

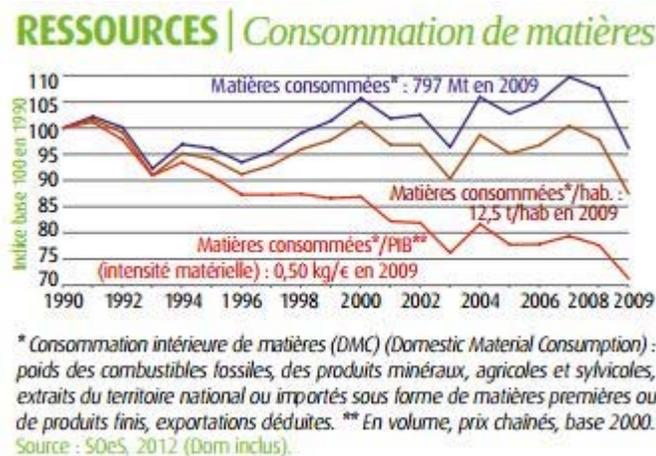
L'épuisement des ressources minérales

État des connaissances en 2012

L'épuisement des ressources du fait de la surconsommation humaine concerne la biodiversité, les ressources végétales (déforestation, prélèvement végétal), l'extinction des espèces, mais aussi les minerais et matières premières.

- Les ressources non renouvelables : ce sont principalement des matières premières minérales et les combustibles fossiles, qui proviennent de gisements formés au cours de l'histoire géologique de la Terre et correspondant à un stock, par essence même, épuisable.
- Les ressources renouvelables : ce type de ressources peut être consommé sans être épuisé, car elles peuvent se régénérer en permanence. Ces ressources sont notamment l'air, l'eau, les sols (terres cultivables) ou encore des ressources biologiques de la flore et de la faune (forêts, pâturages, pêcheries maritimes, biodiversité – espèces animales et végétales) et par les ressources génétiques (variétés de plantes cultivées et races d'animaux domestiques).

De 1990 à 2008, le contenu en matière du PIB, ou « intensité matières » a baissé de 22 %, traduisant un moindre besoin apparent en matières pour générer chaque euro de valeur ajoutée. Malgré cela, la consommation de matières (14 tonnes par habitant) n'a pas diminué en raison de l'augmentation de la production. En 2009, la chute de la consommation intérieure de matières (- 11 %), plus marquée que celle de la production (- 4 %), a accentué la diminution de l'intensité matières. Les matériaux de construction ont joué un rôle prépondérant dans cette baisse (source Ministère de l'Écologie)



La disparité de consommation des ressources naturelles

Vers 2050, 9 milliards d'êtres humains consommeront 140 milliards de tonnes de minerais, d'hydrocarbures et de biomasse (bois, cultures, élevage), selon le rapport du PNUE (Programme des Nations unies pour l'environnement). Soit 16 tonnes de ressources naturelles englouties par an et par chaque habitant de la planète. «Les responsables politiques comme le grand public ne sont toujours pas convaincus des limites physiques absolues de la quantité de ressources disponibles pour l'humanité».

Au sein des pays riches, les écarts sont impressionnants. Un consommateur du Qatar, d'Australie ou des États-Unis engloutit 40 tonnes de ressources naturelles par an quand un Français, un Allemand ou un Italien en utilise environ 15 tonnes. Ces chiffres ne reflètent la réalité que partiellement, notent les

rapporteurs de l'ONU. Car une tonne de cuivre extraite au Chili sera imputée dans leur calcul au consommateur chilien même si elle est employée pour fabriquer un produit vendu en Chine ou en Europe. Ces faiblesses méthodologiques ne modifient cependant pas le risque d'épuisement mondial des ressources naturelles. Même si les pays industrialisés parvenaient à diviser par deux leur consommation de matières premières d'ici à 2050, à 8 tonnes par habitant, et que les pays en voie de développement rejoignent ce niveau sans le dépasser, le total s'élèverait à 70 milliards de tonnes, soit 40 % de plus qu'aujourd'hui. Ce scénario (le n° 2, dans l'infographie) s'accompagnerait d'un doublement des émissions de gaz à effet de serre, une trajectoire incompatible avec les objectifs de la communauté internationale en matière de lutte contre le réchauffement.

L'eau, renouvelable, mais vulnérable

Depuis le début du XXe siècle, la consommation d'eau douce a été multipliée par sept sur la planète ;

- Au cours des trente dernières années, les quantités d'eau disponibles sont passées d'une moyenne de 12 900 m³ à 6 800 m³ par habitant et par an ;
- L'eau non potable est la 1ère cause de mortalité dans le monde, et tue 10 fois plus que les guerres.
- On estime que l'exploitation des réserves d'eau souterraine non renouvelables (à notre échelle de temps humaine) a été multipliée par 3 en 40 ans et représente encore à ce jour 20% de l'irrigation mondiale.
- 6,1 milliards de personnes bénéficient d'un accès à l'eau potable en 2010 ; un taux supérieur à l'objectif international d'atteindre 88% de la population mondiale desservit en 2015. Mais il reste 2,5 milliards de personnes sans accès à des installations sanitaires.
- Les sols, eux aussi, sont soumis à une érosion intense avec une menace sur l'agriculture mondiale. Dans certaines régions, les sols sont lessivés 100 fois plus vite qu'ils ne se régénèrent.

La fin des minerais exploitables

Notre planète Terre, de 13 000 km de diamètre, pèse 6 000 milliards de milliards de tonnes. Le noyau de la planète est à 2 900 km de profondeur et est composé de nickel et de fer en fusion, qu'on ne sait pas atteindre ni exploiter à ce jour.

La croûte terrestre, composée de roches et d'environ 4 000 sortes de minéraux issus de 88 éléments chimiques. La croûte terrestre pèse au total 30 milliards de milliards de tonnes soit 0,5% de la masse de la planète. Au total, dans cette croûte terrestre qui recouvre la planète comme une peau d'orange jusqu'à la Moho, qui est la limite entre la croûte terrestre et le manteau. Ce qui fait que 99% du volume de la Terre se situent sous la croûte.

Le Moho a une profondeur maximale de 85 km dans la zone située sous l'Himalaya. La Moho a été mesurée précisément par le programme Gemma du satellite GOGEX qui mesure, d'une altitude de 255 km, les variations du champ magnétique terrestre depuis 2009. En moyenne, cette limite géologique qu'est la Moho se situe entre 5 et 15 km en moyenne sous les océans et entre 25 et 85 km sous les continents.

La demande en minerais a été multipliée par 27 depuis le début du 20e siècle avec des méthodes de forage minier dont l'efficacité a été multipliée par 90 en un siècle. Les minéraux et éléments utiles sont globalement très diffus dans la croûte et les filons concentrés ont été exploités et épuisés depuis longtemps. Par exemple, la fabuleuse mine de cuivre suédoise de Stora Kopparberg a été fermée en 1992 après avoir été intensément exploitée et avoir alimenté l'Europe entière aux 16e et 17e siècles. En réalité, seulement 0,01 à 0,001% des métaux de la croûte sont présents sous la forme de filons exploitables par l'homme. En Afrique du Sud, les célèbres filons d'or du Rand sont en voie d'épuisement. L'immense

champ de pétrole mexicain de Cantarell, le second au monde, décline de 6,5 % par an depuis les années 2005, à l'instar de bien des gisements pétroliers dans le monde.



Les rendements des exploitations minières sont de plus en plus faibles, car les concentrations des métaux sont de plus en plus faibles avec l'immense majorité des éléments métalliques du sous-sol disséminés dans les roches. C'est pourquoi l'extraction de minerais consomme de plus en plus d'énergie. Les extraire hors d'un filon réclame dix fois plus d'énergie que dans un gisement et déjà en 2012 on estime que l'industrie minière consomme de 4 à 10 % de l'énergie primaire produite dans le monde. Par exemple, pour le pétrole, il faut consommer l'équivalent d'un baril de pétrole pour en extraire 18 aujourd'hui contre 1 pour 100 vers 1950.

L'utilisation des minerais augmente tant en quantité qu'en nombre. Dans les années 1980, on n'utilisait qu'une dizaine d'éléments du tableau de Mendeleïev contre une cinquantaine aujourd'hui. Mais à l'avenir, il va falloir s'appuyer sur les 12 éléments les plus répandus : 99,23% du sous-sol sont constitués par 12 espèces (aluminium, silicium, fer, magnésium, ...).

La croissance démographique et économique mondiale est telle qu'il va falloir extraire dans les 20 ans à venir autant de minerais que depuis les débuts de l'histoire de l'humanité.

Comment estimer les ressources disponibles :

On connaît le stock de ressources naturelles à notre disposition ainsi que leur vitesse d'exploitation. La date d'épuisement théorique est donc facile à extrapoler. Bien des matières liées aux produits écologiques (panneaux solaires) ou aux énergies renouvelables sont en voie d'épuisement, plutôt rapide : comme pour l'uranium (fin en 2040), le pétrole (fin en 2050), le gaz (fin en 2072), les métaux rares et même non précieux tels que le fer dont la fin est annoncée pour 2087. Qu'il s'agisse d'électronique d'environnement ou d'énergie (pile à combustible), le progrès technologique passe quoi qu'il en soit par la maîtrise de matières premières rares venant souvent du bout du monde.

On a pour habitude de considérer 3 niveaux de ressources, 3 niveaux de réserves (les 3P) :

- Réserves prouvées (avérées)
- Réserves probables (certitude de l'existence de la réserve, mais incertitude quant à son étendue)
- Réserves possibles (incertitude quant à l'existence de la ressource et pas encore de moyen technique pour vérifier l'hypothèse)

L'épuisement des ressources minières ne signifie pas que la planète ne recèle plus des quantités diffuses, mais que l'exploitation du matériau en question à l'échelle industrielle n'est plus possible. Les estimations varient d'ailleurs au fil du temps en fonction des découvertes et des réévaluations de réserves, comme le montre l'exemple du **zinc** (voir ci-dessous)

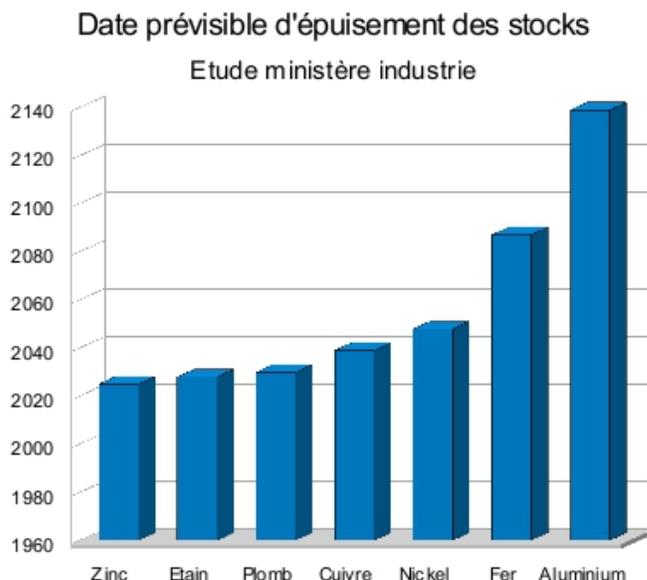
- Actuellement les gisements exploitables de zinc à un coût acceptable seront épuisés en **2025**
- En **1950**, le US Geological Survey avait estimé les réserves mondiales de zinc à 77 millions de tonnes.
- Pourtant, la prospection et l'amélioration des techniques d'exploitation ont permis de mettre au jour plus de 293 millions de tonnes de ce métal sur les **50 années** qui ont suivi.
- En **2000**, le gouvernement américain a annoncé que les réserves de zinc n'atteignaient pas moins de 209 millions de tonnes.

