



**HAL**  
open science

# Impacts des scénarios de transition énergétique sur l’approvisionnement en métaux au niveau mondial

Clémentine Renevier

► **To cite this version:**

Clémentine Renevier. Impacts des scénarios de transition énergétique sur l’approvisionnement en métaux au niveau mondial : Le cas d’un matériau structurel : le cuivre. 2016. hal-01503020

**HAL Id: hal-01503020**

**<https://enpc.hal.science/hal-01503020>**

Submitted on 6 Apr 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Impacts des scénarios de transition énergétique sur l'approvisionnement en métaux au niveau mondial

## Le cas d'un matériau structurel : le cuivre

*Mémoire de thèse professionnelle pour le Master spécialisé « Politique de l'Action Publique pour le Développement Durable », année universitaire 2015-2016*

Clémentine RENEVIER

*Encadré par Sandrine Mathy, GAEL-edden et Alban Kitous, JRC-IPTS*

---

Les stratégies de décarbonation impliquent un déploiement massif des énergies renouvelables qui sont consommatrices de métaux, structurels et rares. Nous nous intéressons au cas du cuivre, métal structurel utilisé notamment pour les réseaux électriques et donc indispensable à la transition énergétique. Les énergies renouvelables, les voitures électriques et les trains sont à l'origine d'une hausse de consommation de cuivre de 13% en 2050 entre un scénario de référence et un scénario bas-carbone. Le recyclage est étudié comme solution à l'épuisement des réserves : s'il permet de diminuer significativement la production primaire de cuivre, il ne suffira pas à répondre à la demande, même dans le cas le plus optimiste. Cette augmentation de la consommation nécessaire de cuivre primaire pourra être à l'origine de conflits pour des raisons environnementales (pollution), sociales (conditions de travail) ou géostratégiques. En effet, les réserves de cuivre sont concentrées principalement au Chili, et la Chine est très influente sur le marché et notamment sur la détermination des prix, puisqu'elle est à la fois le plus gros consommateur et le plus gros producteur de cuivre raffiné. Ces risques peuvent être pris en compte à l'aide d'indicateurs de risque de type « Life Cycle Sustainability Assessment ».

Devant le réchauffement climatique annoncé par le GIEC et ses conséquences alarmantes d'un point de vue environnemental, mais aussi économique et social, les gouvernements du monde

entier investissent dans des stratégies de décarbonation, et donc de déploiement massif des énergies renouvelables. Or celles-ci nécessitent des matières premières et notamment des métaux.

## Le cuivre, un métal indispensable à la transition énergétique

Le lien entre les matières premières minérales et l'énergie est celui d'une interdépendance : l'énergie est nécessaire à la production des métaux et les métaux sont nécessaires à la production d'énergie. Le système n'est donc soutenable que si un métal permet de produire plus d'énergie que sa production en nécessite! Les matières premières minérales sont essentielles à la construction des infrastructures productrices d'énergie et à son transport, que ce soient les matériaux structurels tels que l'acier, le ciment, le cuivre, ou les métaux dits « rares » tels que le lithium, les métaux du groupe platine ou les

terres rares. Le terme de métaux rares désignent soit des métaux peu abondants soit des métaux difficiles d'accès : ce sont les métaux avec de forts risques identifiés concernant leur approvisionnement à court ou moyen terme. Ils ont fait l'objet de beaucoup d'études pour évaluer leur degré de criticité. Les métaux structurels, quant à eux, sont peu étudiés alors qu'ils supporteront l'essentiel des coûts des nouvelles infrastructures pour l'énergie. C'est le cas du cuivre dont les utilisations principales sont le réseau électrique et la tuyauterie.

## Le marché du cuivre et son évolution dans un scénario de référence

Les réseaux électriques seront amenés à s'étendre et se densifier avec la transition énergétique car la production d'électricité avec les énergies renouvelables pourra être plus décentralisée. Il y aura aussi une utilisation croissante avec le développement des voitures électriques et des réseaux intelligents dans les nouveaux bâtiments. De plus, s'il n'y a pas de problème d'approvisionnement en minerai à première vue, il faut tout de même prendre en compte le fait que plus d'un tiers des réserves sont concentrées au Chili. Enfin, l'intérêt du cuivre est qu'il est recyclage presque à 100 % car il est très inerte.

