

# CES MATÉRIAUX SI RARES ! POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Julien Lefebvre, Noël Baffier, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *Les matériaux stratégiques pour l'énergie* de Bruno Goffé publié dans l'ouvrage « Chimie et enjeux énergétiques », EDP Sciences, 2013, ISBN : 978-2-7598-0973-8

Produire et exploiter l'énergie demande des installations et des dispositifs donc des matériaux. L'accroissement prévisible de la population de la planète au cours des décennies à venir ainsi que l'évolution des modes de vie laissent prévoir un très fort accroissement de la demande mondiale en énergie (1) et, corrélativement, de la demande en matériaux. Cet article s'intéresse aux matériaux métalliques à l'exclusion des métaux énergétiques tels que l'uranium.

## L'ACCROISSEMENT CONSIDÉRABLE DE LA DEMANDE EN MÉTAUX COURANTS

La figure 1 esquisse l'évolution entre les années 2000 et 2030 de la demande en trois métaux de base, le cuivre, l'aluminium et le fer. Les besoins sont multipliés par 2,5 pour le cuivre, par 3,5 pour le fer et l'aluminium (2) est intermédiaire.



Figure 1 – Estimation sur une base cent en 2000 de l'évolution de la consommation globale en trois métaux de base [les autres métaux croissant de 3,6 % par an] : une demande considérablement accrue, d'après une analyse de Rio Tinto 2010.

Plus généralement, l'accroissement de la consommation en matières premières minérales est une tendance de fond, qui s'est manifestée tout au long du xx<sup>e</sup> siècle. Les quantités en jeu sont considérables, passant de quelques centaines de millions à plusieurs milliards de tonnes en cent ans.

## LA DIVERSITÉ DES MÉTAUX EXPLOITÉS ET LEUR DISPONIBILITÉ

L'analyse de la demande en matières premières, et plus particulièrement en métaux, recoupe celle de l'histoire des civilisations (figure 2).

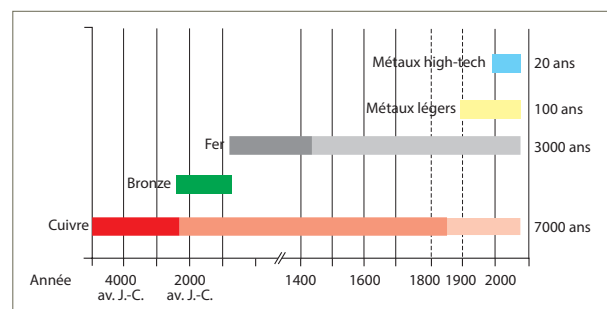


Figure 2 – Chronologie illustrant l'utilisation de métaux de la préhistoire aux temps modernes en Europe centrale.

Source : Wellmer et Steinbach, 2011.

Depuis des millénaires, on exploite le cuivre (âge du bronze, 7000 ans) et le fer (3000 ans). En revanche, les métaux légers ne sont exploités que depuis une centaine d'années (3).

L'Europe est dans une situation de grande dépendance quant à ses ressources en matières premières minérales ; elle ne produit que 3 % de ce qu'elle utilise.