Les platinoïdes : des ressources sous pression

- Les marchés des platinoïdes (platine, palladium, rhodium, ruthénium, iridium, osmium) sont l'objet depuis le début des années 80 de nombreuses perturbations. Le plus connu d'entre eux le platine, était réputé "métal précieux" pour son usage en bijouterie, et son prix beaucoup plus cher que l'or en faisait aussi une valeur de placement. Parce qu'onéreux, ces métaux étaient dans l'ensemble utilisés avec parcimonie par l'industrie. Mais, grâce à leurs propriétés physiques et chimiques, ils ont été de plus en plus utilisés pour des applications de haute performance : électronique, catalyse, etc. Cette diversification des usages que l'on pourrait schématiser comme un passage du monde du luxe au monde industriel, et qui n'est pas terminé, est source de perturbations profondes.
- L'histoire récente des marchés du rhodium et du palladium le montre. L'avenir des métaux, comme le platine, le ruthénium, etc., est soumis à une problématique de pénurie : le développement ou l'émergence d'une application industrielle, face à une offre limitée.

Le calendrier de la fin des matières premières

Voici le calendrier des pénuries annoncées. Les gisements métalliques et énergétiques, à la base de notre économie moderne auront pour l'essentiel été consommés d'ici 2025, date de la fin de l'or, de l'indium et du zinc et 2158, date de la fin du charbon). Voici la prévision officielle française, rendue publique dans un rapport sur la fin des minerais :



Le niveau de production des minerais :

De nos jours, le minerai de fer reste sans conteste la ressource métallique la plus utilisée, avec une production annuelle de l'ordre de 1,7 milliard de tonnes.

Viennent ensuite les « grands » métaux industriels, produits à plus d'un million de tonnes (MT) :

Aluminium (39 MT) pour la construction, l'emballage, l'aéronautique, les transports

Chrome (21 MT) pour les alliages inox, la chimie

Cuivre (16 MT) pour les applications électriques

Manganèse (14 MT) pour les aciers alliés

Zinc (11 MT) pour la galvanisation, la chimie

Titane (5 MT) utilisé en dioxyde comme colorant blanc ou en alliage pour l'aéronautique

Silicium (5 MT) allié avec l'aluminium ou comme semi-conducteur

Plomb (4 MT) pour les batteries

Nickel (1,6 MT) pour les aciers alliés ou les batteries

Le calendrier des épuisements annoncés :

Les gisements métalliques et énergétiques, à la base de notre économie moderne auront pour l'essentiel été consommés d'ici 2025, date de la fin de l'or, de l'indium et du zinc et 2158, date de la fin du charbon), Le groupe des terres rares comporte dix-sept éléments. Certains, en dépit de l'adjectif qui les qualifie, ces éléments sont assez répandus. Mais les réserves de deux d'entre eux, le dysprosium et le terbium, sont toutefois particulièrement menacées : ils sont devenus les ingrédients miracles des technologies "vertes".

1980 : fin du Cryolithe

Il n'y aurait plus de réserves de cryolithe. La cryolithe est composée de fluorure double de sodium et d'aluminium, de formule NaAlF_6 également noté 3NaF , AlF_3 . La cryolithe est principalement utilisée pour la production d'aluminium et dans l'industrie des céramiques. Elle a été découverte sur la cote ouest du Groenland. C'est un minéral rare ; aussi, pour faire face aux besoins de l'industrie, la cryolithe est désormais produite artificiellement. La dernière mine de cryolithe en activité, située au Groenland, a fermé dans les années 80. Aujourd'hui, les industriels sont obligés d'en produire artificiellement.

2012 : fin du Terbium (Tb # 65)

Le terbium est un élément chimique, de symbole Tb et de numéro atomique 65. Le terbium est utilisé dans les lampes à basse consommation. Substance phosphorescente pour tubes cathodiques, activateur des phosphores verts pour tubes cathodiques sous forme d'oxyde Tb_2O_3 . Il n'y aurait pas d'ampoules à basse consommation sans terbium, une terre rare qui vaut la bagatelle de 800 000 dollars la tonne en 2009. Le terbium permet de réduire de 80 % la consommation des ampoules électriques.

2018 : fin du Hafnium (Hf # 72)

Les gisements exploitables de hafnium à un coût acceptable seront épuisés autour de 2018. Le hafnium est utilisé pour les processeurs, comme isolant remplaçant le dioxyde de silicium SiO_2 . L'Hafnium (Hf) se retrouve associé avec les minerais de zirconium, avec des concentrations d'Hafnium variant de 0.5% à de 2%. Le hafnium a une résistance exceptionnelle à la corrosion, il possède également un grand pouvoir d'absorption des neutrons rapides. Le hafnium sert à contrôler la recristallisation des filaments de tungstène, mais son application principale est comme barre de contrôle de réactivité dans les réacteurs nucléaires du fait de sa capacité à absorber les neutrons. En 2008, Intel affirme avoir réduit de 40 % la consommation électrique de ses puces en un an grâce à l'Hafnium.

2021 : fin de l'Argent (Ag # 47)

Au rythme de consommation actuelle, épuisement prévu entre 2021 et 2037. L'argent sert dans l'industrie (électricité, électronique, brasures, soudures et autres alliages : 41%). Il y a un stock de 270 000 à 380 000

tonnes d'argent sur Terre. Les réserves connues sont surtout en Pologne (20%), en Mexique (14%) et au Pérou (13%). 21 400 tonnes d'argent ont été produites en 2009. Depuis 1950, nous avons assisté à un effondrement de 93% des stocks mondiaux d'argent et la demande ne s'arrête pas. En 1997, les mines du Nevada produisaient 25 millions d'onces d'argent, en 2011 la production s'est effondrée de 70% à 7,3 millions d'onces. 10 des plus importants états américains producteurs d'argent métal ont abandonné la production en dépit de toutes les nouvelles technologies existantes pour extraire ce métal précieux. La qualité des minerais a diminué de plus de 95% dans les 75 dernières années aux États-Unis. On estime que pour chaque tranche de 10 onces d'argent extrait à travers l'histoire, le monde a extrait 1 once d'or (une once est égale à 31.103 grammes). Les pays producteurs d'or sont deux fois plus nombreux que ceux producteurs d'argent. Les fabricants de produits high-tech, d'ordinateurs, de téléphones portables et de tablettes sont gourmands en métaux précieux ont consommé 7 500 tonnes d'argent en 2011.

Seul un petit tiers de la production d'argent provient de mines d'argent, un autre tiers provient des mines de zinc et de plomb, un quart est extrait des mines de cuivre, 1/8 provient de mines d'or. La production d'argent est plus complexe que la production d'or, car l'extraction de l'argent est très "mélangée" à celle d'autres métaux.

2022 : fin de l'Antimoine (Sb # 51)

L'antimoine est un produit naturel qui entre pour 0.0001% dans la composition de l'écorce terrestre. C'est un composant de plaques d'accumulateurs plomb-acide (courant secouru), des semi-conducteurs : InSb, GaSb utilisés pour la détection dans l'infrarouge, pour les sondes à effet Hall (détection de champ magnétique), dans les processeurs, isolant remplaçant le dioxyde de silicium SiO_2 , sous forme d'oxyde Sb_2O_3 , il diminue la propagation des flammes dans les matières plastiques. La consommation mondiale d'antimoine primaire, sans tenir compte du Sb recyclé, a été estimée à 145 ktonnes en 2006 (Roskill 2007). En 2008, 80% (soit 126 000 tonnes) de la production mondiale d'antimoine provenaient de Chine.

2024 : fin du Chrome (Cr # 24)

Présent à 100 ppm dans la croûte terrestre. La production minière de chrome (chromite) était de 19.8 millions de tonnes en 2006 et de 7.4 millions sous forme de chrome métal. La production mondiale varie de 17 à 21 M tonnes par an. Le chrome sert principalement en sidérurgie, en métallurgie, en chimie, et pour les matériaux réfractaires.

2023 : fin du Palladium (Pd # 46)

Il y a un stock de 3 480 millions de tonnes de palladium sur Terre. Les réserves connues sont surtout en Russie et en Afrique du Sud. 13% du palladium servent pour l'industrie électronique surtout pour la production de condensateurs multicouches en céramique (MLCC) qui entrent dans la fabrication de composants électriques. Autres utilisations du type électrodeposition pour les connecteurs et les composants de puces pour les circuits électroniques et les circuits intégrés hybrides. Le palladium fait partie des PGM, les 'Platinum Group Minerals' qui regroupent six éléments métalliques proches dans la classification de Mendeleïev, présents dans les mêmes minerais. Il s'agit du ruthénium, du rhodium, du palladium, de l'osmium, de l'iridium et du platine. Le palladium et le platine sont les plus importants. Ils ont des propriétés très semblables, surtout des propriétés catalytiques. Généralement ils sont extraits comme sous-produits de l'exploitation du nickel.

Le palladium est l'une des 14 **matières premières critiques** identifiées par l'Union européenne. Après la cryolithe, le terbium, le hafnium, l'argent et l'antimoine, le palladium est le suivant sur la liste des futurs disparus. Du fait de la rareté du platine, les nouvelles générations de pots catalytiques utilisent de plus en plus le palladium et une grande incertitude pèse sur les réserves réelles disponibles. On n'est pas certain de la date de la fin de la production du palladium.

