2010, pp. 233-234.

[25] COMMISSION EUROPÉENNE, « Communiqué de presse : L'UE recense 20 matières premières critiques : un réel défi attend l'industrie européenne », 26 avril 2014 [disponible sur http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-599_fr.htm - page consultée le 12/7/2018].

[26] AMNESTY, « Voilà pourquoi on meurt ». Les atteintes aux droits humains en République démocratique du Congo alimentent le commerce mondial du cobalt, 2015, disponible sur https://www.amnesty.org/download/Documents/AFR6231832016FRENCH.PDF [page consultée le 12 mars 2017].

Tableau « exercices »

Sur la base du résumé du rapport d'Amnesty International et de la carte ci-dessus, montrez en quoi le cobalt issu de mines clandestines intègre tout de même le circuit mondial du commerce du cobalt.

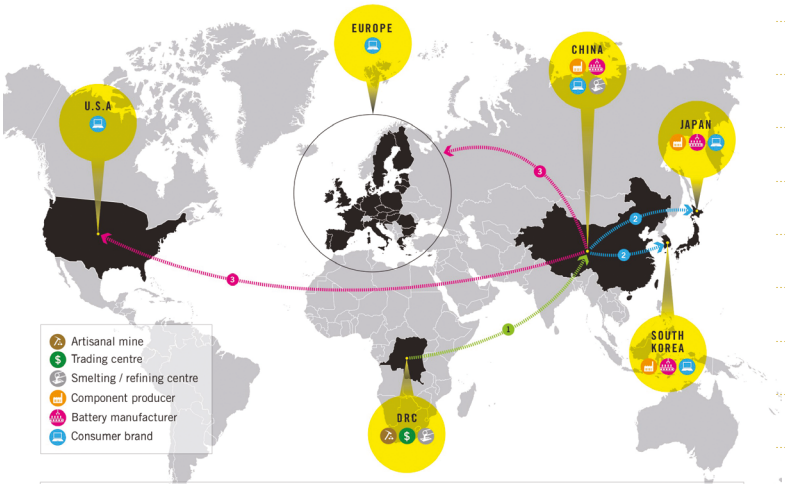


Figure 22 - Parcours du cobalt, des mines artisanales de la RDC au marché mondial.

• Le lithium •

Appelé « l'or blanc » ou le « pétrole du XXIe siècle »[27], le lithium [n° atomique 3 – symbole Li] est l'élément solide le plus léger (sa densité est égale à la moitié de celle de l'eau !). Doté d'un grand potentiel électrochimique et d'une densité énergétique élevée, il est un élément incontournable pour la fabrication de batteries grâce à ses propriétés uniques permettant de transporter des charges électriques importantes dans les systèmes embarqués. Son utilisation est appelée à se développer, la demande mondiale en lithium explose.

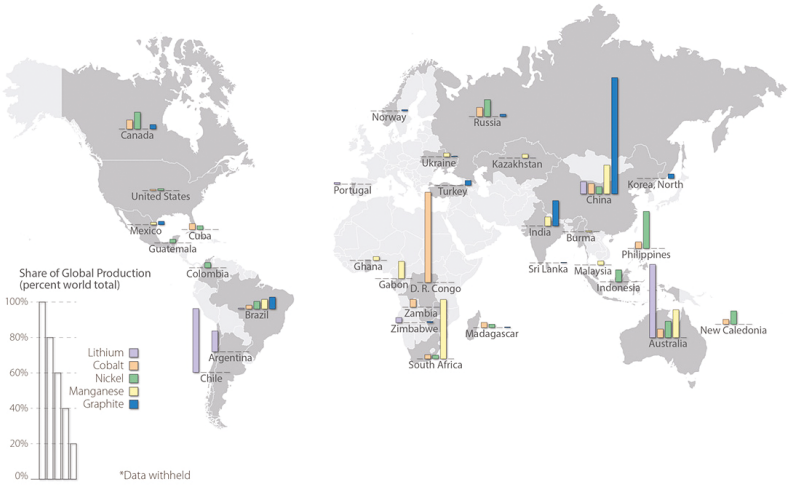


Figure 23 - Taux de production du lithium, du cobalt, du nickel, du manganèse et de la graphite,

[27] Legrand Christine, « La fièvre du lithium, pétrole du XXIe siècle, saisit l'Argentine », dans *Le monde*, 15 février 2017, disponible sur https://www.lemonde.fr/economie/article/2017/02/15/la-fievre-du-lithium-saisit-l-argentine_5080015_3234.html [page consultée le 13/8/2018]

Il est principalement extrait à partir de saumures* [Solution aqueuse d'un sel, généralement du chlorure de sodium (NaCl), saturée ou à forte concentration]. 85% des réserves mondiales du minéral se trouvent dans les plaines salées du triangle ABC, pour Argentine, Bolivie et Chili. Ce métal est surtout extrait au Chili, qui assure actuellement 35% de la production mondiale. La Bolivie est détentrice des ressources estimées les plus importantes au monde (à en croire les chiffres de l'Institut d'études géologiques des États-Unis, 9 millions de tonnes en Bolivie, contre 7,5 au Chili). Pourtant, les réserves boliviennes sont, pour l'instant, quasiment inexploitées. En Argentine et au Chili, ce sont des sociétés étrangères, dotées de technologies de pointe, qui exploitent les ressources. La Bolivie a une autre politique : elle a décidé de nationaliser ses ressources en lithium et est toujours dans la phase de mise en place des industries capables de les extraire.
Les saumures riches en lithium sont pompées puis acheminées vers de grands bassins d'évaporation. Cette technique d'évaporation est très gourmande en eau. Ces immenses bacs, pouvant atteindre une étendue équivalente à 700 terrains de football, permettent de révéler le lithium qui sera transporté vers l'usine qui le transforme en carbonate de lithium (Li_2CO_3), qui sera exporté [28].

Bien que présentée par les professionnels du lithium comme une industrie « verte », la réalité n'est pas aussi claire. Certes, l'industrie du lithium est moins destructrice que d'autres activités minières (comme le plomb, le zinc ou l'étain, par exemple), mais elle menace l'écosystème et menace des animaux, tels les flamants roses, les lamas ou les vigognes. Une préoccupation majeure réside dans la quantité d'eau nécessaire au procédé d'extraction, ce qui met en péril l'approvisionnement des populations locales, dans des régions arides. Déjà à la fin des années 1990, l'USGS avait préconisé de réduire la consommation en eau d'un site étasunien de 70% afin de ne pas mettre en péril l'approvisionnement en eau potable de la région[29]. L'eau est partiellement salinisée, ce qui constitue un drame pour des populations dépendantes de l'agriculture et de la culture du sel. L'industrialisation détruit de grandes surfaces de terre et détériore un paysage unique. Sans compter que les *salares* représentent un lieu sacré pour les populations aborigènes[30]. L'industrialisation de l'extraction du lithium mène également à la pollution et à l'introduction de produits chimiques dans les systèmes hydrauliques.

