

ETUDE PROSPECTIVE

Evolution du marché du cuivre et impacts économiques de la décarbonation de sa production

Auteur **Rafaël Sanchez**

rsanchez@clarus-developpement.fr - + 33 (0)7 72 45 61 79

Date publication : **15/07/2025**

Cette note propose un état des lieux détaillé de l'évolution de l'offre et de la demande en cuivre à court, moyen et long terme, tout en analysant les enjeux critiques qui traversent sa chaîne de valeur et les défis liés à sa décarbonation.

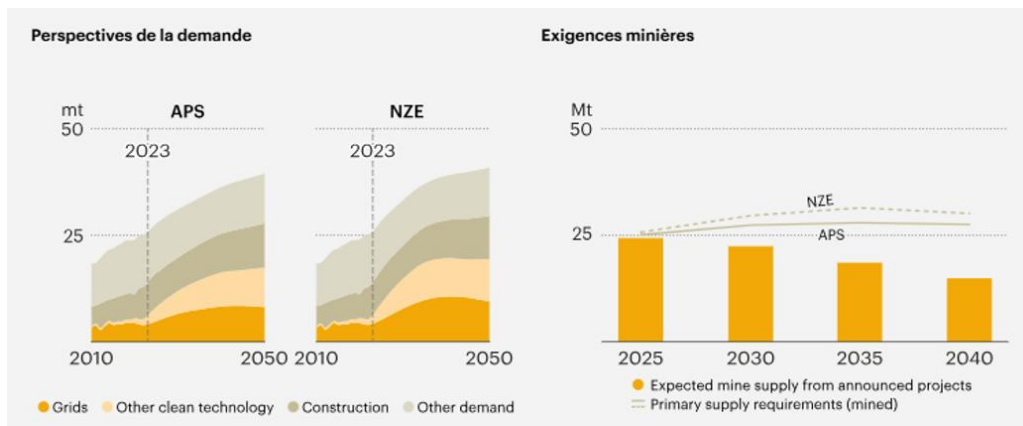
Marché du cuivre

Une demande en hausse portée par des transformations structurelles

Métal stratégique par excellence, le cuivre est au cœur des grandes transitions industrielles, numériques et énergétiques actuelles. Sa conductivité exceptionnelle, sa recyclabilité et sa polyvalence en font un matériau indispensable à la fois pour les infrastructures électriques, les technologies numériques, les véhicules électriques et les énergies renouvelables.

La demande annuelle en cuivre s'élève à 25 millions de tonnes (USGS, 2023). Sa croissance devrait se poursuivre, soutenue par trois dynamiques majeures : la croissance démographique couplée à l'élévation des niveaux de vie, notamment dans les pays émergents ; l'essor des technologies numériques (objets connectés, datacenters, IA, automatisation) ; et enfin la transition énergétique, avec le développement des énergies renouvelables, des véhicules électriques et des infrastructures de stockage d'énergie.

Plusieurs études s'intéressent à l'évolution de la demande de cuivre, à l'image des projections à long terme fondées sur le modèle TIAM de l'IFPEN (IFP énergies nouvelles), qui estiment que la demande annuelle pourrait atteindre 86 millions de tonnes en 2050 dans un scénario climatique à +4°C, et jusqu'à 102 millions de tonnes dans un scénario plus ambitieux à +2°C. Le secteur des transports en serait le principal moteur, avec une forte croissance de la flotte mondiale de véhicules électrifiés. Même s'il existe différentes études sur les projections de la demande en cuivre à horizon 2050, quasiment toutes s'accordent sur un minimum d'un doublement de la demande.



Une offre confrontée à de nombreuses contraintes : vers un déséquilibre structurel entre l'offre et la demande ?

L'offre mondiale de cuivre est soumise à des tensions structurelles croissantes. Un déficit chronique est attendu dès 2025, en raison de l'insuffisance de nouveaux projets miniers et d'une détérioration de la qualité des minerais extraits. La teneur moyenne du minerai extrait par les 15 plus grands producteurs est passée de 1,20 % à 0,72 % de cuivre au cours de la dernière décennie. Cette baisse engendre une hausse significative des coûts : une réduction de 0,1 % de teneur implique une augmentation d'environ 10 % du coût marginal et une intensification similaire des émissions de CO₂.

La transition énergétique accentue la pression sur la production. Pour atteindre la neutralité carbone, la demande mondiale pourrait atteindre 50 millions de tonnes de cuivre par an d'ici 2050, contre 25 millions aujourd'hui. Pour y répondre, il faudrait développer environ 40 nouvelles mines d'ici une dizaine d'années. Or, le rythme des découvertes diminue drastiquement : entre 2003 et 2014, on comptait 75 découvertes majeures, contre seulement 14 au cours des dix années suivantes. En 2005 et 2007, 15 nouvelles mines ont été découvertes chaque année, mais ce chiffre est tombé à trois en 2017, zéro en 2018, une en 2019, trois en 2020 et une en 2021.

En 2024, la production du Pérou a diminué de 1,4 % en octobre et de 5,0 % en novembre. Le Chili, premier producteur mondial, a révisé à la baisse ses prévisions à moyen terme de 14 %, anticipant un pic de production pour 2027. La combinaison de facteurs conjoncturels (reconstitution de stocks en Chine post-Covid, contrats long terme avantageux pour les raffineurs) a temporairement retardé un déséquilibre structurel que nombre d'analystes (AIE, Goldman Sachs, Macquarie) considèrent désormais comme inévitable. L'année 2025 marquerait le début d'une période prolongée de déficit de l'offre. En mai 2024, l'AIE annonçait que, d'ici 2030, les mines existantes et en projet ne pourront fournir que deux tiers du cuivre nécessaire. Plus de 300 dirigeants interrogés par EY (Ernst&Young) ont placé l'épuisement des ressources au quatrième rang de leurs préoccupations, alors que ce sujet n'était même pas mentionné parmi les dix premières préoccupations auparavant.

Le développement d'un projet minier est par ailleurs particulièrement long : le délai moyen entre la phase d'exploration et la production est de 16 ans (source AIE), avec un minimum de 10 ans requis. Ce ralentissement est aggravé par un sous-investissement chronique dans le secteur, en raison de la volatilité des prix, de la hausse des coûts (inflation, taux d'intérêt) et des contraintes environnementales. En juin 2024, Nevada Copper a ainsi dû abandonner son projet faute de financements, illustrant les obstacles croissants auxquels est confrontée l'industrie.

Des tensions sociales compliquent également l'exploitation. Au Chili, la plus grande mine de cuivre du monde, Escondida (qui représente plus de 5 % de la production mondiale), a été paralysée par une grève liée aux revendications salariales. D'autres conflits sociaux sont recensés dans les Andes péruviennes, et au Panama, la plus grande mine du pays a dû suspendre ses activités faute d'une « licence sociale d'opérer ». Le changement climatique constitue un autre facteur critique : selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), 52 % des mines mondiales sont situées dans des zones à fort stress hydrique. Le changement climatique et l'environnement sont également des facteurs importants concernant l'acceptation sociale du secteur minier.

Dans les deux scénarios développés par l'IFPEN, la pression sur les ressources est très forte : 78,3 % à 89,4 % des ressources mondiales identifiées seraient extraites d'ici 2050. Si l'on inclut les ressources non encore découvertes, ces taux tombent respectivement à 47 % et 53,7 %. D'autre part, certains facteurs pourraient atténuer la pression sur la ressource, tels que la substitution par l'aluminium qui est estimée par l'ICA à 20% en 2040 (contre 17% en 2020) ou encore l'usage de la fibre optique pour les télécommunications ou le plastique étant déjà utilisé à la place du cuivre dans les tuyaux d'évacuation, les accessoires de plomberie et les conduites d'eau. Le titane et l'acier sont aussi des alternatives dans les échangeurs de chaleur.

L'Institut de recherche sur le développement durable de Schneider Electric conclut que le secteur des bâtiments présente les possibilités les plus prometteuses de réduction de la demande. Une réduction de 20 % de l'utilisation du cuivre dans les bâtiments pourrait faire baisser la demande annuelle totale de cuivre de 5,4 % d'ici 2050 (T.A. Kwan, 2025).

Décarbonation de la chaîne de valeur de la production du cuivre

Empreinte carbone et stratégie de décarbonation de l'industrie du cuivre

La production de cuivre est responsable d'environ 97 millions de tonnes de CO₂ par an, soit 0,2 % des émissions mondiales. Son intensité carbone moyenne est estimée entre 4,1 et 4,6 tonnes de CO₂ par tonne de cuivre raffiné. Sur ces émissions, 70 % sont liées à l'extraction minière, 23 % à la fusion et l'affinage, et 7 % au transport et traitement final. Des variations existent selon les procédés : la voie pyrométallurgique émet en moyenne 5,3 tCO₂e/t, contre 7,3 tCO₂e/t pour l'hydrométallurgique, bien que les chiffres dépendent aussi fortement de l'intensité carbone de l'électricité utilisée.

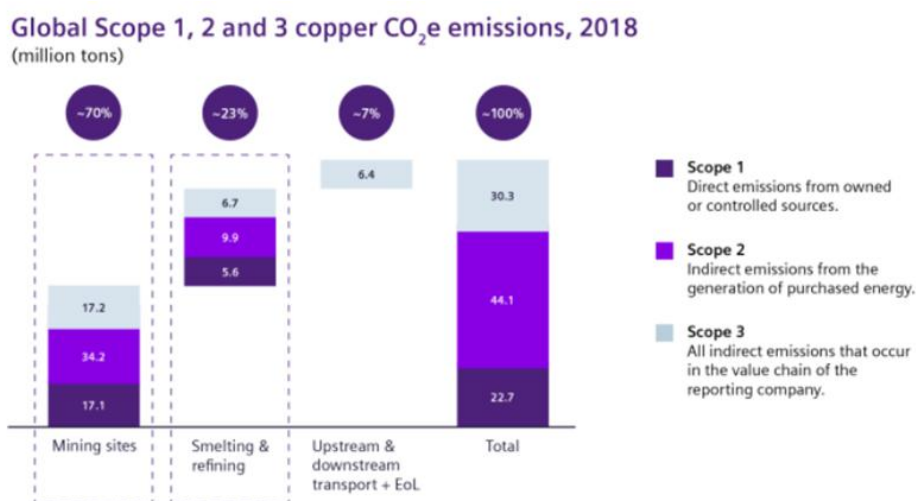


Figure 1 : Émissions mondiales de CO₂e de cuivre de portée 1, 2 et 3, 2018 (en millions de tonnes). Figure adaptée de l'ICA.

Le cuivre recyclé offre un levier important de décarbonation, avec une intensité carbone de 0,2 à 1,9 tCO₂e/t, contre 1,1 à 8,5 tCO₂e/t pour le cuivre primaire. Cependant, son impact reste limité à cause d'une disponibilité restreinte de la ferraille : entre 2000 et 2020, le taux d'intrants recyclés en fin de vie était d'environ 15 %. Selon l'International Copper Association, ce taux pourrait atteindre 23 % d'ici 2050, permettant d'éviter l'émission de 1,25 gigatonne de CO₂, soit l'équivalent du retrait de 500 millions de véhicules thermiques.

La décarbonation complète de la filière nécessite une transformation en profondeur, avec cinq leviers identifiés :

- Utilisation d'électricité bas carbone
- L'électrification des équipements miniers (camions, chariots)
- Le recours à des carburants alternatifs (hydrogène vert, huiles végétales hydrotraitées)

- Des gains d'efficacité énergétique
- Le recyclage des matériaux

Aspects économique et coût de la décarbonation du cuivre

Sur le plan économique, les efforts de décarbonation menés par le secteur minier entraînent des conséquences significatives. Bien qu'il n'existe pas encore de chiffrage précis sur les surcoûts induits par la décarbonation, on sait déjà que la transition vers une extraction et un traitement plus sobre en carbone implique des investissements massifs. Cela pourrait entraîner une augmentation des coûts de production, répercutée sur l'aval de la chaîne industrielle.

En Europe, les membres de l'International Copper Association estiment à 5,3 milliards d'euros l'investissement nécessaire pour une trajectoire net zéro, dont 4 milliards pour des solutions de production d'énergie décarbonée (solaire et éolien). En Chine, une étude récente explore les voies de l'efficacité énergétique et de la réduction des émissions, identifiant huit technologies bas carbone applicables à l'industrie chinoise du cuivre. Avec un coût moyen de réduction de 99,2 yuans/tCO₂ (2020). Ces technologies pourraient permettre une réduction totale des émissions allant de 9,134 millions de tonnes d'ici 2035 (-23%), pour un coût global de 900 millions de yuans (environ 107 millions d'euros) à 2,06 milliards de yuans pour une réduction totale de 33,17 % des émissions.

En Allemagne, une étude datant de 2021 explore les aspects économiques de la décarbonisation de la production de cuivre par conversion d'électricité en hydrogène. Selon les paramètres technico-économiques de 2021, le coût direct d'évitement du CO₂ s'élève à 201 EUR par tonne de CO₂-équivalent pour l'application du Power-to-Hydrogen dans la production de cuivre. Les valeurs attendues pour les systèmes d'électrolyse permettent d'obtenir des coûts de réduction des émissions directes d'environ 91 EUR/t CO₂ en 2030 et 80 EUR/t CO₂ en 2050.

Conclusion et perspective

La situation actuelle sur le marché mondial du cuivre soulève de nombreuses menaces mais aussi des opportunités pour les entreprises mécaniciennes françaises, en particulier les PME et ETI qui utilisent ce matériau dans la fabrication de composants industriels, d'équipements électromécaniques ou de systèmes de connectique. Le déséquilibre croissant entre l'offre et la demande, combiné aux enjeux de décarbonation du secteur minier, constitue un facteur de tension majeur pour cette filière.

D'un point de vue économique, les entreprises pourraient être confrontées à une pression croissante sur leurs coûts d'approvisionnement. La perspective d'un déficit structurel de l'offre dès 2025, résultant à la fois de la baisse des teneurs des minerais et du ralentissement des investissements miniers, laisse entrevoir un potentiel hausse durable du prix du cuivre. Cette tendance est aggravée par une forte volatilité des marchés, elle-même nourrie par des facteurs géopolitiques (conflits, instabilité dans les pays producteurs), sociaux (grèves, conflits communautaires) et climatiques (stress hydrique). Pour les entreprises mécaniques françaises, qui n'ont pas toujours la capacité de répercuter ces hausses sur leurs clients, cette pression représente une menace directe sur leurs marges.

