

DOSSIER PÉDAGOGIQUE
à l'usage des enseignants du secondaire

Une
MINE D'OR
dans **MA POCHE**



Ateliers et
animations
destinés à
l'enseignement
secondaire

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/>



DOSSIER PÉDAGOGIQUE

à l'usage des enseignants du secondaire

Une **MINE D'OR** dans **MA POCHE**



A destination des professeurs
de **sciences**
de **géographie**
d'**histoire**
d'**E.D.M.**
de **sciences sociales et humaines**
de **morale**
de **religion**
de **citoyenneté**

Activités animées par la Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège,
Avec le soutien du laboratoire GeMMe de l'Université de Liège
Dans le cadre du projet européen RM@Schools

TABLE DES MATIERES



Who's who ?	page 06
Un dossier pédagogique à usage des professeurs.....	page 07
• Informations pratiques (visite du musée).....	page 07
• Objectifs généraux.....	page 07
• Visite du Musée.....	page 08
• Atelier.....	page 08
Objectifs propres à l'animation	page 09
• Savoir-faire.....	page 09
• Savoirs.....	page 09
Une expérience immersive : pourquoi ne pas visiter une entreprise ?.....	page 10
Des mines aux smartphones.....	page 12
• Questionnements préalables à la visite.....	page 12
• Pistes de réflexion.....	page 12
• Introduction.....	page 12
• Le saviez-vous ?.....	page 13
Quels éléments chimiques composent un téléphone mobile ? Pour quelles raisons les utilise-t-on ?.....	page 14
• Le concept de « sac à dos écologique », par Friedrich Schmidt-Bleek.....	page 15
• Le choix du matériau : un choix savant.....	page 16
D'où viennent les métaux ?	page 17
• Vocabulaire.....	page 17
• Transformation métallurgique.....	page 17
Impact de l'extraction : conséquences environnementales, sanitaires et humaines de l'extraction et de la fabrication d'un téléphone portable	page 18
• Le téléphone portable, un outil mondialisé : origine et transport des matières premières.....	page 19
• L'étain.....	page 20
Accès aux ressources : un enjeu stratégique - Quelles solutions pour les ressources ?.....	page 21
• L'exploitation des sous-sols européens.....	page 21

• Le recyclage	page 22
• La substitution.....	page 24
• L'écoconception.....	page 25
Glossaire	page 25
Bibliographie.....	page 26
• Vidéos et multimédia.....	page 27
Pour aller plus loin : exploitation en classe de thématiques	page 31
Terres rares, indispensables dans nos téléphones (caméra, vibreur et couleurs rouge/verte de l'écran).....	page 31
• Thématiques exploitables en classe.....	page 31
• Les terres rares : définition et utilisations	page 31
• Le monopole de la Chine.....	page 33
• « Matières premières critiques » : des préoccupations sur les réserves	page 35
• L'impact environnemental et sanitaire des terres rares	page 36
• Chaîne de production des terres rares.....	page 37
• Le recyclage des terres rares : une industrie en développement ?	page 37
• Sources et approfondissement.....	page 38
Les batteries : lithium et cobalt	page 40
• Le cobalt	page 41
• Le lithium.....	page 43
• Bibliographie.....	page 45
L'aluminium.....	page 46
• Parcours de l'aluminium	page 46
• Gestion des déchets de fabrication : les boues rouges.....	page 50
• Focus sur la catastrophe de Ajka (Hongrie).....	page 50
Le cuivre et l'or : de bons conducteurs pour les connexions électriques.....	page 52
• Le cuivre.....	page 52
• L'or	page 58
Des questions, sources d'exposés ?	page 60
Sources des illustrations.....	page 61



Le projet « Raw Matters Ambassadors at Schools » (RM@Schools) est un projet européen auquel participent des universités et des centres de recherche, parmi lesquels l'Université de Liège.

Dans ce cadre, les équipes de Réjouissances (ULiège), du laboratoire du Génie Minéral, Matériaux et Environnement (GeMMe – Faculté des Sciences appliquées – Uliège) et du service de médiation de la Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège (MMIL) proposent des dossiers pédagogiques, des visites et des ateliers à la MMIL ainsi des visites de laboratoire (GeMMe) ou d'entreprises axés sur le cycle de vie des matériaux, de l'extraction au recyclage.

WHO'S WHO ? :

- **The Raw Matters Ambassadors at Schools** (RM@Schools) consortium wants to elaborate a strategic planning of dissemination capacity and methodology to improve the image of science & technology in schools for students of 10-19 yrs explaining the value of raw materials while promoting new professional careers in this sector. The best practice examples will be used for two educational approaches, one targeting school students in the age of 10 to 13 yrs, the other one for 14-19 yrs students. An active learning will be proposed to schools by involving students in experiments with RM-related hands-on educational kits. 14-19 yrs students will be also involved in the dissemination of science by using both their native and the English language to become RM Ambassadors themselves (peer to peer education).
- **Réjouissances ULiège** est la cellule de diffusion des sciences et des techniques de l'Université de Liège. Réjouissances publie des ressources pédagogiques et organise, tout au long de l'année, des activités destinées tant aux écoles qu'au grand public (le Printemps des Sciences, les Doc'Cafés, la Nuit des Chercheurs...). - <http://www.gemme.ulg.ac.be/>
- **GeMMe ULiège** is a unique research group in Wallonia contributing to the development of innovative processes for an efficient management of mineral and metallic resources. Taking its roots in the traditional disciplines of mining, metallurgy and civil engineering, GeMMe experienced a deep mutation of its activities within the last ten years by making use of its know-how to unlock the values in industrial solid wastes, end-of-life consumers goods and complex georesources. <http://www.gemme.ulg.ac.be/>
- **La Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège** (MMIL) est un musée de patrimoine technique et industriel, situé dans une ancienne usine sidérurgique, en plein cœur du quartier du Longdoz.



UN DOSSIER PÉDAGOGIQUE

à l'usage des professeurs

Le présent dossier est conçu pour des élèves de secondaire, de la 3^{ème} à la 6^{ème}. Le niveau est adapté en fonction du niveau des élèves et des cours dans lesquels la visite prend place. Les activités et les questions soulevées dans ce dossier sont des pistes et des propositions pour exploiter la visite en classe. Il est laissé à l'appréciation des professeurs de choisir, d'ajouter ou de supprimer des activités, en fonction du projet et du public scolaire. La visite, l'atelier et les activités de ce dossier pédagogique peuvent être intégrés dans un projet plus global sur l'utilisation du GSM, son fonctionnement, son recyclage et ses conséquences sociétales. Nous nous attelons ici à découvrir le téléphone dans sa matérialité. Pourquoi ne pas soulever, en classe, les impacts positifs du téléphone sur les communications ou l'éducation ? Les problématiques soulevées touchent diverses disciplines et de nombreux domaines de compétences (sciences, géographie, histoire, E.D.M., sciences sociales et humaines, morale, religion, citoyenneté). Il est toujours possible d'adapter nos propositions à des projets pédagogiques spécifiques. Pour plus amples informations, vous pouvez prendre contact avec l'accueil de la Maison de la Métallurgie et de l'Industrie (info@mmil.be).

• Informations pratiques (visite du musée) •

Lieu : **Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège**

Durée : **2 heures** (visite + atelier GSM)

Max. **50 élèves par animation** (2 groupes de 25 élèves)

Tarifs : • l'entrée au musée et la visite guidée (à partir de 15 élèves) coûtent 4 euros par élève (6-18 ans) ou 4.5 euros par étudiant (18-26 ans).

• Par groupe de 15 élèves, l'entrée est offerte à un accompagnateur.

• Pour l'animation « Des mines aux GSM » un forfait de 30 euros par groupe est demandé en supplément

• Objectifs généraux •

L'équipe pédagogique de la Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège (MMIL) poursuit plusieurs objectifs. À travers la riche histoire industrielle de notre région, les animateurs de la MMIL entendent inciter les élèves à apprendre, agir et réagir face au quotidien et à l'actualité. Ils ont également pour mission de sensibiliser à la culture technique, scientifique et historique. Comprendre l'histoire industrielle de notre région, c'est comprendre ses enjeux, ses paysages, ses spécificités et sa richesse. C'est également être critique face à l'actualité. La MMIL se veut être un lieu d'échanges et de découvertes, qui permet de renforcer les savoirs et les savoir-faire dispensés dans l'enseignement.