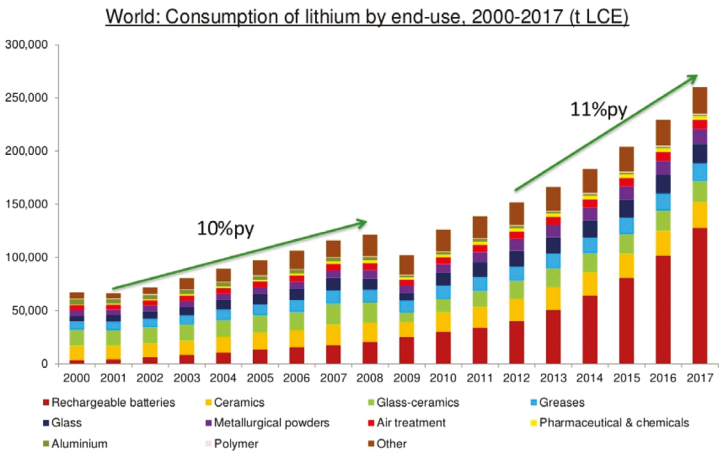


Figure 24 - Consommation mondiale de lithium selon les utilisations

La consommation de ce précieux métal devrait être multipliée par trois d'ici à 2020, notamment en raison de l'augmentation du nombre de véhicules électriques. L'utilisation de lithium dans les batteries représente 20% de son utilisation totale. La production de voitures électriques devrait dépasser celle des véhicules à moteur thermique dès 2030. Creuser plus profond dans les *salares* ne sert à rien car la concentration en lithium chute de manière exponentielle avec la profondeur. Dans le *Salar* d'Atacama, il n'y a plus de lithium au-delà de 35 mètres. La seule manière d'accroitre la production est d'étendre la surface d'exploitation[31].

• Bibliographie •

- AMNESTY, « Voilà pourquoi on meurt ». Les atteintes aux droits humains en République démocratique du Congo alimentent le commerce mondial du cobalt, 2015, disponible sur https://www.amnesty.org/download/Documents/AFR6231832016FRENCH.PDF [page consultée le 12 mars 2017].
- BIHOUIX Philippe et DE GUILLEBON Benoît, *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société*, Monts, 2010.
- CHRISTMANN Patrice et MARTEL-JANTIN Bruno, « La gestion stratégique des ressources minérales par les Etats et les compagnies minières : vers un développement des oligopoles ? », *Responsabilité & Environnement*, no 58, 2010.
- ECOINFO, « Impacts de la production du lithium », dans *Ecoinfo*, disponible sur https://ecoinfo.cnrs.fr/2011/06/01/4-impacts/ [page consultée le 13/8/2018].
- GOUZE Antoine, « Le lithium : un métal stratégique », dans *Annales des mines – responsabilité et environnement*, 2010/2 (n° 58), pp. 84-91.
- LEFTERIS Papadovassilakis Alexander, « Le lithium et le cobalt : les producteurs doivent faire face à leurs responsabilités », dans Le Temps, 13 février 2017, disponible sur https://www.letemps.ch/economie/lithium-cobalt-producteurs-doivent-faire-face-leurs-responsabilites [page consultée le 16/7/2018].
- LEGRAND Christine, « La fièvre du lithium, pétrole du XXIe siècle, saisit l'Argentine », dans *Le monde*, 15 février 2017, disponible sur https://www.lemonde.fr/economie/article/2017/02/15/la-fievre-du-lithium-saisit-l-argentine_5080015_3234.html [page consultée le 13/8/2018]
- LE LOËT Karine, « Surprenante géopolitique des matières premières rares », dans *Le Monde diplomatique*,
- LOQUET Alan, « Corruption, pollution, consommation : les ravages du lithium en Argentine », dans *Reporterre*, 22 juillet 2014, disponible sur https://reporterre.net/Corruption-pollution-consommation-les-ravages-du-lithium-en-Argentine [page consultée le 19/7/2018].
- REKACEWICZ Philippe, « Les richesses convoitées de la République démocratique du Congo », *Le Monde diplomatique*, janvier 2000.

[28] Pour des informations plus précises quant aux différents traitements des saumures, voir *Ecoinfo*, « Impacts de la production du lithium », dans *Ecoinfo*, disponible sur https://ecoinfo.cnrs.fr/2011/06/01/4-impacts/ [page consultée le 13/8/2018].

[29] Ecoinfo, « Impacts de la production du lithium », dans *Ecoinfo*, disponible sur https://ecoinfo.cnrs.fr/2011/06/01/4-impacts/ [page consultée le 13/8/2018].

[30] Paragraphe basé sur Loquet Alan, « Corruption, pollution, consommation : les ravages du lithium en Argentine », dans *Reporterre*, 22 juillet 2014, disponible sur https://reporterre.net/Corruption-pollution-consommation-les-ravages-du-lithium-en-Argentine [page consultée le 19/7/2018] ; Lefteris Papadovassilakis Alexander, « Le lithium et le cobalt : les producteurs doivent faire face à leurs responsabilités », dans *Le Temps*, 13 février 2017, disponible sur https://www.letemps.ch/economie/lithium-cobalt-producteurs-doivent-faire-face-leurs-responsabilites [page consultée le 16/7/2018].

[31] ECOINFO, « Impacts de la production du lithium », dans *Ecoinfo*, disponible sur https://ecoinfo.cnrs.fr/2011/06/01/4-impacts/ [page consultée le 13/8/2018].

3 L'ALUMINIUM

La structure des téléphones mobiles est bien souvent constituée d'aluminium. Celui-ci est aujourd'hui considéré comme un produit du quotidien avec lequel on peut, par exemple, emballer son repas. Il n'en a pourtant pas été toujours ainsi. C'est au milieu du XIX^{e} siècle qu'est apparue la première production d'aluminium. À cette époque, il était considéré, à l'égal de l'argent, comme un métal précieux avec lequel on réalise, par exemple, des bijoux. Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que l'on a commencé à l'utiliser dans la fabrication industrielle de nombreux produits. Aujourd'hui banalisés, l'extraction et le traitement de l'aluminium restent cependant extrêmement énergivores. Il convient donc de ne pas en user à mauvais escient.

• Parcours de l'aluminium •

vidéo

Lien vers la vidéo

https://www.youtube.com/watch?v=aE1lkxu4BBY

Crédits

Maxime Evrard,
laboratoire GeMMe de l'Université de Liège,
décembre 2017

Durée : 1 minute 54

Contenu

Vous allez découvrir une courte vidéo sur l'aluminium qui retrace un parcours typique (bien qu'il en existe d'autres) de l'aluminium, de son extraction jusqu'à son utilisation dans la fabrication de téléphones portables.

L'aluminium est aujourd'hui considéré comme un produit du quotidien avec lequel on peut, par exemple, emballer son repas. Il n'en a pourtant pas été toujours ainsi. C'est au milieu du XIXe siècle qu'est apparue la première production d'aluminium. À cette époque, il était considéré, à l'égal de l'argent, comme un métal précieux avec lequel on réalisait, par exemple, des bijoux. Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que l'on a commencé à l'utiliser dans la fabrication industrielle de nombreux produits. Aujourd'hui banalisés, l'extraction et le traitement de l'aluminium restent cependant extrêmement énergivores. Il convient donc de ne pas en user à mauvais escient.

Commentaire de la vidéo

Minutage : 0 à 25 secondes.

Présentation de l'aluminium et de la mine de Weipa (Australie)

L'aluminium ne se trouve pas tel quel dans la nature mais sous la forme d'hydroxyde d'aluminium (AlO(OH)) présente dans des minerais que l'on appelle bauxite. Pour qu'un gisement soit économiquement viable, il faut que la roche extraite de la mine soit constituée d'au moins 24 % d'alumine (Al_2O_3).

Ces conditions sont notamment rassemblées dans les sols tropicaux (les pluies abondantes et l'humidité favorisent la concentration en Aluminium dans les roches, en lessivant les autres éléments présents) comme à Weipa, dans le nord de l'Australie. Sur place, la bauxite est broyée et lavée avant d'être transportée.

Minutage : 26 à 42 secondes.

Traitement du concentré d'aluminium.

La bauxite broyée est ensuite envoyée dans l'Ouest de l'Australie pour y être traité via le procédé Bayer qui permet de transformer l'hydroxyde d'aluminium (la bauxite) en concentré d'alumine (Al_2O_3).

