

TEXTE DE SYNTHÈSE



Consommer les ressources non renouvelables

Qu'entend-on par non renouvelable ?

Une ressource non renouvelable, dans son acception communément admise, est une ressource qui ne se renouvelle pas à l'échelle d'une vie humaine, soit de l'ordre du siècle.

Comme on peut le voir sur la figure 1, beaucoup de ressources naturelles correspondent à cette catégorie. Des ressources considérées habituellement comme renouvelables (eau, nourriture, bois) peuvent être non renouvelables dans certains cas :

- l'eau est généralement considérée comme une ressource renouvelable (échelle de renouvellement de quelques jours pour des eaux de ruissellement à quelques mois ou quelques années pour les nappes phréatiques, à l'exception notable des **eaux souterraines fossiles** qui se sont formées en plusieurs milliers d'années) ;
- l'alimentation humaine est majoritairement basée sur des cultures annuelles (les arbres fruitiers ou les vignes peuvent atteindre quelques dizaines d'années et requérir une logique d'exploitation spécifique). L'élevage et la pêche sont basés sur un rythme annuel ou pluriannuel, sauf la **pêche en eaux profondes** où les rythmes biologiques sont plus lents (ainsi l'hoplostète orange actuellement consommé peut atteindre l'âge de 130 ans et les stocks seront épuisés en quelques années) ;
- les **forêts anciennes** sont également des ressources non renouvelables, tandis que les forêts exploitées de manière durable et les plantations se renouvellent selon un rythme compris entre sept ans et quelques dizaines d'années.

Mais ce sont surtout les ressources naturelles minérales qui sont majoritairement non renouvelables. Le **charbon** s'est ainsi formé surtout pendant une période spécifique de l'ère primaire, le carbonifère (-350 à -300 millions d'années). Le **pétrole et le gaz** se forment en plusieurs millions d'années.

Les autres ressources minérales ont des rythmes de renouvellement très variés : moins d'une année pour certaines ressources basées sur l'exploitation des océans comme le **sel, le magnésium, l'iode...** De quelques centaines à quelques dizaines de milliers d'années pour les produits de l'érosion comme les **sables ou les graviers** ou du volcanisme comme le **soufre...** et de plusieurs millions à quelques milliards d'années pour la plupart des autres ressources minérales, dont les **métaux**.

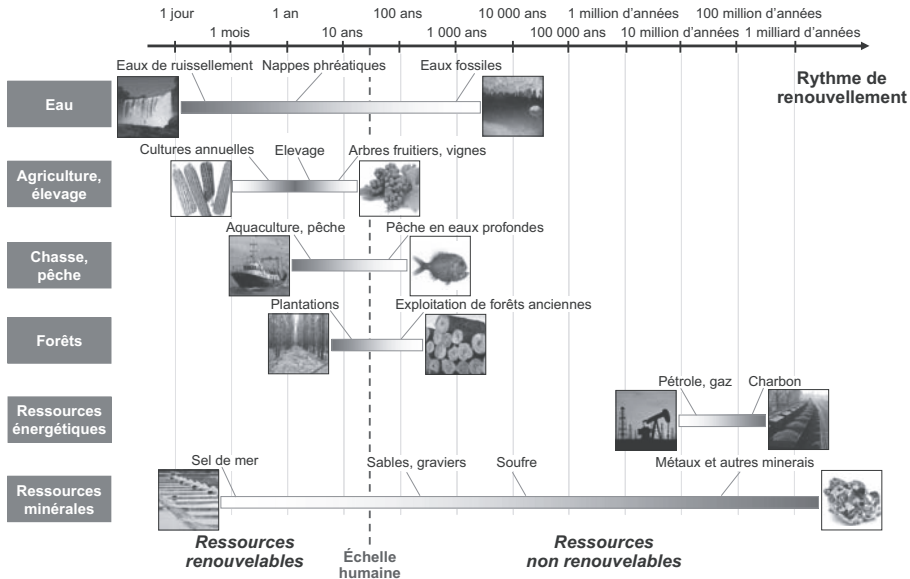


Figure 1 : Ressources renouvelables ou non renouvelables.