2025 : fin de l'Or (Au # 79)

La production totale d'or depuis les débuts de l'humanité remplit un cube de 20 mètres de côté.

L'or est utilisé dans l'électronique pour ses propriétés de conductivité, d'inaltérabilité, d'inoxidabilité.

La Chine est le 1^{er} producteur avec près de 300 tonnes extraites en 2008, suivie par les États-Unis et l'Australie (moins de 250 tonnes). Les principales utilisations de l'or sont : Bijouterie et joaillerie 86%, Utilisations industrielles 14% dont : électronique 6%, monnaies et médailles 3%, industries diverses 3%, prothèses dentaires 2%.

Les fabricants de produits high-tech, d'ordinateurs, de téléphones portables et de tablettes sont gourmands en métaux précieux ont consommé 320 tonnes d'or en 2011.

On produit environ 2 500 tonnes d'or par an (2010) dans le monde. Réserves mondiales estimées : 51 000 tonnes dont 36 000 en Afrique du Sud (14%), en Australie (12%) et au Pérou (8%)

Total des avoirs en or : 30 700 tonnes

Réserves d'or dans les banques centrales nationales : États-Unis 8 134 t, Allemagne 3 401 t, FMI 2 814 t, France 2 435 t, Italie 2 452 t, Chine 1 054 t.

En Guyane française, en 2006, l'orpaillage clandestin utilisait du mercure empoisonnant 1300 km de rivières. 70% des enfants amérindiens Wayana du Haut Maroni avaient un taux de mercure supérieur à la norme de l'Organisation Mondiale de la Santé. Si les activités d'orpaillage de la filière légale en Guyane commencent à réduire leurs impacts (interdiction d'utilisation du mercure), le bilan environnemental est encore loin d'être satisfaisant.

2025 : fin du Zinc (Zn # 30)

En 1950, le US Geological Survey avait estimé les réserves mondiales de zinc à 77 millions de tonnes.

Pourtant, la prospection et l'amélioration des techniques d'exploitation ont permis de mettre au jour plus de 293 millions de tonnes de ce métal sur les 50 années qui ont suivi. En 2000, le gouvernement américain a annoncé que les réserves de zinc n'atteignaient pas moins de 209 millions de tonnes. Le zinc est utilisé dans l'électronique et par l'industrie informatique (fabrication des « magnetic random access memory » (MRAM)). Les principales utilisations du zinc sont : Galvanisation 47 % ; Laiton et autres métaux d'alliage 19 % ; Moulage en coquille 14 % ; Divers produits marchands 8 % ; Chimie et divers 9 % .

2025 : fin de l'Indium (In # 49)

Les gisements exploitables à un coût acceptable seront épuisés en 2025. L'indium est utilisé massivement depuis peu dans le cadre de la fabrication des écrans LCD ; mais il semble qu'il pourrait être remplacé par des matériaux de nanotechnologies comme le graphène (cristal de carbone). De l'espagnol indigo, du latin Indium: Inde. L'indium fut découvert en 1863 par Reich et Richter à la suite de l'analyse spectroscopique d'un échantillon de blende qui leur révéla deux raies indigo jusqu'alors inconnues. L'indium connaît une demande croissante poussée par le marché des écrans plats et devrait subir une hausse prochaine des cours. Il n'existe pas de gisement d'indium en tant que tel. Les gisements volcano-plutoniques polymétallique, à zinc dominant et étain accessoire sont la principale source actuelle d'indium.

2025 : fin du Strontium (Sr # 38)

Le strontium est un élément chimique qui, comme le calcium, est un alcalino-terreux. Le strontium se trouve dans les roches de la croûte terrestre à hauteur de 0.034%. Le strontium est mou et malléable. Le strontium naturel est un mélange de quatre isotopes stables (84Sr ; 86Sr ; 87Sr ; 88Sr). Les États-Unis ont consommé 18 400 tonnes de strontium en 2012 pour des usages pyrotechniques et de signalisation 30% ; des aimants céramiques à base de ferrite, 30% ; des alliages spéciaux, 10% ; des pigments, 10% ; pour la production électrolytique du zinc, 10% ; et diverses autres applications, 10% .

2028 : fin de l'Étain (Sn # 50)

Il y a un stock de 6,1 millions de tonnes d'étain sur Terre. Les réserves connues sont surtout en Chine (28%), en Malaisie (17%), en Indonésie (13%) et au Pérou (12%). Les principales utilisations de l'étain sont : Soudure 32 % ; Fer blanc 27 % ; Chimie et divers 23 % ; Étains et alliages divers 18 % .

2030 : fin du Plomb (Pb # 82)

Les gisements exploitables à un coût acceptable seront épuisés en 2030 ; 71% de la production utilisée pour les batteries.

2030 : fin du Diamant

La consommation mondiale de diamants est très supérieure à la production et on pense que vers 2030, les 4 principaux pays diamantifères auront épuisé leurs ressources. Le commerce de diamants reposera alors sur les stocks disponibles. La consommation augmentera de 6% par an jusqu'en 2020, du fait notamment de la Chine. Production mondiale de diamants naturels bruts d'environ 110 millions de carats (80 000 kilos), croît de 2,8% / an. Une prévision de 175 millions de carats seraient extraits en 2020 par les producteurs de diamants. Cette prévision de Bain & Company correspond à un volume de 35 tonnes de diamants sur un marché, où malgré tout, l'offre reste inférieure à la demande, dopée par l'appétit des Chinois pour les cailloux. Le prix des diamants va donc continuer à monter.

2035 : fin de l'Hélium (He # 2)

L'hélium est produit par décroissance radioactive des roches et s'échappe dans l'atmosphère où il n'en reste que des traces infimes de 0,0005%. L'hélium est récupéré sur des champs de gaz, souvent aux États-Unis et est en voie d'épuisement. Il permet d'obtenir des températures de - 269 °C dans l'industrie (aimants, supraconducteurs, imagerie médicale, aérospatiale, ...). Sans hélium, plus de grands instruments scientifiques. Indispensable à la recherche scientifique, l'hélium pourrait disparaître vers 2035. Ressources prouvées d'hélium de 4,2 milliards de m³. Production annuelle d'hélium de 180 millions de m³. Espoir de nouveaux gisements en Russie et au Qatar.

2038 : fin du Tantale (Ta # 73)

La plus grande utilisation du tantale, sous forme de poudre métallique, est faite dans la fabrication des composants électroniques, et principalement des condensateurs. On trouve des condensateurs au tantale dans les téléavertisseurs et les ordinateurs personnels et est indispensable dans les résistances électriques. Le tantale est surtout produit dans des régions gangrénées par la guérilla en Afrique.

2039 : fin du Cuivre (Cu # 29)

Il y a un stock de 490 millions de tonnes de cuivre sur Terre. Les réserves connues sont surtout au Chili (33%), en Indonésie et aux USA (7% chacun). Avec 55% d'utilisation, il est essentiellement mis en œuvre dans l'industrie électrique (câbles, bobinages). La production mondiale de cuivre raffiné s'élève à près de 17.3 Mt en 2006. L'Automobile représente 15 % de la demande mondiale de cuivre. Le cuivre est très utilisé dans la fabrication des câbles constituant les réseaux de distribution électrique et électronique. Le cuivre est en effet un très bon conducteur d'électricité. Cela représente 60% de la demande mondiale. Bâtiment : Le cuivre est utilisé pour les sanitaire, chauffage, toiture, car c'est un bon conducteur de chaleur. Cela représente 25% de la demande mondiale. Au niveau mondial, l'usage de cuivre a atteint 23.7 millions de tonnes en 2007. La demande mondiale de cuivre a progressé de 40 % sur les 10 dernières années. L'Europe est le plus gros consommateur de cuivre avec près de 30% de la demande mondiale, mais la Chine a également une part importante avec 22%. La consommation de la Chine en Cuivre a plus

que doublé en 10 ans. Chaque Américain « mobilise » 240 kilos de cuivre chacun !

2040 : fin de l'Uranium (U # 92)

Il existe 3,3 millions de tonnes de réserves d'uranium prouvées et exploitables de manière normale et environ 10 millions de tonnes de réserves d'uranium dites "spéculatives". 1,2 kilo d'uranium est produit chaque seconde dans le monde, soit 40 700 tonnes par an. On estime qu'il reste de 70 à 90 ans de réserves mondiales (au rythme d'exploitation actuel). L'uranium est crucial pour production électrique nucléaire. Selon "Uranium Resources and Nuclear Energy" du Energy Watch Group (2006), une pénurie d'uranium pourrait se produire dès 2015. L'extraction d'uranium "non conventionnel" est une voie prometteuse : il est extrait des gisements de phosphates et pourrait représenter plusieurs millions de tonnes d'uranium. Les USA vont le faire et le Maroc, qui possède les plus grandes réserves de phosphates du monde, pourrait s'y mettre. Les autres sources d'uranium non conventionnelles sont certains types de roches (calcaires, charbons, schistes noirs) ainsi que les fonds marins, mais avec de grandes difficultés d'extraction dues à la faible concentration en uranium, et aux contraintes liées à l'environnement. C'est pourquoi de nombreux spécialistes pensent qu'il faut laisser l'uranium dans la liste des matières premières menacées de pénurie.

2040 : la fin du Cadmium (Cd # 48)

Le cadmium n'existe pas à l'état natif. Son minerai, la greenockite CdS, est très rare et inexploité. Le cadmium est présent dans presque tous les minerais de zinc (la teneur en cadmium varie de 0,01 à 0,05 %), et est obtenu industriellement comme sous-produit de la métallurgie du zinc. Aucun minerai de cadmium n'existe en quantité exploitable.

2043 : la fin du Bismuth (Bi # 83)

La production minière de bismuth provient en grande partie du traitement des minerais de cuivre, plomb et zinc. Les 2 principaux secteurs d'utilisation du bismuth sont la chimie et les alliages (agent de malléabilité dans les aciers, fabrication de fusibles). La production minière de bismuth provient en grande partie du traitement des minerais de cuivre, plomb et zinc, les plus grands producteurs mondiaux étant le Pérou (environ 1 000 t métal en 1999), la Chine (855 t), le Japon (479 t sur minerai importé), le Mexique (560 t) et le Canada (311 t). Il n'existe que de très rares gisements où le bismuth est signalé comme métal principal (Tasna, Bolivie). En France, la seule production minière (45 à 60 t/an) provenait du traitement des minerais sulfurés polymétalliques à arsenic, argent, cuivre de la mine d'or de Salsigne dont la production cumulée de 1950 à 1980 est de 1 400 t de Bi (les réserves de minerai aurifère prouvées et probables à cette date contenaient encore 3760 t Bi à teneur de 0,113 %).