Le risque de pénurie ou de rationnement constitue un autre enjeu critique. Avec une demande mondiale prévue en forte hausse alors que les capacités de production prévues restent nettement inférieures, les industriels en aval de la chaîne, et notamment ceux qui ne disposent pas d'un pouvoir de négociation fort ou de contrats d'approvisionnement sécurisés, pourraient faire face à des retards de livraison, des ruptures de stock ou à une augmentation significative des coûts via des primes d'accès au matériau. Dans ce contexte, les entreprises de mécanique pourraient se retrouver désavantagées face aux grands donneurs d'ordre des secteurs stratégiques (énergies renouvelables, transport électrique, électronique), vers lesquels les volumes disponibles pourraient être prioritairement dirigés.

Cette compétition accrue pour l'accès au cuivre s'inscrit par ailleurs dans un contexte de concentration du raffinage mondial : la Chine contrôle à elle seule 44 % des capacités de raffinage, et peut donc influencer les flux disponibles sur le marché international. Pour les industriels européens, et français en particulier, cela renforce leur dépendance à des chaînes d'approvisionnement mondialisées et vulnérables.

En parallèle, l'inscription du cuivre sur la liste européenne des matières premières critiques entraîne un durcissement réglementaire. Les entreprises utilisant ce métal sont de plus en plus soumises à des exigences en matière de traçabilité, de taux de recyclage ou de reporting environnemental, qui peuvent générer des coûts supplémentaires ou nécessiter des adaptations organisationnelles.

À plus long terme, les lourds investissements nécessaires pour développer de nouveaux projets miniers risquent également de se répercuter sur les prix d'achat.

Bien qu'il n'existe pas encore de chiffrage précis sur les surcoûts induits, on sait déjà que la transition vers une extraction et un traitement plus sobre en carbone implique des investissements massifs. Cela pourrait entraîner une augmentation des coûts de production, répercutée sur l'aval de la chaîne industrielle. De plus, les sous-investissements actuels, conjugués à un durcissement des contraintes environnementales et sociales, pourraient freiner l'émergence de nouveaux projets miniers, limitant d'autant la croissance de l'offre.

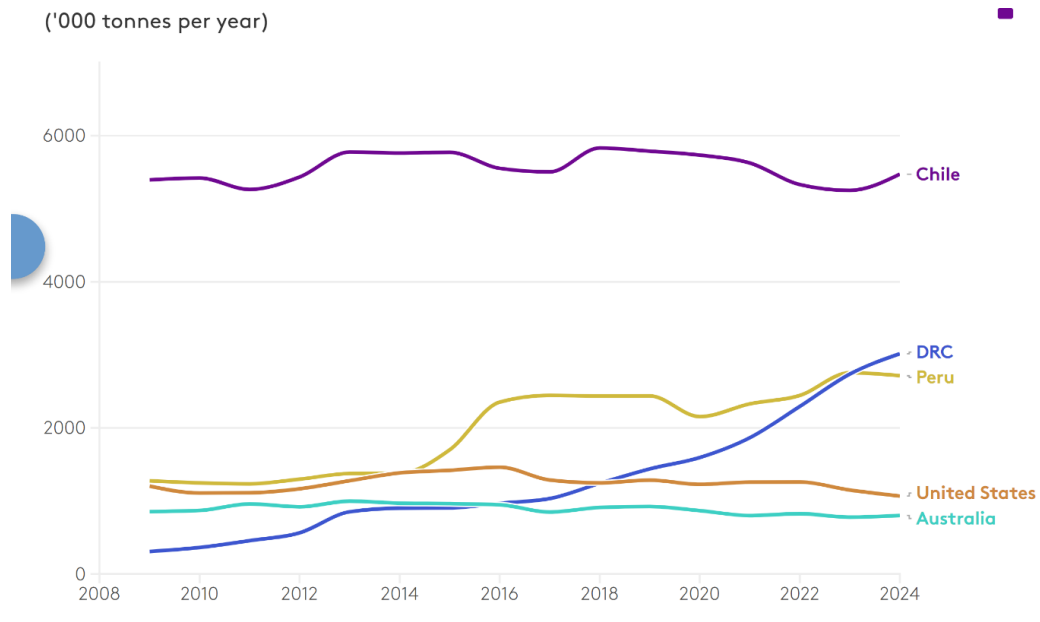
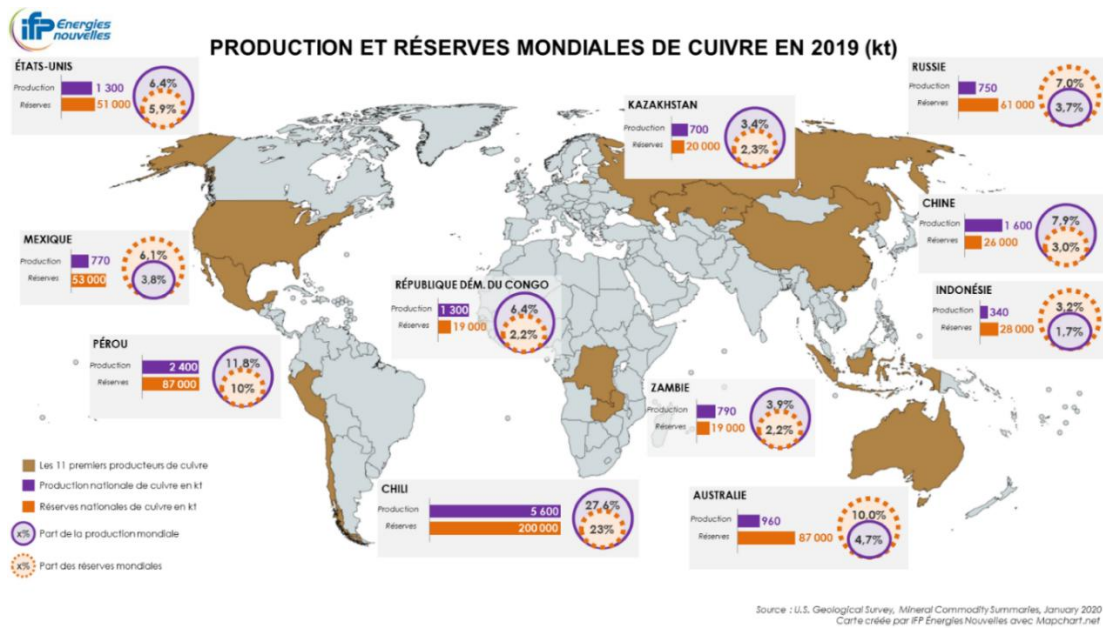
Cependant, ces mutations présentent aussi des leviers d'opportunité. La nécessité de réduire l'empreinte carbone de la production minière stimule l'innovation technologique dans le secteur, avec le développement de procédés d'extraction plus efficaces, automatisés et moins énergivores. L'enjeu autour de l'utilisation et de la préservation de l'eau peut également se révéler être une opportunité de marché pour les entreprises mécaniciennes.

En outre, la montée en puissance du recyclage offre une piste crédible pour atténuer les tensions sur l'offre. Sous la pression des enjeux environnementaux, la récupération et la réutilisation du cuivre sont en forte progression. Pour les entreprises mécaniciennes, cela représente une opportunité de s'engager dans une démarche d'économie circulaire, en travaillant avec des fournisseurs de cuivre secondaire ou en adaptant la conception de leurs produits pour en améliorer la recyclabilité.

Sources et annexes

1 - Ressources, réserves et production

Les réserves mondiales de cuivre sont estimées à 870 millions de tonnes et les ressources actuelles en cuivre sont estimées à plus de 5,6 mds de tonnes (USGS, 2014 et 2017). L'U.S Geological Survey (USGS) estime les ressources mondiales de cuivre à 2,1 milliards de tonnes métriques, auxquelles s'ajoutent 3,5 milliards de tonnes non découvertes (estimation moyenne) réparties dans 11 régions du monde. Environ la moitié de ces ressources ont été localisées en Amérique du Sud, dans la partie sud de l'Asie centrale, en Asie et en Amérique du Nord (USGS, 2014).



Source: [Fastmarkets](#)

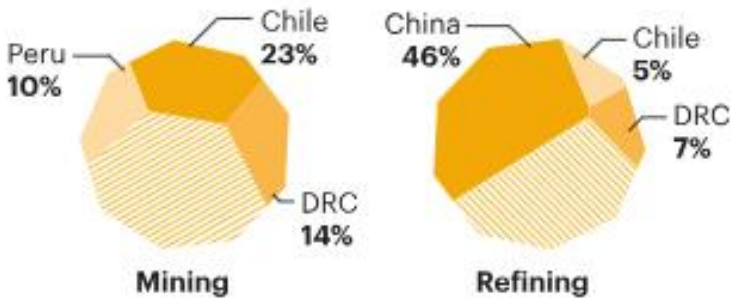
Evolution de la production minière de cuivre depuis 2009 (source : Fastmarket)

World Mine and Refinery Production and Reserves: Reserves for Canada, Indonesia, Peru, and the United States were revised based on company, Government, and (or) industry association reports.

	Mine production		Refinery production		Reserves ⁶
	2023	2024 ^e	2023	2024 ^e	
United States	1,130	1,100	882	890	47,000
Australia	778	800	442	460	⁷ 100,000
Canada	500	450	315	320	8,300
Chile	5,250	5,300	2,080	1,900	190,000
China	1,820	1,800	12,000	12,000	41,000
Congo (Kinshasa)	2,930	3,300	2,170	2,500	80,000
Germany	—	—	609	630	—
India	27	30	509	510	2,200
Indonesia	907	1,100	225	350	21,000
Japan	—	—	1,490	1,600	—
Kazakhstan	^e 740	740	458	470	20,000
Korea, Republic of	—	—	604	620	—
Mexico	699	700	509	350	53,000
Peru	2,760	2,600	403	390	100,000
Poland	395	410	592	590	34,000
Russia	^e 890	930	^e 1,000	960	80,000
Zambia	712	680	222	170	21,000
Other countries	<u>3,020</u>	<u>2,700</u>	<u>2,460</u>	<u>2,500</u>	<u>180,000</u>
World total (rounded)	22,600	23,000	27,000	27,000	980,000

Production et raffinage de cuivre par pays (Source : [USGS](#), janvier 2025)

Actuellement, le monde produit environ 23 millions de tonnes de cuivre par an, et la Chine contrôle près de 50 % du raffinage mondial de cuivre. La méthodologie de l'indice HHI (Herfindahl-Hirschmann Index) appliquée réserves de cuivre témoigne de leur faible niveau de concentration. 13 pays regroupent 75 % des réserves identifiées. À titre de comparaison, 12 pays comptent pour 92 % des réserves de cobalt et 9 États seulement détiennent 93 % des réserves de lithium.



Principaux pays producteurs en 2030 (Source : [USGS](#), 2024)

La projection à 2030 de la production et du raffinage de cuivre met en évidence la place montante dont bénéficie la République démocratique du Congo (RDC) sur le marché mondial du cuivre. En 2024, la RDC devient ainsi le deuxième producteur mondial de cuivre selon un rapport de statistiques provisoires du ministère des Mines du pays.

Principales entreprises minières (en 2023) :

en milliers de t de cuivre extrait des exploitations minières			
BHP-Billiton (Australie), en 2023-24	1 865	Anglo American (Afrique du Sud)	843
Codelco (Chili)	1 424	First Quantum (Canada)	708
Freeport (États-Unis)	1 269	Antofagasta (Chili)	661
Glencore (Suisse)	1 058	Rio Tinto (Australie)	562
Grupo México (Mexique)	1 030	KGHM (Pologne)	511

Sources : rapports d'activité des sociétés

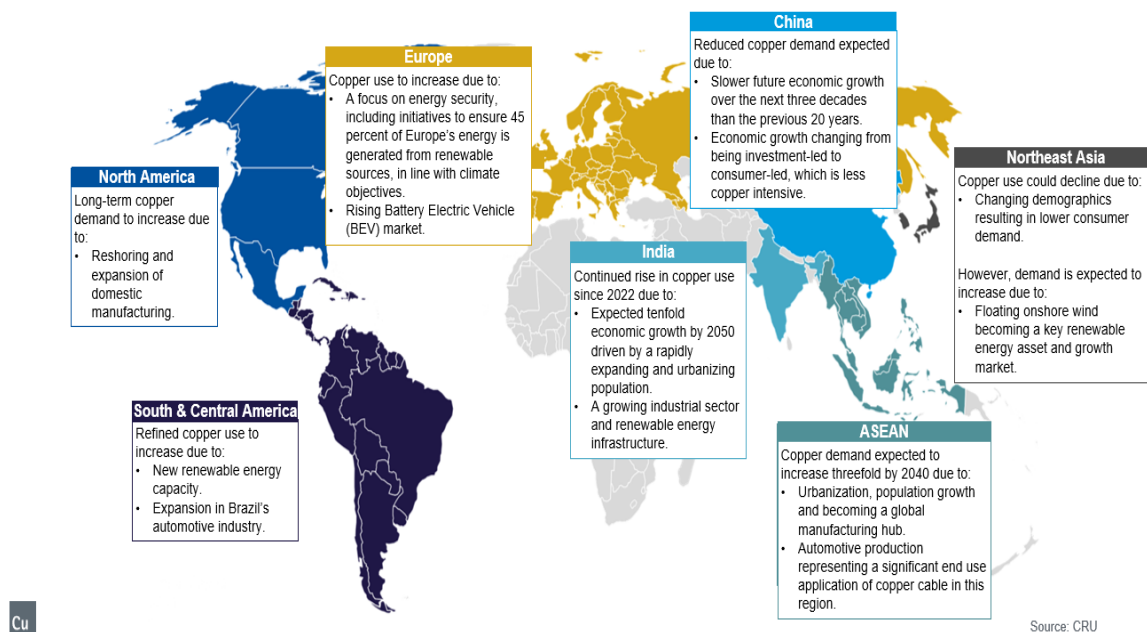
2 - Usages et évolution de la demande

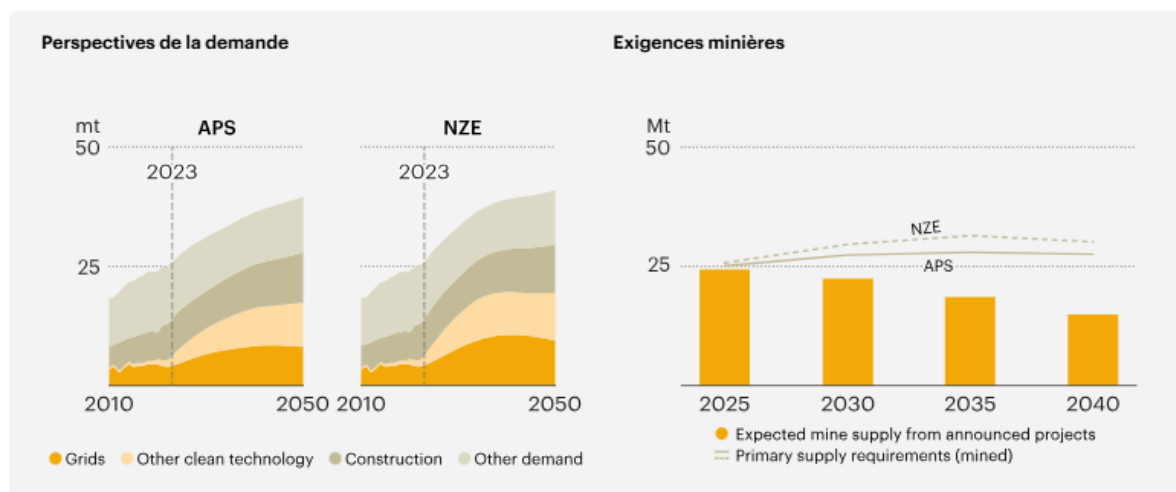
La demande annuelle de cuivre est de 28 millions de tonnes (United States Geological Survey, 2020). La plupart des analystes prévoient le maintien de la croissance de la demande en cuivre en raison de trois grandes tendances sociétales :

- L'évolution démographique : hausse de la population mondiale couplée à une hausse des niveaux de vie, en particulier dans les pays émergents ;
- Le développement toujours plus soutenu des technologies : internet mobile, objets connectés, automatisation, robotique, datacenters (usage de l'IA et du cloud, plus globalement transition numérique), etc. ;
- La transition énergétique et écologique bas carbone : développement des énergies renouvelables, véhicules électriques, stockage de l'énergie etc..