Après la visite du musée (1 heure), les élèves, en groupes, sont amenés à mobiliser les connaissances acquises durant la scolarité ou dans leur vie quotidienne. Et comment mieux inciter l'action et la réflexion des jeunes qu'en partant d'un objet choyé et côtoyé au quotidien : le smartphone ? Cette animation, par les thèmes qu'elle renferme, aborde des questions centrales de société : l'impact environnemental de la consommation, les problèmes sociétaux de l'exploitation de certaines

ressources, l'énergie nécessaire à la transformation métallurgique, la provenance des matières premières, les enjeux du recyclage. En développant la question du cycle de vie de certains matériaux (ici, des métaux), à travers le cas du téléphone mobile, cette séquence devrait permettre aux étudiants de comprendre que les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), contiennent des métaux et des composants valorisables issus des quatre coins de la planète et qui pourraient être recyclés et réutilisés dans d'autres produits. Ainsi, les téléphones mobiles ne peuvent pas être jetés à la poubelle, mais doivent se retrouver dans des conteneurs spécifiques destinés aux DEEE en fin de vie.

Au terme de cette animation, les professeurs sont invités, par des pistes de réflexion proposées dans ce dossier, à continuer la discussion pour aiguïser l'esprit critique des élèves. En outre, nous attendons de cette animation qu'elle encourage les élèves à se forger une opinion citoyenne face à la société de consommation qui les entoure, à comprendre l'impact réel, environnemental et sociétal, de notre consommation, à donner des clés de compréhension, à s'interroger sur la provenance des objets de notre quotidien et leur recyclage.

Ces interrogations seront nourries par de nouveaux savoirs, acquis par l'expérience et la réflexion personnelle. Ainsi, les ateliers proposent différentes manipulations qui rendent les élèves acteurs de leur apprentissage : analyse des minerais, identification des matières premières, utilisation d'un microscope, etc.

• Visite du Musée •

La Maison de la Métallurgie et de l'Industrie de Liège est un musée de patrimoine technique et industriel, situé dans une ancienne usine sidérurgique, en plein cœur du quartier du Longdoz. Le discours des animateurs est richement illustré par les collections de la Maison de la Métallurgie, pour que chacun puisse comprendre et apprendre. Dans le cas de l'animation « Des mines aux *smartphones* », le propos est centré sur la transformation des matières premières en matières valorisables (métaux et plastiques).

La « Vieille forge à la wallonne » permet de comprendre la transformation métallurgique spécifique des minerais de fer en fer, grâce à la découverte du plus haut vieux-fourneau conservé en Belgique (1693) et du foyer d'affinage. La salle du zinc aborde un tout autre procédé métallurgique, mis au point dans nos régions, répondant aux spécificités du zinc. Enfin, la salle du pétrole permet d'évoquer un autre type de transformation : celle du pétrole en plastique, très présent dans nos téléphones portables. Cette visite d'une heure pose les jalons de compréhension, indispensables à l'atelier de démontage et d'analyse d'un téléphone.

• Atelier •

Quels sont les éléments contenus dans nos smartphones ? À quoi servent-ils ? Sous quelle forme les trouve-t-on dans la nature ? Quelles ressources naturelles ont dû être exploitées ? Comment ? Et dans quels pays/régions ? Que devient mon téléphone une fois jeté ?

Toutes ces questions constituent la base de la réflexion de l'atelier d'une heure. Le cycle de vie des matériaux, de l'extraction au recyclage est retracé à partir du démantèlement d'un téléphone. Les élèves sont amenés à trier les ressources et les minerais. Cet atelier est également l'occasion de poser les bases d'une réflexion sur l'impact sociétal et environnemental de notre société de consommation.



OBJECTIFS PROPRES à l'animation

• Savoir-faire •

- Éveiller la curiosité par la science et la technologie
- Comprendre par l'expérience
- Susciter la réflexion sur l'impact sociétal et environnemental de nos habitudes de vie et de consommation
- S'initier à la démarche scientifique
- Conscientiser les élèves face à l'impact de l'accumulation de DEEE et aux défis technologiques du recyclage
- Analyser un thème à travers diverses disciplines

• Savoirs •

- Analyse de l'évolution historique des activités industrielles wallonnes, en lien avec l'exploitation des matières premières : des ressources locales aux ressources mondiales
- Découverte de la transformation des matières premières (plastiques et métaux) : technologie et histoire
- Étude des composants d'un GSM
- Analyse géologique et minéralogique des composants indispensables à la fabrication d'un GSM
- Découverte du recyclage des matières premières : ses avantages et ses limites
- Familiarisation avec le tableau de Mendeleïev
- Géopolitique des ressources et les flux d'échanges des matières



UNE EXPÉRIENCE IMMERSIVE :

pourquoi ne pas visiter une entreprise ?

En partenariat avec la Cité des Métiers de Liège, Réjouissciences propose aux enseignants et à leurs élèves une sélection de visites d'entreprises en lien avec la fabrication et/ou le recyclage d'éléments métalliques.

Ces visites, actives et structurées, sont supervisées par des professionnels et adaptées aux différents publics cibles visés afin de répondre à leurs attentes. Par ailleurs, certaines entreprises proposent des dossiers pédagogiques qui permettent à l'enseignant de préparer au mieux sa visite.

Cette sélection, organisée selon le public-cible, est issue du catalogue de la Cité des Métiers de Liège.

CBR Lixhe (dossier pédagogique)

Rue des 3 Fermes - 4600 Visé

www.cbr.be

L'usine CBR de Lixhe est une usine intégrée au processus de fabrication complet, de la matière première au produit fini. L'usine fabrique 2 produits différents : le clinker et le ciment. Le clinker est en fait destiné à la production du ciment. Les différents départements de production, la maintenance et le laboratoire sont impliqués tout au long du processus de fabrication pour assurer la sécurité des opérations, l'efficacité des outils, la qualité des produits et la préservation de l'environnement.

prêt à porter, l'ameublement ainsi que la broderie. L'entreprise possède un atelier Sérigraphie et sont spécialisés dans l'impression textile et numérique, la sublimation ainsi que la tampographie.

Val du Geer Ans

Rue des Français, 60 - 4430 Ans

www.valdugeer.be

Située sur le site d'exploitation d'Ans, la section Métal exerce ses activités avec une équipe de 6 employés et de 35 ouvriers présents pour répondre aux besoins des clients (la découpe, le pliage, le poinçonnage, le cintrage, le soudage et la peinture). Ils travaillent tous types d'aciers tels que : l'acier ordinaire, l'acier galvanisé, l'acier inoxydable, l'aluminium etc... La section confection se trouve également sur le site d'Ans : vêtement de travail, vêtement hospitalier,

Advanced Coating

Rue de l'Avouerie, 7 - 4000 Liège

www.advanced-coating.com

Advanced Coating est spécialisée dans la conception et la réalisation de revêtements par projection à froid, arc, plasma et supersonique de métaux, alliages, céramiques et carbures sur pièces mécaniques.

Elle réalise également tous travaux de rectification plane, cylindrique et de superfinition. Advanced Coating commercialise et assure le service après-vente d'appareils de mesure exclusifs.

Arceo (dossier pédagogique)

Rue Sompré - 4400 Yvos-Ramet

www.arceo-eng.com

Arceo est une filiale du groupe ArcelorMittal, active dans le domaine du recouvrement de l'acier. Arceo est la seule ligne sidérurgique au monde équipée d'un module de re-

vêtement sous vide. Arceo se concentre sur la production et la vente de produits recouverts (« coatings »). Elle est spécialisée dans le revêtement de bandes de métal pour les marchés niches à haute valeur ajoutée. Arceo a pour objectif premier de tester et de positionner la nouvelle technologie grâce à son module de déposition sous vide (technologie PVD). Toutefois, elle peut également produire des revêtements traditionnels, via deux autres modules de production, afin d'assurer une continuité de la production. Arceo a donc essentiellement un objectif d'expérimentation, de développement industriel et de développement commercial de nouveaux produits. Elle est très active dans le domaine des développements de nouveaux revêtements et propose à la vente de nombreux produits innovants comme des surfaces à nettoyabilité améliorée (pour réaliser des façades à esthétique durable), des absorbeurs solaires (pour fabriquer des capteurs solaires thermiques), des réflecteurs (pour les luminaires de bureaux), des surfaces esthétiques haut de gamme, ...