En France, le bismuth sous différentes formes a été largement utilisé dans le traitement de l'ulcère gastroduodéal et dans diverses indications digestives. Entre 1964 et 1974, la consommation de bismuth en thérapeutique a été multipliée par quatre pour atteindre 800 tonnes par an. La survie du bismuth dépend largement de son taux de recyclage.

Les formes les plus connues du bismuth sont la bismuthinite et la bismite. En 2005, la Chine était le 1^{er} producteur de bismuth avec 40% au moins du marché mondial, suivie par le Mexique et le Pérou selon le British Geological Survey. Le bismuth naturel provient d'Australie, Bolivie, et de Chine. Selon le United States Geological Survey, la production minière de bismuth était de 7 300 tonnes, dont la Chine (4 500 tonnes), Mexique (1 200 tonnes), Pérou (960 tonnes). La production mondiale de bismuth raffiné était de 15 000 tonnes, dont Chine 78%, Mexique 8% et Belgique 5%. La différence entre la production minière de bismuth et la production raffinée découle du fait que le bismuth est un sous-produit métallique.

2047 : la fin du Bore (B # 5)

La disparition de l'Hydrogène-3 ou Tritium

L'Hydrogène-3 est un isotope utilisé dans les armes nucléaires, l'hydrogène-3 est très difficile à produire. Il n'existe que 3,5 kilos sur Terre ! Pas difficile de comprendre pourquoi l'économie mondiale est menacée de devoir s'en priver.

La disparition du Scandium (Sc # 21)

Le scandium ne se trouve sous forme concentrée qu'en Scandinavie et est indispensable pour renforcer l'aluminium.

La disparition du Germanium (Ge # 32)

La fin du germanium sous produit marginal du zinc, indispensable à la fabrication des fibres optiques. La Chine possède 72% des réserves de germanium (commission européenne juillet 2010)

2048 : la fin du Nickel (Ni # 28)

Il y a un stock de 67 millions de tonnes de nickel sur Terre. Les réserves connues sont surtout en en Australie (35%), en Nouvelle-Zélande (11%) et en Russie (10%) : le nickel sert dans les batteries (piles bouton pour BIOS, batteries d'ordinateurs portables)

2050 : la fin du Pétrole

Les réserves ultimes sont d'environ 3 000 milliards de barils de pétrole dans les zones exploitables. La consommation de pétrole pourrait presque doubler d'ici 2050 avec l'augmentation de la population mondiale et la croissance économique. Selon l'Agence internationale de l'Énergie, la hausse de la demande mondiale de pétrole devrait être de 1,7% en 2010, avec une demande de 86,3 millions de barils par jour (mbj).

Pour le pétrole, ce qui est clair, c'est la consommation. Pour la production et sa capacité à suivre la demande, les débats vont bon train. Le **'peak oil'** est annoncé depuis longtemps et en même temps, certains experts pensent que nous ne sommes pas près de voir la fin du pétrole. Toutefois, la date de 2050 semble retenir le plus de suffrages comme date probable de la fin du tout pétrole. Les derniers 10% de pétrole seront si coûteux à extraire qu'ils devront être remplacés par d'autres sources d'énergie.

La production de pétrole stagne, la demande va doubler

Selon certains experts, les réserves non encore trouvées permettront de produire **100 millions de barils / jour** et que le pic ne sera atteint qu'autour de 2020. Les réserves de schistes bitumineux qu'on commence à exploiter à grande échelle dans l'Alberta (Canada) ou au Texas, en Louisiane, Montana, Pennsylvanie, au Venezuela, contiendraient 650 000 milliards de m³ de gaz naturel. Pétrole, charbon et gaz naturel représentent **83.5 %** de l'énergie consommée dans le monde en 2008.

La consommation de pétrole par habitant

Un Indien consomme 0.9 baril de pétrole par an, soit 145 litres

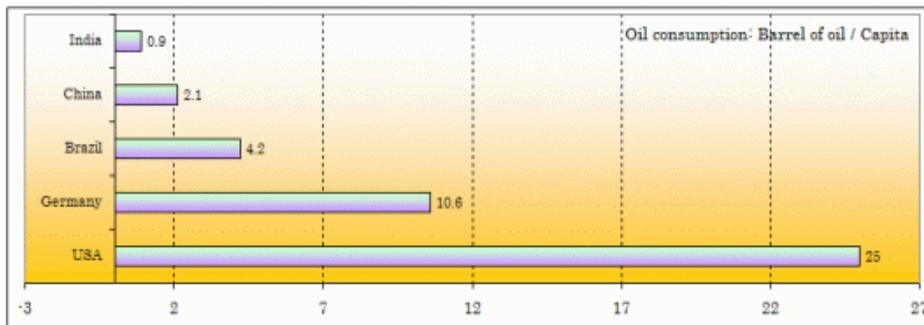
Un Chinois consomme 2.1 barils de pétrole par an, soit 347 litres

Un Brésilien consomme 4.2 barils de pétrole par an, soit 669 litres

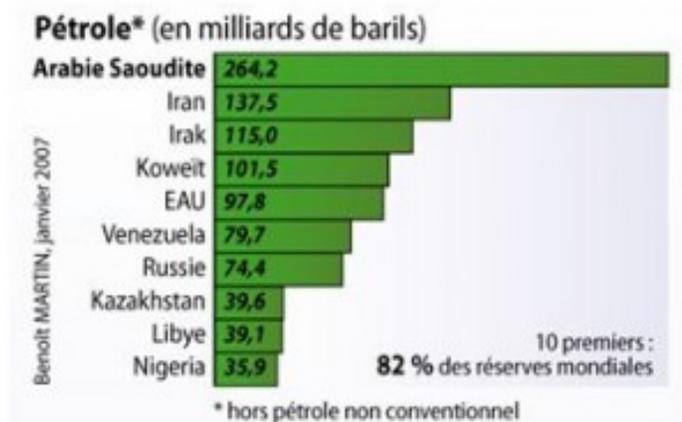
Un Allemand consomme 10.6 barils de pétrole par an, soit 1 685 litres

Un Américain consomme 25 barils de pétrole par an, soit 3 977 litres

Depuis 2002, la demande mondiale de pétrole augmente plus vite que l'offre, due principalement aux hausses brutales de la demande asiatique. (Chine et l'Inde).



Énergies fossiles : réserves, fin 2005



La date de la fin du pétrole recule toujours

Les prévisions américaines sur la fin du pétrole ne cessent de reculer :

- en **1914**, le Bureau des mines américain pensait que les réserves de pétrole seraient épuisées en 1924.
- en **1939**, le Ministère de l'Intérieur estimait que les réserves mondiales de pétrole dureraient **13 ans**.
- Le pétrole a été le carburant de la **Seconde Guerre mondiale** et du boom économique qui l'a suivi.
- En **1951**, le Ministère de l'Intérieur estimait, à nouveau que les réserves mondiales de pétrole à 13 ans.
- En **1970**, on estimait les réserves mondiales de pétrole à 612 milliards de barils.
- En **1977**, le président américain Jimmy Carter affirme que « *le monde aura consommé tout son pétrole d'ici la fin de la prochaine décennie* ».
- En **2006**, on avait déjà pompé plus de 767 milliards de barils de pétrole du sous-sol et on estimait les réserves à 1200 milliards de barils.
- Depuis, le monde a consommé 3 fois plus de pétrole que les réserves estimées alors.

2050 : la fin du Lithium (Li # 3)

Le lithium est le 33^e élément le plus abondant sur Terre.

L'USGS évaluait en 2009 les ressources mondiales exploitables à 11 millions de tonnes. Selon le cabinet Meridian International Research, les réserves actuelles ne suffiraient pas pour une utilisation massive dans les batteries lithium-ion.

En Allemagne, le Centre de recherche sur l'énergie solaire et l'hydrogène s'est penché dernièrement sur cette technologie et plus précisément sur les réserves de lithium présentes dans le monde entier. D'après

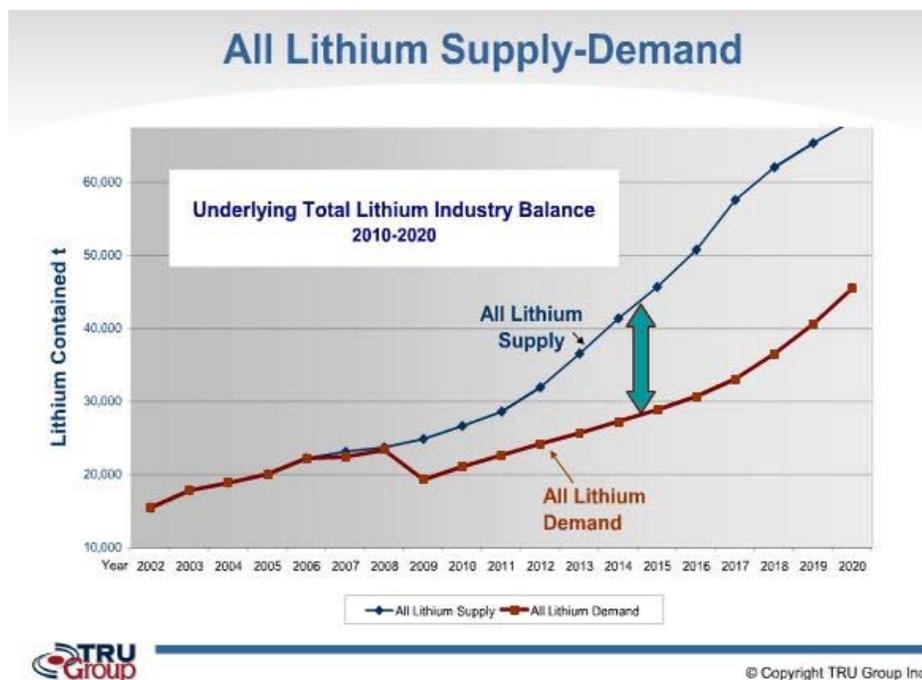
les estimations de son étude, il y a assez de lithium afin de produire plus de 10 milliards de voitures électriques équipées de batteries lithium-ion indispensables, le Lithium est l'un des éléments les plus importants qui entrent dans la composition des batteries de dernière génération.

L'utilisation du lithium

Son utilisation accrue dans la fabrication de batteries est due principalement à sa capacité de stocker plus d'énergie que le Nickel et le Cadmium. Pour doper ses performances, certains fabricants de batteries utilisent le mélange de lithium-ion, mais on retrouve aussi d'autres combinaisons efficaces, notamment comme celles fabriquées par *Hyundai* (Lithium-Polymère ou encore Lithium-Air).