En effet, le cuivre est notamment utilisé dans de nombreux secteurs tels que le bâtiment et l'industrie (Installations électriques, chauffage, air conditionné, eau et gaz, moteur...), les systèmes énergétiques (génération d'électricité renouvelables, systèmes de transmission et de distribution, , câbles souterrains et sous-marins, réseaux et stockages électriques...) le transport (caténaires ferroviaires, moteur électrique, système numérique...) et dans divers autres secteurs (télécommunication, appareils électroniques...)

Plusieurs tendances macroéconomiques régionales devraient façonner la demande mondiale de cuivre à long terme en fonction des différentes zones géographiques.





Jalons (APS)	2021	2023	2030	2040
Demande de technologies propres (kt)	5 380	6 311	12 001	16 343
Autres utilisations (kt)	19 548	19 543	19 127	20 036
Demande totale (kt)	24 928	25 855	31 128	36 379
Approvisionnement secondaire et réutilisation (kt)	4 123	4 445	5 879	10 006
Besoins en approvisionnement primaire (kt)	20 805	21 409	25 249	25 373
Part des trois premiers pays miniers	46%	47%	48%	54%
Part des trois premiers pays raffineurs	57%	59%	59%	59%

Évaluation des risques liés à la transition vers une énergie propre



Source : IEA, <https://www.iea.org/reports/copper#dashboard>

Selon IFPEN, le cuivre présente une criticité géologique élevée. En effet, l'équipe de recherche a utilisé [le modèle TIAM-IFPEN](#) pour évaluer la demande cumulée en cuivre à l'horizon 2050 sur la base de deux scénarios climatiques : un scénario dit 4° C correspondant à une élévation des températures de 4° C au-dessus des niveaux préindustriels (scénario 4D) et un scénario climatique plus ambitieux limitant la hausse des températures à 2° C (scénario 2D). Une explosion de la demande en cuivre tirée par le secteur des transports : Le modèle anticipe une augmentation de la demande annuelle en cuivre : elle passe de 27 Mt en 2015 à respectivement 86 Mt et 102 Mt pour les scénarios 4D et 2D en 2050 (mobilité BAU). Une demande principalement tirée par les secteurs des réseaux électriques, des biens de consommation et des transports. Quel que soit le scénario considéré, la flotte mondiale de véhicules électrifiés enregistre une forte croissance et est proportionnellement plus marquée dans les scénarios climatiques ambitieux.

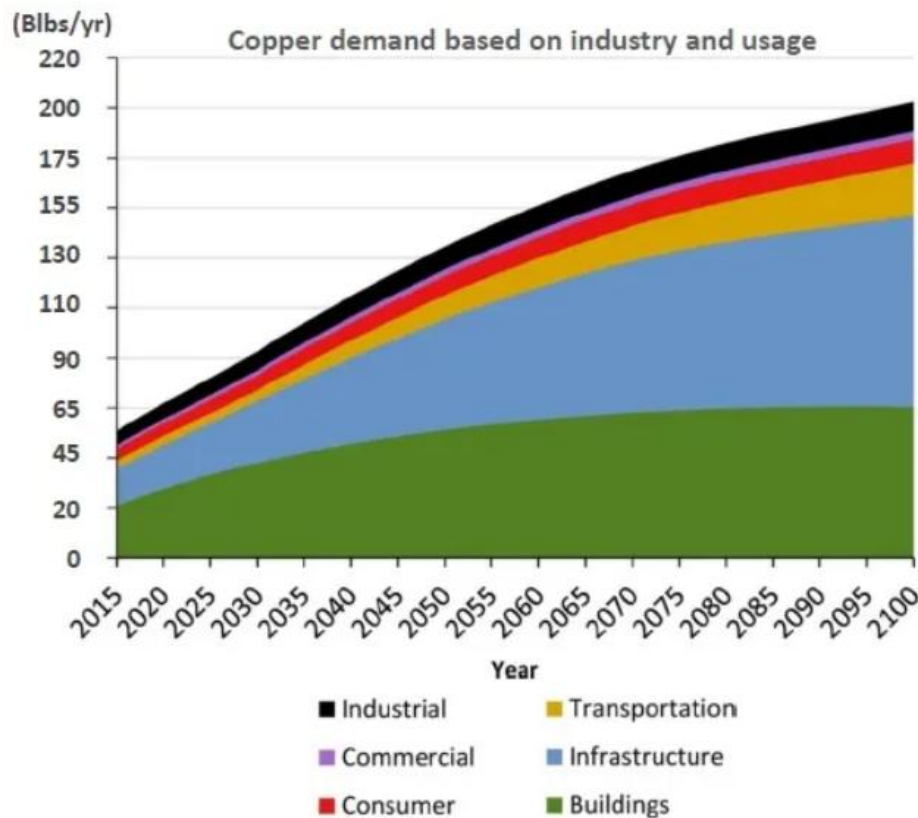
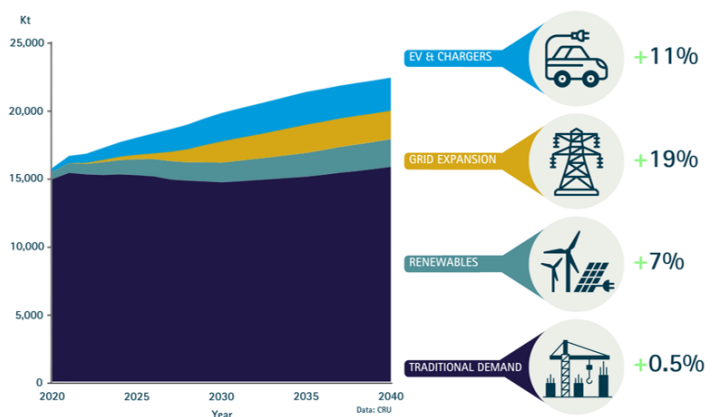


Figure 1: future copper demand based on industry and usage (Source: *World Copper*)

Wire and cable copper demand forecast to be driven by the Green Energy Transition (GET)

- The green energy transition in China, Europe and North America is expected to increase total copper demand, offsetting the slow-down in growth from traditional demand.
- As renewable energy systems are more copper intensive, CRU research estimates that renewable energy could contribute up to 5.6 million tonnes (Mt) to total copper demand from 2020 – 2040.
- Overall wire and cable demand from the green energy transition is expected to increase from 0.8 Mt to 6.7 Mt between 2020 – 2040 at a compound annual growth rate (CAGR) of 11 percent.
- Sales of copper-intensive Electric Vehicles (EVs) are expected to reach 70 million by 2040, with 85 percent of total sales coming from New Energy Vehicles (NEVs).
- However, technological developments in the automotive industry is forecast to translate into decreasing copper intensity for EVs.

Wire and cable global GET vs traditional demand 2020-2040, kt



3 - Evolution de l'offre

Le cuivre, un métal critique à l'horizon 2050 : en 2023, le cuivre est ajouté à la liste européenne des matières premières critiques et stratégiques. Deux indicateurs permettent d'évaluer le niveau de criticité du cuivre, et ainsi de jauger la marge de sécurité qu'il resterait à échéance donnée. Ils évaluent, d'une part, la quantité cumulée de cuivre extraite des mines (la production primaire) et, d'autre part, la quantité consommée (la consommation finale) sur la période 2010-2050 par rapport aux ressources en cuivre. Les résultats obtenus font état d'une forte pression sur les ressources en cuivre, particulièrement dans le cadre de politiques climatiques ambitieuses.

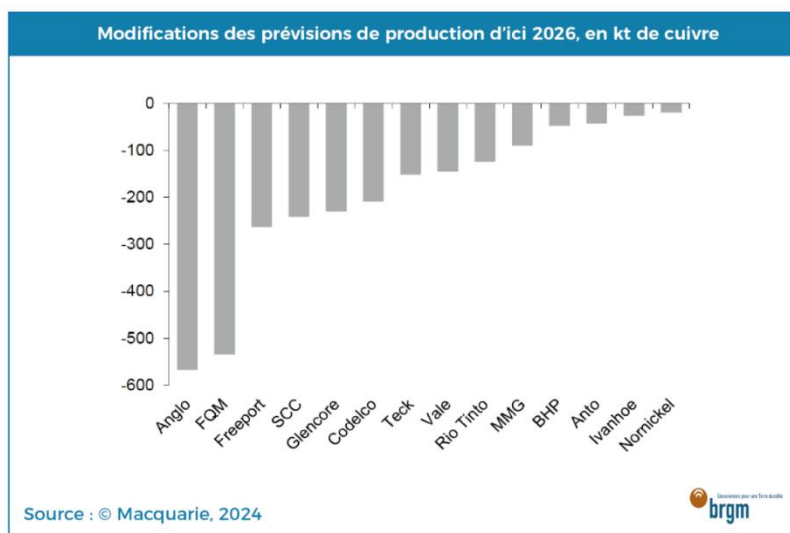
« 78,3 % et 89,4 % des ressources mondiales de cuivre identifiées seront extraites respectivement dans les scénarios 4° C et 2° C entre 2010 et 2050. Ces niveaux d'extraction baissent respectivement à 47 % et 53,7 % si les ressources en cuivre non découvertes sont disponibles. » (Source : [IFP](#))

De nombreux analystes indiquent que l'on se dirige vers une situation de déficit chronique sur le marché du cuivre, notamment à cause d'un épuisement des ressources de plus en plus ressenti par les grands acteurs miniers.

Une baisse des prévisions des productions de cuivre d'ici 2026

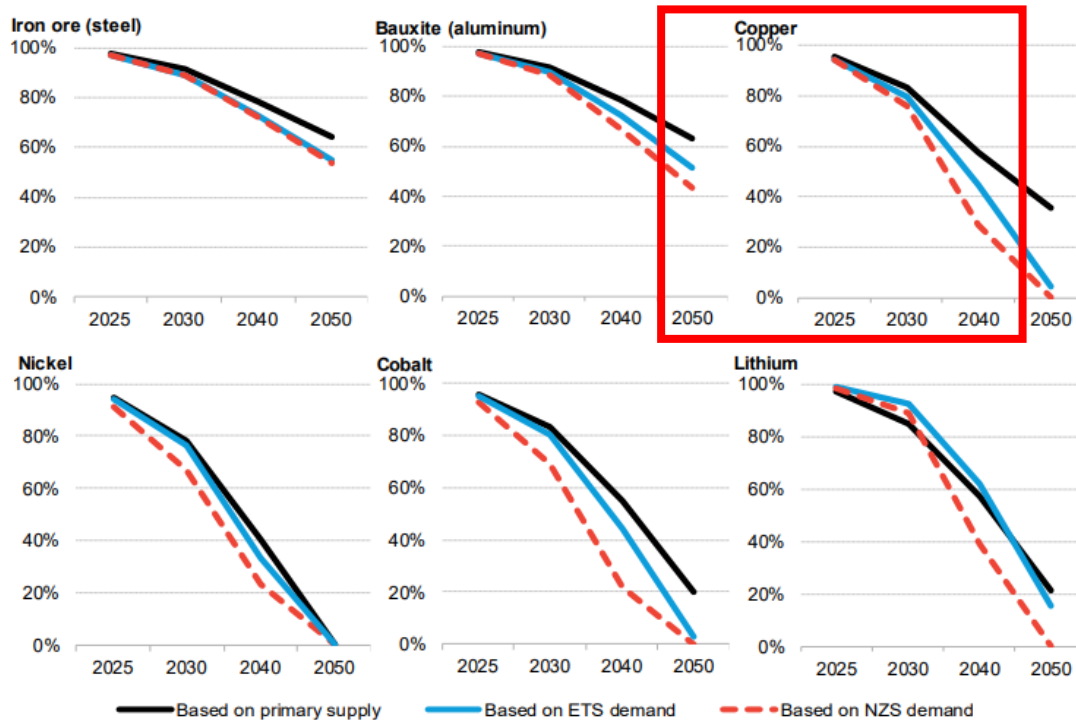
Concernant les prévisions de production, les dernières annonces des groupes miniers sont prudentes. Les prévisions publiées dernièrement par Ivanhoe Mines étaient environ 5 % inférieures aux annonces précédentes, et First Quantum s'est également montré prudent. Au niveau national, la production du Pérou (2^e producteur mondial) était en recul de 1,4 % en octobre et de 5,0 % en novembre 2024. Dans le même temps le Chili, premier producteur mondial, a révisé ses prévisions de production à moyen terme à la baisse d'environ 14 % et prévoit un pic de sa production en 2027. Des facteurs conjoncturels (absorption des stocks accumulés pendant la crise Covid en Chine, maximisation des revenus des raffineurs grâce aux contrats long terme en 2024) ont retardé ce qui aux yeux de nombreux intervenants (AIE, Goldman Sachs, Macquarie...) semble inévitable : le marché du cuivre devrait basculer dans une situation de déficit chronique de l'offre. 2025 devrait être la première année de cette tendance longue (source : [MineralInfo](#)) :

« En mai 2024, l'Agence internationale de l'énergie, qui rassemble les pays consommateurs d'énergie, indique qu'à l'horizon 2030, [les mines existantes et en projet ne pourront produire que les deux tiers du cuivre nécessaire](#), et la moitié du lithium. Tout récemment, plus de 300 dirigeants d'entreprises minières et métallurgiques du monde entier interrogés par le cabinet EY plaçaient l'épuisement des ressources au quatrième rang de leurs préoccupations, alors que ce thème n'était jamais apparu dans les dix premiers soucis les années précédentes. Nombre de spécialistes du secteur estiment qu'il est possible de trouver de nouvelles ressources en lithium. C'est beaucoup plus compliqué pour le cuivre (...) Les nouveaux gisements découverts sont de plus en plus petits. Leurs teneurs sont de plus en plus faibles. Pour extraire le cuivre dont nous allons avoir besoin, nous allons devoir surmonter une contradiction majeure. » Moez Ajmi, responsable du secteur extractif pour la France, le Maghreb et l'Afrique, cabinet EY.