Le concentré d'alumine y est dissout avec de la soude caustique à haute température. La mixture est ensuite filtrée afin d'enlever les impuretés, qui, elles, ne se sont pas dissoutes. Le résidu est appelé boue rouge et est stocké dans d'immenses barrages créés et contrôlés par l'usine (= lacs artificiels rouges sur l'image satellite).

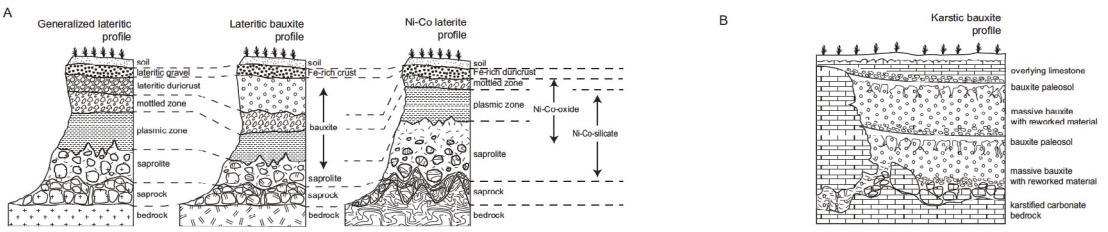


Figure 25 - 3 profils d'altérations entrainant la formation des gisements debauxite (Al) et de Nickel

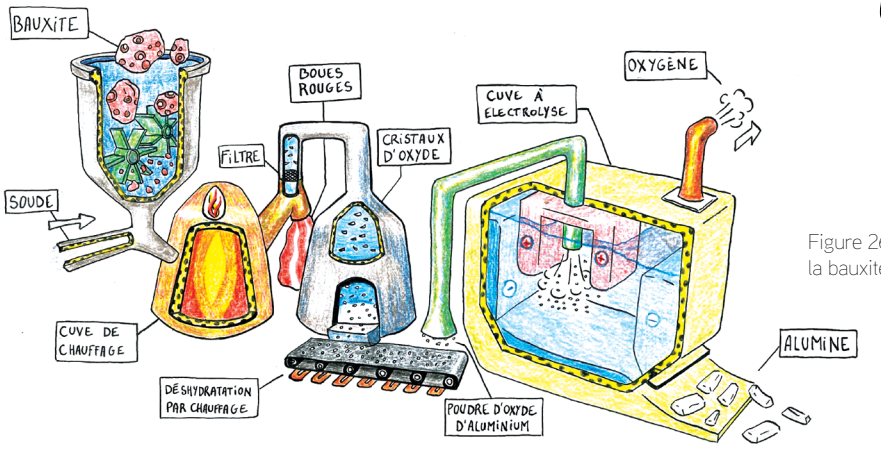


Figure 26 - Processus de transformation de la bauxite en aluminium

Minutage : 43 secondes à 1 minute 07.

Vers le lingot d'aluminium

L'aluminium se présente à cette étape sous forme de terre blanche. Cette solution est chauffée et transférée dans de grandes cellules où la solution chaude va refroidir et précipiter sous forme de très fines particules d'oxydes d'aluminium (Al_2O_3). Ces dernières vont ensuite être filtrées et envoyées vers des cellules d'électrolyse pour les transformer en métal aluminium. Ce processus est extrêmement énergivore, raison pour laquelle l'aluminium est traité aux Émirats Arabes Unis (ici l'usine est à Dubaï), pays où les énergies sont peu chères grâce à leurs abondantes réserves de gaz et de pétrole.

Minutage : 1 minute 07 à 1 minute 32. **Du lingot d'aluminium à son utilisation dans l'industrie**

L'aluminium transformé en lingots se disperse alors aux quatre coins de la planète pour rejoindre les différentes usines qui l'utilisent comme matière première. L'utilisation de l'aluminium est large et variée. Ici, il sert à la fabrication de la structure des smartphones dans une usine chinoise.

Minutage : 1 minute 33 à 1 minute 54. **Le smartphone**

De l'extraction à l'arrivée du téléphone sur le marché européen, l'aluminium a traversé 4 continents.

L'électrolyse

Le procédé consiste à réduire par électrolyse de l'alumine dissoute dans un bain de cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium – AlF_3, 3NaF) fondue à environ 950°C, dans une cuve traversée par un courant électrique de haute intensité. Ainsi soumis à l'action du courant électrique continu (c'est-à-dire passant toujours dans le même sens), les ions sont transportés aux deux électrodes. L'électrode positive, l'anode, par où rentre le courant, attire les ions négatifs, l'oxygène (O--). L'anode est placée en haut du creuset où s'effectue l'électrolyse ; l'oxygène peut ainsi se dégager sous forme de CO_2 gazeux, après avoir brûlé le carbone qui constitue l'anode.

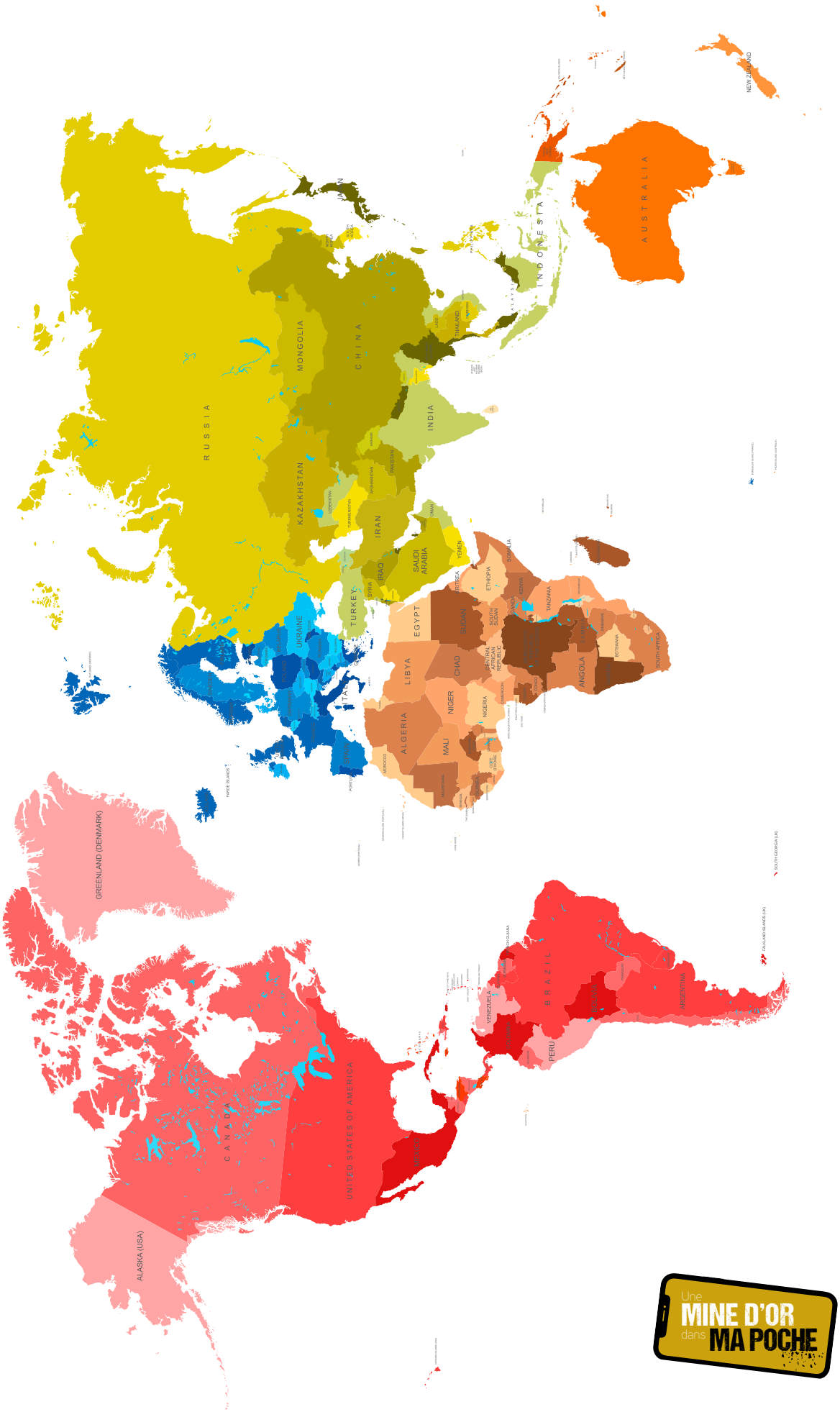
L'électrode négative, la cathode, par où sort le courant, attire les ions positifs, l'aluminium (Al+++). La cathode est située au fond du creuset où l'aluminium plus lourd que le bain se dépose et reste sous forme d'une couche liquide.