Le lithium surtout utilisé pour sa capacité de stockage d'énergie, va devenir la base de certaines technologies futures ; il est la matière première utilisée pour ses applications dans les batteries d'ordinateurs, de téléphones portables, etc. En effet, les batteries Li-ion des voitures électriques seront essentiellement composées de lithium et les experts attendent une croissance de la demande de lithium de 25% par an. On estime qu'une voiture électrique contient en moyenne 3 kilos de lithium. Si le marché des voitures électriques explose, la demande en lithium pourrait dépasser la production.

On a longtemps craint la pénurie rapide en lithium : les réserves de lithium « ne permettront pas de satisfaire une révolution de la propulsion automobile dans la prochaine décennie. (...) Dans le scénario le plus optimiste, elles ne pourraient fournir que 8 millions de véhicules hybrides. Quelque 25 000 tonnes de lithium sont extraites chaque année. »



Les gisements de Lithium sont assez rares et se trouvent très loin des principaux constructeurs de batteries. La **Bolivie** possède 40 % du lithium de la planète. Le plus grand gisement au monde est le Salar de Uyuni, dans le département de Potosí, au sud-ouest de la Bolivie. On a aussi découvert d'immenses réserves de lithium en Afghanistan (mais également du fer, du cuivre, de l'or, du niobium et du cobalt).

- Bolivie : 9 millions de tonnes
- Chili : 7,5 Mt
- Argentine : 2,5 Mt
- Chine : 2,5 Mt
- États-Unis : 2,5 Mt
- autres pays : 1,5 Mt

Il y a aussi du lithium dans le lac salé de Chabyer, dans la région autonome du Tibet. Bref, depuis que l'on sait extraire les réserves des plateaux andins avec efficacité, la menace d'une disparition et d'une pénurie de lithium s'est éloignée, estiment les spécialistes. Celui qui s'assurera la ressource en lithium pourra dominer le marché des batteries pour voiture électrique, ordinateurs portables et téléphones mobiles. En Bolivie, les grands groupes coréens, LG, Hundai, Samsung, cherchent à pérenniser leur approvisionnement historique. Le gouvernement sud-coréen a même annoncé qu'il puiserait dans la Caisse nationale des retraites et ses fonds souverains pour sécuriser l'approvisionnement en métaux rares.

2053 : la fin du Fluorite

2055 : la fin du Zirconium (Zr # 40)

2056 : la fin du Niobium (Nb # 41)

Les réserves de niobium sont à 95% au Brésil qui fournit 92% de la production mondiale. Le niobium est utilisé, entre autre, pour renforcer la résistance de l'acier des pipelines.

2057 : la fin du Tungstène (W # 74)

Le tungstène est un métal qui n'est produit qu'en Chine, le tungstène est un métal très résistant et dur qui résiste très bien aux hautes températures.

2060 : la fin du Béryllium (Be # 4)

Toxique et difficile à extraire, il sert dans les réacteurs nucléaires.

2061 : la fin du Mercure (Hg # 80)

2062 : la fin du Rhénium (Re # 75)

Le rhénium qui est un sous produit de la molybdénite, sous produit de l'extraction du cuivre est un des métaux les plus rares du monde. Découvert en 1925, le rhénium est très utilisé en par l'industrie aérospatiale pour créer des alliages qui résistent à des très hautes températures (1000 °C). Production mondiale de 40 à 50 tonnes de rhénium par an.

2062 : la fin du Graphite

Le marché du graphite est composé à 60 % de graphite amorphe et à 40 % de graphite en flocons. Seuls les flocons peuvent être raffinés à une pureté de 99,9 % pour être utilisé dans les batteries à ion lithium.

Le graphite, un quasi-monopole chinois, 72% des réserves de graphite sont en Chine et la production mondiale de graphite devrait s'accroître de 30 % entre 2011 et 2016 pour atteindre 1 200 000 tonnes. Comme pour d'autres minerais et terres rares, le gros des réserves est en Chine. Les autres pays produisent les 20 % restants dans le monde, dont le Canada, le Brésil, Mexique, Inde, Ukraine, Brésil, Corée du Nord, Russie, Sri Lanka et Mozambique. Mais en Chine, la qualité des mines décroît : les dépôts de surface faciles à exploiter sont vidés, demandant une exploitation minière à des niveaux plus profonds associée à des coûts d'exploitation plus élevés. De plus, le gouvernement a imposé une fiscalité restrictive de manière à peser sur les exportations.

Comme le graphite est de plus en plus employé pour les batteries ion-lithium des voitures électriques (ainsi que dans les nouveaux réacteurs nucléaires PRBN), la demande excède largement l'offre. (source : Merchant Research & Consulting)

Le graphite est l'une des 14 matières premières critiques dont la Commission européenne a dressé la liste du fait du risque économique qu'il fait peser sur nos approvisionnements.

Le graphite est un minéral qui est une forme naturelle du carbone pur. Le graphite peut également être formé à partir de charbon organique, lui-même très abondant.

Le graphite fut tout d'abord appelé *plombagine*, mais un géologue allemand Abraham Gottlieb Werner l'a renommé graphite après avoir constaté qu'il ne contenait pas de plomb. Il s'en servait pour écrire (*graphein* en grec = écrire), d'où le nom *graphite*. On le connaît aussi bien sûr dans les mines de crayon.

Le graphite est souvent utilisé dans la fabrication des écrans pour aider à l'évacuation de la chaleur (écrans, ordinateurs et téléphones portables). Contrairement aux diamants (une autre forme allotropique du carbone), le graphite est un conducteur électrique, un métalloïde, et peut être utilisé, par exemple, dans les électrodes d'une lampe à arc. On utilise le graphite dans la métallurgie : il sert dans la fabrication des coques des hauts-fourneaux en sidérurgie pour son excellente résistance aux températures élevées.

Ce qu'ils gagnent grâce au graphite

- Solaire : 50-100 fois plus efficace
- Semi-conducteur : 50-100 fois plus rapide
- Avion : réduction de 70 % du poids
- Militaire : propriétés permettant «l'invisibilité» des avions au radar

Mais le graphite est de plus en plus utilisé pour la fabrication d'accumulateurs électriques (piles alcalines et lithium-ion) pour des véhicules hybrides et électriques. En effet, le graphite est notamment le second composant dans la fabrication des batteries lithium-ion. La demande industrielle pour le graphite est donc forte et connaît une croissance d'environ 5 % par an depuis 10 ans. Sa consommation est soutenue par la croissance de la demande des économies émergentes de Chine, d'Inde notamment.

Notons que les nouveaux usages du graphite que sont le *graphène* et le *Grafoil* ont beau connaître la plus forte croissance, ils ne représentent que de petites quantités qui ne pèseront pas sur le marché.

Le graphène, couche inférieure monoatomique d'une feuille de carbone, découvert et développé par André Geim et Konstantin Novoselov de l'université de Manchester en 2004. Ils ont reçu le Prix Nobel de Physique en 2010, où graphène a été nommé «le matériau miracle du 21^e siècle». Le graphène – 'le réseau parfait atomique' – a été décrit comme l'élément qui va changer la façon dont nous travaillerons et vivrons dans le futur. Les applications du graphène concernent l'électronique. Le graphène offre une conductibilité électrique 30 fois supérieure à celle du silicium.

Un dernier facteur va peser sur la demande : la nouvelle génération de petits réacteurs nucléaires (les *Pebble Bed Nuclear Reactor* ou PBNR). Si le développement nucléaire se poursuit, c'est une des technologies envisagées pour le futur, et qui consomme de grandes quantités de graphite, soit 300 tonnes de graphite au démarrage et de 60 à 100 tonnes par an par réacteur PBNR. Le premier prototype de PBNR est en Chine, et le gouvernement chinois en prévoit 30 d'ici 2020 tandis que les États-Unis en installeraient 500 d'ici 2020 ! Cela consommerait 400 000 tonnes de graphite en flocons, soit l'équivalent de la moitié de la production mondiale actuelle.

Les Américains sont très embêtés de dépendre des exportations chinoises de graphite (et des autres terres rares également). En effet, ils utilisent du graphite dans les aimants de leurs missiles et leurs systèmes de guidage. Les États-Unis commencent donc à favoriser la recherche pour trouver des portes de sortie pour diminuer leur dépendance en terres rares et graphites. En mai 2011, le Congrès américain a adopté la *Critical Minerals Policy Act 2011* pour développer et protéger les minéraux essentiels au pays. Les tensions géopolitiques au sujet des terres rares ne font que commencer...

2064 : la fin du Platine (Pt # 78)

Il y a un stock de 13 000 tonnes de platine sur Terre. Les réserves connues sont surtout en Afrique du Sud (80%). Le platine est essentiellement utilisé dans les industries électroniques et électriques, disques durs, fils pour thermocouples et RTD, piles à combustible, catalyse. Le platine utilisé dans les pots catalytiques se perd en se dispersant dans la nature. On en trouve des traces sur les routes, qui se sont échappées avec les gaz d'échappement. À tel point que sur les axes les plus fréquentés, selon Hazel Prichard, géologue à l'Université de Cardiff, on en trouve des concentrations quasiment aussi élevées dans les filons géologiques d'Afrique du Sud et de Sibérie : 2 ppm contre 3 à 6 dans les gisements. Des projets de récupération de ce platine routier sont déjà envisagés. Si on veut continuer à utiliser le platine, il faudra de toute façon le recycler.

2065 : la fin du Manganèse (Mn # 25)

2072 : la fin du Gaz Naturel

Au rythme actuel de consommation de 2 743 milliards de m³ de gaz naturel par an, la fin de l'exploitation de gaz surviendra environ en 2072. Le gaz représente plus de 20 % (contre 40 % pour le pétrole) de la consommation énergétique globale. Près de 38 % de la consommation de gaz naturel en Europe – 30 % au niveau mondial – sont destinés au secteur résidentiel/tertiaire.

Le salut dans les gaz non conventionnels ?

Les gaz non conventionnels sont les gaz que l'on trouve dans les gisements de charbon ou dans les schistes. Les gaz non conventionnels nécessitent des techniques complexes et des coûts d'extraction élevés qui ne sont pas sans causer de dommages à l'environnement. Le gaz de schiste de ce point de vue pourrait être une ressource permettant de rallonger la durée de vie du gaz. Mais le gaz de schiste rencontre la forte opposition des organismes de protection de l'environnement. Ainsi, comme les sables bitumineux, le gaz de schiste n'est pas du tout sûr d'être une ressource fossile relais.