Une baisse des réserves due à une augmentation de la demande suivant différents scénarios
(Source : transition metal outlook 2024, BloombergNEF)

Figure 4: Depletion of remaining reserves for selected metals

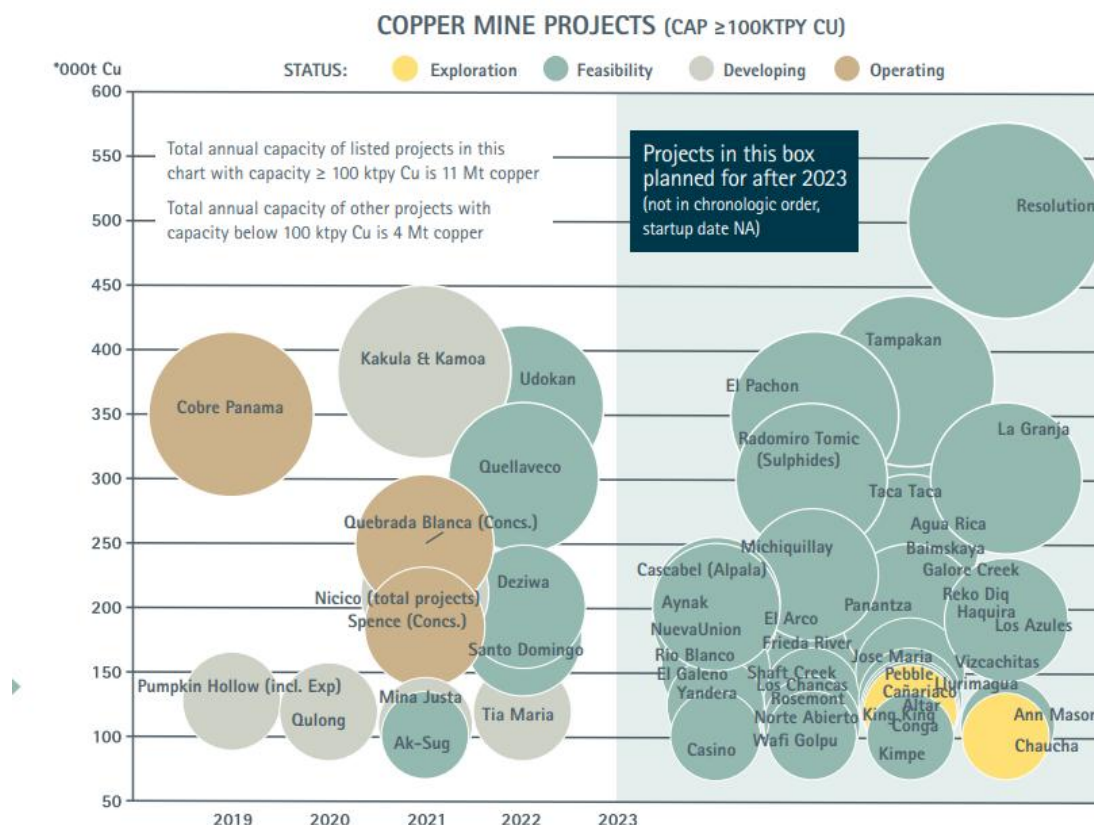


Source: BloombergNEF. Note: ETS is Economic Transition Scenario, NZS is Net Zero Scenario. Charts show percentage of annual reserves that remain compared to 2023.

A noter toutefois, l'augmentation de l'exploration et de la prospection fait naturellement augmenter les niveaux de réserves et par extension de ressources à l'échelle mondiale.

Des difficultés structurelles : problématiques géologiques et minières pour l'exploitation de nouveaux gisements

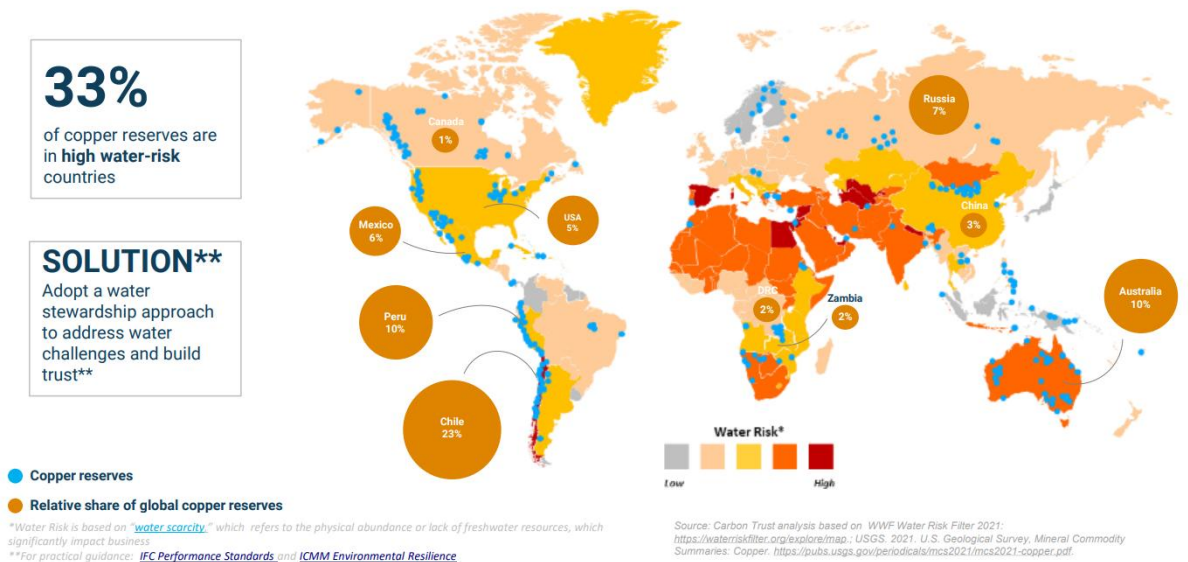
- **Une baisse des teneurs** : « Les mines à haute teneur sont de plus en plus difficiles à trouver. La teneur moyenne extraite par les 15 principaux producteurs est passée de 1,20 % à 0,72 % Cu au cours de cette décennie, et la production de cuivre devient plus coûteuse aujourd'hui qu'elle ne l'a jamais été dans le passé. »
- **De faibles découvertes de nouvelles mines** : « Pour atteindre la neutralité carbone, le monde aura besoin de 40 millions de tonnes de cuivre par an en 2050 contre 25 millions de tonnes aujourd'hui. Il faudrait mettre en service environ 40 mines de métal rouge d'ici à une dizaine d'années, calcule encore le cabinet. Or le rythme des découvertes et des projets ralentit dangereusement. Sur les dix dernières années, on recense seulement 14 découvertes majeures contre 75 entre 2003 et 2014 ». Une étude EY faisait état de la découverte 15 nouvelles mines de cuivre en 2005, autant en 2007, puis 7 en 2011, 3 en 2017, aucune en 2018, une en 2019, 3 en 2020 et une en 2021 »
- **Un temps de développement long** : le temps nécessaire pour qu'une mine atteigne le stade de la production peut parfois prendre jusqu'à 10 ans. Depuis 1950, la moyenne est de 16 ans entre la première phase d'exploration et la phase d'exploitation (source AIE)
- **Un sous-investissement minier** : « les plus grands producteurs de cuivre au monde ont averti qu'il y avait un manque de mines en cours de développement pour produire suffisamment de ce métal pour suivre le rythme de la transition énergétique ». Problème : volatilité des prix du minerai de cuivre + inflation et hausse des taux + contraintes environnementales = baisse des investissements
- **Un coût élevé pour développer de nouveaux projets** : « Juin 2024, Nevada Copper a déposé le bilan faute de financements pour son projet minier sur le sol américain. Dégradation des conditions de financement, baisse des teneurs, manque de découvertes, le cas de cette compagnie donne une idée des défis que doit affronter l'industrie minière. » Source : lien)



Des facteurs environnementaux et sociaux impactant la production de cuivre à travers le monde

D'autres facteurs viennent également influencer l'offre en cuivre, notamment l'impact du changement climatique sur la disponibilité en eau qui affecte la production minière.

Doubling copper supply will significantly
INCREASE COMPETITION FOR WATER



A cela s'ajoute les tensions sociales qui freinent la production. En effet, outre les [conflit d'usage autour de l'eau](#), des [projets miniers sont visés](#) en particulier sur leurs impacts sociaux. A titre d'exemple au Chili en 2024, la plus grande [mine de cuivre du monde est entrée en grève](#). Les syndicats d'Escondida, d'où viennent plus de 5 % de la production mondiale de cuivre, ont commencé une grève pour obliger le propriétaire, l'australien BHP, à reverser une partie des dividendes générés par la lucrative exploitation du cuivre aux employés.

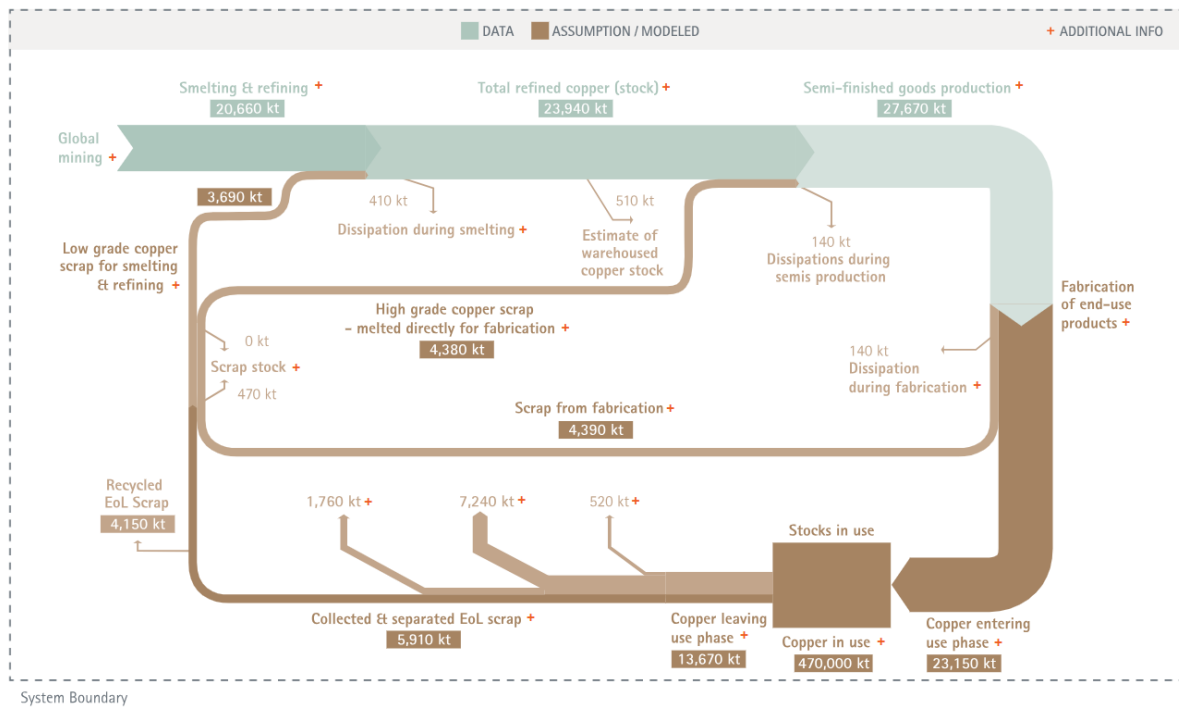
Également, en janvier 2024, à la suite de manifestations massives et d'une décision de justice, le président du Panama [a décrété l'arrêt de la mine de cuivre géante de First Quantum](#), pourtant à l'origine de 5% de la richesse du pays, mettant en avant le risque d'acceptabilité sociale auquel est confrontée l'industrie minière.

Table 2: Estimated year when metals supply will lag demand if there are no capacity additions and primary supply remains at 2023 levels – BNEF's Economic Transition Scenario and Net Zero Scenario

Metal	Scenario	2024-2030	2031-2040	2041-2050
Steel	ETS	2024		
	NZS	2024		
Aluminum	ETS	2024		
	NZS	2024		
Copper	ETS	2024		
	NZS	2024		
Lithium	ETS	2025		
	NZS	2025		
Graphite	ETS	2028		
	NZS	2026		
Nickel	ETS		2030	
	NZS	2028		
Cobalt	ETS			2050
	NZS		2034	
Manganese	ETS			
	NZS			

Source: BloombergNEF. Note: Primary supply is based on mined nameplate capacity, apart from aluminum, graphite and steel, which is based on refined capacity. Green indicates sufficient supply in that decade based on 2023 primary supply levels; red is insufficient supply. ETS refers to the Economic Transition Scenario, NZS is the Net Zero Scenario.