Le phénomène global se traduit par la réaction :

$2\ Al_2O_3 + 3\ C = 4\ Al + 3CO_2$

Tableau « exercices »

En vous basant sur la vidéo et sur le commentaire de votre professeur, retracez le trajet de l'aluminium sur la carte ci-contre, de l'extraction à son utilisation dans la fabrication d'un *smartphone*.
Ce trajet est-il inévitable ? Justifiez en quelques mots la raison de chaque étape du voyage


RUSSIA
MONGOLIA
CHINA
INDONESIA
AUSTRALIA
NEW ZEALAND
KAZAKHSTAN
INDIA
IRAN
SAUDI ARABIA
YEMEN
OMAN
IRAQ
TURKEY
UKRAINE
EGYPT
SUDAN
ETHIOPIA
KENYA
TANZANIA
LIBYA
CHAD
NIGER
NIGERIA
ALGERIA
MALI
ANGOLA
GREENLAND (DENMARK)
CANADA
UNITED STATES OF AMERICA
ALASKA (USA)
BRAZIL
PERU
VENEZUELA
ARGENTINA

• Gestion des déchets de fabrication : les boues rouges •

Les boues rouges sont les résidus provenant de la transformation de la bauxite en alumine. Leur couleur rouge vient de l'oxyde de fer qui les constitue à près de 40 %. La présence de soude caustique, utilisée dans le procédé d'extraction de l'alumine, entraîne un taux de pH très élevé. Certains métaux lourds comme le plomb, le zinc ou le chrome peuvent être présents en faible quantité. La teneur en ces éléments dépend fortement de la composition initiale de la bauxite et du contexte géologique initial.
Les boues rouges, des effluents industriels métallurgiques, sont stockées dans des bassins où les particules minérales vont décanter dans le fond du bassin et la partie liquide va s'évaporer. Le pH des boues est également traité afin de le faire redescendre. Dans certains cas la soude caustique peut être partiellement récupérée. Une fois sèches, ces boues peuvent être utilisées dans de nombreuses applications : matériaux de construction, dépollution de sols contaminés à l'Arsenic, absorbants, additifs, colorants, catalyseurs…

• Focus sur la catastrophe de Ajka (Hongrie) •

Figure 27 - Coulée boue rouge à Ajka

En octobre 2010, la digue d'un des bassins de stockage des déchets industriels de l'usine métallurgique a cédé, libérant ainsi plus de 700 000m^3 de boues rouges (liquides, alcalines, toxiques et corrosives) dans les environs. Des champs et des villages bordaient le bassin. Le torrent de boue a provoqué des morts et de nombreux blessés. Il est à l'origine d'une pollution grave des sols et des eaux de surface. Le barrage retenant ces boues n'était composé que d'une seule digue verticale et haute de 30 mètres. En outre, le bassin était en surcharge : un entreposage excessif serait à l'origine de l'accident. Dans le bassin du Danube, au plusieurs sites industriels vétustes contiennent des bassins industriels de décantation et stockage, parfois abandonnés ou réhabilités En Hongrie, trois décharges aluminières du type de celle d'Ajka semblent poser des risques, car elles sont également proches de zones habitées et/ou du Danube.

Un exemple de bonnes pratiques

Étudiez le schéma. Quelles sont les mesures prises dans l'élaboration des barrages de Worsley qui rendent ceux-ci plus sécurisés que ceux d'Ajka ?

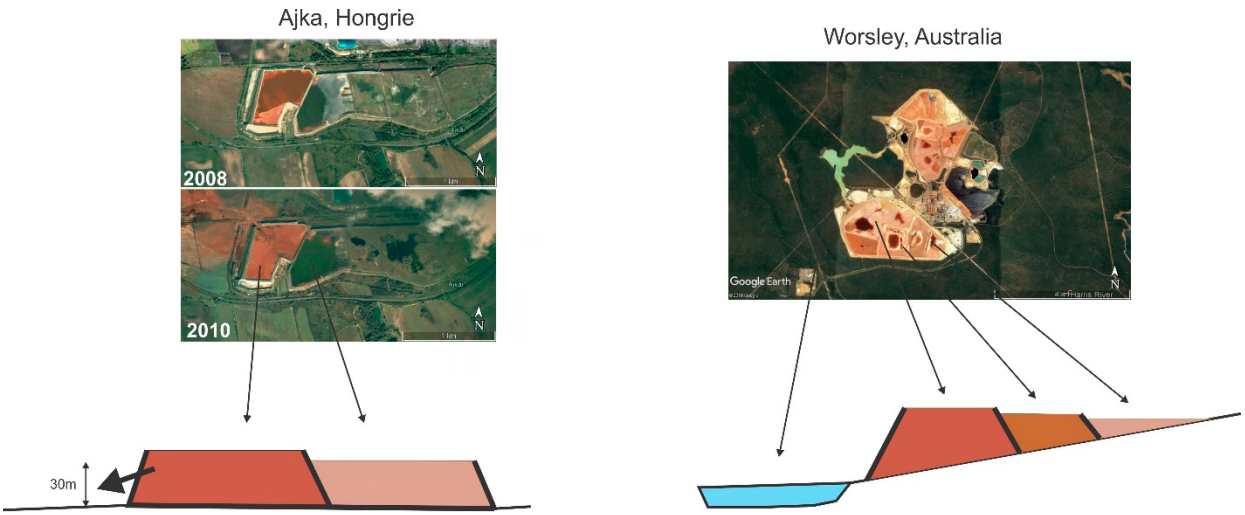


Figure 28 : Différences de conception entre les barrages de décantation des boues rouges de Akja et Worsley.

Pistes de réponse : le barrage de Worsley en Australie est composé de plusieurs bassins, permettant ainsi de limiter la rupture de la digue principale. De plus, si celle-ci venait à se rompre, les boues seraient déversées dans un lac de barrage qui neutraliserait directement le pH élevé de ces boues et limiterait leur expansion. Le barrage de boue est ici localisé sur un terrain en pente, limitant ainsi le déversement possible à une seule direction. L'angle de la digue est également plus faible que celui du bassin de Ajka.

4 LE CUIVRE ET L'OR
de bons conducteurs pour les connexions électriques

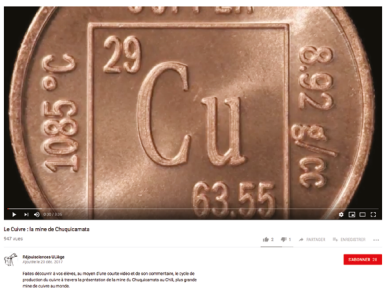
LE CUIVRE

Le cuivre est, avec l'or, le premier métal travaillé par l'Homme. Relativement abondant dans la croûte terrestre, facile à travailler s'il est présent sous forme native (Cu pur), il s'impose rapidement pour la conception de nombreux outils, bijou et matériau de décoration, dès la période du chalcolithique (2500-1800 AJC). De nos jours, le cuivre est toujours abondamment utilisé, principalement pour ses propriétés de conductivité électrique. Dans nos *smartphones* et ordinateurs portables, on le retrouve dans les circuits imprimés. Autrefois constitué de cuivre pur, les gisements actuels sont majoritairement composés de sulfures de cuivre dont la teneur n'a cessé de décroître au fil des siècles. En 2018, des gisements ayant des teneurs de 0.6% Cu sont économiquement exploitables.