2087 : la fin du Fer (Fe # 26)

On estime qu'il reste 79 ans de réserves mondiales de fer (au rythme d'exploitation actuel). Le fer est l'un des métaux les plus abondants (le 4ème le plus abondant) et les plus basiques. La production mondiale de fer actuelle de 2 millions de tonnes par an montre qu'il est largement utilisé pour de plus en plus d'alliages

2110 à 2350 : la fin du Phosphore (P # 15) (selon les estimations)

Le phosphore est un élément nécessaire à la vie, tout simplement ! N'a pas de substitut. Dépend des ressources en minerais de phosphates dont le pic de production devrait se produire vers 2130.

L'alimentation de la population mondiale va nécessiter l'utilisation de grandes quantités de phosphore, car les phosphates servent d'engrais pour de hauts rendements agricoles. Production annuelle : 191 millions t.

2112 : la fin du Rhodium (Rh # 45)

Ressources prouvées de 30 000 tonnes de rhodium en 2012 et production mondiale de 200 tonnes par an. Réserves pour un siècle. Utilisation identique à celle du platine dans la joaillerie et l'industrie automobile (catalyseurs)

2120 : la fin du Cobalt (Co # 27)

Au rythme de consommation actuelle, il reste environ 110 années de réserves de cobalt qui est une ressource non renouvelable. Il y a un stock de 7 millions de tonnes de cobalt sur Terre. Les réserves connues sont surtout en République du Congo (50%), en Australie (20%) et à Cuba (14%). Ce métal est utilisé le plus souvent dans des applications de haute technologie, où l'excellence de ses propriétés le rend

très difficilement substituable. Composant des aciers spéciaux, des alliages à vocation structurale et magnétique, des superalliages, il entre dans l'élaboration des moteurs d'avion, des turbines à gaz des centrales électriques ; on le retrouve également dans les outils de coupe, les pièces d'usure (métallurgie des poudres). Parallèlement à ces emplois dans l'industrie lourde (70 % de la consommation), le cobalt est aussi le métal des technologies de l'information. Il joue un rôle crucial dans les performances à la fois des mémoires magnétiques (disques durs) et des piles et batteries destinées aux appareils portables (téléphones, ordinateurs, etc.). Il est également présent dans le domaine médical du fait de sa biocompatibilité (implants dentaires, prothèses articulaires, etc.). Mais cette liste n'est pas close ; utilisé sous forme d'oxydes ou de sels, il est employé dans des applications aussi variées que les colorants (verrerie, céramique), les siccatifs (peintures, vernies), les adhésifs structuraux (pneumatiques), les catalyseurs en pétrochimie).

2137 : la fin du Titane (Ti # 22)

Le titane est utilisé pour ses propriétés anticorrosion et sa grande résistance mécanique. 95% du Titane servent sous forme de dioxyde de titane (TiO_2) dans l'industrie du papier et il se trouve dans bien des filières industrielles qui aiment l'usiner en pièces fines, légères et inoxydables. La demande mondiale est de 5 millions de tonnes croit de 4 % par an. Depuis 2008, la Chine est la 2e productrice mondiale derrière les États-Unis.

2139 : la fin de l'Aluminium (Al # 13)

L'aluminium peut remplacer le cuivre, mais avec des performances 40% inférieures et une consommation énergétique trois fois supérieure. La fin de l'aluminium dépend de la fin de la bauxite et de son taux de recyclage dans le monde, car l'aluminium est théoriquement recyclable à l'infini ou produit à partir de bauxite, composée de $Al_2O_3 - Fe_2O_3 - SiO_2 - H_2O$ - autres. Au rythme de consommation actuelle de 6 000 kilos par seconde soit 190 millions de tonnes par an, il reste 131 années de réserves de bauxite qui est une ressource non renouvelable. Le groupe Alcoa prévoit une production d'aluminium autour de 80 millions de tonnes d'aluminium vers 2020. La production mondiale d'aluminium métallique a atteint 41,4 millions de tonnes en 2010, dont la Chine a réalisé 40,6 % avec 16,8 millions de tonnes.

Taux de recyclage actuel de l'aluminium : 49%.

Il y a un stock de 25 milliards de tonnes de bauxite sur Terre. Les réserves connues sont surtout en Guinée (30%), en Australie (23%) et à Cuba et en Jamaïque (8% chaque)

2158 : la fin du Charbon (C # 6)

La consommation de charbon dans le monde représente 184 000 kilos par seconde, soit 5,8 milliards de tonnes. Le charbon représente la 2e source d'énergie primaire (Pétrole: 34,3% ; Charbon : 25,1 %)

Le charbon est la ressource d'énergie la plus abondante, hormis bien sûr les énergies naturelles renouvelables. Il existe des réserves de charbon pour plus de 150 ans à l'échelle du monde, pour plus de 200 ans dans bien des pays. Qualité supplémentaire, le charbon n'est pas concentré dans quelques zones comme l'est le pétrole, mais est à peu bien réparti équitablement sur tout le globe.

La consommation de charbon a plus que doublé en 30 ans et devrait continuer à augmenter de 1,8% par an et passer de 2 772 millions de tep à 4 441 M tep en 2030 (+30%).

Chaque année, la Chine consomme plus de 2 milliards de tonnes de charbon, soit 40% de la consommation mondiale en 2008. En 2020, l'Agence Internationale de l'Énergie prédit une consommation de 3,2 milliards de tonnes.

La Grande-Bretagne, qui consomme 80 millions de tonnes, mise beaucoup sur le développement de l'exploitation des gisements de charbon qui dorment sous la mer du Nord. La commercialisation du gaz provenant de la gazéification souterraine est prévue pour 2014 / 2015.

En trente ans, la production mondiale de houille a **doublé** et ce n'est pas fini contrairement au **pétrole** dont on estime qu'il reste entre 40 à 45 ans de réserves si la consommation reste au niveau actuel (**25 ans** si la consommation croît de 2% par an).

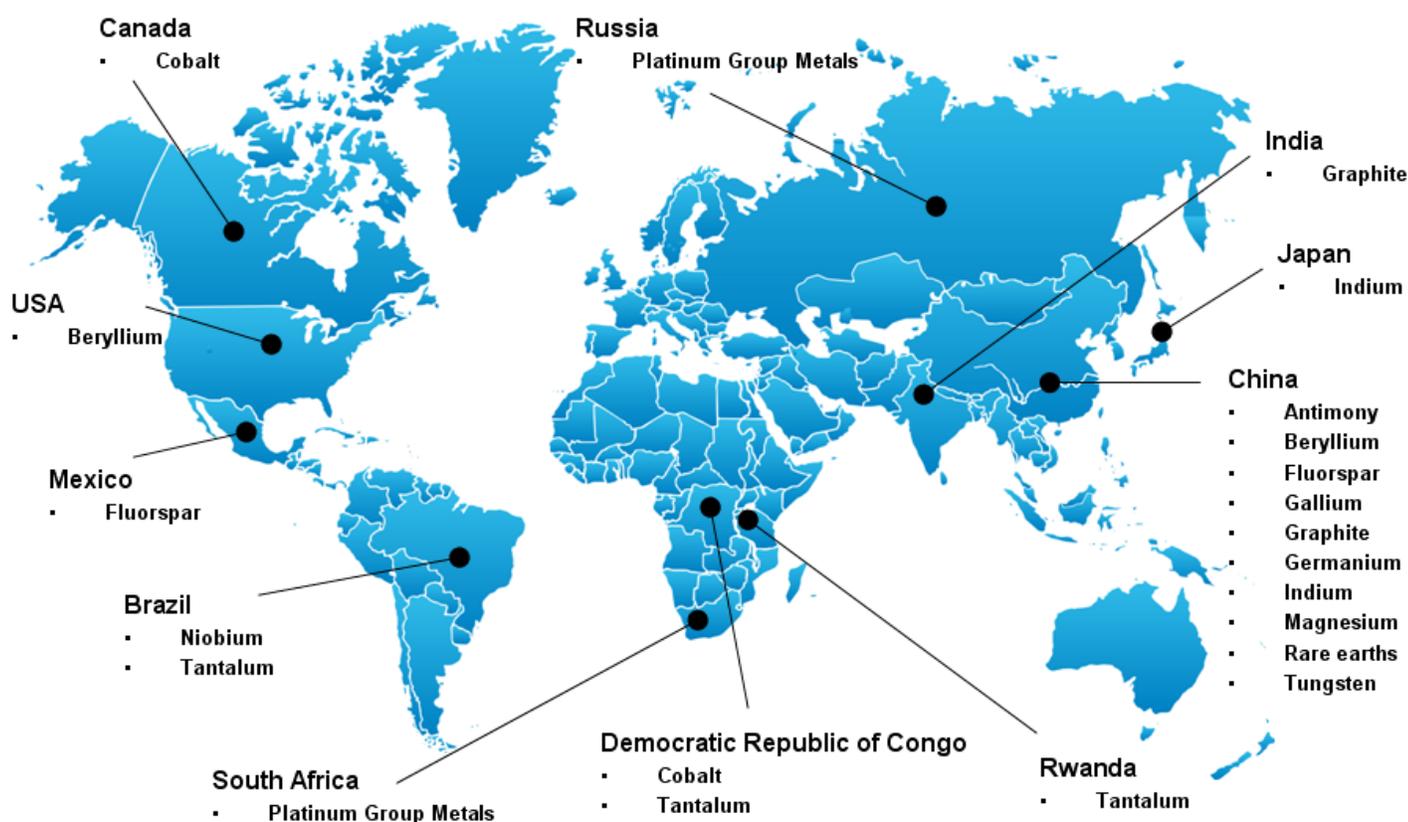
Le CO₂ issu des énergies fossiles représente 80% des émissions humaines. La consommation de charbon a plus que doublé dans les 30 dernières années et devrait continuer à augmenter de 1,8% par an et passer de 2 772 millions de tep à 4 441 M tep en 2030 (+37%). 75% de la production mondiale de charbon sont transformés en électricité dans des centrales thermo-électriques où il faut environ 500 g de charbon par kWh d'électricité. Le futur règne du charbon : une très mauvaise nouvelle pour l'atmosphère.

Le charbon est disponible, mais la combustion du charbon émet 35% de CO₂ en plus que le pétrole, 72% de plus que le gaz naturel. Les carburants liquides à base de charbon qui pourraient remplacer l'essence à l'avenir ont un rendement très faible. Basculer du tout pétrole au charbon serait une catastrophe climatique alors que la concentration de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté d'environ 36% depuis deux siècles du fait des activités humaines.

