

# Enjeux du recyclage et de l'efficacité matière pour la maintenance du parc PV mondial sous la contrainte des matériaux critiques.

Auteur : Joseph LE BIHAN, José HALLOY

Affiliation : Université Paris Cité, CNRS, LIED UMR 8236 - Paris, France

Les différents scénarios de transition énergétique prévoient un déploiement important de la capacité photovoltaïque à horizon 2050 [1]. Ce déploiement implique une croissance importante de la consommation de certaines matières premières, l'IEA estime par exemple une demande moyenne en cuivre pour la technologie photovoltaïque (PV) de 2 Mt par an entre 2020 et 2050 [2]. Plusieurs études quantifient cette demande matière induite, mais la plupart se concentrent sur la période allant jusqu'à 2050.

Nous modélisons l'hypothèse d'un maintien de cette capacité post-2050 à l'aide d'un renouvellement du parc PV mondial, et quantifions la demande en matériaux induite sur le long terme (Cu, Al, Ag, Si, ...). Nous montrons que cette dernière est importante, autour de 1.6 Mt par an pour le cuivre, ce qui combiné à une baisse potentielle de la production minière [4] représente rapidement une part critique de la production annuelle, plus de la moitié du cuivre dès 2055. Une industrie du recyclage développée et mature en 2060 permettrait de repousser ces tensions de plusieurs décennies (un taux de recyclage de 90% du cuivre repousserait la date critique à 2080), offrant une fenêtre de temps plus importante pour la substitution de ces matériaux critiques.

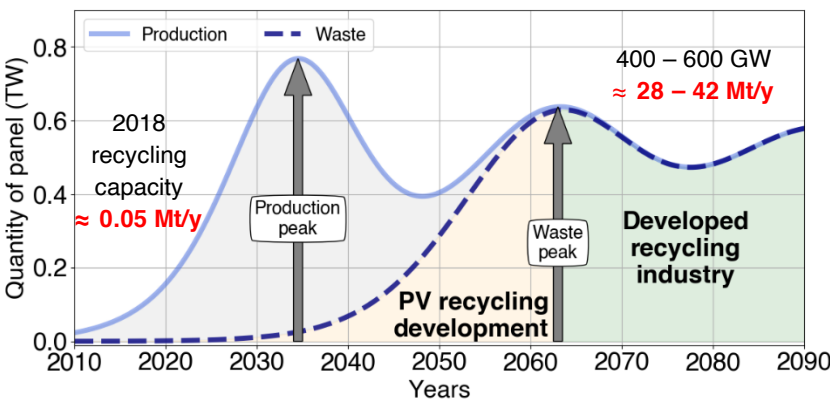


Figure 1 : Production annuelle de panneaux induite par le scénario NZE de l'IEA [1] et la durée de vie de l'IRENA [3]. Pour pouvoir traiter la vague de déchets PV correspondante l'industrie du recyclage devrait être mature à horizon 2060.

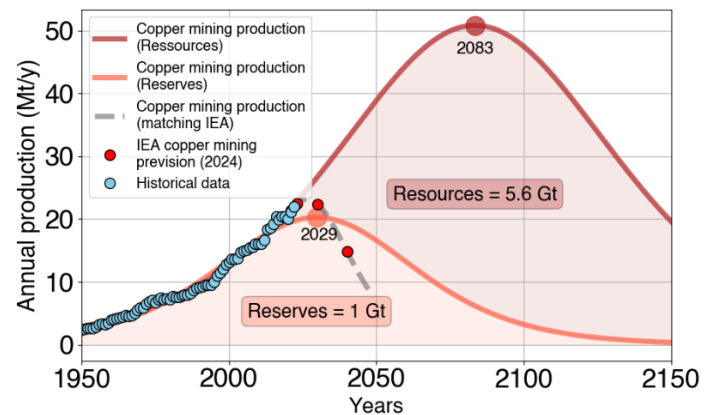


Figure 2 : Projections de la production minière de cuivre utilisant des estimations de réserves et ressources mondiales ainsi que les projections plus pessimistes de l'IEA [4].

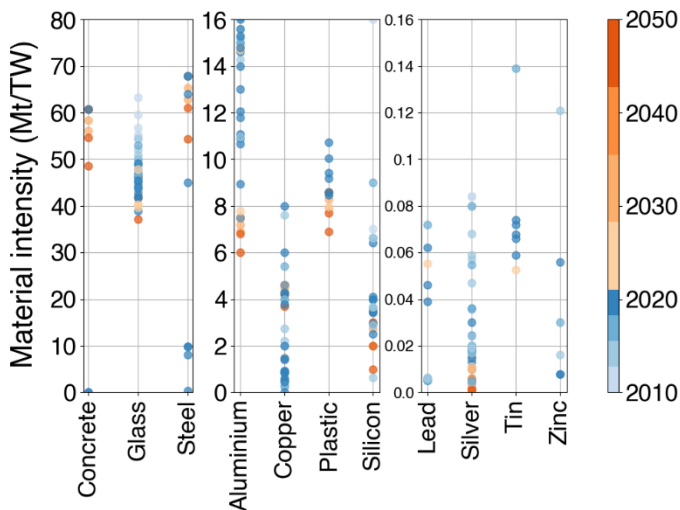


Figure 3 : Intensité matière actuelle et future du PV c-Si pour quelques matériaux selon différentes études.

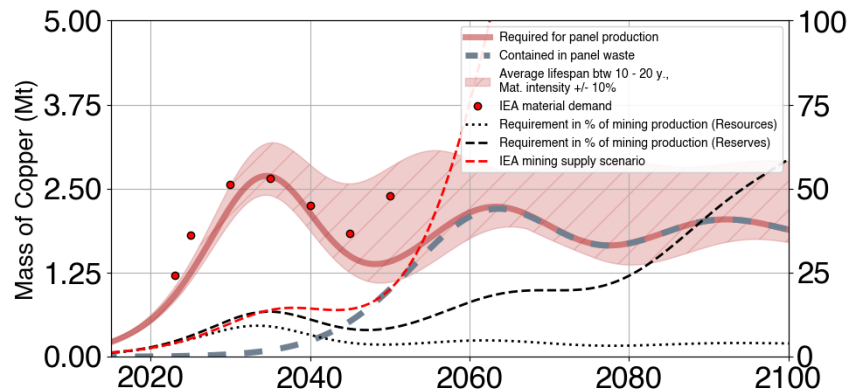


Figure 4 : Demande en cuivre (trait plein) correspondant à la production de panneaux de la Figure 1 concordant avec les estimations de l'IEA (points rouges). Cette demande représentera plus de 50% de la production annuelle avant 2060 (pointillés rouges) ou avant 2100 (pointillés noirs) suivant les hypothèses de production minières.

[1] – IEA (2021), *Net Zero by 2050*, Paris ; Bobba, S. et al. (2020). Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU. A Foresight Study.  
 [2] – IEA (2024), *Critical Minerals Data Explorer*, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/critical-minerals-data-explorer>  
 [3] – Weckend, S., Wade, A., & Heath, G. (2016). *End of Life Management : Solar Photovoltaic Panels*  
 [4] – IEA (2024), Copper, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/copper>