• Extraction et transformation du Cuivre •

Ce document s'adresse aux enseignants dans le cadre de leur cours, comme introduction à l'étude de différentes matières (géographie, chimie, physique, géologie). Il propose une vidéo et son commentaire d'accompagnement. Il aborde la question du cuivre et plus particulièrement de son extraction et de sa production à travers le cas particulier de la mine de Chuquicamata au Chili, considérée comme la plus grande mine à ciel ouvert du monde.

vidéo



C Crédits

Marie Lekane,
Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège, octobre 2017.

Durée : 3 minutes 34

Lien vers la vidéo

https://www.youtube.com/watch?v=4UhbfWgfvO0&t=3s

Présentation de la vidéo avant son visionnage

Vous allez découvrir une courte vidéo présentant la mine de cuivre de Chuquicamata. Elle se trouve au cœur du désert de l'Atacama au Chili et est aujourd'hui une des plus grandes mines de cuivre au monde. Dans cette mine, on extrait chaque jour près de 600 000 tonnes de roche.

Il existe plusieurs autres mines au Chili, qui est le plus gros producteur de cuivre actuellement. Il fournit plus d'un tiers de la production mondiale. D'autres pays, comme les États-Unis, le Canada, la Russie, la Pologne, l'Espagne, le Congo ou encore la Zambie, sont également producteurs de cuivre.

Commentaire de la vidéo

Minutage : 0 à 20 secondes.

Quelques généralités sur le cuivre

Le cuivre est un élément chimique qui, sous sa forme pure, appartient à la famille des métaux. Il porte le numéro atomique 29. Son symbole est « Cu ». Il est, avec l'or, le plus ancien métal utilisé par l'homme, son utilisation est attestée depuis près de 7000 ans. Grâce à ses excellentes propriétés conductrices d'électricité, il est encore aujourd'hui largement utilisé, notamment dans les composantes électroniques que l'on retrouve, par exemple, dans les smartphones.

Minutage : 20 secondes à 1 minute.

Présentation de la mine de Chuquicamata

La mine de Chuquicamata est exploitée depuis un siècle. A l'origine, elle était exploitée par une compagnie nord-américaine. En 1971, sous le gouvernement Allende, elle est nationalisée. La société qui gère le site s'appelle Codelco (Corporación National del Cobre de Chile). Depuis lors, c'est une entreprise publique qui fait vivre des milliers de mineurs et leurs familles. Autrefois, ils habitaient dans le village attenant à la mine. Celui-ci, construit par l'entreprise pour loger les mineurs et leurs familles, est aujourd'hui abandonné. Ce village se situe à 2800 m d'altitude.

* Anecdote : Le fait qu'une compagnie issue des États-Unis aient exploité la mine a permis l'importation de la culture nord-américaine au Chili. Ainsi, c'est à la mine de Chuquicamata qu'est arrivé, pour la première fois au Chili, le Coca-Cola !

Minutage : 1 minute à 1 minute 35.

L'extraction du cuivre

Avant toute chose, il faut extraire la roche. Aujourd'hui, la plupart des mines sont exploitées à ciel ouvert. Afin d'arracher le minerai à la montagne, il faut utiliser de grandes quantités d'explosifs. Ces explosifs sont utilisés tous les jours à heure fixe. Ce que l'on extrait, ce ne sont pas des « pépites de cuivre », mais de la roche dans laquelle le cuivre, combiné à d'autres éléments, est emprisonné. Ces roches contiennent en moyenne 0,3% de cuivre.

Ces explosions et l'exploitation, toujours en cours, ont creusé un cratère de 5 kilomètres de long, 3 km de large et de près d'un kilomètre de profondeur. Plus on élargit le cratère, plus on peut le creuser profondément.

Minutage : 1 minute 35 à 1 minute 46.

Le transport des roches

Lorsque les roches sont détachées de la montagne, de gigantesques grues chargent les camions. Ceux-ci sont également hors-normes (pause à 1 minute 42) : 7 mètres de

haut pour 8 mètres de long, leurs pneus ont un diamètre de près de 4 mètres. Ils consomment environ 3.5 litres de carburant par minute et les pneus doivent être changés tous les 8 mois.

Ces camions remontent sur des routes structurées en gradin. Chaque gradin pourrait contenir un immeuble de 6 étages entre 12 et 18 mètres de haut).

Minutage : 1 minute 46 à 2 minutes 04.

Le transport des roches

Les camions transportent ensuite les minerais (que l'on appelle « sulfure de cuivre ») jusqu'à l'usine. Celle-ci, située juste à côté de la mine, est également la plus grande usine au monde. Les sulfures de cuivre y sont amenés pour être concassés et traités par un procédé de flottation (procédé de séparation physico-chimique).

Minutage : 2 minutes 04 à 2 minutes 44.

Les terrils et la vie des mineurs

Nous l'avons dit, seul 1% de la roche extraite est constituée de cuivre. Les déchets représentent donc près de 99 % de la matière traitée dans la mine. Cette immense masse de roche vient grossir au fil des années les terrils [Montrer à 2 minutes 32 l'empiètement des terrils sur le village de Chuquicamata]. Le progressif abandon par les habitants du village qui jouxtait la mine s'explique par la poussière, le bruit et la pollution qui y règne mais également par la mise à disposition des terrains pour l'industrie. Celle-ci recouvre progressivement le village, devenu fantôme.

En outre, le traitement des roches pour en extraire le cuivre a également des conséquences sur l'environnement. Le traitement rejette en effet du soufre et de l'arsenic qu'il convient de gérer au mieux afin d'éviter toute dispersion dans l'environnement. Les mines modernes, comme celle de Chuquicamata, développent de nombreuses techniques afin de limiter leur impact sur l'environnement et sur l'homme.

Minutage : 2 minutes 44 à 3 minutes 35.

La nouvelle ville de Calama et la ville portuaire d'Angtofagasta

- Afin d'accueillir les nombreux mineurs ainsi que leur famille, une nouvelle ville, Calama, a été construite par la société publique à quelques dizaines de kilomètres de la mine.
- Le cuivre extrait et transformé est exporté dans le monde entier par le port de la ville d'Angtofagasta, située à 200 kilomètres de la mine. Cette exportation constitue l'activité économique principale de cette ville de près de 350 000 habitants. Et ce sont près de 1 200 000 tonnes de cuivre par an, production annuelle de la mine, qui transitent ainsi par ce port.

Une
MINE D'OR
dans MA POCHE

• La transformation métallurgique du cuivre •

vidéo

Lien vers la vidéo

https://www.youtube.com/watch?v=IuTZnp3spBs

Crédits

La vidéo C'est pas sorcier

Le cuivre - les bons tuyaux

Durée : 26 minutes 08

Cette vidéo permet de découvrir une autre transformation métallurgique que celles du fer ou du zinc, vues au Musée. Voici les étapes par lesquelles passent les minerais de sulfure de cuivre (notamment la chalcopyrite, vue à la MMIL) une fois extraits de la mine. La teneur en cuivre de la roche brute extraite de la mine dépasse rarement 2%.

••• 1. Réduction de la taille du minerai par broyage ou concassage.