Les terres rares

- Les terres rares font partie des ressources naturelles non renouvelables menacées d'extinction.
- Le profil de consommation des métaux a évolué rapidement ces dernières années. Le fort développement des produits électroniques, des technologies de l'information et de la communication (TIC), de l'aéronautique, allié à l'innovation technologique dans la recherche de performances et de rendements, a fait exploser la demande en nouveaux métaux. On peut ainsi citer :
 - l'indium et les terres rares dans les écrans plats LCD,
 - le gallium dans les LED blanches (éclairage en substitution des ampoules à incandescence),
 - le germanium dans les transistors ou portables (WiFi),
 - le gallium, l'indium, le sélénium, le germanium dans les cellules solaires photovoltaïques,
 - les terres rares (néodyme, samarium, dysprosium...) dans les aimants permanents pour les éoliennes et les moteurs automobiles hybrides-électriques, le lithium et le cobalt dans les batteries,
 - le tantale, le niobium, le rhénium dans des superalliages sur mesure pour certains marchés de niche.
- l'irridium
- Le boom des matières premières a eu comme effet de faire s'envoler le cours des "monnaies "matières", les économies de ces pays devenant florissantes. Au côté du dollar australien ou du real brésilien, le rand sud-africain n'a pas fait exception. Ces métaux rares, ou stratégiques ont donc de multiples usages dans les technologies de pointe, qu'il s'agisse des télécommunications, de l'armement, ou des énergies renouvelables. Ainsi les aimants de précision, tout comme les éoliennes, requièrent l'utilisation de néodyme. Le gallium entre dans la fabrication des billets de banque, pour en prévenir la falsification, comme dans celle des lasers utilisés par les avions de chasse de dernière génération.

Production concentration of critical raw mineral materials



Raw material	Production 2006 (t)	Demand from emerging technologies 2006 (t)	Demand from emerging technologies 2030 (t)	Indicator ¹ 2006	Indicator ¹ 2030
Gallium	152	28	603	0,18	3,97
Indium	581	234	1.911	0,40	3,29
Germanium	100	28	220	0,28	2,20
Neodymium (rare earth)	16.800	4.000	27.900	0,23	1,66
Platinum (PGM)	255	very small	345	0	1,35
Tantalum	1.384	551	1.410	0,40	1,02
Silver	19.051	5.342	15.823	0,28	0,83
Cobalt	62.279	12.820	26.860	0,21	0,43
Palladium (PGM)	267	23	77	0,09	0,29
Titanium	7.211.000 ²	15.397	58.148	0,08	0,29
Copper	15.093.000	1.410.000	3.696.070	0,09	0,24

¹ The indicator measures the share of the demand resulting from driving emerging technologies in total today's demand of each raw material in 2006 and 2030;

² Ore concentrate

Des ressources critiques entre les mains de quelques pays

- la Chine : antimoine, fluorite, gallium, germanium, graphite, indium, magnésium, terres rares, tungstène
- la Russie : MGP
- la République Démocratique du Congo : cobalt, tantale
- le Brésil : niobium et tantale
- La Bolivie : le lithium
- L'Afrique du Sud : les platinoïdes et surtout le platine et palladium; notamment 80% du rhodium
- L'Australie concentre un grand nombre de ressources très convoitées : 40% des réserves mondiales d'uranium, 37% des réserves de Nickel, 26% de plomb, 18% de zinc, auxquelles s'ajoutent des réserves de minerai de fer (53,4 milliards de \$ australiens d'exportation en 2010), de charbon ((34,6 mds \$ d'exportation en 2010), de pétrole (10,9 mds \$), de diamants, d'or (17,9 mds), d'alumine, de gaz naturel, ...

Des ressources naturelles stratégiques

La société DCNS considère les minéraux suivants susceptibles de faire l'objet de difficultés d'approvisionnement :

- 1. Argent, 2. Cuivre , 3. Cobalt , 4. Chrome, 5. Germanium, 6. Lithium, 7. Molybdène, 8. Nickel, 9. Palladium, 10. Platine, 11. Plomb, 12. Samarium, 13. Titane , 14. Rhodium

La très forte concentration de ces matériaux dans quelques pays est le premier critère de risque. Les pays qui concentrent ces risques sont :

- La Chine (antimoine, fluorspar, gallium, germanium, graphite, indium, magnésium, terres rares et tungstène)
- La Russie (platine)
- La République démocratique du Congo (cobalt, tantale)
- Le Brésil (niobium, tantale)

Dans la majorité des cas, cette concentration de production est conjuguée avec des possibilités de substitution et un taux de recyclage faible. Si l'on considère la criticité due à la protection de l'environnement, les terres rares viennent en tête, suivies par le germanium, l'antimoine, le gallium, le magnésium pour les principaux. Les perspectives d'évolution de la demande pour ces matières premières sensibles en 2030 montrent certains de ces matériaux vont connaître une très forte croissance comme le gallium, l'indium, le germanium, le néodyme, le platine et le tantale pour ne citer que les premiers.

La consommation de métaux et ressources naturelles par habitant

La consommation des métaux par un Américain

Les Américains ont le record de consommation de matières premières. Au cours de sa vie, un américain consommera en moyenne :

- gallium : 5 grammes
- platine : 45 grammes
- argent : 1,6 kilo
- uranium : 6 kilos
- nickel : 58 kilos
- chrome : 131 kilos
- zinc : 349 kilos
- plomb : 410 kilos
- cuivre : 630 kilos
- aluminium : 1576 kilos

La consommation des métaux par un Européen

Au cours d'une vie de 70 ans, un Européen moyen consomme :

- 1 090 000 kg de pétrole
- 140 000 kg de fer

- 130 000 kg de sel
- 16 000 kg d'aluminium
- 12 000 kg de phosphates
- 680 kg de cuivre
- 600 kg de potasse
- 360 kg de plomb
- 343 kg de zinc

Le recyclage des ressources non renouvelables

Voici le taux de recyclage d'un certain nombre de ressources et matières premières que nous consommons (Source : A. RELLER, University of Augsburg, T. Graedel, Yale University) :

- Plomb : 72%
- Aluminium : 49%
- Or : 43% - Les fabricants de produits 'high-tech', d'ordinateurs, de téléphones portables et de tablettes sont gourmands en métaux précieux. En 2011, ils ont consommé 320 tonnes d'or et 7 500 t d'argent, ce qui leur a coûté environ 21 milliards de dollars (17 Md€). La production d'équipements électriques et électroniques a en effet consommé 197 t en 2001, soit 5,3% de la production mondiale. Aujourd'hui, elle en absorbe 7,7%, alors que le prix de l'once a quintuplé, passant de 300 \$ (244 €) à plus de 1.500 \$ (1.200 €). Quand ces matériels sont en fin de vie, leurs composants sont peu réutilisés: à peine 15% de l'or et de l'argent. Le reste est donc mis à la poubelle, et finit dans une décharge d'un pays en développement, avec un risque majeur pour la santé et l'environnement.
- Germanium : 35%
- Nickel : 35%
- Cuivre : 31%
- Étain : 26%
- Zinc : 26%
- Chrome : 25%
- Tantale : 20%
- Gallium : 0%
- Indium : 0%
- Phosphore : 0%
- Platine : 0%
- Uranium : 0%

Part de recyclage des substances minérales en Europe selon le BRGM en 2012 :

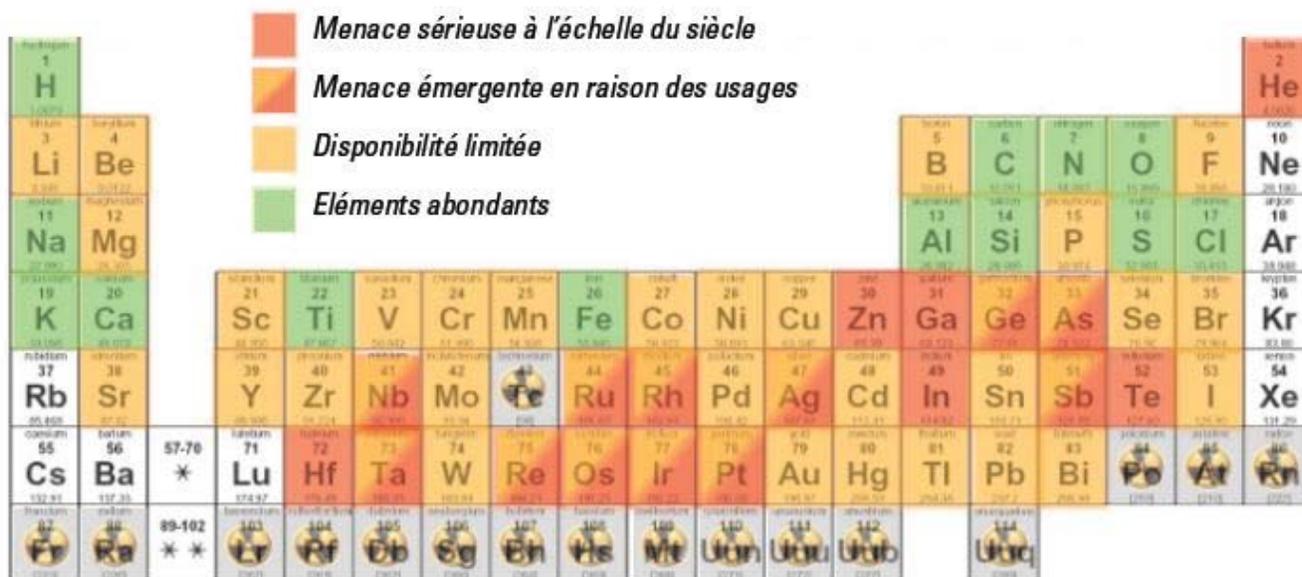
Aluminium : 33% - Plomb : 50% - Cuivre : 45% - Acier divers : 38% - Verre à bouteilles : 70% - Décombres de construction : 65%

Les nodules polymétalliques

Composition chimique des nodules polymétalliques des fonds océaniques :

- Manganèse (30 %)
- Fer (6 %)
- Nickel (1,4 %)
- Cuivre (1,25 %)
- Cobalt (0,25 %)
- Titane (0,60 %)
- Aluminium (3 %)
- Et sodium, magnésium, silice, zinc, oxygène et hydrogène (32 %).