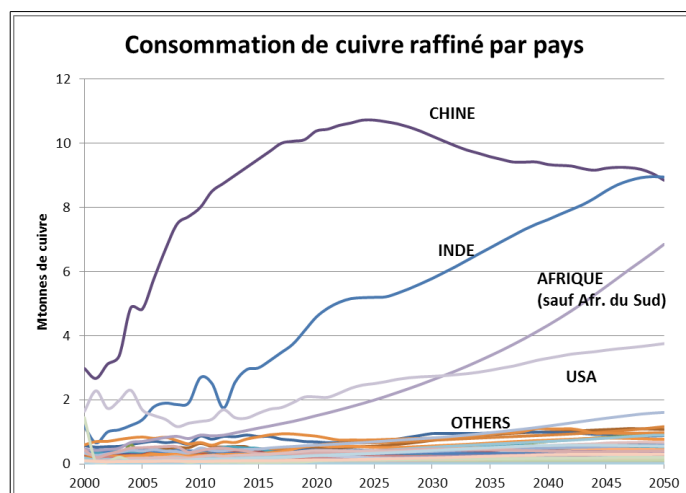
### Les facteurs déterminants du prix du cuivre

Le prix du cuivre est déterminé par trois types de facteurs : les facteurs exogènes tels que les prix du pétrole et de l'or, les facteurs liés au secteur du cuivre tels que les quantités de production, les stocks, les secteurs consommateurs, et les facteurs liés à l'activité économique tels que le PIB, la croissance et les taux d'intérêt sur les marchés par exemple. Aujourd'hui il dépend principalement de la demande chinoise (46 % de la demande totale en 2015), en effet en tant que matériau structurel nécessaire à l'électrification, sa consommation reflète la croissance du pays. De plus la Chine s'est équipée d'une importante industrie métallurgique, qui en fait également le plus gros producteur de cuivre raffiné. La tendance à long terme des prix des matières premières est généralement corrélée au ratio Réserves/Production qui reflète la déplé-

tion des ressources, ce n'est pas encore le cas pour le prix du cuivre. Les coûts de production sont un facteur déterminant du prix du cuivre et de la répartition des parts de marché des producteurs. L'extraction et le raffinage du cuivre nécessitant beaucoup d'énergie, les coûts de production sont très dépendants des prix du pétrole (extraction) et de l'électricité (raffinage). Enfin, les émissions carbone de la production de cuivre, gourmand en énergie, pourront influencer le prix dans le cadre de la mise en place d'une taxe carbone.

### Le ralentissement de la croissance chinoise

Si la consommation de cuivre est aujourd'hui principalement chinoise, elle commence déjà à ralentir, faisant baisser son prix. D'autres pays contribueront d'avantage à l'avenir comme l'Inde ou les pays africains.



Consommation de cuivre par pays (source : POLES)

## Comment une stratégie de décarbonation impactera-t-elle la demande en cuivre ?

Les secteurs consommateurs de cuivre sont principalement l'électricité, le transport et le bâtiment. Le reste des consommations peut être corrélée au PIB par habitant.

### Augmentation de la consommation de cuivre pour un scénario « 2°C »

Pour un scénario de référence, la consommation de cuivre devra être multipliée par 2 d'ici 2050. Les consommations des secteurs électriques et du transport représentent un peu moins d'un tiers de la consommation totale en 2000 alors qu'ils en représentent plus de la moitié en 2050, et ce sont les secteurs les plus susceptibles d'être touchés par la transition énergétique. Cela explique donc une dif-

férence de 13 % en 2050 dans la consommation de cuivre entre un scénario de référence et un scénario 2°C. Cumulé sur la période 2000-2050, la différence de consommation de cuivre primaire (non-issu du recyclage) est de 120 Mt de cuivre, c'est-à-dire plus de 10 % des réserves actuelles, estimées aujourd'hui à 1000 Mt.