Sirris (dossier pédagogique)

Rue du Bois Saint-Jean, 12 - 4102 Seraing
www.sirris.be

Sirris est le centre de recherche collectif de l'industrie technologique belge. Depuis plus de soixante ans, Sirris aide les entreprises à concevoir des innovations technologiques, à les tester et à les mettre en œuvre. Outre une

riche expérience et un vaste réseau, Sirris met également à leur disposition une infrastructure à la pointe du progrès.

Steel Coat Europe (dossier pédagogique)

Avenue du Progrès, 26 - 4430 Alleur
<http://ds.arcelormittal.com>

Steel Coat Alleur est le spécialiste du parachèvement de bobines pré-peintes dans le groupe Arcelor Mittal, groupe sidérurgique mondial. Elle dispose de deux lignes de refendage et de deux lignes de déroulage. En 2012, Steel Coat Europe a expédié 43,1 milliers de tonnes pour un chiffre d'affaire de 29,1 millions d'euros.

Ses clients principaux sont dans le secteur de l'électroménager, du bâtiment (plafonds, portes de garage, luminaires) et de l'électronique (dos et parties centrales de TV).

Ses clients sont répartis au Benelux et partout en Europe, y compris en Europe de l'est.

L'opération de refendage consiste à couper une bobine dans le sens de la largeur pour en faire des parties appelées bobines filles qui sont des multiples de la bobine mère. L'opération de déroulage consiste en la découpe de bobines en tôles planes qu'on empile.

Contacts et inscriptions :

Réjouisciences

sciences@uliege.be

Tél. : +32 (0)4/366 96 96



DES MINES AUX SMARTPHONES



• Questionnements préalables à la visite •

Préalablement à la visite, il peut être utile d'interroger les élèves sur leurs représentations mentales par rapport au sujet de la visite. Les réflexions pourront être confrontées aux opinions développées après la visite. Vous pourrez faire le bilan : les préconceptions ont-elles changé ? Subsiste-t-il encore des questionnements ? Y a-t-il une prise de conscience de la part des élèves ?

• Pistes de réflexion •

- Depuis combien de temps avez-vous un téléphone portable ?
- Combien de temps gardez-vous votre téléphone avant de le changer ? Calculez la durée de vie moyenne d'un téléphone selon votre usage...
- Quelles sont les raisons qui vous incitent à changer de téléphone ?
- Quelles matières sont présentes dans un téléphone ? Avez-vous une idée de la quantité (masse) de matières premières qui doivent être exploitées pour un seul téléphone ?
- À votre avis, combien de matières premières différentes entrent dans la composition d'un smartphone ? D'où viennent ces matières ?
- À votre avis, peut-on considérer le smartphone comme un produit mondialisé ?
- Quelle est la phase du cycle de vie du téléphone (extraction et transformation des ressources, fabrication, transport, utilisation, recyclage) la plus polluante ?

• Introduction •

Les téléphones portables ne nous quittent plus, nous en sommes accros ! Quotidiennement, ils rythment notre journée : beaucoup commencent la journée en l'allumant et la finissent en y jetant un dernier coup d'œil avant de s'endormir. Il s'en vendrait, à travers le monde, près de cinquante par seconde ! 1,4 milliards de smartphones ont été vendus en 2015, toutes marques confondues, soit une hausse de 14% par rapport à l'année précédente. En 2016, la hausse est moins impressionnante : 1,47 milliards de téléphones ont été achetés. En moyenne, les adultes changent de téléphone tous les 18 mois ; les jeunes tous les 10 mois. Des chiffres qui donnent le tournis, non ?



*Source : baromètre du numérique 2016, CREDOC

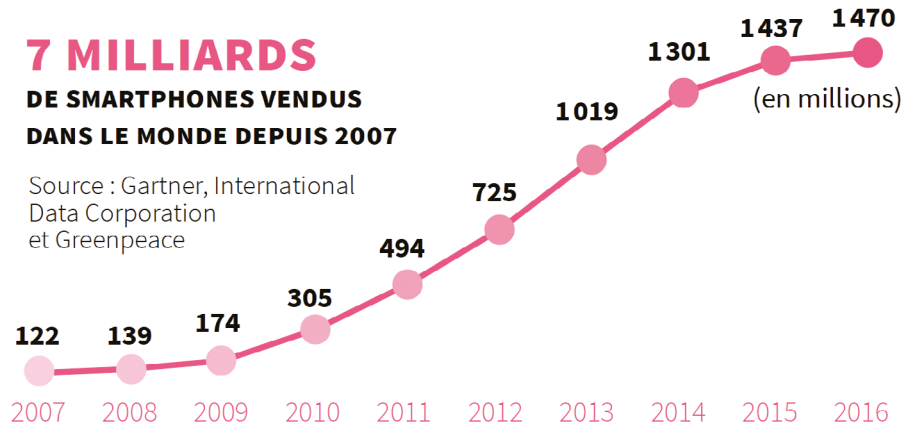


Figure 1 – Nombre de smartphones vendus dans le monde depuis 2007

Pourtant, la fabrication d'un GSM nécessite de grandes quantités de matières premières et engendre une importante production d'énergie (grise), pour l'extraction, le transport, la fabrication et l'utilisation. Baignant quotidiennement dans un univers d'abondance, nous oublions d'où proviennent les ressources naturelles à l'origine de nos biens de consommation. Au cours de la visite et de l'atelier à la MMIL, l'animateur mène les élèves à la découverte des matières premières utilisées dans cet objet du quotidien. Disséquons-le, observons-le, étudions-le : il renferme des matériaux insoupçonnés, souvent exploités à l'autre bout du monde ! Partons à la découverte des tréfonds du *smartphone*...

* Le saviez-vous ?

L'invention du téléphone portable remonte à la fin des années 1960 aux USA. Elle a été possible grâce à des technologies radio mises au point dans la première moitié du XX^e siècle. L'inventeur, Martin Cooper, directeur général de la division communication chez Motorola, passe le premier appel téléphonique de l'histoire depuis un téléphone portable en 1973. Dix ans plus tard, le téléphone portable est commercialisé pour la première fois. L'appareil est imposant : 25 centimètres de haut, sans compter l'antenne, et près d'un kilogramme.

Autant dire qu'il n'est pas facile de le glisser dans sa poche ! L'autonomie était de 60 minutes en communication mais la batterie nécessitait pas moins de 10 heures de charge ! Le prix ? La bagatelle de 3499 dollars US !



[7. Cooper]

QUELS ÉLÉMENTS CHIMIQUES

composent un téléphone mobile ?

Pour quelles raisons les utilise-t-on ?

Plusieurs matières contenues dans les téléphones portables nous sont connues, soit parce qu'elles sont banales (le plastique utilisé pour les coques, par exemple), soit parce qu'elles font souvent la Une des informations pour des raisons environnementales (comme le lithium de la batterie) ou sociétales (comme le cobalt de la batterie). Lorsque l'on fait le compte, c'est près de la moitié des éléments présents dans le tableau périodique – ou tableau de Mendeleïev – qui compose nos téléphones !