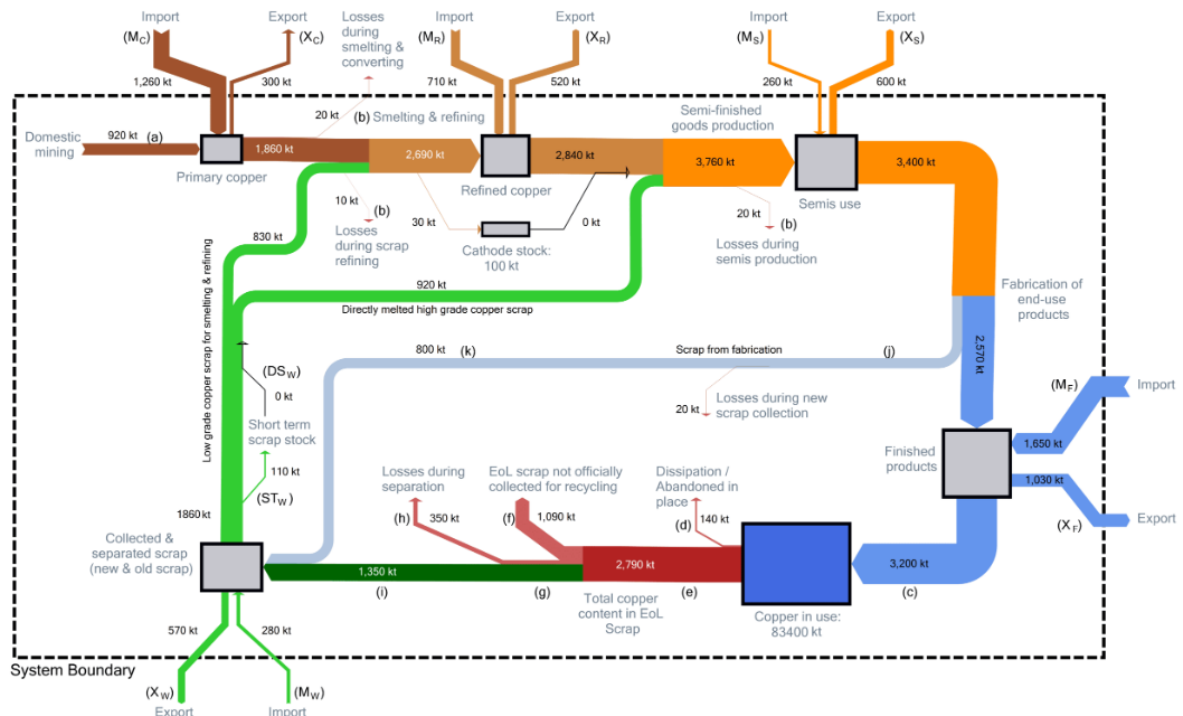
4 - Flux et chaîne de valeur du cuivre dans le monde et en Europe



EU28

Copper stocks & flows

2020



5 - Processus de la production de cuivre

L'un des matériaux clés de la chaîne d'approvisionnement en cuivre est la cathode de cuivre (cuivre d'une pureté supérieure à 99,95 %). La production de cathodes de cuivre se déroule en deux étapes clés : l'extraction du minerai de cuivre, puis sa transformation en cathodes de cuivre. Ensuite, la cathode de cuivre est transformée en produits semi-finis tels que des tiges, des feuilles et des fils, qui sont ensuite transformés en produits finis.

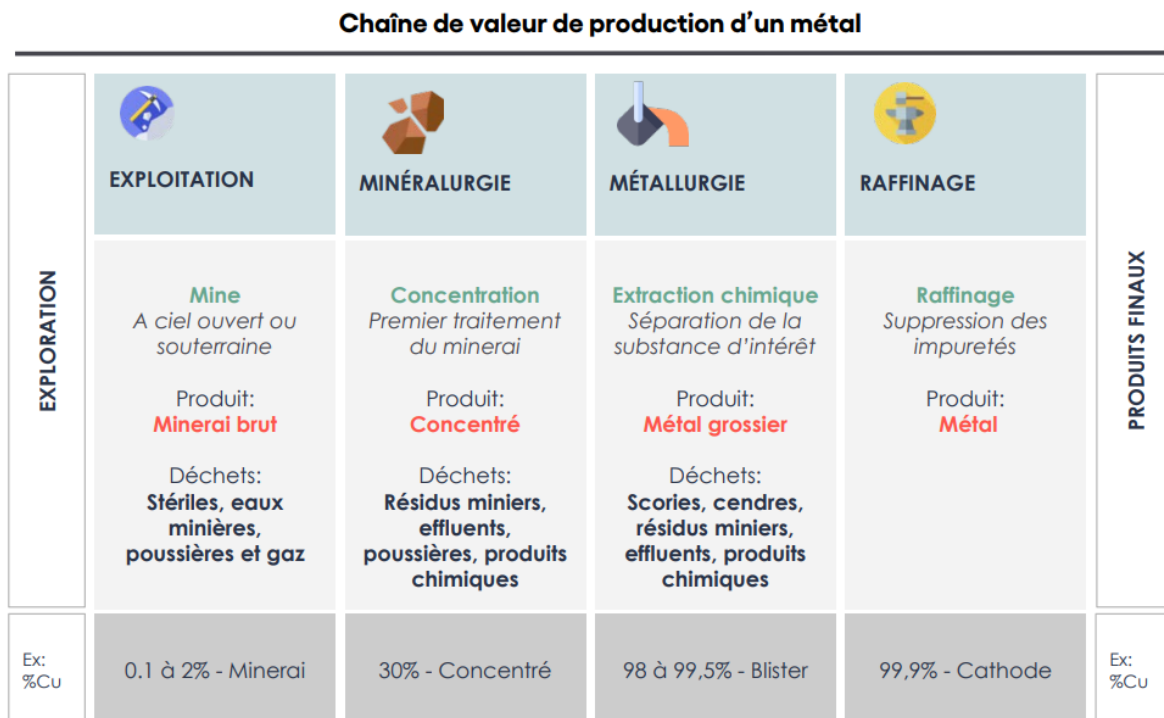


Figure 2 : représentant la chaîne de production d'un métal adapté du rapport Systex Mai 2021 - Controverses minières "Volume 1"

Synthèse des processus de fabrication du cuivre

1 / Extraction du minerai

La production primaire de cuivre commence par l'extraction de minerais cuprifères. Il existe deux méthodes de base pour l'extraction du cuivre : **l'extraction à ciel ouvert et l'extraction souterraine**.

Étant donné que le cuivre est réparti en concentrations relativement faibles sur de grandes surfaces, **l'extraction à ciel ouvert** est la méthode d'extraction prédominante dans le monde.

On trouve deux principaux types de minerais de cuivre dans la croûte terrestre :

- Les minerais d'oxyde de cuivre et les minerais de sulfure de cuivre.
- Les minerais de sulfure de cuivre (où le cuivre est présent dans des composés avec du fer et du soufre) sont la source de cuivre la plus courante.

2 / Traitement du minerai (Concentration)

Avant de pouvoir extraire le cuivre, le minerai brut doit être enrichi pour augmenter sa teneur en métal.

A. Broyage et classification

- Concassage et broyage en plusieurs étapes pour réduire la taille des particules.
- Séparation granulométrique par tamisage et hydrocyclones.

B. Flottation (pour les minerais sulfurés)

- Principe : le minerai broyé est mélangé avec de l'eau, des réactifs (collecteurs, moussants) et de l'air pour faire flotter les particules de cuivre.
- Technologies : cellules de flottation, circuits de réactifs, épaisseurs.

C. Lixiviation (pour les minerais oxydés)

- Utilisation de solutions acides (acide sulfurique) pour dissoudre le cuivre.
- Technologies : bassins de lixiviation, bio-lixiviation avec bactéries.

3/ Extraction et affinage du cuivre

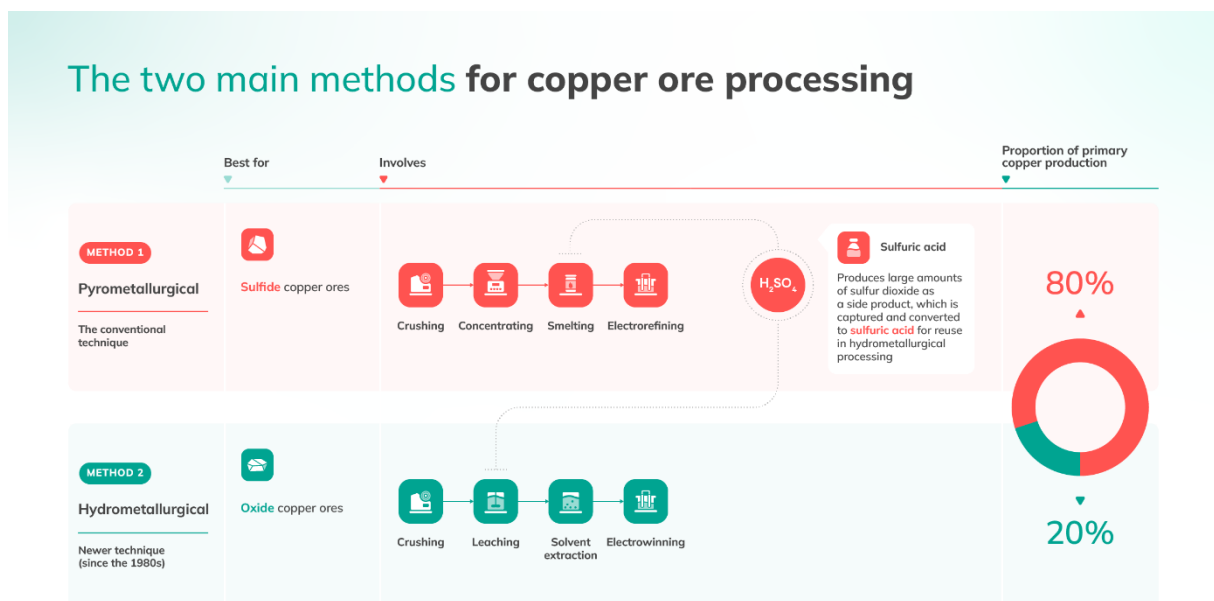
Après concentration, le cuivre doit être extrait et purifié. Selon le type de minerai, deux méthodes sont utilisées pour raffiner le minerai de cuivre en cathode de cuivre. Les minerais sulfurés sont généralement traités par pyrométallurgie (par la chaleur) et les minerais oxydés par hydrométallurgie (par des solutions aqueuses).

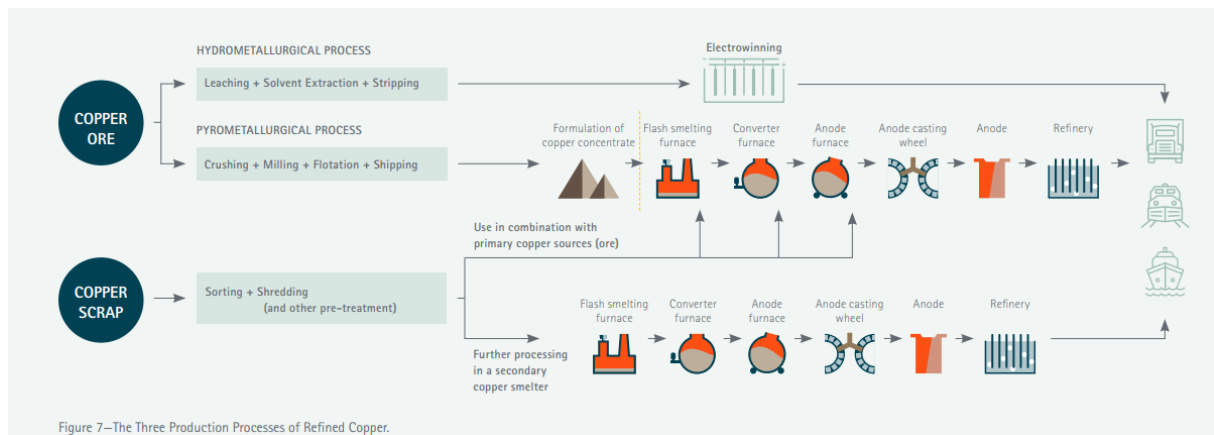
A. Procédé pyrométallurgique (pour les minerais sulfurés)

- **Fusion (Smelting)**
 - Chauffage à 1200-1300°C pour séparer le cuivre sous forme de matte (cuivre + soufre).
 - Technologies : fours flash, fours réverbères, fours à cuve.
- **Conversion (Conversion Process)**
 - Oxygénation pour éliminer le soufre et produire du blister (cuivre 98-99 % pur).
 - Technologies : convertisseurs Pierce-Smith.
- **Affinage électrolytique**
 - Dissolution anodique du blister et dépôt de cuivre pur (99,99%) sur des cathodes.
 - Technologies : bains électrolytiques avec solution de sulfate de cuivre.

B. Procédé hydrométallurgique (pour les minerais oxydés)

- **Extraction par solvant (SX - Solvent Extraction)**
 - Séparation du cuivre de la solution de lixiviation.
 - Technologies : contacteurs liquide-liquide.
- **Électroextraction (EW - Electrowinning)**
 - Dépôt électrochimique du cuivre sur des cathodes.
 - Technologies : cuves électrolytiques avec électrodes en inox.





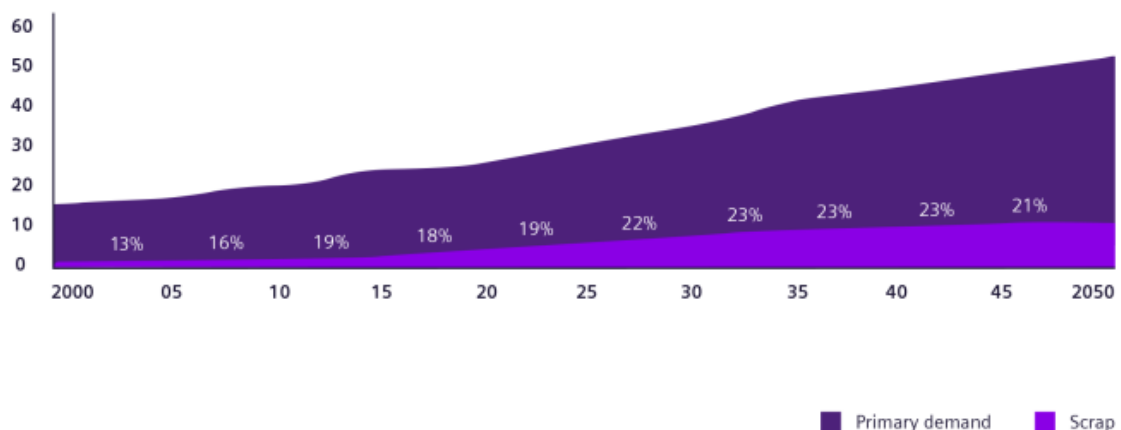
6 - Recyclage du cuivre

Les sources secondaires de cuivre utilisent du cuivre recyclé, y compris des déchets provenant des processus de fabrication et des produits EoL. Le cuivre est recyclable à l'infini sans perte de qualité. Les déchets de haute pureté peuvent être directement refondus, tandis que les déchets moins purs nécessitent un traitement supplémentaire. Cela peut se produire dans des fonderies secondaires dédiées ou dans des fonderies primaires avec un certain pourcentage de déchets ajoutés. Les sources primaires et secondaires sont souvent combinées pour produire du cuivre métallique de haute qualité.

La disponibilité de matériaux secondaires est un facteur limitatif clé. Sur la période 2000-2020, les taux d'intrants de recyclage EoL étaient en moyenne d'environ 15 %. Dans son [rapport](#) Pathway to Net Zero, l'ICA estime que le taux d'intrants de recyclage en fin de vie pourrait augmenter jusqu'à 23 % au cours des 30 prochaines années. Le recyclage du cuivre peut offrir des avantages environnementaux importants, tels que des économies d'énergie, une réduction des émissions de GES et d'autres polluants, la préservation des ressources naturelles et la prévention de l'utilisation de terres précieuses pour les décharges. La production à l'aide de matériaux recyclés évite tous les impacts de l'étape minière détaillée ci-dessus.

Cependant, comme les taux de cuivre recyclé ne devraient pas dépasser 23 %, le recyclage seul ne peut pas suffire à faire face à la demande mondiale croissante jusqu'en 2050. Pour la même raison, il ne peut pas être le principal levier de la décarbonation du cuivre à l'échelle mondiale.