La limite par les stocks

Les ressources minérales sont donc théoriquement non renouvelables. Cependant, certaines d'entre elles comme **les argiles, les calcaires, le gypse, ou les sables** par exemple, sont disponibles en de telles quantités qu'elles ne sont pas épuisables à l'échelle mondiale, du moins dans leurs utilisations actuelles. Seules des questions liées à l'approvisionnement local pourront se poser à l'avenir (avec dans ce cas un enjeu lié au coût économique et environnemental du transport de ces matières sur une distance plus grande).

Les autres, en particulier la plupart des **minerais de métaux, les ressources énergétiques (pétrole, gaz, charbon)**, et certains minéraux très spécifiques (**le kaolin, la potasse, les phosphates, la fluorine...**) sont effectivement disponibles en quantité limitée à l'échelle mondiale et l'on puise chaque année dans un stock que l'on sait fini – sans toutefois connaître précisément son importance et la quantité que l'on peut en exploiter, les données disponibles faisant l'objet de révisions permanentes avec des degrés de fiabilité et de précision divers.

Les ressources énergétiques font déjà l'objet de nombreuses publications et la problématique de disponibilité à l'échelle mondiale est différente, liée aux questions d'efficacité énergétique et de substitution par des énergies renouvelables.

C'est donc sur la problématique des ressources minérales non énergétiques et non renouvelables, donc principalement les métaux, que cet ouvrage souhaite apporter un éclairage global.

Une (très) brève histoire des métaux

Une des caractéristiques principales des métaux est leur tendance 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), ou d'autres éléments. Dans des cas assez rares, le métal se trouve dans la nature à l'état « natif », c'est-à-dire non lié chimiquement.

Les premiers métaux exploités par l'Homme sont ceux qu'il a pu trouver à l'état natif donc aisément identifiables : le **cuivre** (d'abord martelé à partir de 8000 av. J.-C. puis fondu à partir de 4000 av. J.-C.), l'**or** et l'**argent** (à partir de 4000 av. J.-C. ou même avant).

Vers 2500 av. J.-C. l'**étain** fait son apparition, en alliage avec le cuivre dont il permet d'abaisser le point de fusion et d'augmenter la dureté : c'est l'invention du **bronze**. La progression des techniques permettra (à partir de 1200 av. J.-C.) d'exploiter des filons de minerais non natifs, comme les carbonates de cuivre aisément reconnaissables par leur couleur bleue ou verte.

Le **fer**, très abondant en tant qu'élément dans la croûte terrestre, ne se rencontre presque jamais sous forme native, sauf le fer météoritique qui contient environ 10 % de nickel (acier inox naturel)... Il aurait été martelé à partir de 3000 av. J.-C. mais n'était disponible qu'en très faibles quantités.

La deuxième étape de l'exploitation des métaux par l'homme passe par des méthodes de réduction des oxydes métalliques par des procédés thermiques. Ainsi, à partir de 1000 av. J.-C. environ, l'utilisation des bas fourneaux permet de réduire l'oxyde de fer avec du charbon de bois, à la température adéquate. L'**acier** (alliage de fer et de carbone) est rapidement identifié comme un alliage plus résistant que le fer.

Quelques autres métaux sont exploités sous l'antiquité : le **plomb**, dont la température de fusion est relativement basse, aux propriétés ductiles intéressantes pour la plomberie par exemple, de manière plus anecdotique l'**antimoine** (souvent allié au plomb dans les minerais) utilisé sous forme oxydée pour sa couleur noire, et le **mercure** (le vif-argent des Anciens) qui a la propriété d'amalgamer l'or et l'argent...