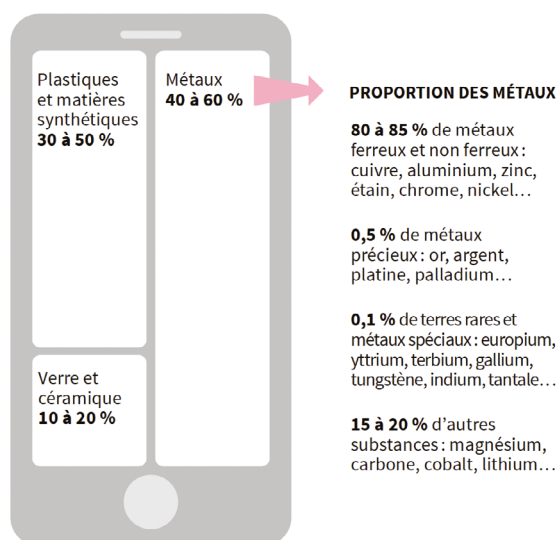
A côté des métaux abondants ou relativement abondants, comme le fer ou l'aluminium, certains métaux utilisés dans les téléphones mobiles sont rares voire critiques : l'indium, le cobalt, le tantale, l'étain, le gallium et le germanium. Bien que ces éléments soient présents en quantité limitée dans les appareils, ils n'en restent pas moins indispensables et irremplaçables actuellement. Les métaux du groupe du platine (palladium, argent, or et platine) jouent également un rôle important dans la production d'un GSM. Ils sont en outre les matériaux les plus précieux de nos téléphones mobiles.

Les téléphones portables ont évolué ces dernières années vers des smartphones plats, légers et hautement technologiques, avec une multiplicité de fonctionnalités. L'évolution de ces technologies accroît le besoin et la demande en métaux. Une quarantaine de métaux différents sont nécessaires pour fabriquer un smartphone, soit deux fois plus qu'un téléphone portable de l'ancienne génération¹ ! De manière générale, la consommation des métaux a évolué. En l'espace de 20 à 30

ans, nous avons triplé le nombre de métaux différents que nous utilisons pour nos applications industrielles. En outre, les alliages sont de plus en plus complexes, ce qui complique le recyclage.

Pour accéder à ces matières et fabriquer notre téléphone, il faut brasser une énorme quantité de ressources minérales, extraites aux quatre coins du globe. À titre indicatif, la matière mobilisée pour produire, utiliser et éliminer un seul téléphone est évaluée à 70 kilogrammes par le chimiste Friedrich Schmidt-Bleek, pionnier dans les débats sur la durabilité environnementale et l'utilisation rationnelle des ressources. Cette masse, appelée également « sac à dos écologique », correspond à environ 600 fois le poids d'un smartphone !

RÉPARTITION DU POIDS DES MATÉRIAUX DANS LA COMPOSITION D'UN SMARTPHONE



Source : Oeko-Institut, EcoInfo et Sénat

Figure 2 – Répartition du poids des matériaux dans la composition des téléphones portables

1. A.D.E.M.E. (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) ET FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT, *Les impacts du smartphone. Un téléphone pas si « smart » pour l'environnement*, août 2018, p. 5 : on parle même de 70 matériaux et de 50 métaux différents.

Figure 4 – Tableau périodique – éléments présents dans un téléphone portable

Figure 4 – Tableau périodique – éléments présents dans un téléphone portable

* Le concept de « sac à dos écologique », par Friedrich Schmidt-Bleek

« Pour fabriquer un produit, vous avez besoin de matières premières et d'énergie. Prenez une voiture, par exemple. De nombreuses matières premières, issues de différents pays, doivent être mobilisées dans la nature, extraites, traitées, transportées et finalement transformées en milliers de différents composants nécessaires à la construction du véhicule. De la même manière, pour produire de l'énergie, vous devez utiliser des matériaux comme l'acier, le cuivre, le pétrole et le sable, même dans le cas de l'énergie solaire. À chaque étape de ce processus, qui débute dans la nature et aboutit au produit fini, des déchets sont produits. C'est ce que j'appelle le sac à dos écologique. Ce sac à dos a tendance à être 30 fois plus lourd que le produit lui-même. C'est un phénomène irréfléchi, immodéré et qui constitue – d'un point de vue technique – un pillage inutile de notre planète.² »

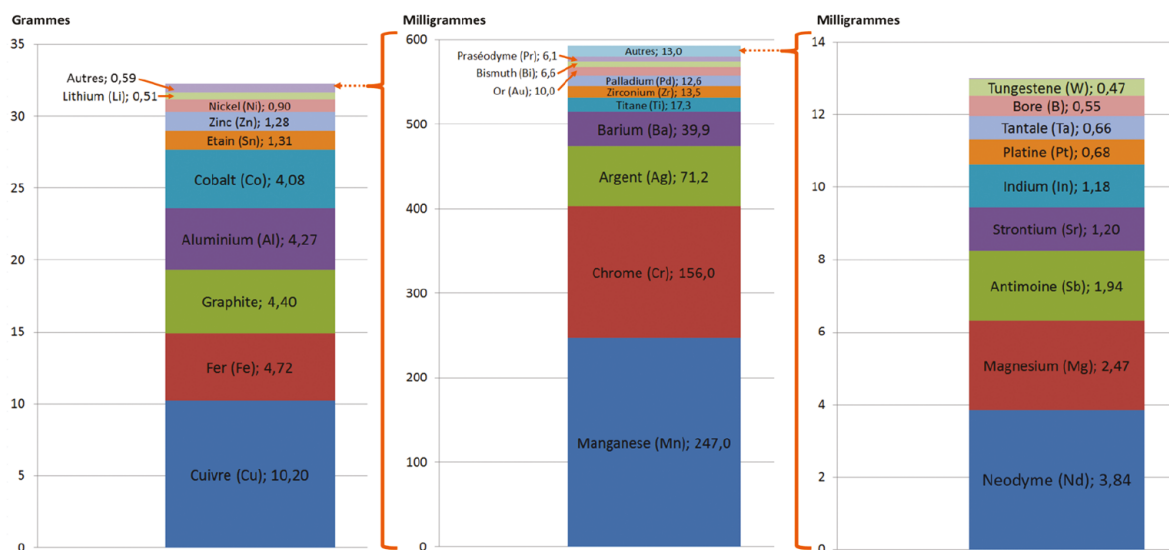


Figure 3 – Répartition du poids des métaux dans la composition des téléphones portables

2. SCHMIDT-BLEEK Friedrich, Interview « Le lourd fardeau que représente l'utilisation irrationnelle des ressources », disponible sur 4 novembre 2015, disponible sur https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/experts-interviews/friedrich-schmidt-bleek_fr [page consultée le 20/8/2018].

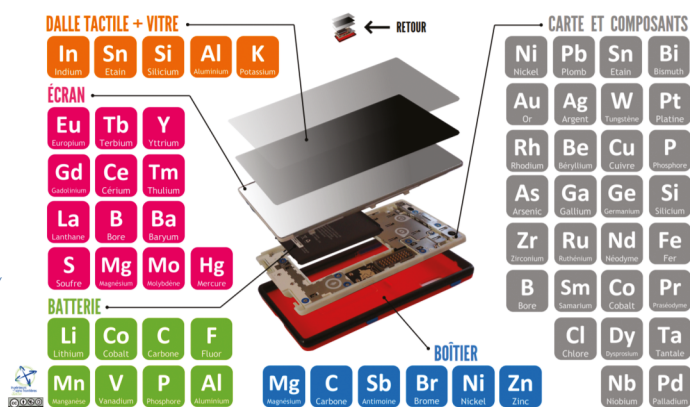
• Le choix du matériau : un choix savant •

Les concepteurs ne choisissent pas les matières au hasard : elles sont définies en fonction de leurs propriétés. Pour booster les propriétés naturelles de certaines matières, les concepteurs mettent au point des alliages particuliers. La petite quantité de certains métaux et la complexité des alliages rendent la plupart des métaux difficiles à recycler.

Nous connaissons les propriétés de certains des métaux utilisés : l'aluminium permet de fabriquer un boîtier léger et solide ; le cuivre est un excellent conducteur utilisé dans les câblages électriques et dans les circuits imprimés. En électronique, les fabricants ajoutent au cuivre purifié des traces de silicium, ce qui a pour effet de doper la conductivité électrique. Mais d'autres métaux, comme le lithium, l'indium ou le cobalt par exemple, nous sont beaucoup moins familiers. Ils sont pourtant indispensables au bon fonctionnement du téléphone. La batterie Li-ion 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 ». Dans l'écran, qui contient une grande quantité de matières différentes, on trouve des terres rares (europium, yttrium, terbium, gallium...) pour les cristaux liquides et les luminophores ou encore l'indium, métal mal-léable très rare, transparent en couche mince, qui constitue les électrodes transparentes des écrans à cristaux liquides (LCD).