Les minerais sont finement écrasés, généralement dans un moulin à boules de fer. Ces boulets de fer, d'ailleurs spécialité de l'entreprise liégeoise Magotteaux [33], réduisent le minerai en une poussière très fine. La taille du concassage varie en fonction du minerai. Par exemple, dans l'industrie métallurgique du cuivre, les particules doivent être de maximum 40 microns d'épaisseur. Au terme de cette première étape, on obtient un « bouillon » composé d'eau et de très fines particules de minerais (sulfure de cuivre).

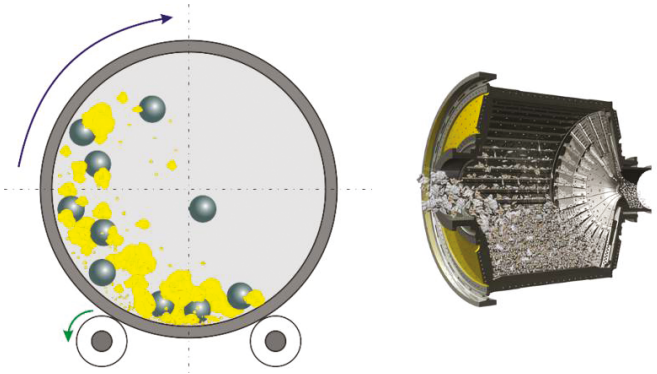


Figure 29 - action de rotation dans un broyeur à boulets : en gris, les corps de broyage, en jaune, les particules rocheuses en train d'être concassées (gauche) ; schéma de l'intérieur du broyeur à boulets, l'intérieur ondulé améliore le concassage des particules rocheuses (droite).

[33] Pour une histoire de cette aciérie de moulage, fondée à Vaux-sous-Chèvremont (Liège) et qui a aujourd'hui une renommée mondiale, voir par exemple https://www.chaudfontaine.be/du-charbonnage-a-lentreprise-magotteaux/

••• 2. Processus de séparation physico-chimique pour isoler le minéral.

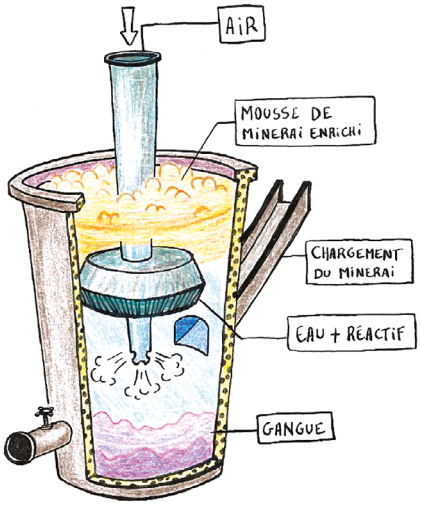


Figure 30 – schéma d'un bain de flottation

Différents processus existent. Pour les sulfures de cuivre, la flottation permet de séparer le minéral de la gangue (la roche stérile). Le processus fonctionne comme un « bain à bulles ». Les particules minérales, issues du broyage, (autrement dit, les poussières de minerais) sont mélangées avec de l'eau, de l'essence de pin (pour faire les bulles) et des réactifs chimiques (dans l'industrie du cuivre, du xanthate de potassium). Grâce à un mouvement de rotation dans la cellule de flottation, des bulles d'air sont créées. Le xanthate de potassium attire les particules de minerais de cuivre, tout en étant hydrophobe. Il se lie donc aux bulles et remonte à la surface en emportant les particules de minerais. Les éléments hydrophiles (la gangue) restent au fond de la cellule de flottation. La mousse, contenant des particules de minerais, est récupérée par raclage, décantage et séchage sous la forme d'une poudre. Cette poudre est un concentré dont la teneur en cuivre atteint environ 30%.

••• 3. La transformation du concentré de cuivre en métal pur.

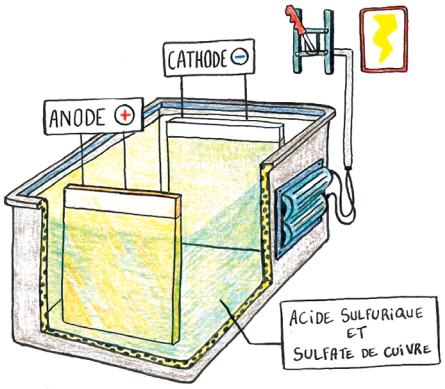


Figure 31 - Schéma de la purification par électrolyse

Le concentré de cuivre contient encore des impuretés (fer, soufre,…). Pour s'en débarrasser, on le grille dans un four à environ 1200°C. Dans ce four, on injecte de l'air enrichi à 50% d'oxygène et de sable. Il en résulte des flammes très impressionnantes. La réaction chimique qui s'opère dans ce four permet de séparer le cuivre d'une partie des impuretés. L'oxygène se combine avec le soufre et créé du dioxyde de soufre (SO_2). Il s'agit d'un gaz extrêmement toxique qui est récupéré. L'oxygène se combine également au fer et crée de l'oxyde de fer dont une partie s'accumule dans le sable qui surnage sous forme de laitier et s'écoule vers le fond du four. On obtient ainsi une pâte, appelée **matte** qui contient 65% de cuivre [33], composé de sulfure de cuivre et de sulfure de fer.

On verse la matte dans un convertisseur, un four rotatif à 1300°C. L'injection d'oxygène et de sable élimine une très grande partie du soufre et du fer contenus dans la matte. À la sortie du convertisseur, on obtient du cuivre en fusion, versé dans des moules pour en faire des plaques d'environ 400 kgs. Ces plaques contiennent 99,7% de cuivre. Ça ne suffit pas : il faut un cuivre pur à 99,99% !

Pour obtenir cette pureté, on procède à la purification par électrolyse. On plonge les plaques dans un bain d'acide sulfurique très dilué. Les plaques de cuivre forment **l'anode**. On installe en face d'elles, des plaques en métal inoxydable (inox, acier ou étain) qui forment la **cathode**. On fait circuler un courant électrique entre les deux plaques. Il en résulte une circulation d'électrons entre les métaux. Les ions de cuivre se déplacent de l'anode à la cathode. Cette circulation laisse sur place les impuretés qui s'accumulent dans le fond du bac.

Quand le circuit est fermé, les électrons quittent la borne négative et descendent dans la plaque d'acier. Simultanément, de l'autre côté, des atomes de cuivre cèdent des électrons qui remontent vers la borne positive. A cet instant, des atomes de cuivre manquent d'électrons (2 électrons, précisément). Ce sont des ions chargés positivement (ions cuivre 2+) manquant d'électrons. Ils sont attirés par la plaque d'acier sur laquelle ils vont aller récupérer les deux électrons qui leur manquent pour former à nouveau des atomes de cuivre. Ce manège va durer tant qu'il y a du cuivre sur l'anode. À terme, l'anode va complètement disparaître alors que la cathode se couvre de cuivre pur à 99,99%. Les ions cuivre se déplacent seuls de l'anode à la cathode et laissent sur place les impuretés qui s'accumulent au fond du bac.

• Le recyclage du cuivre •

Depuis plusieurs décennies, le recyclage du cuivre est important car son prix est assez élevé (environ 5-6 euros du kilo), il est facile à récupérer et à trier dans la plupart des produits (câbles, plaquages…), et il est simple à recycler. Le vol de câble de cuivre le long des lignes de chemins de fer en témoigne !