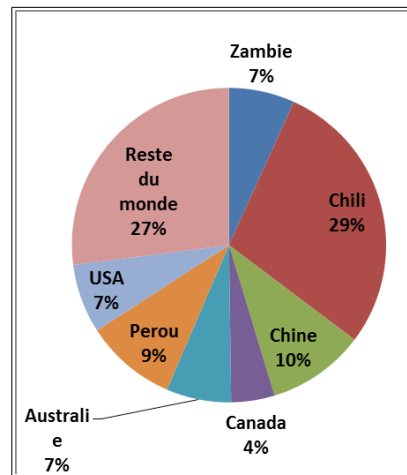
### Évolution à court et plus long terme

Les secteurs contribuent à cette différence « référence/bas-carbone » avec plus ou moins d'avance selon la maturité des technologies et les temps spécifiques du secteur. Par exemple, le secteur du bâtiment ne contribue à l'augmentation qu'à partir de 2035 car les coûts et les procédures dans ce secteur

engendrent beaucoup d'inertie. A l'opposé, le secteur électrique contribue dès « demain » à cette augmentation par les forts investissements des gouvernements dans les énergies renouvelables. Pour le transport, la différence est remarquable seulement à partir de 2035, puisque le parc automobile, qui est le plus gros contributeur du secteur dans sa consommation de cuivre, met plusieurs dizaines d'années pour se renouveler et qu'aujourd'hui les voitures électriques n'atteignent pas les performances des voitures à essence, dans un secteur où les habitudes sont beaucoup plus difficiles à changer que pour le secteur électrique. La deuxième grosse contribution du secteur transport est le réseau ferré et la construction d'infrastructure linéaire qui traverse plusieurs régions voire plusieurs pays donc qui a aussi une grande inertie.

### Le marché des producteurs

Les parts de marché dans la production quant à elle ne seront pas bouleversées sur la période 2000-2050 entre les deux scénarios. En effet les réserves des pays producteurs actuellement sont suffisantes pour qu'ils gardent leur part de marché même en cas d'augmentation de la consommation de cuivre avec la transition. Cela est aussi dû à la « courte durée » sur laquelle on compare ces productions : le marché de ce type de produits, étant données les installations qu'il nécessite, a une grande inertie et



une période de 35 ans est plutôt faible.

Part de marchés des producteurs de cuivre non raffiné en 2050 (source: POLES)

### Le rôle du recyclage

On peut penser que les stratégies de décarbonation seront accompagnées d'effort pour la mise en place d'une économie circulaire dans le cadre de l'effort global de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans le cas d'école où les taux de collecte et de recyclage sont 100 % dès demain, le besoin de ressources primaires est toujours important pour répondre à la demande. En 2050, le cuivre recyclé représente « seulement » les 4/5èmes de la demande et la production cumulée de cuivre primaire atteint 75 % des réserves actuelles.

## Les risques environnementaux, sociaux et géopolitiques sur le marché du cuivre

Bien que le siècle dernier ait été marqué par une augmentation de la consommation en matières premières énergétiques fossiles et en minerais, le prix des métaux de base a en moyenne évolué de manière beaucoup plus modérée. Cette faible augmentation des prix malgré l'augmentation massive de la consommation est largement liée aux progrès techniques survenus depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle et à une délocalisation de la production, qui ont permis l'exploitation de gisements moins concentrés. C'est pourquoi les enjeux géostratégiques, sociaux et environnementaux associés au contenu en matériaux de la transition énergétique restent peu abordés dans la littérature.

### Quels sont les risques liés au marché du cuivre ?

#### Les risques environnementaux

Aujourd'hui, les normes environnementales deviennent plus strictes sur les rejets autorisés par les

mines et les usines et la réhabilitation des sites miniers est devenue une obligation dans plusieurs pays. Outre la contestation sociale que des dégâts environnementaux peuvent engendrer, l'environnement peut être une limite physique à la faisabilité du processus d'extraction du minerai. Par exemple, au Chili, la plupart des mines se trouvent dans le désert d'Atacama alors que le processus d'extraction des minerais demande beaucoup d'eau (55 L d'eau pour extraire et fabriquer 1 kg de concentré à 30 % de cuivre). Certaines mines ont dû baisser leur production certaines années par manque d'eau. Actuellement, certains députés chiliens font pression pour une loi qui rendrait obligatoire l'utilisation d'eau désalinisée pour les installations qui utilisent plus de 150 L par seconde, ce qui concerne presque toutes les activités minières.