Or, argent, cuivre, étain, fer, plomb : ces six métaux vont structurer les relations économiques et géopolitiques des nations et des peuples de leur découverte jusqu'au 19^e siècle : rivière Pactole en Lydie (actuelle Turquie) dont le roi Crésus tirait son or au 6^e siècle av. J.-C., effort d'Athènes durant la guerre du Péloponnèse soutenu par ses mines de plomb argentifère du Laurion, conquêtes de César en Gaule et en Bretagne notamment pour sécuriser l'approvisionnement de l'empire romain en étain de Cornouailles, et pour accéder aux riches filons d'or gaulois, inflation et crise économique en Europe provoquées par l'afflux d'argent du Mexique et du Pérou à partir du milieu du 16^e siècle...

Mis à part le **platine** découvert dans les mines d'argent du Pérou (platina = le petit argent), aucun autre métal n'est identifié jusque dans les années 1730–1750 où le développement de la métallurgie et de la chimie industrielle permet de découvrir le **zinc**, le **cobalt**, le **nickel** (baptisés du nom des gnomes farceurs Nickel et Kobolt qui sévissaient dans les mines de Saxe... et compromettaient de temps en temps la fusion du minerai !) puis, vers la fin du 18^e siècle, le **manganèse**, le **molybdène**, le **tungstène**, le **titane**, le **chrome**... À partir de 1800 l'électrolyse permet de séparer la plupart des autres éléments chimiques dans leur forme pure.

Ces métaux ne seront cependant réellement utilisés à l'échelle industrielle qu'à partir du 20^e siècle. Ainsi, l'**aluminium** est identifié en 1827, mais attendra jusqu'en 1887 le procédé Bayer pour passer à l'échelle d'une production industrielle.

Le passé récent... et le futur proche

Les niveaux de production des métaux

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 milliards de tonnes.

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

- l'aluminium (39 MT) pour la construction, l'emballage, l'aéronautique, les transports,
- le chrome (21 MT) pour les alliages inox, la chimie,
- le cuivre (16 MT) pour les applications électriques,
- le manganèse (14 MT) pour les aciers alliés,
- le zinc (11 MT) pour la galvanisation, la chimie,
- le titane (5 MT) utilisé en dioxyde comme colorant blanc ou en alliage pour l'aéronautique,
- le silicium (5 MT) allié avec l'aluminium ou comme semi-conducteur,
- le plomb (4 MT) pour les batteries,
- le nickel (1,6 MT) pour les aciers alliés ou les batteries.

Puis les « **petits** » **métaux**, dont la production s'étage entre quelques milliers de tonnes (kT) et un million de tonnes :

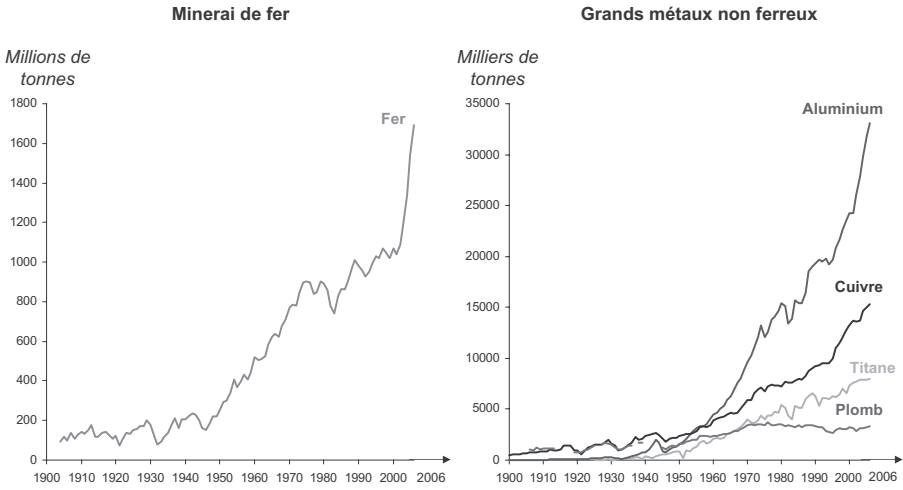
- le magnésium (800 kT) allié avec l'aluminium,
- l'étain (330 kT) pour la soudure, la chimie,
- le molybdène (210 kT), le vanadium (60 kT), le cobalt (70 kT) pour les aciers alliés,
- l'antimoine (165 kT) comme retardateur de flammes,
- le tungstène (55 kT) utilisé dans l'industrie pour sa résistance mécanique,
- le cadmium (21 kT) pour les batteries,
- ...et de nombreux autres.