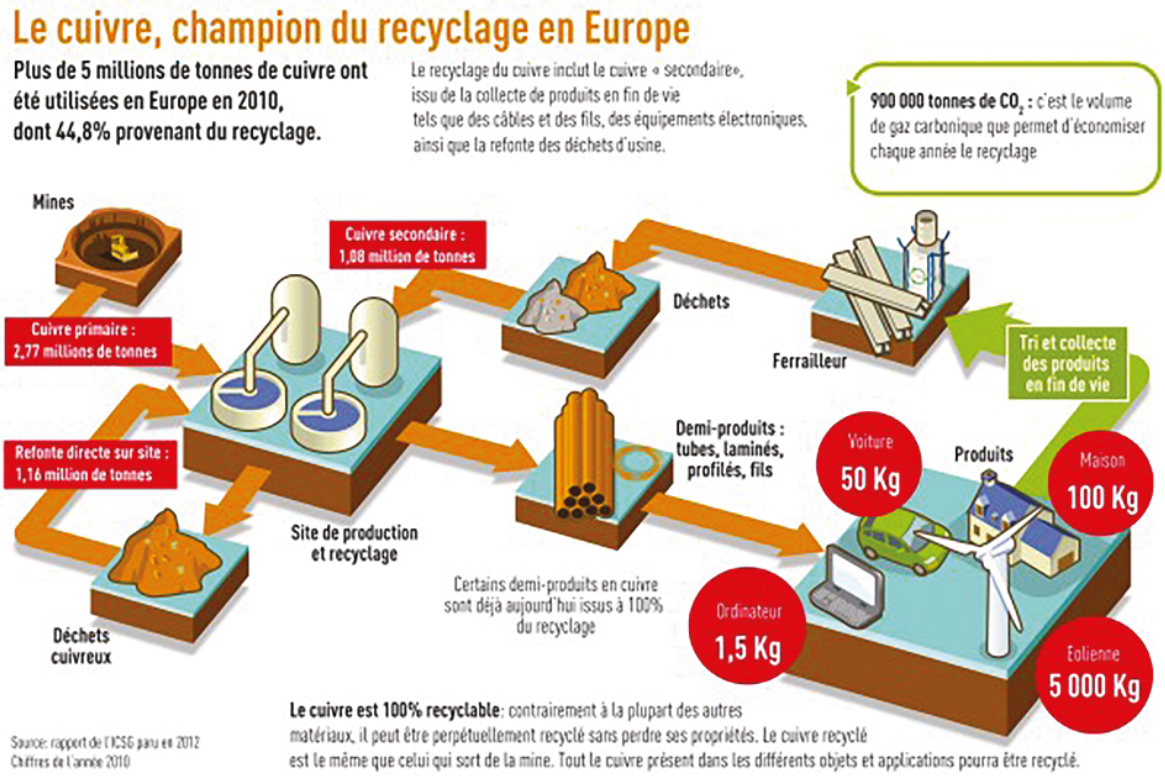


Figure 32 - Le recyclage du cuivre

[33] MATTE : matière sulfurée semi-métallique, produit intermédiaire dans les procédés pyrométallurgiques d'extraction de métaux non ferreux. Elle est le résultat de la première fusion d'un minerai sulfuré, par exemple de cuivre, de plomb, d'argent ou de nickel.

L'OR

Du fait de sa résistance à la corrosion, de sa bonne conductivité électrique et thermique, de sa relative facilité d'emploi, sa capacité à créer des alliages et son aptitude aux soudures, le métal précieux sert à fabriquer des contacts, des connecteurs, des films pour les composants électroniques et même des encres[34].

• L'or : une valeur refuge •

Tout comme le cuivre, l'or fut le premier métal à être travaillé par l'homme durant le chalcolithique (2500-1800 AJC). Au fil des siècles, l'or attise les fantasmes : les pharaons, les lydiens puis les Romains se sont battus pour le contrôle du métal jaune. Plus proche de notre ère, l'or a constitué l'une des motivations de la conquête de l'Amérique. Outre son aspect esthétique, l'or possède de nombreux atouts en tant qu'investissement. L'or est inaltérable. En période de crise économique, lorsque les grandes monnaies montrent d'inquiétants signes de dévaluation (Le Dollar, l'euro ou le Yen peuvent à tout moment chuter), l'or semble à jamais préservé n'étant pas le jouet des cycles économiques. De plus, le métal jaune sert d'assurance tous risques en période de grande crise. Son rôle de valeur refuge ne s'est jamais démenti depuis l'explosion industrielle des puissances européennes et américaines au 19ème siècle. Le cours de l'or, sa stabilité rassure les investisseurs. L'or n'est pas la seule valeur refuge. Mais la place qu'occupe l'or dans les consciences reste toujours aussi prééminente. Si le fameux étalon-or n'existe plus, l'or fait office de premier contrepoids à la dévaluation régulière des devises. Quand le Dollar souffre, l'or constitue une solution de repli pour les portefeuilles des investisseurs[35].

[34] http://www2.cnrs.fr/sites/communique/fichier/dossier.pdf

[35] Inspiré par Rollinat Faustin, « Pourquoi l'or fait toujours figure de valeur refuge », dans *le monde économique*, article disponible sur https://www.monde-economique.ch/fr/posts/view/pourquoi-l-or-fait-toujours-figure-de-valeur-refuge [page consultée le 10/9/2018]

Tableau « exercices »

Questions d'analyse des tableaux :

1. Évaluez la demande en or des industries technologiques.
2. Quelles différences de demande apparaissent entre l'année 2010 et l'année 2011 ? À votre avis, quel facteur peut expliquer cette différence ?

Table 2: Gold demand (tonnes)

	2011	2012[1]	Q1'11	Q2'11	Q3'11	Q4'11	Q1'12	Q2'12	Q3'12	Q4'12[1]	Q4'12 vs Q4'11 % chg	4-quarter % chg[2]	Share of total %
Jewellery	1,972.1	1,908.1	551.7	490.0	457.9	472.4	495.7	423.0	464.1	525.3	11	-3	44
Technology	452.9	428.2	115.5	118.7	115.2	103.5	108.8	109.8	108.7	100.9	-3	-5	8
Electronics	319.9	302.7	80.4	84.1	82.7	72.7	76.1	77.1	78.2	71.2	-2	-5	6
Other industrial	89.6	85.7	23.8	23.6	21.9	20.3	22.5	22.5	20.7	19.9	-2	-4	2
Dentistry	43.4	39.9	11.3	10.9	10.7	10.5	10.2	10.1	9.8	9.8	-7	-8	1
Investment	1,700.4	1,534.6	341.8	391.3	504.5	462.9	401.4	288.2	420.3	424.7	-8	-10	36
Total bar and coin demand	1,515.4	1,255.6	402.6	337.1	417.1	358.5	348.2	288.2	282.6	336.6	-6	-17	28
Physical bar demand	1,182.4	941.1	316.0	261.9	322.6	281.8	269.1	213.7	208.7	249.5	-11	-20	21
Official coin	245.2	201.1	61.9	50.2	74.5	58.7	52.6	51.7	44.1	52.7	-10	-18	4
Medals/imitation coin	87.8	113.4	24.7	25.0	20.0	18.1	26.5	22.8	29.7	34.3	90	29	3
ETFs and similar products[3]	185.1	279.0	-60.8	54.1	87.4	104.4	53.2	0.0	137.8	88.1	-16	51	7
Central bank net purchases	456.8	534.6	136.9	66.2	140.8	112.8	115.2	161.4	113.0	145.0	29	17	12
Gold demand	4,582.3	4,405.5	1,145.9	1,066.2	1,218.5	1,151.7	1,121.1	982.4	1,106.1	1,195.9	4	-4	100
London PM fix (US$/oz)	1,571.5	1,669.0	1,386.3	1,506.1	1,702.1	1,688.0	1,690.6	1,609.5	1,652.0	1,721.8	2	6	

Figure 33 - demande d'or en tonne

Chart 23: Technology demand by category in tonnes

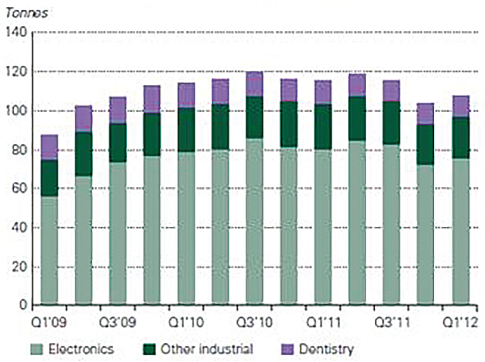


Figure 34 : demande technologique en or par catégorie

Pistes de réponse :

- En 2010, la demande en or de technologie était de 457,7 tonnes, toutes industries confondues. En 2011, de 452.7 tonnes. Cela représente à peu près 1/9e de la demande totale en or.
- En 2011, la demande en or d'industrie ou de technologie, est en légère baisse par rapport à 2010. Cette baisse reflète la hausse du cours de l'or et le net ralentissement de certaines activités du secteur technologique.