#### Les risques de contestations sociales

La contestation sociale de l'industrie minière peut survenir pour différentes raisons : revendication de l'amélioration des conditions de travail dans les

mines ou les usines, ou contestation lors de l'installation de l'infrastructure (expropriation, pollution), comme au Myanmar.

### Les risques géostratégiques

Les risques géostratégiques sont importants pour les pays développés car ils ont délocalisés leur industrie métallurgique, notamment en Chine, et ils n'ont pas/plus de réserves (concentration des réserves au Chili).

### Comment modéliser ces risques ?

#### Indicateurs de risques

| Axe de criticité                                   | Indicateurs                                      |
|--|--|
| Risque sur l'approvisionnement                     | Temps de déplétion des ressources                |
|  | Fraction du métal compagnon                      |
|  | IDH  |
|  | Potentiel de réforme                             |
| Vulnérabilité aux restrictions d'approvisionnement | Stabilité politique                              |
|  | Concentration des ressources                     |
|  | Capacité à encaisser une hausse des coûts        |
|  | Importance du métal dans l'économie du pays      |
|  | Performances et disponibilité de la substitution |
|  | Capacité à innover                               |

Exemple d'indicateurs de risque se référant au pays producteur de cuivre, adapté de Graedel et al., 2013

### Influence sur le prix du cuivre

La prise en compte des risques dans la modélisation du cuivre pourrait se faire au travers de l'inté-

gration dans le calcul du prix du cuivre de risques de tensions sur l'approvisionnement. Pour cela, il serait nécessaire d'évaluer dans quelle mesure des corrélations entre le prix du cuivre sur le marché et différents indicateurs de tensions sur le marché apparaissent.

### Conclusion

Les stratégies de lutte contre le réchauffement climatique impliquent un déploiement massif des technologies décarbonées et celles-ci nécessitent du cuivre dans une plus grande quantité, à service égal, que les technologies actuelles comme les centrales à charbon ou les voitures à moteur thermique. C'est pourquoi un scénario bas-carbone implique une augmentation de 13 % de la consommation de cuivre en 2050 par rapport à un scénario de référence. Le recyclage permet de diminuer significativement la production primaire de cuivre mais ne suffira pas à répondre à la demande, même dans le cas d'un taux de recyclage à 100 % dès demain. Cette augmentation de la consommation nécessaire de cuivre primaire pourra être à l'origine de conflits pour des raisons environnementales, sociales ou géostratégiques. Ces risques peuvent être pris en compte grâce à des indicateurs de risque.

Ce travail d'évaluation des interactions entre le marché du cuivre et la transition énergétique mondiale donne de premiers éléments méthodologiques qui fournissent des pistes pour un travail approfondi sur les risques, et qui pourra être étendu à d'autres métaux afin d'avoir une approche complète. Enfin, il permettra de mieux évaluer les coûts des scénarios de transition énergétique en « fermant la boucle » : la transition énergétique influence les prix du cuivre car modifie sa demande, et le prix du cuivre influence les choix trajectoires de transition énergétique car modifie le prix des technologies décarbonées.

### Bibliographie

- GARCIA-OLIVARES A, et al. (2012) « A global renewable mix with proven technologies and common materials », Energy Policy, vol 41., pp. 561-574.
- GLÖSER S et al. (2013) « Dynamic analysis of global copper flows. global stocks, postconsumer material flows, recycling indicators, and uncertainty evaluation », Environmental science and technology, pp. 6564-6572.
- GRAEDEL T.E. et al. (2012) « Methodology of metal criticality determination, Environmental Science and Technology », vol. 46., pp. 1063-1070.
- MUDD G.M et al. (2013) « A projection of future energy and greenhouse gas emissions intensity from copper mining », 23rd World Mining Congress
- POLINARES EU policy on natural resources, Project deliverables (2012)
- USGS (2011) « Estimates of electricity requirements for the recovery of mineral commodities, with examples applied to sub-saharian Africa »