Enfin les **métaux précieux** : argent (19 kT), or (2 kT), rhénium, platine et platinoïdes (quelques centaines de tonnes).

L'évolution de la consommation mondiale de métaux

La consommation de ressources est directement liée au stade de développement des économies : schématiquement le développement d'infrastructures, l'urbanisation, la construction d'usines, tire la demande en métaux ferreux, en ferro-alliages (chrome, manganèse...), en cuivre. Les produits blancs (électroménager) tire celle des métaux de base (aluminium, cuivre, zinc, étain...), tandis que les produits bruns (électronique), l'aéronautique, les nouvelles technologies tirent la demande des métaux « high tech » comme le lithium, le cobalt, l'indium, le gallium, le germanium, le tantale, le titane, les terres rares...

* Nous ne mentionnons que les usages principaux ; chiffres production 2008 (USGS 2009).

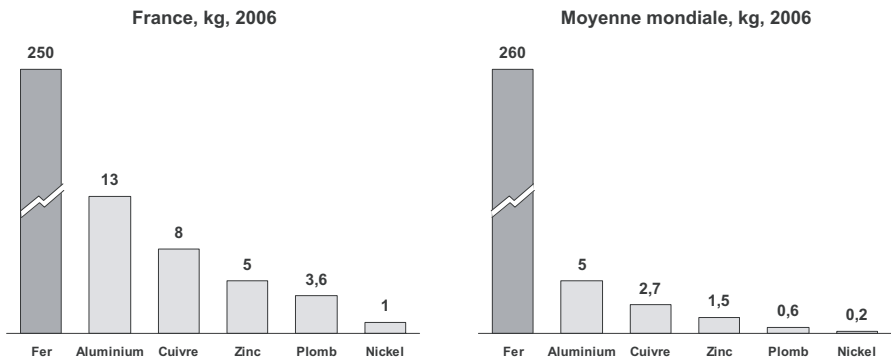


Sources : USGS

Figure 2 : Évolution de la consommation mondiale de ressources.

Ces dernières années, la poussée économique des pays émergents (Chine en particulier) a provoqué une croissance sans précédent de la demande (cf. figure 2). Les courbes présentent le même profil pour les petits métaux.

Il ne faut cependant pas oublier que même après ce premier « rattrapage » des pays émergents, la consommation des métaux reste très déséquilibrée. Excepté pour le fer, les pays de l'OCDE consomment ainsi, par habitant, deux à quatre fois la moyenne mondiale (cf. figure 3). Autrement dit, ceux-ci engloutissent environ **les trois quarts des ressources mondiales extraites annuellement pour un cinquième de la population.**



Hors consommation indirecte à travers les produits semi-finis et finis (solde des imports / exports)

Sources : USGS, Eurostat

Figure 3 : Consommation directe par personne et par an en kg, 2006.

D'autant que ces chiffres ne prennent pas en compte l'effet des imports / exports de produits finis ou semi-finis. Ainsi une partie de la croissance de la Chine provient de sa position d'« usine du monde », et une partie importante de sa consommation de métaux est destinée à ses clients, principalement les pays de l'OCDE.