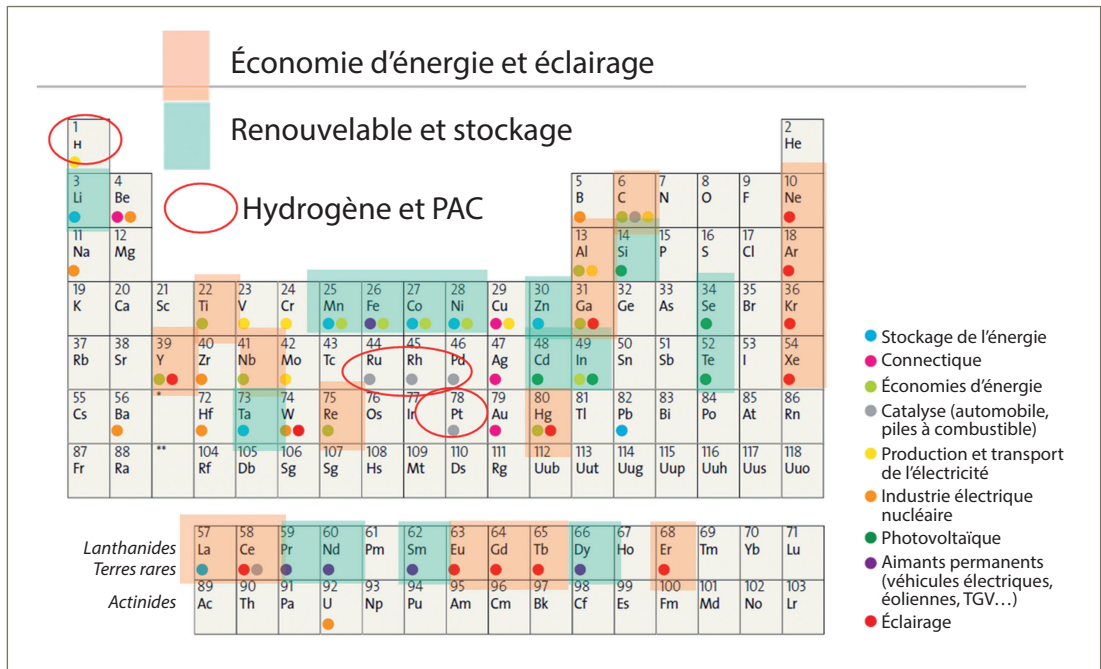


Figure 3 – Éléments chimiques mis en œuvre dans différentes technologies du domaine de l'énergie. Source : P. Christmann, BRGM.

### LE CAS DES MATÉRIAUX POUR L'ÉNERGIE

La figure 3 présente un tableau de Mendeleïev (tableau périodique des éléments) où ressortent en couleurs les éléments utilisés dans différents types d'énergie montrant au passage le très grand nombre de métaux utilisés pour la production et l'exploitation de l'énergie. Y figurent ainsi les métaux et les éléments utilisés dans les économies d'énergie et l'éclairage. Colorés en rose, on trouve des éléments utilisés dans l'éclairage et les économies d'énergie. Colorés en bleu et vert, ce sont les éléments utilisés dans les énergies renouvelables et le stockage de l'énergie, soit à la fois des métaux de base et des métaux rares [4].

Figure également le lithium, très utilisé dans les batteries pour le stockage de l'énergie. Entourés de rouge, on a indiqué les éléments utilisés dans les piles à combustible, les métaux catalyseurs comme le ruthénium, rhénium et platine.

Cet examen du tableau des éléments montre qu'on ne peut penser produire et exploiter d'énergies et particulièrement d'énergies renouvelables sans faire usage de métaux.

La figure 4 précise cette observation par des ordres de grandeur. Elle représente la quantité d'acier utilisée par mégawatt d'énergie selon les différentes sources d'énergie ce qu'on appelle « l'empreinte acier ». L'hydraulique est le moins consommateur de métal, suivi par les centrales à gaz, le nucléaire, les centrales à charbon, les éoliennes puis le solaire thermique qui arrive à

300 tonnes d'acier par mégawatt. Paradoxalement peut-être, plus les énergies sont à faible rendement par surface occupée (densité énergétique exprimée en watts/m<sup>2</sup>), plus elles consomment de « matière première » par mégawatt.

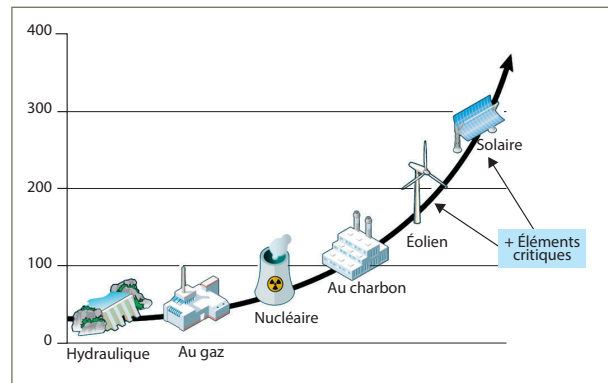


Figure 4 – Quantité d'acier pour différentes technologies de l'énergie, en kilogrammes par mégawatt. Source : Albanese et al., 2011, Investor Seminar.

### CONSÉQUENCE SUR LES MÉTAUX MOINS COURANTS : EXEMPLE DES TERRES RARES

L'utilisation aujourd'hui la plus stratégique des terres rares est la fabrication d'aimants permanents pour moteurs et générateurs électriques. Elle concerne surtout deux des terres rares, le néodyme et le dysprosium. Cette utilisation représente environ 21 % de la consommation totale en terres rares et devrait beaucoup s'accroître dans les années qui viennent [5].