🔍 Pour aller plus loin...

Nous vous invitons à vous rendre sur le site des **INGÉNIEURS SANS FRONTIÈRES**, véritable mine d'informations. Ils ont notamment mis au point une animation appelée *Des métaux dans mon smartphone ?* qui offre une fiche de présentation de tous les métaux contenus dans un téléphone portable [disponible sur <http://www.isf-systext.fr/sites/all/animationreveal/mtxsmp/#/1>]. Les fiches permettent de continuer en classe l'approche entamée lors de l'atelier à la MMIL.



D'OU VIENNENT LES MÉTAUX ?

Les roches qui forment l'écorce terrestre contiennent différents minéraux. Quand un morceau de roche contient une grande quantité d'un minéral et qu'il est valorisable économiquement, on l'appelle un minerai : minerai de fer, de zinc, de plomb... L'extraction du minerai se fait dans des mines creusées en profondeur, à flanc de coteau ou à ciel ouvert. Pour extraire de la roche les particules de métal qu'elle contient, on fait subir au minerai une transformation métallurgique destinée à séparer le métal des autres éléments. En effet, une des principales caractéristiques des métaux est leur tendance naturelle à s'associer chimiquement à d'autres éléments, souvent l'oxygène, parfois le soufre – la plupart des minerais métalliques sont des oxydes ou des sulfures. Dans de rares cas, le métal se trouve à l'état « natif » dans la nature, c'est-à-dire pur, non lié chimiquement.

Vocabulaire

Roche : rassemblement naturel de minerais

Minerai : substance solide, formée dans un environnement naturel, qui est exploitable économiquement de nos jours. Selon les développements techniques, l'évolution du marché et le temps, une roche peut devenir un minerai (exploitable économiquement) ou le minerai en question peut se transformer en roche (inexploitable économiquement).

Dépôt : concentration d'un minerai exploitable économiquement de nos jours, ou tout simplement, un endroit où le minerai est trouvé en concentration anormalement haute.

• Transformation métallurgique •

Le rôle de la transformation métallurgique du minerai est d'extraire le métal de la roche stérile et de le purifier. Les minerais passent habituellement par plusieurs étapes (1) la réduction de la taille du minerai, (2) le procédé physico-chimique pour séparer le minéral valorisable de la roche, et (3) la transformation de ce minéral en métal.

Pour aller plus loin...

Dans la deuxième partie de ce dossier pédagogique, vous trouverez une analyse de la transformation métallurgique de l'aluminium et du cuivre (cf. p.47 et p.53).



IMPACT DE L'EXTRACTION :

conséquences **environnementales, sanitaires et humaines**
de l'extraction et de la fabrication d'un téléphone portable

Les matériaux qui composent nos téléphones portables et tout autre élément électronique (tablette, ordinateur, ...) sont diversifiés. 52 des 118 éléments du tableau périodique sont utilisés pour construire nos téléphones. Chaque ressource pose son lot de problèmes, de dangers et d'enjeux³.

Les matières premières doivent être transformées pour obtenir les composants. Cette transformation exige une quantité d'énergie importante : de l'ordre de 2 à 3 % de l'énergie produite dans le monde. Le cycle de vie d'un téléphone portable (extraction des matières premières, fabrication, transport, utilisation et fin de vie) a de lourds impacts environnementaux, sociaux et sanitaires. L'épuisement des ressources, l'émission de gaz à effet de serre et les atteintes à la biodiversité à cause des rejets toxiques dans l'environnement sont les principaux impacts relevés. La lourde empreinte environnementale des téléphones portables est principalement due à l'extraction des minerais nécessaires pour produire les métaux présents dans le téléphone. L'exploitation des mines est responsable de la destruction d'écosystèmes et de pollutions (eau, air et sol). La fabrication d'un *smartphone*, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'assemblage final, constitue $\frac{3}{4}$ de ces effets néfastes sur l'environnement. L'écran, certaines fonctions spécifiques (GPS, la haute définition de l'appareil photo et de la caméra,...) et les composants électroniques complexes, tels les microprocesseurs, sont les composants les plus gourmands en matières premières et en énergie. La distribution et l'utilisation du *smartphone* constituent le $\frac{1}{4}$ restant des facteurs nuisibles, à répartir entre l'énergie pour le transport et la production d'électricité.

En outre, l'extraction de certaines matières, comme le cobalt, pose des questions éthiques. À côté des exploitations industrielles qui alimentent 80% du marché, l'attrait pour ces matières pousse une partie de la population à extraire de manière artisanale des mines ou à trier les minerais jetés par les entreprises. Cette exploitation clandestine représente environ 20% des exportations de cobalt de la RDC.

L'absence de structures et de sécurité pour ces travailleurs rend les conditions de vie et de travail pénibles et dangereuses. Le travail des enfants est une réalité dans ces mines clandestines. Certains minerais, appelés communément « minerais du conflit » ou « minerais de sang », sont extraits dans des territoires confrontés à des conflits armés. Cette exploitation est souvent contrôlée ou protégée par des groupes armés. Les revenus tirés de ces activités participent à l'entretien du conflit, aux dépens de la population locale. Quatre matières premières sont ainsi susceptibles d'être des minerais de conflit : le tantale, l'étain, le tungstène et l'or⁴.

³ Nous vous invitons à aller voir les infos complémentaires sur les terres rares, le lithium et le cobalt à la fin de ce dossier pédagogique (cf.p.40).

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> [page consultée le 21/6/2018].

• Le téléphone portable, un outil mondialisé : origine et transport des matières premières •

Le chemin est long depuis l'extraction du minéral jusqu'au produit fini. En effet, les 52 éléments présents dans le téléphone portable proviennent des quatre coins du monde. On estime qu'une quarantaine de sites d'extraction situés aux quatre coins de la planète sont nécessaires pour extraire les éléments que l'on utilise dans un *smartphone*. Aucune des matières utilisées dans les téléphones portables n'est significativement produite en Europe. La production des vingt ressources classées comme « critiques » par l'Union européenne est concentrée dans un nombre très limité de pays. Le poids de la Chine est considérable pour certaines matières présentes dans la composition des téléphones portables dont elle assure la majorité, voire la totalité, de la production : antimoine, gallium, indium, terres rares, tungstène.

QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE

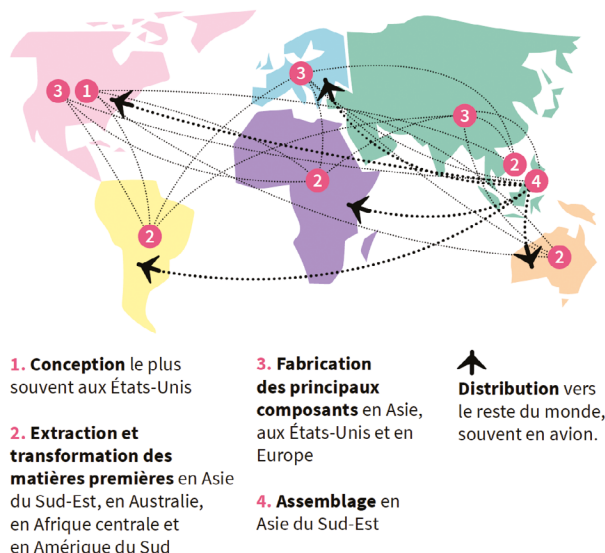


Figure 15 – Le trajet des matières et des produits à travers le monde : 4 tours du monde pour un smartphone



🔍 Pour aller plus loin...