La période de croissance des vingt dernières années a conduit grosso modo à un doublement de la production des principaux métaux. Comme le montre la figure 4, **un alignement de la Chine et de l'Inde sur les standards européens conduirait quasiment à un nouveau doublement.**

La crise financière puis économique de 2008 a pour un temps renversé les tendances, et les prix des matières premières qui avaient connu des records en 2007 et 2008 se sont effondrés (voir chapitre *Prix des métaux*). Cependant les fondamentaux de la croissance de la consommation des métaux sont toujours là, compte tenu des ordres de grandeur en jeu – même si l'évolution à très court terme dépend de diverses réactions des acteurs et peut faire l'objet de controverses.

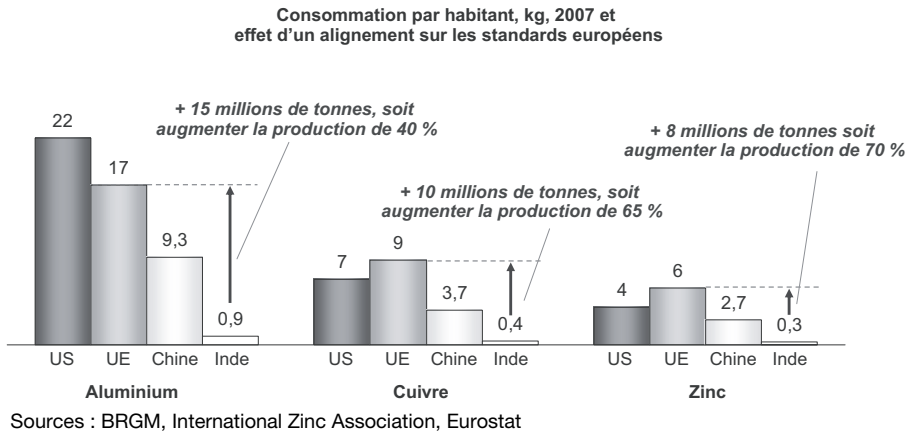


Figure 4 : Effet potentiel du rattrapage de la Chine et de l'Inde.

La « sollicitation » de la table de Mendeleïev

Le profil de consommation des métaux a également évolué rapidement ces dernières années (cf. figure 5). En l'espace de 20 à 30 ans, nous avons plus que triplé le nombre de métaux différents que nous utilisons pour nos applications industrielles.

Le développement exponentiel 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 « high tech ».

On peut ainsi citer par exemple :

- 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 SiGe ou portables (WiFi),

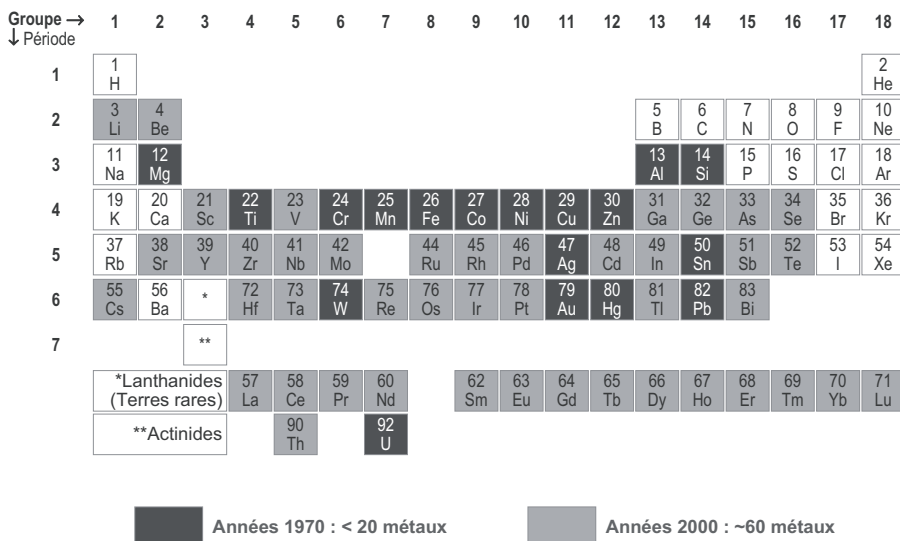


Figure 5 : « Sollicitation » de la table de Mendeleïev.

- 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,
- etc.