CES MATÉRIAUX SI RARES ! POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

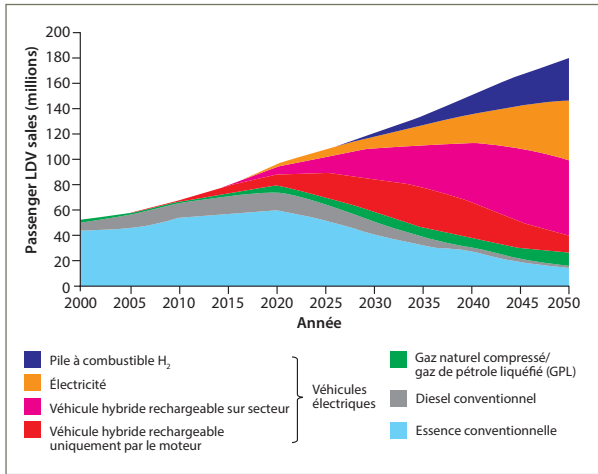


Figure 5 – Évolution du marché de l'automobile 2000-2050. Les principales utilisations des terres rares sont dans les aimants (néodyme et dysprosium) pour les moteurs et générateurs électriques (21 %), l'éclairage (8 %), les catalyseurs (20 %), les matériaux (51 % : verres, alliages, céramiques, polissage) et dans le futur la réfrigération (gadolinium). Il y a une très forte demande sur les moteurs et générateurs électriques à haut rendement. Source : ETP 2010

La figure 5 montre un scénario probable d'équipement en véhicules dans le monde. Les plages en rouge correspondent aux véhicules électriques (hybrides, voitures purement électriques, voitures à hydrogène). Les autres sont les voitures classiques, à essence ou gasoil. Une très forte augmentation des véhicules électriques, prévisible, entraînera une forte demande de moteurs électriques et donc de consommation d'aimants. La deuxième origine d'un accroissement de la demande en aimants permanents est le développement du parc éolien.

## Répondre au défi du développement des énergies renouvelables ?

Comment répondre au défi du développement des énergies renouvelables si les matières premières nécessaires sont trop rares ? La réponse réside dans une vision intégrée du cycle des matières premières pour pouvoir mettre en place leur gestion durable. Il faut d'abord mieux connaître le cycle des matières (figure 6) : extraction de la mine puis cycle de production et d'usage, enfin recyclage (7) et prise en compte d'une perte de matière, d'énergie et les diverses émissions qui sont perdues.

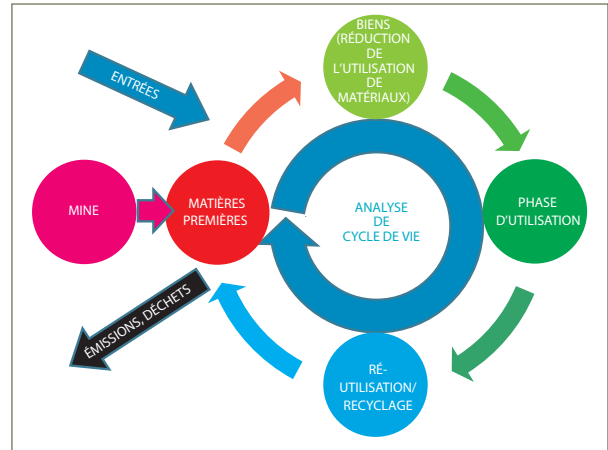


Figure 6 – Une vision intégrée du cycle des matières premières pour leur gestion durable. Source : P. Christmann, BRGM.

L'évolution technologique conduit à une difficulté supplémentaire sur le recyclage, à cause de la diversité et de la dilution des éléments utilisés qui sont en croissance constante, comme l'illustre la figure 7.