L'US geological Survey propose, en ligne, des fiches actualisées chaque année, avec les provenances des matières premières (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>). Les professeurs désireux de faire calculer à leurs élèves l'impact du transport des matières principales présentes dans les téléphones portables peuvent confronter les fiches de l'US Geological Survey avec les métaux utilisés dans la fabrication (Figure 3 - Rapport du Sénat français, Rapport 100 millions de téléphones portables usagés - source Orange, réponse au questionnaire transmis par votre rapporteure). Les élèves peuvent alors rapporter, sur une carte du monde, le trajet des principaux métaux utilisés dans un téléphone portable (cuivre, or, étain, indium, lithium, cobalt, terres rares, aluminium, fer, plomb,...).

• L'étain •

L'étain est un élément rare et l'un des plus vieux connus, au moins depuis l'Antiquité. Ce métal gris argenté est, avec le cuivre, l'un des ingrédients du bronze.

La bonne résistance de l'étain le fait employer comme revêtement anticorrosion pour le fer et le cuivre : c'est l'étamage. Ainsi, la moitié de la production sert à étamer l'acier doux pour obtenir le fer-blanc (utilisé pour les boîtes de conserve par exemple). Cette opération a lieu dans un bain électrolytique de chlorure ou de sulfate. Dans les téléphones portables, l'étain est utilisé pour souder les composants de la carte électronique. Ce sont les « petites pattes » grises que l'on voit sur la carte⁵.

Pour aller plus loin...

2 sources peuvent permettre d'approfondir la thématique de l'étain :

- <https://www.arte.tv/fr/videos/058860-008-A/product/> : la face cachée de la mondialisation à travers les produits de consommation courante. Dans cet épisode, Product dévoile en Indonésie, en Chine et en Corée du Sud les coulisses de l'exploitation de l'étain, composant présent dans les puces de nos téléphones portables, pour témoigner des conditions déplorables de production de ce métal et de leur impact sur l'environnement.
- LES AMIS DE LA TERRE, Mining for smartphones : le véritable coût de l'étain, rapport disponible sur <http://www.amisdelaterre.org/Enquete-sur-les-mines-d-etain.html> [page consultée le 10/9/2018]



⁵ LES AMIS DE LA TERRE, « Pour une étude sur l'étain et l'impact de son exploitation en Indonésie, voir Enquête sur les mines d'étain : Bangka, une île paradisiaque d'Indonésie, menacée par la production de smartphones », disponible sur <http://www.amisdelaterre.org/Enquete-sur-les-mines-d-etain.html> [page consultée le 10/9/2018]

⁶ Les matières critiques définies par l'Union européenne sont : l'antimoine, le béryllium, le cobalt, le spath fluor, le gallium, le germanium, l'indium, le magnésium, le graphite naturel, le niobium, les métaux du groupe platine, les terres rares lourdes, les terres rares légères et le tungstène (liste de 2011) ainsi que le borate, le chrome, le charbon à coke, la magnésite, la roche phosphatée et le silicium métal (liste de 2014). Vous pouvez confronter cette liste au tableau périodique avec vos étudiants mettant en évidence les matières présentes dans un téléphone portable. Pour les matières, voir 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].

L'ACCES AUX RESSOURCES : UN ENJEU STRATÉGIQUE

Quelles solutions pour les ressources ?

Avec la percée des nouvelles technologies, notre besoin en minerais a augmenté de 300% en 30 ans et les prévisions annoncent une augmentation encore plus forte dans un avenir proche.

Cette exploitation intensive génère l'appauvrissement des sols, la pollution et le traumatisme des écosystèmes. Ces matériaux étant non-renouvelables, les réserves de ces ressources s'amenuisent.

L'accessibilité aux matières premières constitue donc un enjeu stratégique pour le développement de l'industrie européenne puisque l'Europe est extrêmement dépendante d'autres parties du monde pour son approvisionnement. L'Europe consomme 20% de métaux et n'en produit environ que 3%. Actuellement, nous nous approvisionnons principalement dans les pays du Sud, bien que des mines subsistent encore en Europe.

En 2014, l'Union européenne a actualisé une liste des matières premières critiques datant de 2011, amenant à 20 le nombre de matières pour lesquelles un risque de pénurie d'approvisionnement est élevé, notamment en raison de l'adoption de mesures environnementales par les pays exploitants. Parmi ces matières premières critiques, la plupart sont utilisées dans un téléphone portable⁶.

Plusieurs pistes sont préconisées :

- Le développement de la recherche minière
- Le recyclage des produits
- La substitution
- L'éco-conception

• L'exploitation des sous-sols européens •

Pour réduire sa dépendance, l'Union européenne incite à explorer et à exploiter à nouveau les sous-sols européens⁷. Récemment, le projet d'ouverture d'une mine de néodyme en Espagne (Torrenueva) a été le théâtre de vives oppositions. Cette ouverture constitue, pour certains, un enjeu commercial et géopolitique de taille alors qu'il n'existe actuellement aucune exploitation en Europe ; pour d'autres, elle constituerait un désastre écologique⁸.

En Belgique, plusieurs études ont été lancées en 2010 pour évaluer le potentiel d'exploitation des sous-sols wallons. Un service géologique de Wallonie a été créé en 2013 pour estimer l'étendue des richesses du sous-sol suite à l'intérêt de groupes internationaux⁹. Le gouvernement wallon et son ministre de l'environnement, Carlo di Antonio, planchent sur

⁷ Sur ce sujet, voir dernièrement DUQUENNE Géraldine, « Le retour des mines en Europe, une réalité ? », dans *Analyses Etopia* (Centre d'animation et de recherche en écologie politique), juillet 2017 [Disponible sur <http://www.etopia.be/spip.php?article3220> - page consultée le 16/7/2018].

⁸ Sur la réouverture des mines et les pistes pour arrêter sa dépendance aux métaux rares, voir *Vif l'Express, Réouvrir les mines en Europe*, n° 38, 20 septembre 2018.

⁹ VAN RUYMBEKE Laurence, « Va-t-on rouvrir les mines en Wallonie ? », dans le *Vif l'Express*, n° 28, 20 septembre 2018.

LES MINES ACTIVES EN EUROPE

Hors charbon, à la fin 2015.



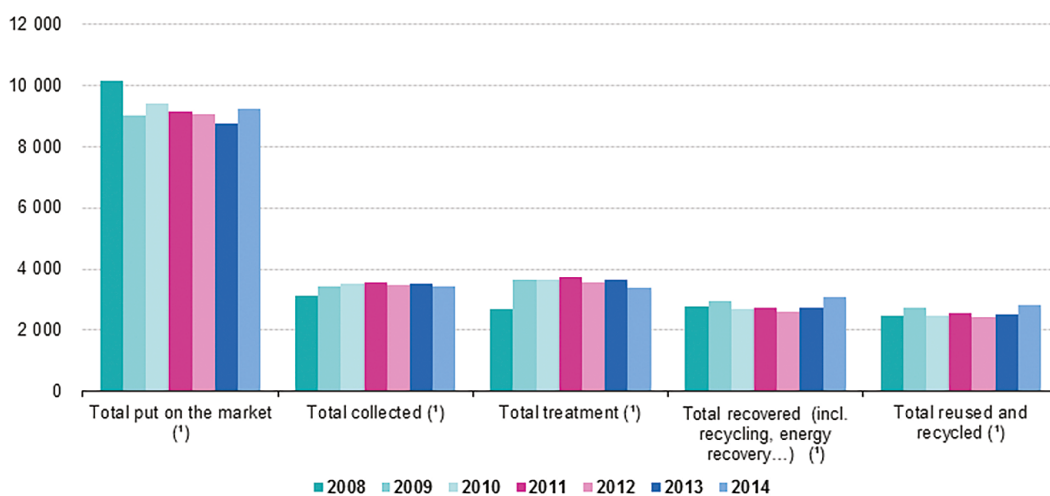
Figure 7 : Mines actives en Europe (fin 2015)

un nouveau code minier, qui devrait être voté au parlement fin 2018.

Nos sous-sols renferment toujours du charbon, des gisements de gaz provenant des mines de houille, du plomb et du zinc du côté de Liège, d'Andenne et des cantons de l'Est. La société WalZinc a introduit une demande pour faire des recherches de minerais non-ferreux. Ce permis n'a pas abouti, en raison de vices de procédure.