Global copper demand, scrap, 2000 - 2050
(thousand tons)



L'intensité carbone de la production de cuivre secondaire peut varier considérablement. Il peut nécessiter jusqu'à 90 % d'énergie de moins que le cuivre primaire, mais les intensités carbone se chevauchent. Une étude de 2017 a révélé :

- Production primaire : 1,1 à 8,5 tCO₂e/t cuivre
- Production secondaire : 0,2-1,9 tCO₂e/t cuivre

7 - Empreinte carbone du cuivre

Selon une analyse de l'Association Internationale du Cuivre (ICA), la production de cuivre contribue à environ 0,2 % des émissions mondiales totales de gaz à effet de serre (GES), soit environ 97 millions de tonnes par an (ICA, 2018).

Les données les plus récentes de l'International Copper Association (ICA) et de la Copper Alliance situent l'intensité carbone moyenne de la production de cuivre raffiné entre 4,1 et 4,6 tonnes par tonne de cuivre produite.

Sur les 4,6 tonnes de CO₂ par tonne de cuivre produites :

- 70 % ont été générées par l'exploitation minière
- 23 % par la fusion et l'affinage
- 7 % restants par le transport et le traitement en fin de vie des produits vendus

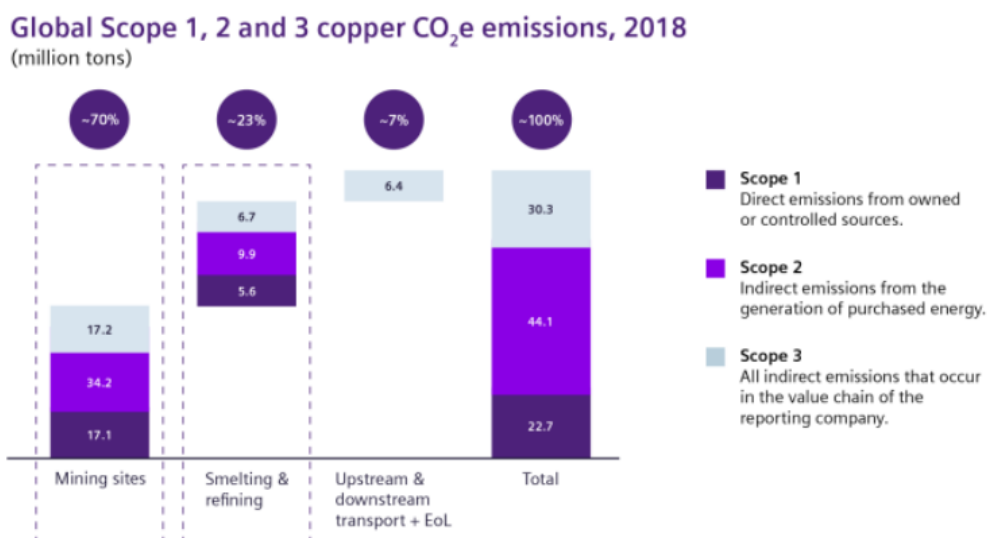


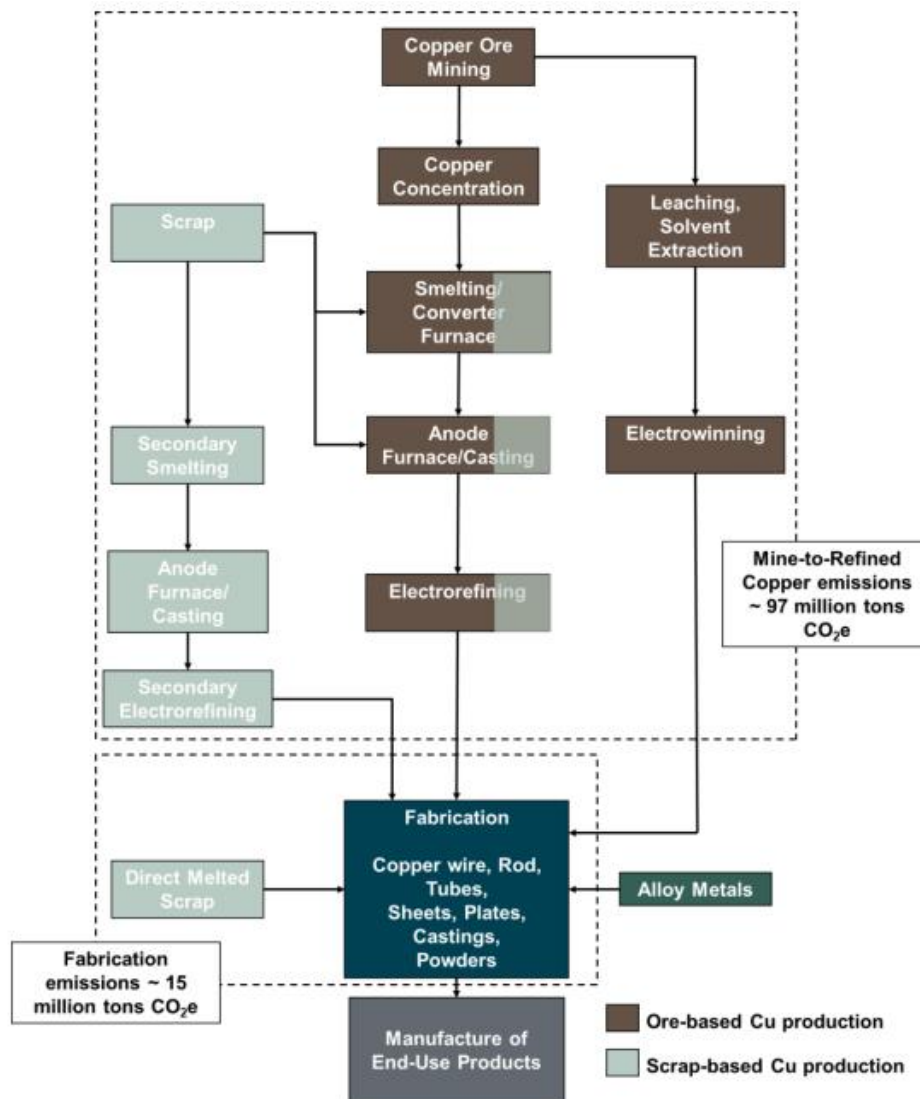
Figure 1 : Émissions mondiales de CO₂e de cuivre de portée 1, 2 et 3, 2018 (en millions de tonnes). Figurine adaptée de l'ICA.

A noter que l'empreinte carbone varie fortement en fonction des technologies utilisées et des zones géographiques d'études.

Par exemple en Europe, l'empreinte carbone de la production de cuivre a [émis 10,3 millions de tonnes de CO₂e en 2018](#), réparties comme suit :

- Scope 1 (émissions directes) : 14%
- Scope 2 (électricité achetée) : 35%
- Scope 3 (émissions indirectes) : 51%

D'autres sources indiquent de valeurs différentes en fonction des périmètres étudiés.



Data Source: Copper—The Pathway to Net Zero, 2023. Emissions data is for the year 2018.

Un périmètre centré sur la cathode de cuivre couvrirait près de 85 % des émissions du secteur cuprifère (voir Schéma 4). Les cathodes de cuivre représentent également la forme la plus pure de cuivre échangée entre entreprises. La production de cathodes constitue la dernière étape avant que le cuivre pur ne soit allié à d'autres matériaux lors du processus de fabrication pour devenir un produit fini. De ce fait, la production de cathodes de cuivre peut servir de référence pertinente pour normaliser le budget d'émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur du cuivre.

Le principal inconvénient de cette approche est qu'elle **exclut les émissions liées à la fabrication**, qui nécessitent l'usage direct de combustibles fossiles pour les procédés à haute température, ainsi qu'un **point clé du recyclage de la ferraille**.

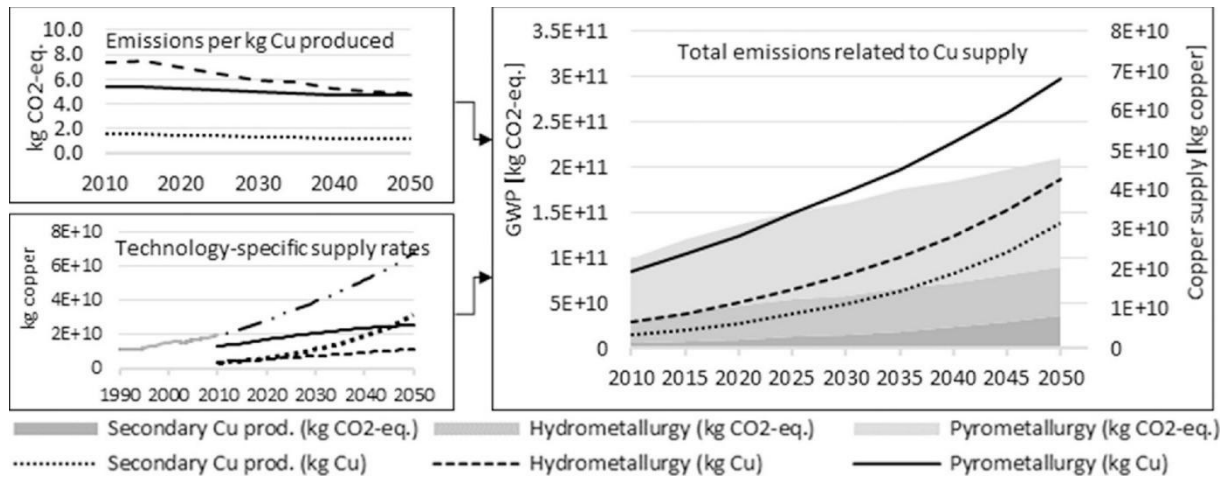
L'élargissement du périmètre pour inclure la fabrication de produits semi-finis permet de contourner ces limites, mais au prix d'une complexité accrue. La fabrication de produits semi-finis — tels que fils, tubes, feuilles ou pièces moulées en cuivre — représente environ **15 millions de tonnes d'émissions de CO₂e** pour l'ensemble de l'industrie cuprifère. Pour certains produits comme les feuilles et les tubes, le processus de fabrication peut représenter **jusqu'à 30 % des émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie**, les cathodes contribuant quant à elles à environ **60 %** de ces émissions.

L'intensité moyenne des émissions de GES « du berceau à la porte » pour le cuivre raffiné produit par voie **pyrométallurgique** est de **5,3 tCO₂e par tonne de cuivre raffiné**, contre **7,3 tCO₂e/t** pour le procédé **hydrométallurgique**. D'autres études montrent des différences moindres entre ces deux procédés. Même lorsque l'empreinte carbone globale de ces routes de production est similaire (par exemple en raison de l'intensité carbone de l'électricité utilisée ou de la qualité du minerai de départ), **les sources d'émissions**

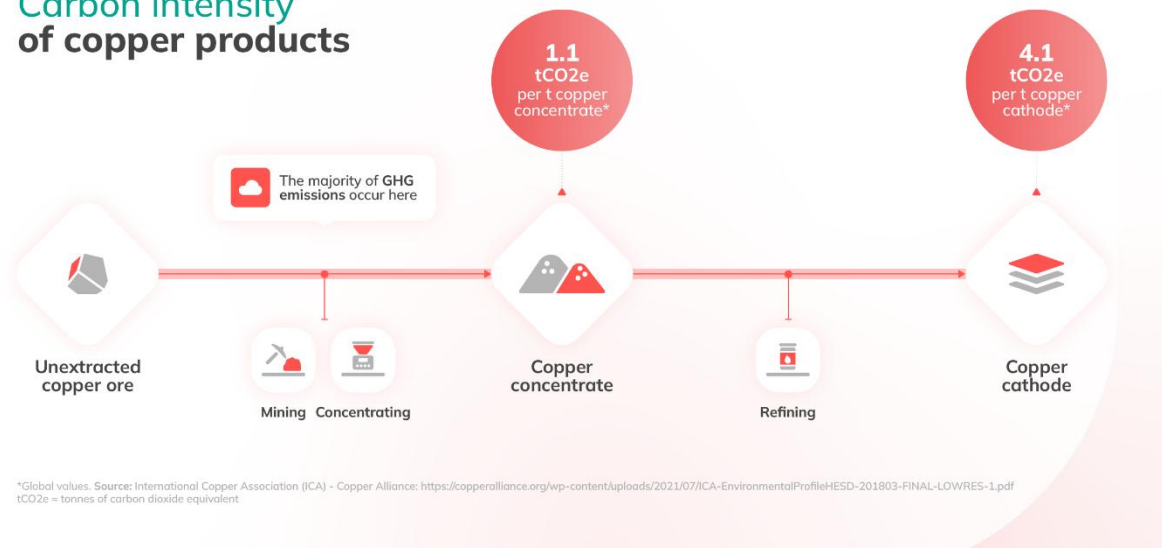
restent très différentes, la voie SX-EW (extraction par solvant et électroextraction) étant **beaucoup plus dépendante de l'électricité**.

Projection de l'impact environnemental de l'évolution de la demande de cuivre :

Les [recherches menées](#) par le groupe International Resources Panel (IRP) de l'UNEP (ONU) tentent d'estimer les implications environnementales des scénarios de demande de cuivre d'aujourd'hui au milieu du siècle en appliquant une méthodologie d'analyse de durabilité du cycle de vie (LCSA). Les résultats indiquent que les impacts environnementaux liés à l'approvisionnement mondial en cuivre devraient augmenter considérablement entre 2010 et 2050 – concernant l'empreinte carbone, celle-ci devrait augmenter de 100 % à 200 %, selon les différents scénarios.