5➲ DES QUESTIONS, SOURCES D'EXPOSES ?

Pour aller plus loin :

Les questions posées ici ne sont que quelques exemples des questions qui peuvent être soumises aux élèves après la visite :

- Les nouvelles technologies « vertes » (voitures électriques, éoliennes, …) sont-elles réellement écologiques ?

  Pour répondre à cette question, vous pouvez récolter des coupures de presse, des publicités et des communiqués vantant les bienfaits des énergies dites « vertes ». Quels sont les technologies considérées comme « vertes » ? Y existe-t-il des articles nuançant ou critiquant cette communication optimiste ? Listez les arguments utilisés afin de les vérifier. Analysez comment fonctionnent les batteries électriques ou les éoliennes. Voyez dans le tableau périodique des éléments quels sont les éléments indispensables. D'où viennent-ils principalement ? Tentez de calculer l'énergie grise nécessaire à leur acheminement. Dans quelles conditions les matières premières sont-elles extraites ? Quelles sont vos conclusions ?

- Existe-t-il, dans les recherches scientifiques actuelles, des alternatives intéressantes, qui utiliseraient moins de ces matériaux stratégiques ? Quelles sont-elles ?

- L'indium [n° atomique 49] est une matière importante pour le téléphone portable et les téléviseurs LCD. L'oxyde d'indium-étain présente des propriétés remarquables de soudure sur verre. Il sert d'électrode dans les afficheurs à cristaux liquides (LCD). La demande explose mais il est difficile à exploiter car il est lié à d'autres métaux. Est-il substituable ? Quels sont les problèmes posés par l'indium ?

- La réouverture des mines en Europe : une réalité ? Qu'en penser ?

Pour répondre à ces questions, vous pouvez récolter les avis sur la réouverture ou la prolongation de concession de mines en Europe. Quelles sont les problèmes soulevés ? Quelles sociétés veulent ouvrir ces mines ? Quelle est la position de l'Europe/des États sur le sujet ? Quel impact environnemental ?

  •• Les articles et les positions autour de l'ouverture d'une mine d'or dans la forêt de Skouries, au nord de la Grèce, près de Thessalonique, sont représentatifs de ce débat. La mine prendrait place dans l'une des forêts d'Europe les plus riches en biodiversité. Un projet autorisé par le gouvernement grec pour combler une partie de sa dette.

  •• *Le Vif l'Express* a consacré un numéro spécial au sujet de la réouverture des mines en Europe (n° 38 du 20 septembre 2018).

- Le téléphone est-il un objet symbole de mondialisation ?

- Nous avons parlé de la phase d'extraction, de fabrication et de recyclage du téléphone. Dans la phase d'utilisation, qu'est-ce que le téléphone a apporté de positif dans nos sociétés ?

Sources des illustrations

- Figure 1 - ADEME, *Les impacts du smartphone*, août 2018, p. 2, graphique basé sur les chiffres de Gartner, International Data Corporation et Greenpeace
- Figure 2 – ADEME, *Les impacts du smartphone*, août 2018, p. 5.
- Figure 3 - Sénat français, Rapport « *100 millions de téléphones portables usagés : l'urgence d'une stratégie* », 27 septembre 2016, disponible sur http://www.senat.fr/rap/r15-850/r15-8501.html#toc21.
- Figure 4 - Sénat français, Rapport « *100 millions de téléphones portables usagés : l'urgence d'une stratégie* », 27 septembre 2016, disponible sur http://www.senat.fr/rap/r15-850/r15-8501.html#toc21.
- Figure 6 - ADEME, *Les impacts du smartphone*, août 2018, p. 5.
- Figure 7 : Van Ruymbeke Laurence, « Va-t-on rouvrir les mines en Wallonie ? », dans *le Vif l'Express*, n° 28, 20 septembre 2018.
- Figure 8 - Eurostat 2017
- Figure 8bis - Eurostat 2016
- Figure 9 – « Zoom sur l'économie circulaire », http://www.notreterre.org/2018/08/zoom-sur-l-economie-circulaire.html
- Figure 10 : Graedel T. E., Harper E. M., Nassar N. T., and Reck Barbara K., « On the materials basis of modern society », dans P.N.A.S., 2 décembre 2016, article disponible sur http://www.pnas.org/content/112/20/6295
- Figure 11 – « Définition de l'éco-conception », https://www.eco-conception.fr/static/definition-de-leco-conception.html
- Figure 12 -Arte, « Chères terres rares », *Le dessous des cartes*, http://ddc.arte.tv/nos-cartes/cheres-terres-rares
- Figure 13 - Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues.
- Figure 14 : CNUCED (conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement), Rapport complet *Coup d'œil sur les produits de base. Edition spéciale sur les terres rares*, n° 5, New-York et Genève, 2014, disponible en téléchargement à l'adresse : unctad.org/fr/PublicationsLibrary/suc2014d1_fr.pdf [page consultée le 1/9/2017].
- Figure 15 : CNUDEM, p. 25.
- Figure 16 : https://abcnews.go.com.
- Figure 17 : http://www.mining.com/web/cobalt-will-struggle-free-drc-andy-home/ à partir des données de USGS.
- Figure 18 : https://www.mediacongo.net/article-actualite-19555_mines_le_megaprojet_de_tenke_fungurume_mining_remis_en_question.html.
- Figure 19 : http://www.lavdc.net/portail/freeport-mcmoran-cede-une-mine-congolaise-a-un-groupe-chinois-pour-26-milliards-de-dollars/
- Figures 20 et 21 : https://www.collective-evolution.com/2016/02/02/watch-7-year-old-children-mining-cobalt-for-apple-microsoft-samsung-products/et https://partnersforsustainability.ch/cobalt-mining-linked-to-modern-slavery/
- Figure 22 : Amnesty, « Voilà pourquoi on meurt ». Les atteintes aux droits humains en République démocratique du Congo alimentent le commerce mondial du cobalt, 2015, disponible sur https://www.amnesty.org/download/Documents/AFR6231832016FRENCH.PDF, p. 46
- Figure 23 : http://www.manufacturingcleanenergy.org/images/blog-20160413-global_mining_map.jpg
- Figure 24 : Lithium Market Outlook 2017, Roskill Information
- Figures 26, 30 et 31 : Etienne Cremers
- Figure 27 : Le Figaro
- Figure 29 : Crédit E. Generalic et Outotec.
- Figure 32 : https://www.plateformesolutionsclimat.org/solution/recycler-le-cuivre-un-processus-vertueux-pour-une-production-durable/
- Figure 33 : Source : World Gold Council, 2012
- Figure 34: Thomson Reuters GFMS, World Gold Council

Une
MINE D'OR
dans
MA POCHE