• Le recyclage •

Aujourd'hui, en Europe et dans le monde, des millions de téléphones mobiles sont utilisés, mais combien d'entre eux sont recyclés et réutilisés plutôt que d'être jetés à la poubelle ? La figure 13 met en regard la quantité d'équipement électrique et électronique mis sur le marché européen et la quantité de DEEE (*déchets d'équipements électriques et électroniques* ; exemples : ordinateurs, télévisions, jeux électriques, réfrigérateurs, lampes, machines à laver, etc.) collectés et traités. La figure 14 représente le nombre de DEEE recyclés et réutilisés dans plusieurs pays européens entre 2005 et 2014. Certains pays enregistrent une hausse substantielle du taux de recyclage alors que celui-ci reste plutôt bas et constant dans d'autres pays.



(1) 2014: estimate for Cyprus

Figure 8 : Quantité annuelle, en tonnes, d'équipement électrique et électronique mis sur le marché européen et de DEEE recyclés dans l'Union européenne

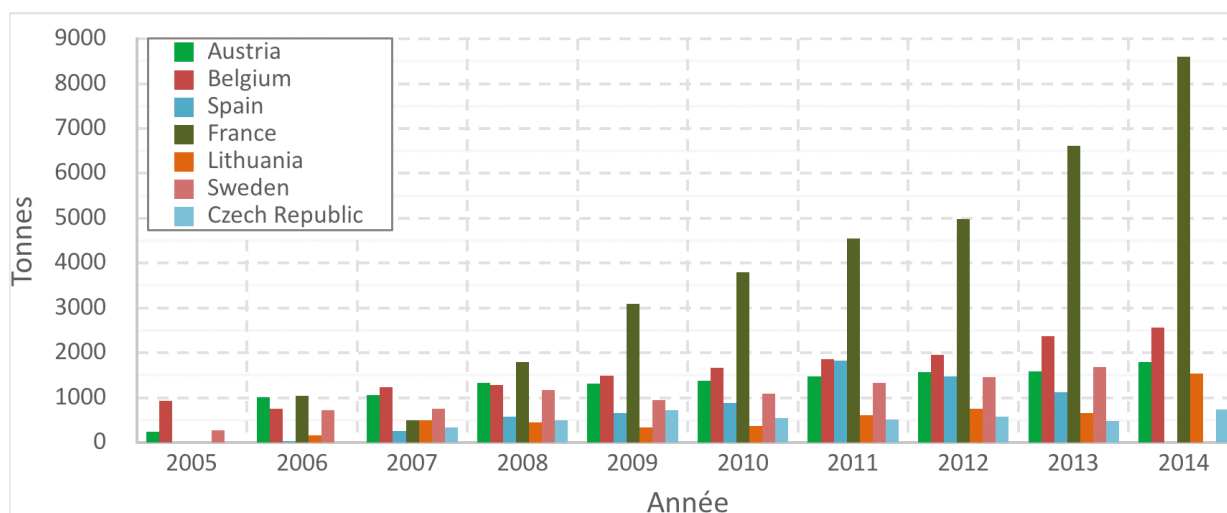


Figure 8bis - Quantités totales annuelles, en tonnes, de DEEE recyclés et réutilisés dans certains pays de l'U.E.

•• Vers une économie circulaire

La gestion des DEEE constitue un vrai problème environnemental. Certains exportateurs ne respectent pas les lois en matière d'exportation des déchets. Plutôt que de les traiter grâce à un processus précis de recyclage, ils envoient ces appareils électriques usagés dans des pays en développement où ils sont revendus en seconde main. Lorsque l'appareil ne peut plus être réparé, les déchets s'accumulent de manière incontrôlée à cause du manque de technologies appropriées pour le recyclage. Il arrive que certains métaux soient récupérés grâce à des processus rudimentaires, très souvent toxiques pour l'homme et l'environnement.

L'Europe (mais également d'autres pays comme la Chine) commence à utiliser plus souvent l'approche de l'*économie circulaire*. Elle réduit la dépendance d'approvisionnement en matières premières, en utilisant les ressources qui nous entourent. Cette économie se base sur deux grands principes : la relance du secteur minier, afin de développer un circuit court, et le développement de l'industrie du recyclage des appareils en fin de vie. Les DEEE constituent de réelles « mines urbaines » : 10 millions de tonnes ont été produites dans l'UE en 2010. Par exemple, en 2012, la Belgique, pays pionnier en matière de collecte, a récolté en moyenne 10,14kg d'appareils en fin de vie par habitant. L'origine des DEEE collectés varie tellement que différents processus de recyclage spécifiques ont dû être mis sur pied pour les recycler. Il existe déjà des procédés de recyclage pour les véhicules en fin de vie, les circuits imprimés, les câbles électriques, les réfrigérateurs, etc. Cependant, le recyclage des DEEE reste un défi technique puisque tous les éléments ou composants ne sont pas encore récupérables.

Les téléphones mobiles font partie des DEEE les plus riches en termes de composition élémentaire. Idéalement, la batterie doit pouvoir être retirée et suivre un procédé de recyclage spécifique. Malheureusement, aujourd'hui, dans la plupart des téléphones, la batterie n'est plus amovible, ce qui complexifie le recyclage.

Ensuite, les téléphones mobiles (sans batterie) sont placés dans un four à haute température pour la récupération de métaux précieux (or et argent) et de cuivre. Ce four atteint une température supérieure au point de fusion des métaux (pour que les métaux fondent et se transforment en état liquide). Pour finir, différentes étapes sont entreprises afin de purifier ces métaux et les rendre valorisables. Cependant, il est impossible, à ce jour, de récupérer tous les métaux qui composent un téléphone mobile. Par exemple, les matières premières critiques, tels que les éléments de terres rares (ETR), le gallium, l'indium ou le tantale, sont perdus au cours du processus.

D'une manière générale, les ressources secondaires récupérées à partir de téléphones mobiles sont intégrées aux procédés métallurgiques classiques, complétant de la sorte les concentrés provenant des exploitations minérales (ressources primaires). La récupération de certains métaux précieux promeut le recyclage. À l'opposé, d'autres métaux critiques, présents en quantité infime dans le GSM, ne sont pas rentables pour le moment car les processus sont trop coûteux. Si l'on pouvait récupérer de manière optimale l'ensemble des ressources présentes dans les téléphones, la valeur de ces ressources s'élèverait à environ 1 euro. La quantité d'or dans un téléphone est, par exemple, de 10 milligrammes.



Figure 9 – Schéma de l'économie circulaire

• La substitution •

La substitution consiste à limiter notre demande en éléments plus rares par la substitution, au profit d'éléments plus courants. Il s'agirait de *poser un regard critique sur les innovations et de privilégier les technologies qui économisent les ressources rares. Pas sûr que notre consommation d'indium dans les écrans plats soit des plus judicieuses pour l'avenir ?* Il convient de chercher comment nous pouvons remplir plus de fonctionnalités avec les métaux courants ou abondants.

Sept métaux sont abondants (concentration supérieure à 0.1% dans la croûte terrestre- : sodium, aluminium, magnésium,

silicium, potassium, calcium et fer. Seuls l'aluminium, le fer et le silicium sont utilisés à l'échelle industrielle. L'aluminium apparaît comme une piste, permettant de substituer le cuivre, métal plus rare. Cependant, il faut deux à trois fois plus d'énergie pour le produire. De manière générale, le potentiel de substitution de ces métaux, qui pourrait pallier à d'éventuelles pénuries, est faible ou inexistante pour les éléments utilisés dans la technologie actuelle ¹⁰.

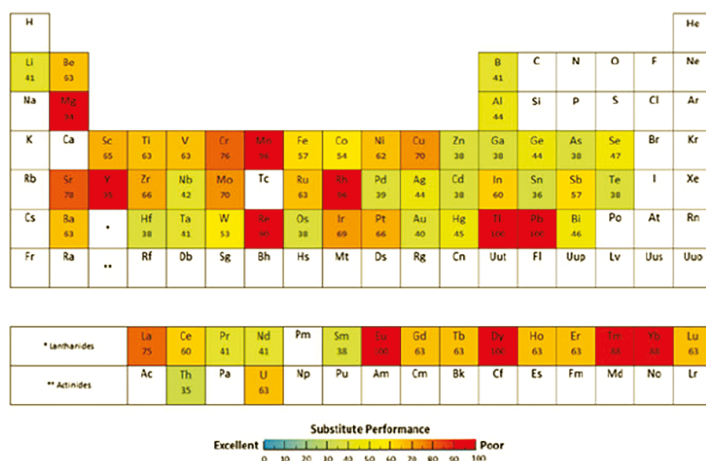


Figure 10 – tableau périodique mettant en évidence les performances de substitution

• L'écoconception •

Si l'on veut tendre vers une économie plus circulaire et un meilleur recyclage de nos produits en fin de vie, il est de plus en plus évident qu'il faut agir en amont du processus, c'est-à-dire au niveau de la conception même de l'appareil. Il conviendrait de penser le recyclage dès la conception du produit. Cette éco-conception limiterait la production de déchets inutiles. L'impact environnemental du produit serait minimisé tout au long de son cycle de vie.

Les concepteurs ou designers sont dès lors invités à concevoir des équipements plus aisément démontables ou à éviter d'assembler des matériaux qui auront des comportements incompatibles dans les procédés métallurgiques. On parle de plus en plus d'*écoconception* (*ecodesign*) ou plus spécifiquement de *design for dismantling* et *design for recycling*.

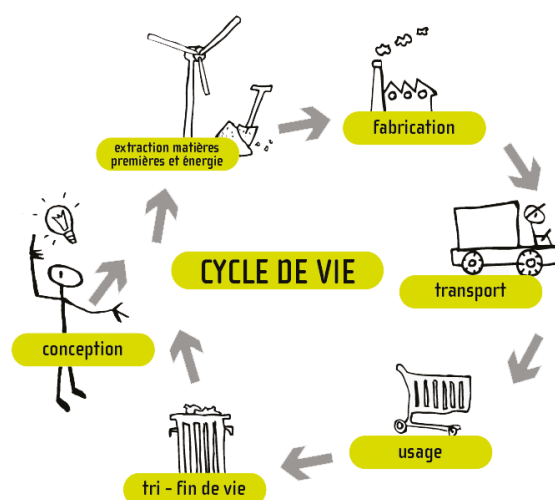


Figure 11 – Schéma de l'éco-conception

• Glossaire •

Nous vous invitons à vous référer au glossaire rédigé par le professeur Eric Pirard du GeMMe et Maxime Evrard du GeMMe (Uliège), mis à jour régulièrement, disponible sur <http://rejouisciences.uliege.be/ressources/rms/>.



¹⁰ BIHOUIX Philippe et DE GUILLEBON Benoît, *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société*, Monts, 2010, pp. 50-51.

¹¹ C'est la conclusion de la belle étude de 60 éléments les plus utilisés dans nos objets modernes : 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> [page consultée le 12/9/2018]

• Bibliographie* •

- **A.D.E.M.E.** (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et **FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT**, Les impacts du smartphone. Un téléphone pas si « smart » pour l'environnement, août 2018, disponible sur <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-impacts-smartphone.pdf> [page consultée le 1/8/2018].
- **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].
- **AMNESTY**, « République démocratique du Congo. Le gouvernement doit tenir sa promesse d'éliminer le travail des enfants dans les mines d'ici 2025 », 1er septembre 2017, disponible sur <https://www.amnesty.org/fr/latest/news/2017/09/democratic-republic-of-congo-government-must-deliver-on-pledge-to-end-child-mining-labour-by-2025/> [page consulté le 20/8/2018]
- **ANGOT Hugues**, « Le recyclage des métaux, c'est la métallurgie de demain », sur RTBF, 21 novembre 2016, disponible sur https://www.rtbef.be/info/regions/detail_le-recyclage-des-metaux-c-est-la-metallurgie-de-demain?id=9460636
- **BIHOUIX Philippe** et **DE GUILLEBON Benoît**, Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société, Monts, 2010.
- **BOLIS Angela**, « Le sulfureux parcours du téléphone portable, des mines aux filières clandestines de déchets », dans Le Monde, 1er octobre 2016.
- **BRGM**, <http://www.brgm.fr/>
- **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].
- **DHOMBRES Dominique**, « Du sang dans nos téléphones portables ? », dans Le Monde, 15 décembre 2007, disponible sur https://www.lemonde.fr/idees/article/2007/12/14/du-sang-dans-les-telephones-portables-par-dominique-dhombres_989933_3232.html [page consultée le 8/7/2018].
- **DUQUENNE Géraldine**, « Le retour des mines en Europe, une réalité ? », dans Analyses Etopia (Centre d'animation et de recherche en écologie politique), juillet 2017 [Disponible sur <http://www.etopia.be/spip.php?article3220> - page consultée le 16/7/2018].
- **KREZIAK Dominique**, **PRIM-ALLAZ Isabelle** et **ROBINOT Elisabeth**. **ADEME**. 2017. Des tiroirs pleins de téléphones remplacés : consommateurs et objets à obsolescence perçue. Rapport de recherche du projet COOP, Consommateurs et Objets à Obsolescence Programmée. 54 pages, disponible sur www.ademe.fr/mediatheque [page consultée le 20/8/2018].
- **MONCEL Catherine**, « La réparation, bien plus qu'un acte militant. Le poids économique et social d'une activité ressuscitée », 16 juillet 2018 [page disponible sur <https://lecho-circulaire.com/la-reparation-bien-plus-quun-acte-militant/>] [page consultée le 20 juillet 2018].
- **MORIO Joël**, « Raccrochez, c'est une horreur », dans Le Monde, 4 novembre 2014, disponible sur https://www.lemonde.fr/televvisions-radio/article/2014/11/04/raccrochez-c-est-une-horreur_4517941_1655027.html [page consultée le 8/7/2018].

- **PIRARD Eric**, large bibliographie sur le sujet. Voir <https://orbi.uliege.be/simple-search?query=pirard+eric>
- **PITRON Guillaume**, La guerre des métaux rares : La face cachée de la transition énergétique et numérique, Paris, 2018.
- **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> [page consultée le 21/6/2018].
- **SWICO RECYCLING, PUSCH et COSEDEC**, Mon portable et moi ! Naissance, vie et recyclage du téléphone portable. Dossier pédagogique sur le thème du recyclage des téléphones portables, 2011, disponible sur https://www.reseau-idee.be/outils-pedagogiques/fiche.php?media_id=4024 [page consultée le 18/7/2018].
- **USGS, U.S. Geological Survey**, <http://minerals.usgs.gov/>
- **VEYS Romain**, « Liège au cœur d'une Recycling Valley grâce à Reverse Metallurgy », dans L'avenir, 24/11/2016, disponible sur https://www.lavenir.net/cnt/dmf20161124_00920075/liege-au-coeur-d-une-recycling-valley-grace-a-reverse-metallurgy [page consultée le 21/8/2018]. Voir aussi le dossier de presse sur le sujet : <https://www.ulg.ac.be/upload/docs/application/pdf/2016-11/reversemetallurgy-dp.pdf>.

• Vidéos et multimédia •

- **ADEME**, Simulation de l'impact et de la pollution générée par notre téléphone , disponible sur <http://multimedia.ademe.fr/outils/telephone-portable/Site-web/index.html>.
- **CASH INVESTIGATION**, Les secrets inavouables de nos téléphones portables, 4/11/2014, disponible sur <https://www.youtube.com/watch?v=hR6dWP568kg>.
- **FRANCE2, C'est pas sorcier**: Le cuivre – les bonstuyaux [disponible sur <https://www.youtube.com/watch?v=luTZnp3spBs>]
- **INGÉNIEURS SANS FRONTIÈRES**, Des métaux dans mon smartphone ? [disponible sur <http://www.isf-systext.fr/sites/all/animationreveal/mtxsmf/#/1>]



* Les références en ● sont celles que nous avons sélectionnées car elles sont complètes et/ou abordent le sujet de manière pédagogique.





Une
MINE D'OR
dans **MA POCHE**