Carbon intensity of copper products



8 - Stratégie de décarbonation de l'industrie du cuivre et projection des coûts

Stratégie de décarbonation de l'industrie du cuivre

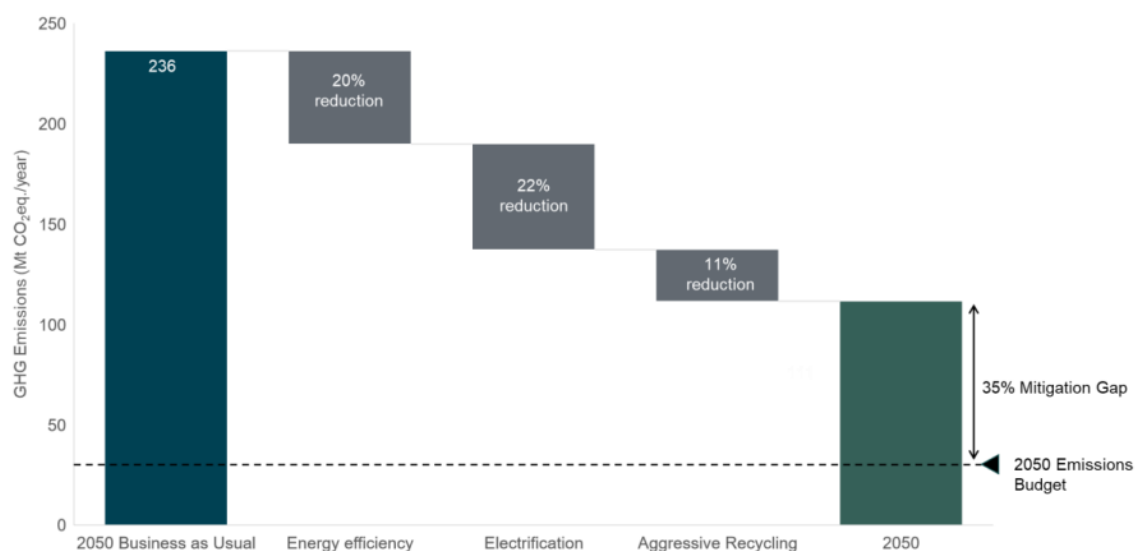
La décarbonation de la production de cuivre implique des défis chronophages et coûteux tout au long de la chaîne de valeur du cuivre. Il s'agit notamment de l'abandon des combustibles fossiles dans les équipements miniers lourds, de l'approvisionnement en électricité sans carbone à grande échelle, de la substitution de combustibles et de réactifs à base de carbone dans les processus de fusion et d'affinage, et des défis liés au recyclage efficace. L'industrie **du cuivre a identifié quatre leviers clés pour la décarbonation**. Par ordre de potentiel d'impact, en commençant par le plus grand levier : l'électricité décarbonée ; l'électrification d'équipements, comme les chariots ou les camions de transport à batterie ; les carburants alternatifs, tels que l'huile végétale hydrotraitee et l'hydrogène vert ; et des gains d'efficacité dans divers processus. En combinant ces leviers, la filière cuivre vise à ramener les émissions de GES de scope 1 et 2 à zéro net d'ici 2050.

Ici la [feuille de route « Net Zero emission »](#) de l'International Copper Association

Les principaux moyens de décarboner la production de cuivre comprennent :

- **Electrification et fonctionnement aux énergies renouvelables** : La part des énergies renouvelables dans l'électricité utilisée pour la production de cuivre est un facteur déterminant de l'intensité carbone. La mine de cuivre de Kamoakakula, à Lualaba, en RDC, est alimentée par de l'électricité renouvelable d'origine hydraulique ; les sites miniers de cuivre d'Antofagasta utilisent 100 % d'énergie renouvelable, tandis que BHP, RIO et Vale électrifient leurs camions miniers.
- **Augmenter l'offre de ferraille** : Actuellement, les déchets de cuivre ne suffisent pas à répondre à la demande. Les entreprises devraient encourager la recyclabilité des produits finis en cuivre afin d'accroître les taux de recyclage et l'offre. LS MnM, fonderie et raffinerie de cuivre, s'est associée à SK Network pour promouvoir le recyclage dans le secteur électronique en Corée du Sud. JX Nippon Mining and Metals vise 25 % de matières premières recyclées dans ses fonderies d'ici 2030, tout en acquérant eCycle, recycleur canadien de déchets électroniques, pour répondre à la demande future de recyclage. Selon l'International Copper Association, une augmentation significative du taux de recyclage mondial pourrait éviter l'émission de 1,25 gigatonne de CO₂ d'ici 2050. Cela équivaut au retrait de 500 millions de véhicules thermiques de la circulation.
- **Améliorer l'efficacité énergétique** : Choisir des technologies de production plus économes en énergie, par exemple la fusion éclair plutôt que les fours à cuve. Pour Sweden Boliden, investir dans des technologies d'automatisation et des systèmes de ventilation à la demande permet de réaliser jusqu'à 25 % d'économies d'énergie.

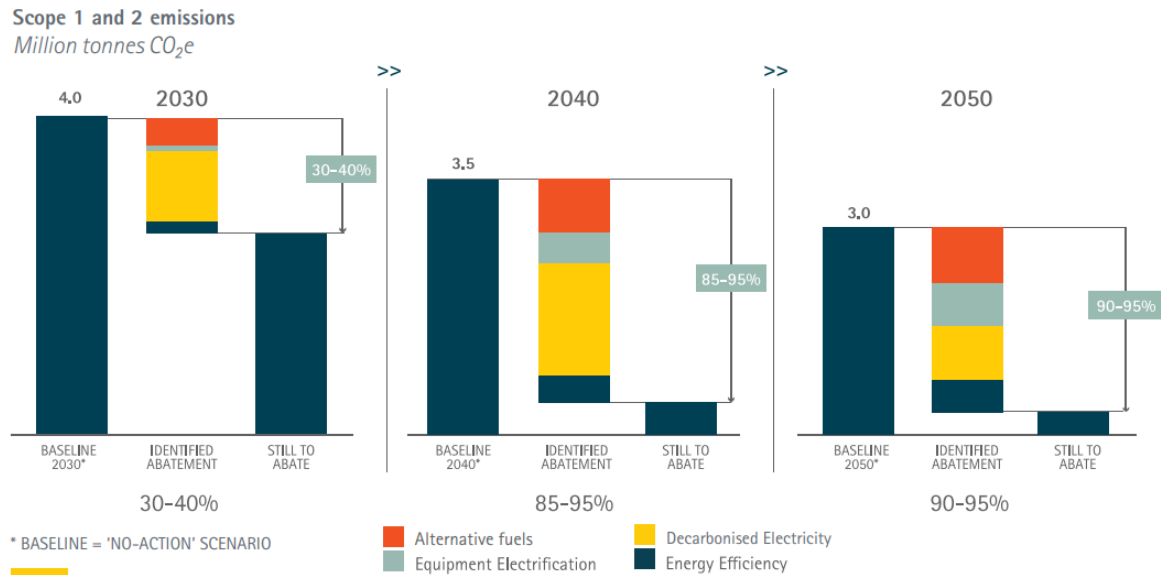
Exhibit 3 GHG Reduction Potential of Various Decarbonization Strategies



Data Source: Watari et al., "Global Copper Cycles and Greenhouse Gas Emissions in a 1.5 °C World", 2022.

Malgré le potentiel de décarbonation entraîné par l'efficacité énergétique, l'électrification et une forte augmentation du recyclage, l'écart d'atténuation pour atteindre l'objectif du budget d'émission en 2050 reste de 35%, soit plus que les résultats attendus par l'électrification et le recyclage combinés.

La feuille de route des membres Europe de l'International Copper Association décrit la stratégie de mitigation suivante pour leur scope 1 et 2 :



15

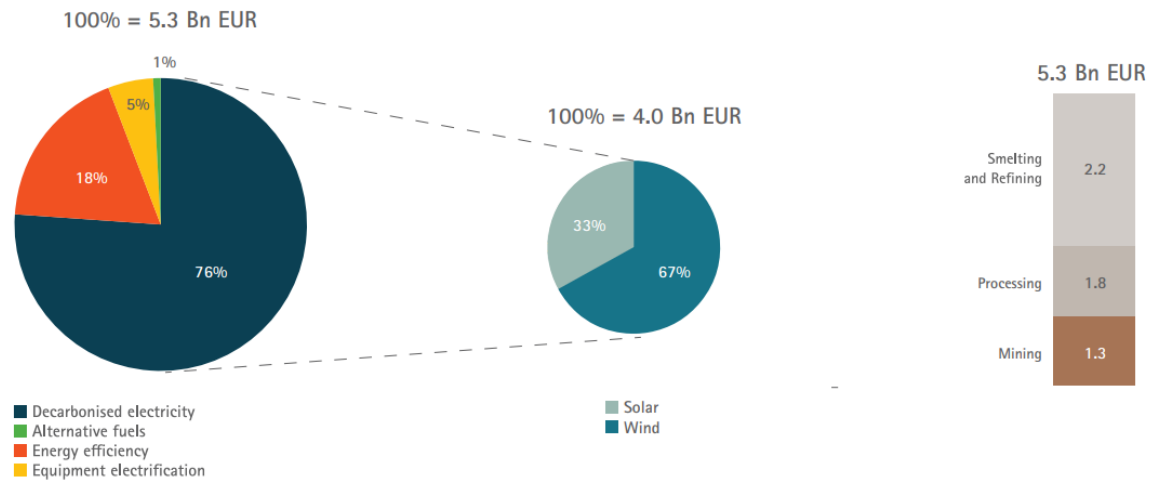
Figure 13 — Potential for Scope 1 and 2 Emissions Abatement (Source: MineLens asset decarbonisation tool; Team Analysis)

Projection du coût de la décarbonation de l'industrie du cuivre

Il existe peu d'études concernant le surcoût lié à la décarbonation du cuivre. En effet, celui-ci est très variable en fonction de la teneur du minerai et des technologies d'extraction et de raffinage. Il dépend également fortement de la situation géographique et de l'offre énergétique décarbonée accessible. D'autres part, [Des analystes estiment](#) qu'une réduction de 0,1 % de la teneur future du minerai de cuivre augmenterait le coût marginal d'environ 10 % et l'intensité des émissions de CO₂ d'environ 10 % (cf annexe 3)

En Europe

Les membres européens de l'ICA estiment à 5,3 Mds€ l'investissement nécessaire pour une trajectoire net zéro en Europe dont 4 milliards d'investissement dans des solutions de production d'énergie décarbonée (solaire et éolien).



Cet investissement minimum de 5,3 milliards d'euros serait en complément des dépenses d'investissement récurrentes nécessaires au maintien des opérations (Capex de maintenance). Cette estimation **n'inclut pas** non plus les coûts en capital nécessaires pour développer à grande échelle les technologies permettant aux producteurs de cuivre de se décarboner (par exemple : hydrogène vert, camions électriques à batterie), ni ceux liés à l'installation des infrastructures de soutien au déploiement de ces technologies (comme la distribution d'électricité décarbonée). Également, plusieurs facteurs pourraient entraîner une augmentation de cette estimation :

- Une recherche et un développement supplémentaires seront essentiels pour rapprocher le potentiel de réduction des émissions des 100 %.
- De nouvelles solutions de décarbonation pourraient être identifiées et mises en œuvre.
- La réduction des émissions de Scope 3 pourrait impliquer des investissements conjoints avec les fournisseurs ou les clients.
- Le coût des matériaux de base pourrait continuer à augmenter au-delà de l'indice des prix industriels.

Cela montre que la décarbonation nécessitera des investissements significatifs **au-delà** des dépenses d'investissement en capital requises pour augmenter les capacités de production afin de répondre à la demande croissante de cuivre, estimées à **12,5 milliards d'euros** entre 2020 et 2050. Ces dépenses sont également estimées avec une incertitude sur l'accès à une quantité suffisante d'électricité sans énergie fossile et à un prix compétitif ; la disponibilité des technologies de décarbonation auprès des fabricants à une échelle suffisante ; des taux de collecte accrus des produits contenant du cuivre en fin de vie afin de permettre un recyclage accru ; les facilités d'accès au financement, les conditions de concurrence équitables à l'échelle mondiale en matière de tarification du carbone et un cadre réglementaire stable et adapté, qui inciterait à l'investissement (source ICA)

En Chine

Une étude de janvier 2025 ([A Study on the Potential and Cost of Carbon Reduction from Low Carbon Technologies in the Chinese Copper Industry](#)) explore les voies de l'efficacité énergétique et de la réduction des émissions dans l'industrie du cuivre.

Cette étude a identifié huit technologies bas carbone applicables à l'industrie chinoise du cuivre (extraction, fusion, transformation), à partir des documents politiques officiels. Un **modèle multi-objectifs** visant à **maximiser la réduction des émissions** et **minimiser les coûts** a été développé, puis résolu avec l'algorithme **NSGA-II**. Ainsi, le potentiel de réduction des émissions et le coût associé de huit technologies bas carbone ont été évalués pour la période 2020 à 2035, selon plusieurs préférences décisionnelles.

Les résultats de l'étude montrent que :

- La production de l'industrie chinoise du cuivre suit une courbe en S et devrait atteindre un pic vers 2035 ;

- D'ici 2035, les technologies de fusion spin-flottation à haut rendement énergétique (B3) et de raffinage auto-oxydoréducteur du cuivre brut (B2) présentent un fort potentiel de réduction et des coûts compétitifs, et devraient donc être activement promues ;

En 2035, ces huit technologies bas carbone pourraient permettre une réduction totale des émissions de 9,134 millions de tonnes, pour un coût global de 900 millions de yuans (environ 107 millions d'euros), ce qui représenterait une réduction de 23 % des émissions dans un scénario de décision systémique.

Note : Au 27 juin 2025 1€=8,39 renmibi (yuan)

Selon les **préférences décisionnelles** définies (systémique, réduction des émissions, coût économique), et la **meilleure diffusion des technologies** a été déterminée pour chaque préférence via la méthode TOPSIS.

Principaux résultats :

- **Tendance de la production** : l'industrie chinoise du cuivre suit une courbe en S — croissance rapide depuis 2005, ralentissement dès 2015, stagnation autour de 2019, et un **pic de production estimé à 2035**, avec environ **12,26 millions de tonnes de cuivre raffiné**.
- **Technologies de fusion spin-flottation à haut rendement énergétique (B3) et de raffinage auto-oxydoréducteur du cuivre brut (B2)**: quelle que soit la préférence décisionnelle, ces technologies présentent un **taux de diffusion supérieur à 75 % d'ici 2035**, en raison de leur **fort potentiel de réduction** et de leur **rentabilité**. Elles doivent être **fortement encouragées**.
- **Coût et potentiel en 2020** :
 - Coût moyen de réduction : **99,2 yuans/tCO₂**
 - Réduction réalisée : **1,512 million de tonnes de CO₂**
 - Coût total : **150 millions de yuans**
- **Projections à 2035** :

Préférence systémique	Préférence réduction des émissions :	Préférence économique (coût) :
• Réduction : 9,13 MtCO₂ • Coût : 900 millions de yuans • Réduction totale : 23 %	• Réduction : 13,13 MtCO₂ • Coût : 2,06 milliards de yuans • Réduction totale : 33,17 %	• Réduction : 6,46 MtCO₂ • Coût : 250 millions de yuans • Réduction totale : 16,32 %

Plus précisément, **dans le scénario de préférence systémique**, les réductions d'émissions sont de :

- **6,391 millions de tonnes en 2025,**
- **7,831 millions de tonnes en 2030,**
- **9,134 millions de tonnes en 2035,**

avec des **coûts de réduction** respectifs de **580, 750 et 900 millions de yuans**. Cela permettrait d'atteindre une **réduction de 23 % des émissions d'ici 2035**.

Dans le **scénario de préférence pour la réduction des émissions**, les réductions d'émissions sont de :

- **6,391 millions de tonnes en 2025,**
- **9,802 millions de tonnes en 2030,**
- **13,134 millions de tonnes en 2035,**

avec des **coûts respectifs** de **5,8 milliards, 1,32 milliard et 2,06 milliards de yuans**. Cela permettrait d'atteindre un **taux de réduction de 33,17 % d'ici 2035**.

En Allemagne

Une étude, datant de 2021, explore les aspects économiques de la décarbonisation de la production de cuivre par conversion d'électricité en hydrogène :

Dans cette étude, les chercheurs ont exploré le potentiel technico-économique du recours à la technologie Power-to-Hydrogen (électricité vers hydrogène) pour décarboner la production de cuivre. Selon les paramètres technico-économiques de 2021 en Allemagne, **le coût direct d'évitement du CO₂ s'élève à 201 EUR par tonne de CO₂-équivalent pour l'application du Power-to-Hydrogen dans la production de cuivre**. L'utilisation sur site de l'oxygène, sous-produit de l'électrolyse, présente un avantage économique substantiel.

Selon les différents types de technologies d'électrolyse utilisées, (alkaline electrolyzers (AEL) ou proton exchange membrane electrolyzers (PEMEL), les valeurs attendues pour les systèmes AEL permettent d'obtenir des coûts de réduction des émissions directes d'environ 91 EUR/t CO₂ en 2030 et 80 EUR/t CO₂ en 2050. Le système PEMEL permet d'obtenir des émissions directes de CO₂ coût de réduction d'environ 176 EUR/t CO₂ en 2030 et 98 EUR/t CO₂ en 2050.

9 - Technologies et innovation pour la production de cuivre

Les technologies bas carbone dans l'industrie du cuivre

Table 2: Introduction of Low-carbon Technology in Copper Industry

Serial No.	Segment	Low Carbon Technologies	Technology Diffusion Rate in 2020 (%)	Energy Efficiency in 2020 (×10 ⁴ tce/a)	Emission Reduction Potential in 2020(×10 ⁴ t/a)	Cost of Abatement in 2020 (×10 ⁴ yuan)
A1	Mining	Large and High Efficient Inflatable Mechanical Agitation Flotation Machine	0.3	0.01	0.01	1.41
C1	Processing	Large-scale High-efficiency Driveless Flotation Technology	0.01	0.05	0.11	8.13
B1	Smelting	Double Side Blow Shaft Furnace Melting Technology	0.03	12.32	32.53	12030.12
B2		Crude Copper Autoxidation Reduction Refining Technology	0.2	19.75	35.09	300.75
B3		Rotary Float Copper Smelting Energy Saving Technology	0.2	38.10	62.16	601.51
B4		Double-furnace Copper Continuous Blowing Energy-saving Technology	0.03	1.16	3.80	496.84
B5		Energy-saving and High-efficiency Enhanced Electrolytic Parallel Flow Technology	0.1	5.71	15.09	1122.81
B6		Dual-drive Coaxial Compressor Technology for Copper Smelting.	0.05	0.87	2.41	568.09

LA DÉCARBONATION DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS - Quelques technologies actuelles et en développement

Plusieurs des technologies présentées sont pour la plupart en cours de développement et leur rentabilité économique et leur efficacité en exploitation industrielle restent à démontrer. Les économies d'énergie et les réductions d'émissions de GES des mesures et des technologies sont indépendantes et non cumulables.

Sources d'émissions de GES (Température, émissions)	2030	2035	2035 +
MINES			
Mines souterraines Chauffage des mines au gaz naturel (GN) ou Liquide de propane (LP) CO ₂ : 60 à 70 % des émissions totales Transport par véhicules miniers au diesel CO ₂ : 30 à 40 % des émissions totales	Ventilation à la demande pour réduire la consommation électrique et les combustibles fossiles du chauffage ¹⁵ . Réduction des émissions du chauffage de 20 %. Chauffage par des PAC 100°C alimentées par l'eau de la mine, la chaleur produite par la cogénération ou celle perdue par le site d'affinage ¹⁶ . Réduction des émissions de chauffage de 60 % et de 100 % si les véhicules sont électrifiés.	Apprentissage et contrôle avancé de la ventilation à la demande par l'intelligence artificielle (IA) ¹⁷ . Réduction des émissions de 30 %. Utilisation d'une flotte de véhicules électriques à batteries (VÉB) de production, transport et services ¹⁸ . Réduction des émissions de la mine de 70 %.	Utilisation d'une flotte de camions de transport et de véhicules de services à pile à combustible à l'H ₂ vert ¹⁹ . Gains en autonomie.
Mines à ciel ouvert Gros camions de transport minier CO ₂ : 50 % des émissions totales Machinerie et véhicules de services CO ₂ : 30 % ²⁰	Utilisation du biodiesel 100 % (B100) par les camions de transport et des véhicules hybrides électriques de service (VH ou PHEV) ¹⁶ . Système de concassage et de transport mobile en fosse ²¹ .	Camions de transport au diesel ou camions VÉB avec alimentation électrique par caténaires en montée. La productivité est améliorée par une vitesse de montée 2 fois plus rapide ¹⁸ . Voir l'étude de cas, section 6.	
AFFINAGE DES MÉTAUX			
Cuivre 1,15 tCO ₂ e/t cuivre Smeltage continu 1 200°C. Refonte des anodes 1 300°C	Amélioration de la combustion par brûleurs avancés et des carburants alternatifs. Accroissement de la refonte de cuivre post-utilisation.	Remplacement des combustibles fossiles du four à anode par l'hydrogène et électrification du four de nettoyage des scories ²² . CSC.	

Développement de la fusion et affinage des métaux à la vapeur

Concernant la construction d'une fonderie par Orion, Smart a déclaré :

« Nous privilégions la fusion. Nous avons beaucoup travaillé sur l'affinage des métaux à la vapeur. Nous travaillons également beaucoup sur la lixiviation hydrométallurgique. »

« Nous préfererions abandonner la fusion, une activité énergivore. Construire une fonderie respectueuse de l'environnement est difficile, mais construire une raffinerie de vapeur de métal ou une usine de lixiviation respectueuse de l'environnement est tout à fait viable, et c'est ce que nous étudierons probablement à l'avenir. Toute une équipe y travaille. Nous étudions le cas optimisé »

Source : <https://miningindaba.com/articles/green-copper-vapour-refining-envisaged-at-ori>

Utiliser les saumures géothermales pour l'extraction de cuivre :

Les chercheurs du Rio Tinto Centre for Future Materials misent sur des approches totalement nouvelles. Elles combinent géologie, biotechnologies et énergies renouvelables. Matthew Jackson, professeur à Imperial College London, concentre ses travaux sur les saumures géothermales. Ces fluides, naturellement chargés en cuivre, circulent dans les profondeurs de la croûte terrestre, notamment dans les régions volcaniques.

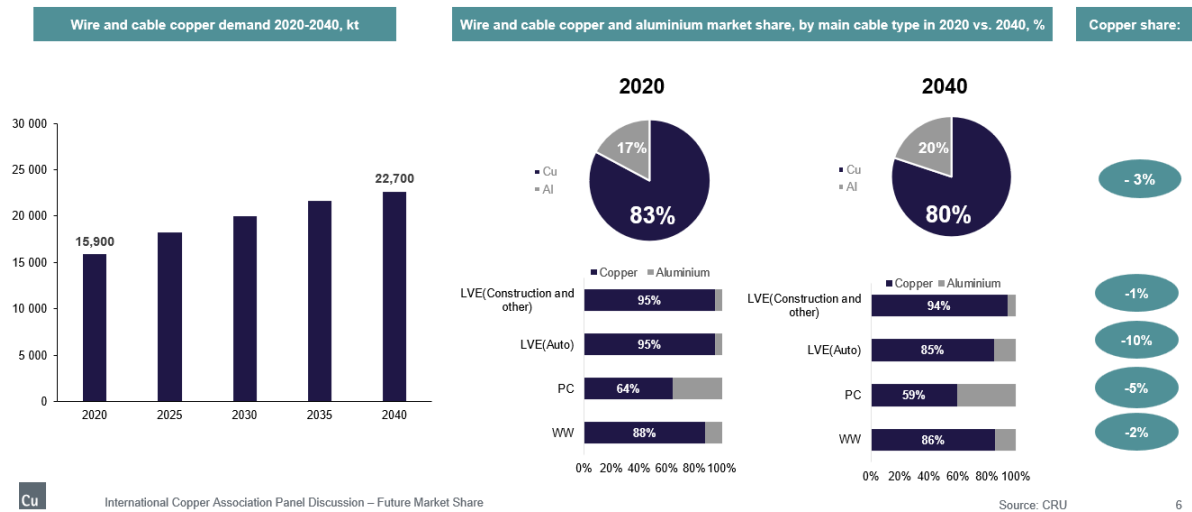
Plutôt que d'extraire le cuivre par le broyage intensif de la roche suivi d'un traitement chimique lourd, cette technique consiste à pomper ces saumures directement en surface via des forages ciblés. Ce procédé réduit les perturbations géologiques et évite la production massive de stériles miniers. Surtout, l'extraction pourrait s'appuyer sur la chaleur géothermique locale pour alimenter les équipements du site. Elle pourrait même fournir de l'électricité aux communautés voisines. Des zones comme la Nouvelle-Zélande ou certaines régions volcaniques du Japon, jusqu'ici jugées peu rentables, deviennent ainsi des cibles potentielles pour une exploitation plus propre et plus locale.

Source : <https://www.theguardian.com/global/2025/mar/02/copper-scientists-london-energy-electrical>

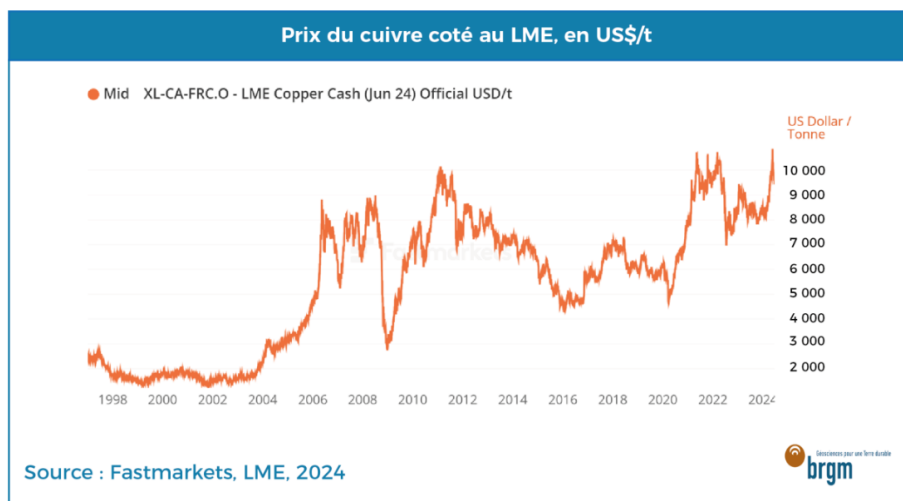
Substitution du cuivre par l'aluminium dans les câbles et fils conducteurs :

Entre 2020 et 2040, l'ICA estime que 3% des parts de marché du cuivre seront perdu face à l'aluminium dans la production de câbles et de fils conducteurs. Toutefois, cette baisse sera compensée par la hausse de la demande globale sur ces typologies de produits.

A forecast 3 percent loss in copper market share is expected to be offset by increases in total copper use in the long term



10 - Actualités et signaux sur le marché et les prix du cuivre



Prix du cuivre coté au LME

Fastmarkets, LME

- Le président Donald Trump a déclaré que le cuivre était une priorité de sécurité nationale le 25 février 2025, demandant au secrétaire au Commerce, Howard Lutnick, d'enquêter sur l'imposition d'un droit de douane de 25 % sur toutes les importations de cuivre.
- Les Etats-Unis souhaitent importer massivement du cuivre à très court terme (source GS février 2025)

Les importations américaines de cuivre pourraient augmenter de 50 %, voire de 100 % dans les mois à venir en raison de la hausse des prix des métaux avant les tarifs douaniers prévus par l'administration Trump. **Goldman Sachs** a déclaré dans une note cette semaine.

À la fin de février, **États-Unis**, Le président [a ordonné une enquête](#) sur les importations de cuivre pour des raisons de sécurité nationale, dans ce qui était un premier pas vers d'éventuels droits de douane sur le métal.

Alors que l'enquête est en cours, les analystes de Goldman Sachs s'attendent à des droits de douane d'au moins 25 % comme de nombreux autres métaux d'ici la fin de l'année, ce qui pourrait entraîner une augmentation des importations et une augmentation de 200 000 à 300 000 tonnes des stocks de cuivre américains d'ici la fin du troisième trimestre.

Selon Goldman Sachs, une hausse du prix du cuivre devrait faire passer les stocks de cuivre américains de 95 000 tonnes actuellement à au moins 300 000-400 000 tonnes d'ici la fin du troisième trimestre. Cela représenterait 45 à 60 % des stocks mondiaux déclarés, laissant des stocks de cuivre très faibles ailleurs.

- Réduction de la production chinoise
mars 2024 : d'après Reuters, les principales fonderies chinoises ont conjointement décidé, suite à une réunion à Pékin, de réduire leurs productions, du fait du manque de concentrés miniers disponibles. Alors que le marché du cuivre est déjà sous la pression d'une demande accrue, les inquiétudes du côté de l'offre primaire pèsent sur son prix. Celui-ci a franchi la barre symbolique des 10 000 \$/t en mai 2024.

Autres sources consultées :

- <https://www.mineralinfo.fr/fr/ecomine/marche-du-cuivre-frappe-par-manque-de-concentres-miniers-disponibles>
- <https://internationalcopper.org/fr/trends-and-data/market-intelligence/>
- [Faire progresser la décarbonisation du cuivre et le rôle du recyclage](#)
- <https://www.eetimes.eu/green-copper-meets-sustainability-and-decarbonization-requirements/>
- <https://www.fastmarkets.com/insights/european-industry-define-green-copper-despite-supply-chain-complexity/>
- https://www.carbon4finance.com/files/Publication_Carbon4_Finance_Mines_et_fabrication_de_metal_version_publique.pdf

Les industries mécaniques, premier employeur industriel de France, fournissent tous les secteurs de l'économie :

- Pièces mécaniques issues d'opération de fonderie, forge, usinage, formage, décolletage, traitement de surface, etc.
- Composants et sous-ensembles intégrés dans les produits des clients
- Équipements de production (machines, robots, etc.) et équipements mécaniques (pour la santé, l'agriculture, les TP, le bâtiment, la restauration, la lutte contre l'incendie, l'approvisionnement en eau, la production d'énergie, la mesure, ...)
- Produits de grande consommation (arts de la table, outillage, ...)