Bilan - Principaux éléments, les risques de pénurie



Principaux éléments : Les risques de pénurie

nb : 1 once = 28.3499 grammes ou encore 141.7498 carats

Épuisement des ressources naturelles

- La série éditoriale de consoGlobe sur [L'épuisement des ressources naturelles](#)
 - [Espèces menacées](#)
 - [Tous les articles sur l'empreinte écologique](#)
- Planetoscope : [La production de terres rares dans le monde](#)

La synthèse ci dessus est constituée à partir de nombreuses sources : réalisée à partir de nombreuses sources françaises, américaines, (unctad.org, commission européenne, minerals.usgs.gov/, fin-de-la-civilisation.blog4ever.com, edito-matieres-premieres.fr, 24hgold.com, terresacre.org, rapport du Sénat sur les matières premières stratégiques, in Libération « Gros coup de volant sur le platine », Sciences et Vie avril 12 "Alerte à la pénurie", ec.europa.eu/entreprise/policies/raw-materials, l'ouvrage, A. RELLER, University of Augsburg, T. Graedel, Yale University, Sources : BP Statistical Review of world Energy 2007, Commission Energie-Environnement du Canada, science.gouv.fr, metstor.fr, leblogfinance.com/2006/03/le-rhodium-mtal.html ; Chiffres clés des matières premières minérales - 1999 DGEMP/OMP- édit. : Ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie ; minefi.gouv.fr/fonds_documentaire/notes_bleues/nbb/nbb212/mati.htm ; congovision.com/science/kitenda.html ; ida-annuaire.com

SOURCE 1 : <http://www.planetoscope.com/sols/1048-production-mondiale-de-terres-rares.html>

SOURCE 2 : http://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_rare

Les terres rares

Les terres rares sont un ensemble de 17 éléments rares (pas tous), qui présentent des propriétés chimiques voisines (exemples : lanthane, néodyme, europium).

Élément chimique constituant les terres rares :

No Atomique	Symbole	Nom	Série chimique	No Atomique	Symbole	Nom	Série chimique
21	Sc	Scandium	Métal de transition	63	Eu	Europium	Lanthanide
39	Y	Yttrium	Métal de transition	64	Gd	Gadolinium	Lanthanide
57	La	Lanthane	Lanthanide	65	Tb	Terbium	Lanthanide
58	Ce	Cérium	Lanthanide	66	Dy	Dysprosium	Lanthanide
59	Pr	Praséodyme	Lanthanide	67	Ho	Holmium	Lanthanide
60	Nd	Néodyme	Lanthanide	68	Er	Erbium	Lanthanide
61	Pm	Prométhium	Lanthanide	69	Tm	Thulium	Lanthanide
62	Sm	Samarium	Lanthanide	70	Yb	Ytterbium	Lanthanide
				71	Lu	Lutécium	Lanthanide

Ces métaux rares sont, contrairement à ce que suggère leur appellation, assez répandus dans l'écorce terrestre, à l'égal des métaux usuels — l'abondance du cérium (60 ppm) est ainsi du même ordre que celle du cuivre, tandis que celle du thulium et du lutécium n'est que de 0,5 ppm. Sous forme élémentaire, les terres rares ont un aspect métallique et sont assez tendres, malléables et ductiles. Ces éléments sont aussi généralement chimiquement assez réactifs, surtout à températures élevées ou lorsqu'ils sont finement divisés. Leur nom vient du fait qu'on les a découverts au début du XIX^e siècle dans des minerais (d'où le nom de « terres », utilisé à l'époque en français, langue des échanges internationaux, pour les oxydes) peu courants à cette époque et à l'exploitation commerciale rendue compliquée par le fait que ces minerais étaient éparpillés et les terres difficiles à séparer les unes des autres : *terres rares* signifiait donc « *minerais rares* ». Cependant, en raison de leurs propriétés géochimiques, ils sont répartis très inégalement à la surface de la Terre, le plus souvent en deçà des concentrations rendant leur exploitation minière économiquement viable.

Minerais

Deux minéraux représentent l'essentiel des réserves mondiales de terres rares :

- La bastnäsité (Ce,La,Y)CO₃F, essentiellement en Chine et aux États-Unis
- La monazite, essentiellement en Australie, au Brésil, en Chine, en Inde, en Malaisie, en Afrique du Sud, au Sri Lanka, en Thaïlande et aux États-Unis, déclinée en quatre variétés selon leur composition chimique (les éléments indiqués entre parenthèses le sont par concentration décroissante) :
 - Monazite-Ce : (Ce,La,Pr,Nd,Th,Y)PO₄
 - Monazite-La : (La,Ce,Nd,Pr)PO₄
 - Monazite-Nd : (Nd,La,Ce,Pr)PO₄
 - Monazite-Pr : (Pr,Nd,Ce,La)PO₄

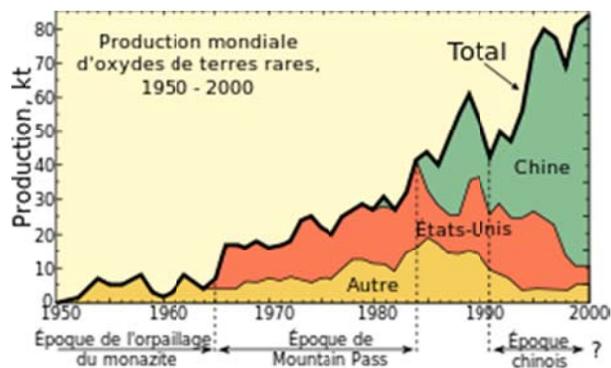
Gisements et production

En raison de leurs usages multiples, souvent dans des domaines de haute technologie revêtant une dimension stratégique, les terres rares font l'objet d'une communication restreinte de la part des États, de sorte que les statistiques macroéconomiques à leur sujet demeurent très lacunaires. Les réserves mondiales en oxydes de terres rares étaient estimées par l'USGS (USA) à 110 millions de tonnes fin 2010 détenues à 50 % par la Chine, devant la Communauté des États indépendants (17 %), les États-Unis (12 %) et l'Inde (2,8 %). La Chine estime quant à elle détenir seulement 30 % des réserves mondiales de terres rares, bien qu'elle fournisse 90 % des besoins de l'industrie et se penche de plus en plus sur les techniques de recyclage de ces terres rares dans les déchets électroniques.

Jusqu'en 1948, la plupart des sources de terres rares provenaient de dépôts de sable en Inde et au Brésil. Durant les années 1950, l'Afrique du Sud est devenue le principal producteur après la découverte d'immenses veines de terres rares (sous forme de monazite) à Steenkampskraal. Depuis le début des années 2000, les mines indiennes et brésiliennes produisent toujours quelques concentrés de terres rares, mais sont surpassées par la production chinoise. Les États-Unis et l'Australie disposent de réserves importantes (15 et 5 % respectivement), mais ont cessé de les exploiter en raison des prix très concurrentiels de la Chine et des inquiétudes environnementales.

La production mondiale d'oxydes de terres rares de la Chine s'est élevée à environ 130 000 tonnes en 2010, constituant un quasi-monopole mondial (l'Inde, deuxième producteur « déclaré », n'en aurait extrait que 2 700 tonnes), mais la production de la CEI, des États-Unis et de la plupart des autres producteurs mineurs (qui cumuleraient tout de même un cinquième des réserves mondiales) n'est pas communiquée. La Chine consomme plus de 50 % de sa propre production.

Hégémonie actuelle de la production chinoise



Répartition de la production mondiale de terres rares de 1950 à 2000.

Potentiel de réserve

En juillet 2011, une équipe de scientifiques japonais indique avoir trouvé une nouvelle réserve de terres rares dans les eaux internationales du Pacifique. Ce même groupe indique que cela peut porter le niveau réserve connue actuelle à environ 100 milliards de tonnes. Cette source indique que les réserves sont réparties sur 78 sites à des profondeurs de 3500 à 6000 mètres. Même si cette découverte est intéressante étant donné la demande grandissante de ces matériaux, son extraction pose des problèmes techniques et environnementaux importants.

Exemples de terres rares lourdes dont les réserves sont menacées : le dysprosium, le terbium, extraits à 99% en Chine... leur exploitation détruit les terres arables et est nuisible à l'environnement si elle n'est pas contrôlée.

Le dysprosium permet d'alléger le poids des aimants composant les moteurs électriques de 90%. Le terbium permet de diminuer la consommation des ampoules électriques de 80%. Les métaux issus des terres rares sont intégrés dans un certain nombre de produits, comme les ampoules basse consommation, les véhicules hybrides, les systèmes de catalyse, les additifs pour le diesel, les écrans plats, les caméras digitales, mais aussi les disques durs. Sans terres rares, pas d'iPod, pas d'écrans plasma ni LCD. Impossible de produire une voiture hybride ou à pile à combustible; pas d'ampoules écologiques basse consommation.

Les terres rares servent aussi aux militaires, pour fabriquer des appareils de vision nocturne ou bien des télémètres ou des missiles.

Dans les années à venir, ce sont les constructeurs de grandes éoliennes qui risquent d'avoir le plus grand besoin de terres rares de manière à alléger le poids des aimants pour les générateurs de 5 tonnes placés en haut des masts toujours plus élevés.

La demande en terres augmente de 10% à 20% l'an et elle a doublé en sept ans. Et ce rythme de hausse est en train de devenir exponentiel. D'une valeur annuelle de 1,25 milliard de dollars actuellement, ce marché devrait peser trois milliards en 2015.

La Chine extrait les terres rares dans environ 200 mines situées dans le Guandong et dans le Jiangxi. Le principal gisement de terres rares se trouve en Mongolie-Intérieure, à Baotou et sera épuisé vers 2040. C'est d'ailleurs pourquoi la Chine menace de restreindre l'exportation de terres rares, ce que dénoncent les USA et l'Union Européenne. En 10 ans, la Chine a éradiqué la quasi-totalité de ses concurrents occidentaux par une guerre de prix destructive; très peu ont survécu. Elle est devenue totalement "maître du jeu". De 2006 à 2010, la Chine a réduit ses quotas d'exportation de 5 % à 10 % par an, et la production a été limitée de peur que ses réserves ne s'épuisent d'ici quinze ans.

La mine de terres rares de Mountain Pass en Californie devrait faire l'objet d'importants investissements afin de limiter cette sujétion; la réouverture de la mine sud-africaine est à l'étude. Certains gisements canadiens (Hoidas Lake), vietnamiens, australiens et russes sont aussi en cours d'évaluation.

En 2011, plus de 312 projets d'exploration de gisements de terres rares étaient recensés sur la planète, impliquant plus de 202 sociétés de tailles très diverses dans pas moins de 34 pays.