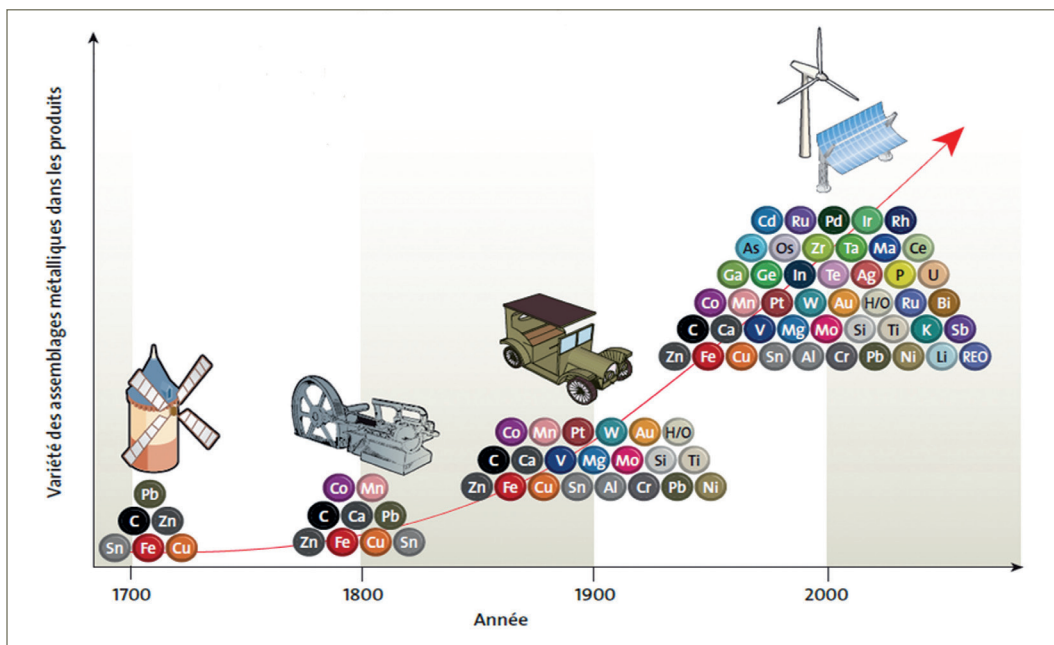


Figure 7 – Augmentation de la complexité des assemblages métalliques dans des produits génériques.

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, on n'utilisait que six éléments pour faire tourner toute l'industrie mondiale (en particulier pour l'énergie) et, en 2000, il y en a presque cinquante, en particulier pour produire et exploiter les énergies renouvelables.

### Repenser d'autres solutions pour la transition énergétique

L'incertitude quant à la disponibilité des terres rares, éléments indispensables au développement prévisible des énergies renouvelables, conduit à des questions fondamentales. Les solutions envisagées actuellement sont-elles réalistes ? Une grande idée serait de remplacer les éléments terres rares par des éléments plus communs et/ou de modifier les procédés et les usages (8).

En fait, toutes les pistes de changement dans nos besoins en énergie visent à remplacer le carbone fossile par les métaux ; ils permettent dans le court terme la conversion de l'énergie solaire que le carbone fossile a réussi sur le long terme. Ces métaux particuliers sur lesquels reposent nos projets actuels ont une abondance limitée, une distribution inégale, des impacts environnementaux parfois insupportables, et leur recyclage est imparfait. Justifient-ils que l'on reconsidère l'utilisation du carbone, l'élément le plus abondant à la surface de la Terre, celui qui a les plus grandes densités énergétiques et que l'on sait mieux recycler ? On peut se poser finalement la question de revenir sur le carbone. Si la nature l'a utilisé, ce n'est pas par hasard !! Ne pourrait-on pas maîtriser à l'échelle du temps humain, quelques dizaines d'années, le cycle du carbone à travers la biomasse, la valorisation du CO<sub>2</sub> ?

### POUR EN SAVOIR PLUS

(1) Vivre en économisant cette « chère » énergie  
<http://www.mediachimie.org/ressource/vivre-en-%C3%A9conomisant-cette-%C2%AB-ch%C3%A8re-%C2%BB-%C3%A9nergie>

(2) Les alliages d'aluminium pour l'allègement des structures dans l'aéronautique et la carrosserie automobile  
<http://www.mediachimie.org/ressource/les-alliages-d%E2%80%99aluminium-pour-l%E2%80%99all%C3%A8gement-des-structures-dans-l%E2%80%99a%C3%A9ronautique-et-la>

(3) Les métaux au fil de l'histoire  
<http://www.mediachimie.org/ressource/les-m%C3%A9taux-au-fil-de-l%E2%80%99histoire>

(4) Vos placards nous intéressent  
<http://www.mediachimie.org/ressource/vos-placards-nous-int%C3%A9ressent>

(5) Terres rares... vous avez dit rares ?  
<http://www.mediachimie.org/ressource/terres-rares-vous-avez-dit-rares>

(6) Chimie et transport, quel rapport ?  
<http://www.mediachimie.org/ressource/chimie-et-transport-quel-rapport>

(7) Faire du déchet une ressource (vidéo)  
<http://www.mediachimie.org/ressource/faire-du-d%C3%A9chet-une-ressource-vid%C3%A9o>

(8) Recyclage des métaux, mimer les processus naturels  
<http://www.mediachimie.org/ressource/recyclage-des-m%C3%A9taux-mimer-les-processus-naturels>

**Jean-Claude Bernier**, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

**Noël Baffier**, professeur honoraire d'université, ancien directeur des Études de l'École d'Ingénieurs de Chimie Paristech

**Julien Lefebvre**, professeur de physique chimie

**Grégory Syoën**, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie