ÉTUDE / Rapport

État des réserves mondiales de métaux

Édition 2026 - Octobre

ASSOCIATION green it

Auteur·rices

Étude : Etat des réserves mondiales de métaux
Version : 2.0
Date de réalisation : Mars- Octobre 2026
Date de publication : Octobre 2026

Auteurs

- Frédéric Bordage, GreenIT.fr
- Loïc Desnos

Relecture

- Laure Alfonsi, Zeb & Web
- Raphaël Lemaire, Zenika
- Thomas Lemaire, Actlem

Mise en page :

- Laure Alfonsi, Zeb & Web
- Xavier Prizé, Association Green IT

Contact : etudes@greenit.eco

Licence

Afin de le rendre le plus accessible possible, ce travail est diffusé sous licence Creative Commons CC-By-NC-ND. Vous avez l'obligation de transmettre ce document en l'état, sans modification, intégralement, en incluant les informations contenues sur cette page.
Version française complète de la licence : https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

Synthèse

Les pays occidentaux sont de plus en plus dépendants des hautes technologies (*high-tech*). Or, les « stocks » de métaux permettant de fabriquer ces technologies, dont le numérique et l'intelligence artificielle, semblent se dégrader. En l'absence d'une étude récente et transparente, il nous a semblé pertinent de calculer l'état des réserves rentables mondiales de métaux.

Définition

La « réserve rentable » d'un métal correspond à la part des ressources identifiées dont l'exploitation est technologiquement possible et économiquement rentable à un instant donné. Une réserve rentable fluctue donc dans le temps en fonction, notamment, des découvertes de nouveaux gisements, de la mise en exploitation des gisements connus jusqu'alors inexploités, et de la demande du marché. Cette photographie reflète les connaissances actuelles. Par simplification, dans ce document, le terme « réserves » désigne les « réserves rentables ».

Constats

Des réserves insuffisantes pour au moins 14 métaux critiques. La réserve rentable de la majorité des métaux étudiés est **inférieure à 20 ans**. **Six d'entre eux** ont une réserve **inférieure à 10 ans**. Et huit supplémentaires ont une réserve inférieure à 15 ans.

Une forte croissance de la demande. La **demande en métaux** devrait être **multipliée par 2 à 4 d'ici 2050** et **jusqu'à 6 à 40 pour certains métaux** tels que le Lithium et le Cobalt.

Quinze à vingt ans pour ouvrir une mine. Les réserves rentables actuelles étant inférieures à 20 ans pour la plupart des métaux, ces réserves seront insuffisantes pour couvrir la demande prévisionnelle. D'autant que tout porte à croire qu'il sera impossible de détecter de 2 à 40 fois plus de réserves rentables et de les exploiter dans le délai imparti (moins de 20 ans).

Chaque étape de la chaîne de valeur est critique : extraction, raffinage, transformation, fabrication, usages. Sur la plupart de ces étapes, il y a une forte concentration géographique, parfois plus importante qu'à l'étape d'extraction.

L'extractivisme n'est pas une solution acceptable pour les populations locales comme pour l'environnement. Le GIEC nous rappelle que nos émissions de GES auraient dû atteindre leur asymptote en 2025 et être divisées par 2 d'ici 2030 à l'échelle mondiale. Ouvrir de nouvelles mines serait donc un *« suicide climatique »*. D'autant que ces exploitations induisent de nombreux autres impacts environnementaux et sanitaires pour les populations et les écosystèmes locaux, contribuant, entre autres, à l'écroulement de la biodiversité.

Enjeux

À court terme (moins de 10 ans),

a. L'offre ne pourra pas répondre à la demande. Il est donc urgent d'économiser ces ressources et d'appliquer un « plan de sobriété métaux ».
b. Les pays occidentaux doivent anticiper des pénuries et ruptures de plus en plus fréquentes et des coûts environnementaux et économiques de plus en plus élevés pour accéder à ces ressources.

À plus long terme (10 ans et plus), ces métaux ne seront plus accessibles comme ils le sont aujourd'hui. Pour maintenir le même niveau de réserve, les impacts augmenteront de façon disproportionnée.
Il faut donc « sevrer » les pays occidentaux des hautes technologies. Cette « cure de désintoxication » passe par la mise en œuvre de la démarche slow.tech.

Recommandations

Pour concilier intérêts économiques, sociaux et environnementaux, la France doit faire preuve de pragmatisme et d'inventivité. Rouvrir des mines en France et en Europe ne résoudra pas un problème dont les enjeux se jouent à l'échelle mondiale avec trois principaux protagonistes - les USA, la Russie et la Chine – en face desquels nous n'avons aucun argument.

Trois actions simples peuvent répondre aux enjeux soulevés par cette étude :

1. **Déployer un « plan de sobriété métaux »**
2. **Constituer des stocks stratégiques**
3. **Développer la slow.tech**

Sommaire

Synthèse 3
Définition 3
Constats 3
Enjeux 3
Recommandations 4
1. Introduction 6
1.1. Définitions 6
1.2. Méthode 7
1.3. Périmètre étudié 7
1.4. Présentation des résultats 7
1.5. Limite de l'étude 7
1.6. Contribuer à cette étude 7
1.7. Licence 8
2. Etat des réserves rentables mondiales de métaux 9
3. Et demain ? 11
3.1. Une très forte croissance de la demande dans les 25 ans à venir 11
3.1.1 - Sept fois plus de demande à l'horizon 2040 12
3.1.2 - Trois domaines en forte croissance, dont le numérique 13
3.1.3 - L'essor de la population mondiale et des classes moyennes comme moteur 13
3.2. Des réserves et des capacités de traitement très concentrées 13
3.3. Un taux de recyclage encore faible 19
3.4. Vers des pénuries et ruptures d'approvisionnement chroniques ? 19
3.5. L'extractivisme n'est pas une solution 20
3. Recommandations 22
4.1. Déployer un « plan de sobriété métaux » 22
4.2. Constituer des stocks stratégiques 22
4.3. Améliorer les taux de recyclage 23
4.4. Développer la slow.tech 23
Annexes 24
5.1. Liste des métaux étudiés 24
5.2. Sources des données 25
5.2.1 – Réserves et production 25
5.2.2 – Demande 25
5.2.3 – sources diverses 26
5.3. Contrôle de cohérence 26

1. Introduction

La rapidité avec laquelle nous épuisons nos réserves rentables de métaux détermine en partie la robustesse (et la fragilité) de la civilisation occidentale actuelle. En effet, près d'un tiers des principaux métaux sont majoritairement utilisés dans le domaine du numérique qui est devenu le « système nerveux » des nations occidentales. Au point d'en être aujourd'hui totalement dépendant.

Que se passerait-il si nous n'avions plus de numérique à notre disposition pour gérer les transactions boursières, les comptes en banque des français, les feux de signalisation et le trafic aérien, les IRM et autres équipements de santé réalisant des milliards d'analyses chaque année ?

Paradoxalement, il n'existait pas d'étude publique quantitative récente et transparente sur la disponibilité des métaux dont dépend l'occident. Il nous a donc semblé important de calculer l'état des réserves rentables de métaux dans le monde afin de déterminer si le « tout technologique », et notamment la société « tout numérique » dans lequel les nations occidentales se sont engagées est une voie d'avenir ou une impasse. Et plus largement de prendre conscience de la fragilité de notre société face aux ruptures d'approvisionnement de ces ressources qui seront probablement de plus en plus longues et fréquentes.

1.1. Définitions

Cette étude porte sur les *réserves rentables* de métaux dans le monde. *« Les réserves [ndlr: rentables] correspondent à la part des ressources identifiées dont l'exploitation est technologiquement et économiquement (rentabilité) possible à un instant donné »*[1].

Cette notion ne présume pas de la *criticité* de chacun des métaux. La criticité d'un métal ou d'une ressource est évaluée en fonction de nombreux paramètres tels que les réserves rentables, la capacité à accéder effectivement à ces réserves, les tensions sur ces ressources liées à la demande et aux stratégies géopolitiques des Etats, etc. La criticité est surtout une qualification donnée par les Etats en fonction de leur contexte et politique.

Dans le cadre de cette mise à jour, nous distinguons deux nouvelles dimensions de la criticité :

- la **criticité géopolitique**, liée notamment à la concentration géographique, aux restrictions commerciales ou aux tensions entre États ;
- la **criticité industrielle**, liée à la concentration des capacités de raffinage, de transformation, des procédés, des équipements ou des savoir-faire.

1.2. Méthode

Évaluer l'état des réserves rentables de métaux dans le monde revient à calculer le nombre d'années de consommation d'un métal qu'il est actuellement possible d'envisager compte tenu des gisements connus et exploités / exploitables et des prévisions de demande de ce métal. Nous avons donc rapporté les stocks connus (en tonnes) à la demande annuelle (en tonnes) corrigées des prévisions de demande. Cela nous permet d'obtenir une évaluation de la réserve rentable en « années de consommation avant épuisement ».

[1] Dequincey Olivier, Ressources minérales et transition énergétique, ENS Lyon / DGESCO, 2024, https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/FEL2024.xml

1.3. Périmètre étudié

Le périmètre étudié est celui des réserves rentables mondiales des principaux métaux. Faute de données quantitatives disponibles publiquement sur les gisements ou sur la consommation, nous n'avons pas pu étudier tous les métaux. C'est notamment le cas de certaines « *terres rares* » de la famille des lanthanides.

Nous avons étudié 25 des principaux métaux : aluminium, antimoine, argent, cobalt, cuivre, dysprosium, étain, gallium, germanium, indium, lithium, magnésium, manganèse, néodyme, nickel, or, palladium, platine, praséodyme, ruthénium, silicium métal, tantale, tungstène, yttrium, et zinc.

La liste exhaustive des métaux étudiés et de leur acronyme est disponible en annexe.

1.4. Présentation des résultats

Compte tenu de la nature de l'étude qui vise à fournir des ordres de grandeur, les chiffres sont généralement arrondis au nombre entier d'années ou de tonnes le plus proche.

1.5. Limite de l'étude

Cette version de l'étude intègre les prévisions de consommation jusqu'à 2050. Mais il s'agit pour l'instant d'une projection linéaire de la consommation sur les années à venir..

Les données disponibles dans les rapports et études consultés ne sont pas toujours directement comparables. Elles peuvent porter sur des années différentes ou sur des étapes distinctes de transformation d'un même métal.
La part de marché mondiale détenue par un pays ne constitue pas directement une mesure de la dépendance française. Celle-ci dépend :

- des flux effectivement utilisés par les industriels français et européens
- des produits finis, composants ou équipements, importés et des matières premières (métaux) associées

1.6. Contribuer à cette étude

Cette étude est un travail bénévole réalisé par Frédéric Bordage et Loic Desnos dans le cadre de l'association Green IT. Nous serons ravis de vous accueillir pour nous aider à la mettre à jour. Comme le veut la licence associée, vous serez cité parmi les contributeurs de la prochaine édition, si vous le souhaitez.

1.7. Licence

Cette étude est publiée sous licence Creative Commons By-NC-ND. Vous avez l'obligation de transmettre ce document en l'état, sans modification, intégralement, en incluant les informations contenues sur cette page. Vous ne pouvez pas vendre cette étude ou des prestations, formations, conférences, basées sur cette étude. Version française complète de la licence : https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

2. Etat des réserves rentables mondiales de métaux

2.1. Synthèse

Pratiquement tous les métaux présentent un **risque d'approvisionnement à court terme.**
Cette situation va se traduire par un **renforcement des tensions sur les ressources minières** indispensables à la fabrication des hautes technologies et notamment du numérique.
À l'avenir, les **pénuries et ruptures d'approvisionnement** seront de plus en **plus fréquentes** et **longues**. Il est donc urgent de développer des approches alternatives au « tout technologique » et au « tout numérique ».

Comme le montre le schéma ci-dessous, la situation est tendue pour la majorité des métaux dont la réserve rentable est inférieure à 20 ans. Pour 6 de ces métaux, leur réserve rentable est inférieure à 10 ans et pour 6 supplémentaires leur réserve est inférieure à 15 ans. Or, il faut plus de 15 ans entre la découverte d'un gisement et son exploitation effective. Il y a donc un **risque fort de ruptures d'approvisionnement si la demande augmente plus fortement que prévu**.

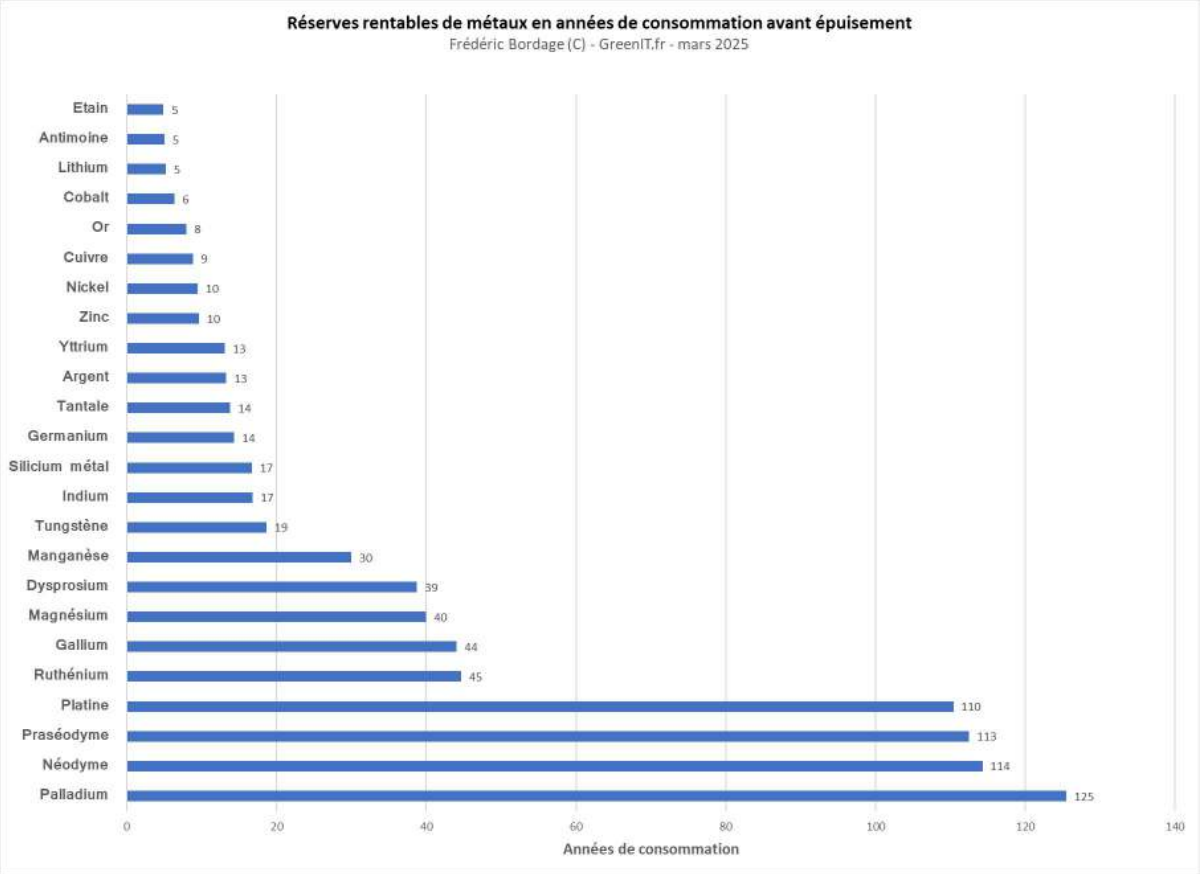


Figure n°1 : état des réserves rentables de métaux à l'échelle mondiale en années de consommation.

2.2. Estimations détaillées par métal

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des résultats de notre étude.

Il fait ressortir les métaux les plus à risques d'épuisement et les dates probables d'épuisement de la ressource si aucun gisement supplémentaire n'est détecté ou mis en exploitation dans les années à venir.

Les dates sont projetées en fonction des prévisions de consommation à l'horizon 2050, par rapport aux réserves rentables connues en 2023.

		2023	2050	Années	
		%	%	avant	Date
Métal	**Symbole**	**Part du numérique**	**Part du numérique**	**Epuisement**	**Epuisement**
Antimoine	Sb	8%	20%	5	2028
Argent	Ag	5%	12%	13	2036
Cobalt	Co	20%	35%	6	2029
Cuivre	Cu	10%	30%	9	2032
Dysprosium	Dy	22%	40%	39	2062
Etain	Sn	40%	55%	5	2028
Gallium	Ga	50%	65%	44	2067
Germanium	Ge	95%	98%	14	2037
Indium	In	80%	90%	17	2040
Lithium	Li	70%	80%	5	2028
Magnésium	Mg	3%	12%	40	2063
Manganèse	Mn	10%	18%	30	2053
Néodyme	Nd	2%	8%	114	2137
Nickel	Ni	25%	45%	10	2033
Or	Au	2%	10%	8	2031
Ruthénium	Ru	20%	40%	45	2068
Silicium métal	Si	50%	65%	17	2040
Tantale	Ta	70%	80%	14	2037
Tungstène	W	65%	75%	19	2042
Yttrium	Y	15%	30%	13	2036
Zinc	Zn	15%	30%	10	2033

Tableau n°1 – Liste des métaux, de leurs réserves rentables actuelles, de la part du numérique dans la consommation de ces métaux, et projection de la date d'épuisement au rythme de consommation prévu d'ici 2050.

3. Et demain ?

3.1. Une très forte croissance de la demande dans les 25 ans à venir

L'**extraction annuelle mondiale de matériaux** (essentiellement métaux et minéraux) est passée de **31 milliards de tonnes en 1970 à 107 milliards de tonnes aujourd'hui**, avec une prévision de **160 milliards** de tonnes en **2060** (source : Unep 2024).

Espérons que cette tendance soit infléchie par les recherches et innovations en cours pour utiliser moins de métaux ou de plus abondants comme c'est le cas par exemple pour les batteries : recherche d'alternatives au cobalt, batteries au sodium, etc.

Il faut cependant rester prudent car, à l'échelle de l'histoire, ces gains d'efficience (moins de matériaux pour fabriquer un même objet) ont presque toujours généré un effet rebond : les gains d'efficience permettent d'augmenter les volumes. Volumes qui finissent par augmenter plus vite que les gains d'efficience.

3.1.1 - Sept fois plus de demande à l'horizon 2040

Selon de nombreuses études (voir Figure 2 ci-dessous par exemple), dans les 15 à 25 ans à venir, la demande devrait doubler à quadrupler en moyenne pour la plupart des métaux. Mais certains connaîtront une hausse de la demande encore bien plus importante, par exemple : **cobalt (x6)**, **gallium (x7)**, **yttrium (x5)**, **dysprosium (x4)**, et **jusqu'à x37 pour le lithium** !

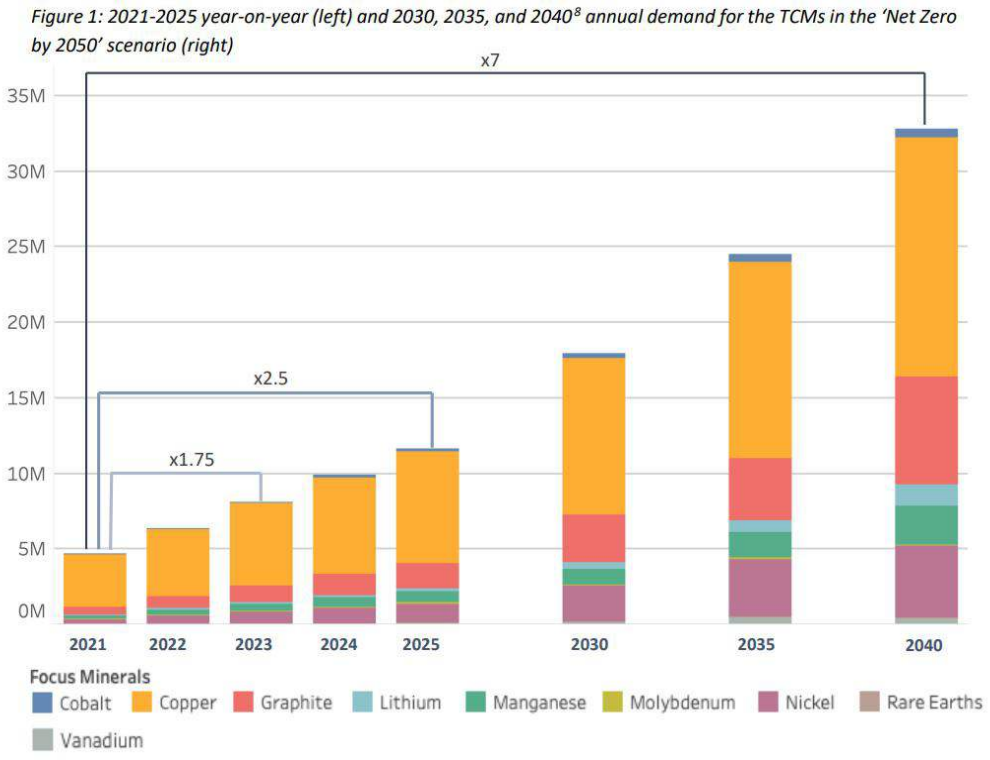


Figure n°2 : Évolution de la demande en métaux (en Mt) induite par le scénario NGFS "Net Zero by 2050", source : Miller et al. (2023)

3.1.2 - Trois domaines en forte croissance, dont le numérique

Cette croissance de la demande est principalement soutenue par trois marchés en pleine expansion :

1. les **véhicules électriques**,
2. les **énergies renouvelables** (principalement éolien et photovoltaïque),
3. et le **numérique**.

Concernant le numérique, le volet 3 de l'étude Ademe-Arcep sur « les impacts environnementaux du numérique en 2050 » estime que la demande en métaux et minéraux associée au numérique augmentera, **en France, de + 59 % entre 2022 et 2030**. Et c'est sans compter le **plan à plus de 100 milliards d'euros** de l'Elysée pour développer l'intelligence artificielle en France, avec notamment l'installation de **dizaines de nouveaux très grands centres informatiques** (*mega data center*).

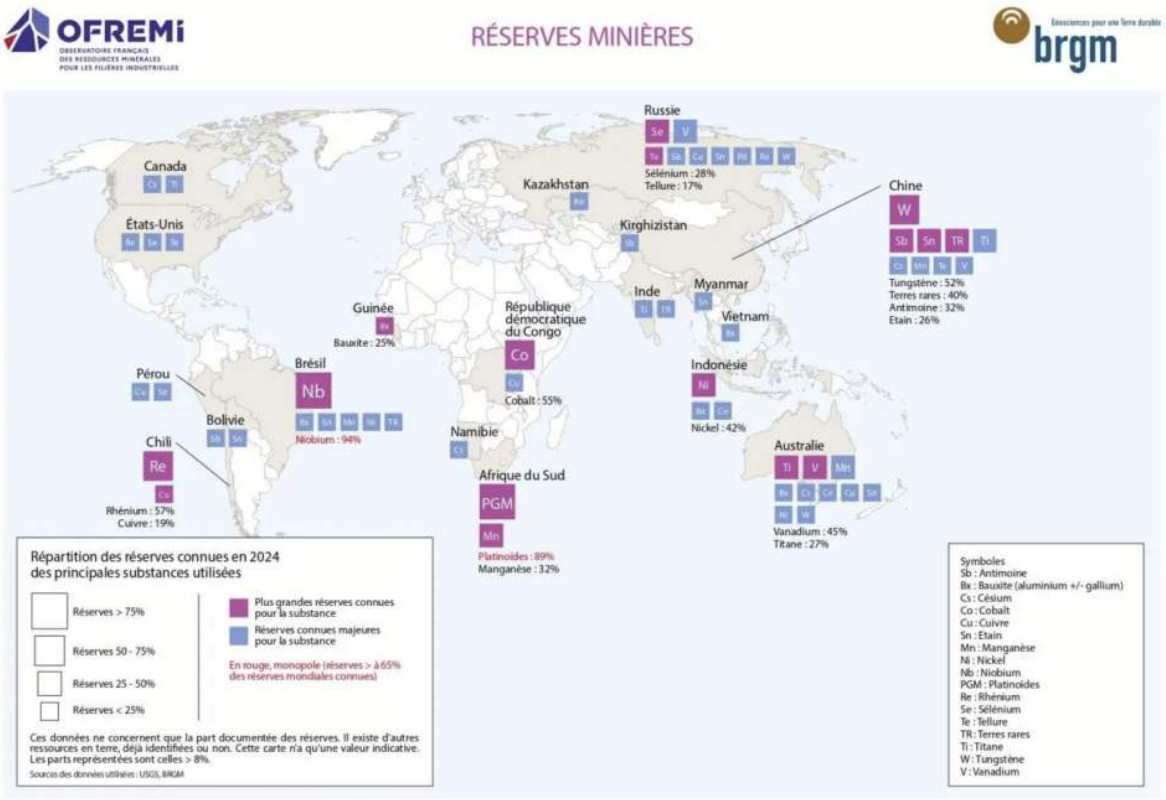
3.1.3 - L'essor de la population mondiale et des classes moyennes comme moteur

Deux facteurs stimulent cette croissance présentée en 3.1.2 :

1. L'**augmentation de la population mondiale** qui passera de 7,8 milliards d'habitants en 2020 à 9,6 milliards en 2050 ;
2. Les **classes moyennes dont l'effectif devrait doubler**, passant de 3,2 milliards de personnes en 2020 à plus de 6 milliards en 2050.

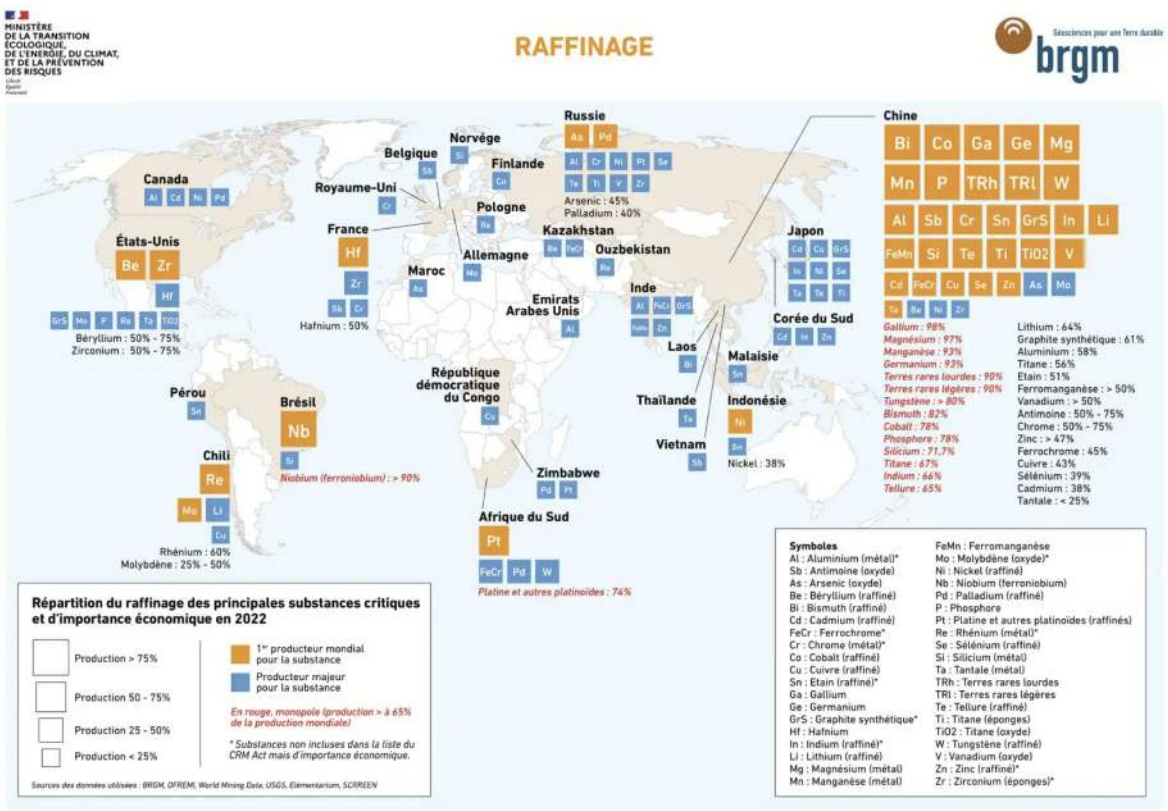
3.2. Des réserves et des capacités de traitement très concentrées

Au-delà de la forte croissance de la demande, il nous semble essentiel de rappeler que **les réserves**, **la production et les capacités de traitement des minerais** (concassage, broyage, séparation, raffinage, extraction par pyrométallurgie et électrométallurgie notamment) sont **fortement concentrées dans quelques pays**, **notamment en Chine** pour certains métaux parmi les plus critiques.



OFREMI-CARTE-RESERVES-MINIERES_170325_CorrAR_page-0001.jpg

Figure 3 : Moins de 10 pays dans le monde concentrent l'essentiel des réserves. Source : BRGM, mars 2025, Les cartes de la géopolitique des ressources minières : production et réserves mondiales des substances clés



BRGM - Projet expertise eco 2024 - carte de répartition du raffinage - VF-1.png

Figure 3 bis : Les capacités de traitement sont concentrées dans quelques pays, notamment la Chine. Source : BRGM, mars 2025, Les cartes de la géopolitique des ressources minières : production et réserves mondiales des substances clés

La concentration géographique des ressources minières n'est qu'une partie du problème.
La chaîne reliant la mine à l'usage d'un produit comprend plusieurs étapes : extraction minière, raffinage et séparation, transformation en matériaux ou composants, puis fabrication et usages industriels.
Ces différentes étapes ne se sont pas nécessairement localisées dans les mêmes pays. Une partie des minerais extraits en Afrique, en Amérique du Sud, Australie ou en Indonésie est exportée avant d'être raffinée ou transformée ailleurs. Le niveau de concentration géographique peut ainsi augmenter après la mine.

Cette situation est particulièrement visible pour plusieurs chaînes d'approvisionnement dans lesquelles la Chine occupe une position dominante dans les étapes intermédiaires.

Par exemple, pour les terres rares destinées aux aimants, l'AIE estime qu'en 2024 la Chine représentait environ 59 % de la production minière mondiale, mais 91 % du raffinage et 94 % de la production d'aimants permanents frittés. La dépendance est donc nettement plus forte en aval qu'au niveau de l'extraction[2].Ces dépendances se prolongent ensuite dans les matériaux transformés, composants et équipements.

Pour l'Union européenne, la dépendance peut donc être indirecte en étant cachée dans les composants ou matériaux (aimants, batteries, composants électroniques, etc.).

[2] IEA (2025), *Global Critical Minerals Outlook 2025*, IEA

Les travaux du Centre commun de recherche de la Commission européenne[3] (Joint Research Centre - JRC) sur quinze technologies stratégiques européennes montrent précisément que les points de dépendance peuvent apparaître à différents niveaux, depuis les matières premières jusqu'aux composants et systèmes complets.

Pour la France, cette exposition concerne notamment le numérique et l'intelligence artificielle, l'énergie, la mobilité électrique, l'industrie, la défense et le spatial ainsi que certains équipements de santé.

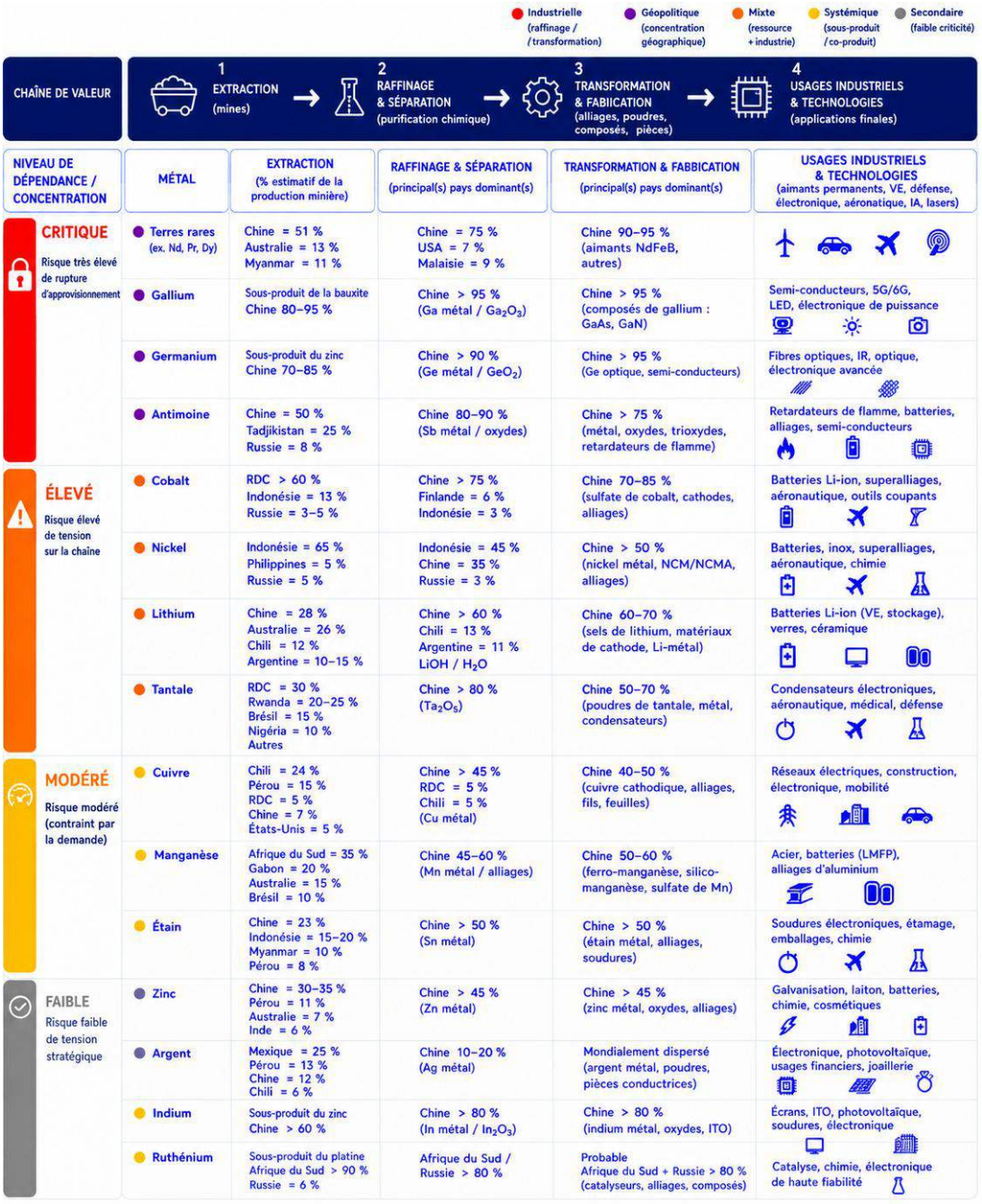


Figure 4 : De la mine aux usages : cartographie des principales concentrations industrielles des métaux critiques

[3] Carrara et al., JRC / European Commission, *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU*, 2023.



Figure 4 bis : Métaux critiques : pourquoi la France est exposée aux concentrations mondiales

3.3. Un taux de recyclage encore faible

Le taux de recyclage est défini comme le rapport entre la quantité de déchets recyclés et la quantité totale de déchets pesés en entrée de centre de traitement.

Comme le montre le schéma ci-dessous, le **taux de recyclage des métaux reste très faible (en dessous de 25 %)** pour la grande majorité des métaux, notamment les plus critiques pour la fabrication des équipements high-tech et numériques.

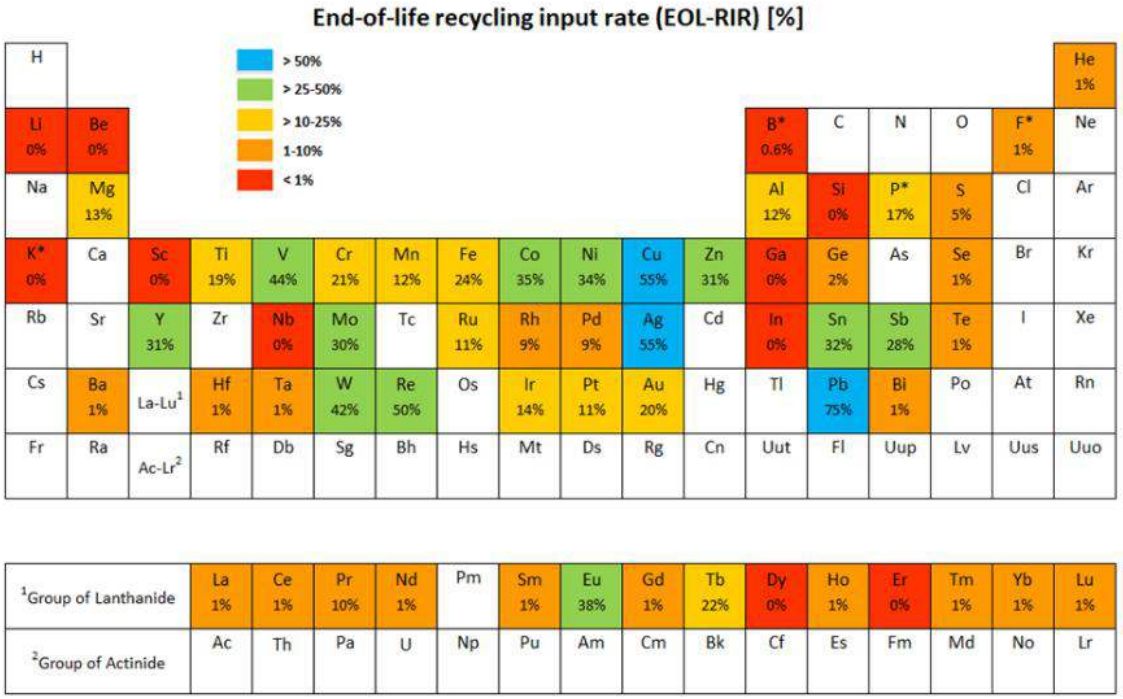


Figure 4 : Source : Commission Européenne (2018) "Measuring progress towards circular economy in the European Union – Key indicators for a monitoring framework" (cf p. 32)

La production de métaux recyclés en 2015 a doublé par rapport à celle de 1995 (source : France Stratégie). Mais cela reste bien trop faible par rapport à l'augmentation de la demande.

Et quand bien même nous augmenterions le taux de recyclage, **les métaux recyclés ne sont pas suffisamment purs pour réalimenter certaines industries** comme le numérique ou le spatial. L'économie circulaire reste donc très limitée.

3.4. Vers des pénuries et ruptures d'approvisionnement chroniques ?

Cette étude a été réalisée avec une projection encore partiellement linéaire de la demande entre 2023 et 2050. En effet, **la plupart des prévisions de consommation ne tiennent pas encore totalement en compte le « boom » de l'intelligence artificielle de ces 4 dernières années**. Nos chiffres concernant la demande sont donc "optimistes", pour ne pas dire « sous-évalués » car ils n'intègrent que partiellement cette nouvelle demande liée à l'essor fulgurant de l'intelligence artificielle générative de ces trois dernières années (2024-2026).

Même avec un modèle plutôt optimiste, les réserves rentables de métaux sont au plus bas compte tenu de la demande. **Et dans la dynamique actuelle, nos réserves rentables ont toutes les chances de s'épuiser plus, et plus vite.**

À cela s'ajoute la **concentration de certains métaux dans des zones géographiques précises** (Chili et Pérou pour le cuivre par exemple) et /ou la capacité de traitement des minerais dans d'autres pays, notamment la Chine. La géopolitique actuelle montre que **les 3 plus grandes puissances mondiales tentent actuellement de s'accaparer, par tous les moyens imaginables dont la guerre, les derniers gisements connus de métaux : la Chine en Afrique, les Etats-Unis et la Russie en Ukraine.**
Les évolutions récentes illustrent ce risque. Depuis 2023, plusieurs pays producteurs ont renforcé leurs restrictions sur certains minerais ou métaux critiques. La Chine a notamment introduit ou étendu des contrôles à l'exportation portant sur plusieurs métaux et technologies de transformation. En 2025, les restrictions chinoises sur certaines terres rares lourdes ont eu des conséquences jusqu'aux chaînes automobiles[4] situées hors de Chine.

Sauf à changer radicalement de trajectoire, les ruptures d'approvisionnement telles que celles que nous avons vécues en sortie de Covid dans l'industrie automobile seront désormais fréquentes et cycliques.

Enfin, de plus en plus répandu, même dans des pays particulièrement bien dotés, **le stress hydrique de plus en plus fréquent va considérablement fragiliser les capacités d'extraction des ressources et de production des composants semi-conducteurs**. Rappelons-nous qu'il faut 32 litres d'eau pour fabriquer une puce de 2 grammes, soit 16 000 fois son poids en eau !

3.5. L'extractivisme n'est pas une solution

L'extractivisme soutenu par la France et la Commission Européenne ne résoudra pas le problème de tension sur ces ressources. D'une part, parce que même à l'échelle de l'Europe toute entière **nous ne disposons pas de tous les métaux nécessaires** à la fabrication des hautes technologies. Or, **il suffit qu'un ou deux métaux manquent pour que la fabrication soit impossible**.

D'autre part, parce que le GIEC nous rappelle que nous n'avions que jusqu'à 2025 pour atteindre l'asymptote de nos émissions de gaz à effet de serre et jusqu'à 2030 pour les diviser par deux ! Or, nous sommes très loin de cette trajectoire. Rouvrir des mines en France, en Europe et dans le monde augmentera et accélèrera inévitablement de nombreuses crises majeures telles que (liste non exhaustive) le changement climatique, l'écroulement de la biodiversité, et le bouleversement du cycle de l'eau.

---

4 https://www.lemonde.fr/economie/article/2025/06/06/terres-rares-la-guerre-chinoise-des-aimants-menace-l-industrie-automobile-mondiale_6610759_3234.html?srsltid=AU7gw4W94jn968be1hkafF_V6BVjRmnxrFmAurOXvnWR7Cf6aIis49Vh

À ces deux contraintes, il faut ajouter les tensions déjà palpables concernant l'accès à l'eau et aux énergies fossiles.

De très grandes quantités d'énergie (pétrole) sont nécessaires pour l'extraction des minerais et leur transformation en métaux dans les fonderies (charbon). Extraire plus de métaux ajoute une boucle de rétroaction positive (*« cercle vicieux »*) et renforce ainsi l'emballement du réchauffement global. Ce qui n'est pas souhaitable.

D'autre part, l'extractivisme exacerbera inévitablement les tensions déjà vives pour l'accès à la ressource la plus critique pour les êtres humains : l'eau. Il faut, en effet, une très grande quantité d'eau et de produits chimiques pour extraire les minerais puis transformer les métaux en composants électroniques.

Or, même dans des pays très bien pourvus en eau, comme la France, les épisodes de sécheresse sont de plus fréquents et longs ; et les tensions entre acteurs (agriculture, énergie, industrie, centres informatiques, etc.) de plus en plus fortes. Voir par exemple l'initiative du collectif "Stop Micro : de l'eau, pas de puces" à Grenoble.

En résumé, avec le réchauffement global qui se traduit par la fonte des glaciers (principales réserves mondiales d'eau douce), il y aura de plus en plus d'eau dans la mer et de moins en moins dans les rivières. Ce qui compliquera l'extraction des minerais.

3. Recommandations

Pour concilier intérêts économiques, sociaux, environnementaux et politiques, la France doit faire preuve de pragmatisme et d'inventivité. Rouvrir des mines en France ne résoudra pas un problème dont les enjeux se jouent à l'échelle mondiale avec trois protagonistes principaux - les USA, la Russie et la Chine – en face desquels nous n'avons aucun argument.

La France n'est pas armée pour lutter contre ces poids lourds qui utilisent désormais tous les moyens possibles pour sécuriser leur approvisionnement en matières premières, dont métaux critiques et terres rares. La guerre en Ukraine et le chantage aux terres rares des USA en disent long sur les moyens mis en œuvre par ces grandes puissances.

Il est donc nécessaire de peser à l'échelle européenne pour sécuriser l'accès à une partie de ces ressources. Mais aussi et surtout de développer une approche alternative au "tout technologique" et au "tout numérique" afin de réduire notre demande. Il en va de notre souveraineté.

Nous préconisons quatre actions alternatives et complémentaires :

1. **Déployer un « plan de sobriété métaux »**
2. **Constituer des stocks stratégiques et / ou sécuriser les approvisionnements**
3. **Améliorer les taux de recyclage**
4. **Développer la slow.tech**

4.1. Déployer un « plan de sobriété métaux »

Les leviers pour réduire notre consommation de métaux sont nombreux et faciles à déployer : réduire le taux d'équipements des ménages en objets « gourmands » en métaux, allonger la durée de vie de ces objets, augmenter le taux de collecte par la consigne, favoriser la réparation, augmenter le taux de recyclage, trouver des matériaux alternatifs, etc.

L'Europe devrait donc définir un vaste *« plan de sobriété métaux »* pour articuler l'ensemble de ces actions. La guerre en Ukraine a montré que nous sommes capables de déployer un plan de sobriété énergétique avec succès en quelques mois.

Pour être efficace, ce *« plan de sobriété métaux »* devra également identifier et sécuriser les usages les plus critiques / stratégiques. Ce qui signifie, sur le fond, arbitrer les usages des français : que souhaitons nous faire avec le stock limité de métaux à notre disposition : fabriquer des avions de chasse, des télévisions, ou des IRM ?

4.2. Constituer des stocks stratégiques

En plus d'économiser les métaux critiques en les remplaçant par d'autres matériaux, l'Europe peut constituer progressivement des stocks stratégiques comme elle le fait déjà pour les hydrocarbures ou d'autres ressources. L'enjeu est de disposer d'un peu plus de « stocks tampons » pour sécuriser les processus industriels critiques qui se déroulent en France et en Europe.

4.3. Améliorer les taux de recyclage

Le taux de recyclage des métaux est aujourd'hui très faible (cf. 3.3), avec une moyenne inférieure à 25%. Or, on considère qu'environ ½ des réserves rentables de métaux se situent dans les « mines urbaines », c'est-à-dire nos poubelles. Face aux pénuries qui s'annoncent, il est donc critique d'augmenter à la fois :

- le taux de collecte, ce qui est possible via des mécanismes simples tels que la consigne ;
- et l'efficacité des processus de recyclage des matériaux (ce qui nécessite d'améliorer le niveau d'écoconception des équipements, le taux de marquage des composants, etc.).

4.4. Développer la slow.tech

A moyen et long terme, l'approche la plus efficace est la mise en œuvre de la démarche « slow.tech ». Cette dernière vise à remplacer progressivement toutes les parties *high-tech* d'un produit ou d'un service par des alternatives *low tech*. Pour prendre un exemple réel : remplacer un système de détection du cancer reposant sur une intelligence artificielle (IA) par l'odorat d'un chien.

On peut très bien imaginer étendre l'approche slow.tech à la problématique des métaux. Comment remplacer certains métaux par d'autres matériaux. Par exemple, remplacer la structure métallique d'un bâtiment par une structure en bois.

Cette démarche slow.tech n'est pas binaire et elle propose des graduations depuis le tout *low tech* au 100 % *high tech*. Par exemple, remplacer une application 5G sur smartphone par un simple SMS contribue à préserver les ressources en permettant d'allonger la durée de vie des équipements numériques existants (ce qui évite d'avoir à en fabriquer de nouveaux).

Annexes

Notes méthodologiques

5.1. Liste des métaux étudiés

Ci-dessous une liste exhaustive des métaux pris en considération.

Métal	Symbole	Critique ?	Part du numérique	Réserve*
Aluminium	Al	oui		262
Antimoine	Sb	oui	20%	5
Argent	Ag		12%	13
Cobalt	Co	oui	35%	6
Cuivre	Cu	oui	30%	9
Dysprosium	Dy		40%	39
Etain	**Sn**		55%	5
Gallium	Ga	oui	65%	44
Germanium	Ge	oui	98%	14
Indium	In		90%	17
Lithium	Li	oui	80%	5
Magnésium	Mg	oui	12%	40
Manganèse	Mn	oui	18%	30
Néodyme	Nd		8%	114
Nickel	Ni	oui	45%	10
Or	Au		10%	8
Palladium	Pd		15%	125
Platine	Pt	oui	30%	110
Praséodyme	Pr		15%	113
Ruthénium	Ru		40%	45
Silicium métal	Si	oui	65%	17
Tantale	Ta	oui	80%	14
Tungstène	W	oui	75%	19
Yttrium	Y		30%	13
Zinc	Zn		30%	10

* en années de consommation

5.2. Sources des données

5.2.1 – Réserves et production

USGS, Mineral, Commodity Summaries
BRGM, Mineralinfo

5.2.2 – Demande

Adamas Intelligence, "Rare Earth Elements"
Benchmark Mineral Intelligence
BloombergNEF, "Global Lithium-Ion Battery Supply Chain Ranking"
BloombergNEF, "New Energy Outlook"
BRGM, Mineralinfo
Commission Européenne, "Critical Raw Materials for Strategic Technologies"
IEA, "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions"
IEA, "Global Critical Minerals Outlook 2026" (2026)
International Aluminium Institute, "Aluminium Sector Greenhouse Gas Pathways to 2050"
International Copper Study Group
International Lead and Zinc Study Group
International Magnesium Association
International Manganese Institute
International Nickel Study Group
International Tin Association, "Future Tin Use"
International Tungsten Industry Association
McKinsey & Company, "The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition"
Roskill, "Tantalum: Outlook to 2030"
Silver Institute
SMM Information & Technology, "Rare Earths Market"
Tantalum-Niobium International Study Center
The Silver Institute, "World Silver Survey"
USGS Mineral Commodity Summaries
USGS, "Critical Mineral Resources"
Wood Mackenzie, "Global Zinc Market Outlook"
Wood Mackenzie, "Metals Market Service"
World Gold Council, "Gold 2050"
World Platinum Investment Council, "Platinum Quarterly"

5.2.3 – sources diverses

Miller et al., The stumbling block in 'the race of our lives': transition-critical materials, financial risks and the NGFS Climate Scenarios, 2023, https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2023/02/working-paper-393_Miller-et-al.pdf

5.3. Contrôle de cohérence

Tout au long de la réalisation de cette étude, nous avons réalisé des dizaines de contrôles de cohérence pour nous assurer que les ordres de grandeur manipulés étaient fiables. Nous avons notamment recroisé les données d'entrée (réserve, demande, etc.) avec d'autres sources. Et nous avons comparé nos résultats avec d'autres études plus anciennes [1] sur le sujet. En plus de ces contrôles, nous avons soumis la synthèse de nos résultats à plusieurs chercheurs, expert.e.s, et auteurs d'autres études du même type.

[1] Toni Eerola (ed.), Pasi Eilu (ed.), Jyri Hanski, Susanna Horn, Jachym Judl, Marjaana Karhu, Päivi Kivikytö-Reponen, Panu Lintinen and Bo Långbackan, Digitalization and natural resources, November 2021,
https://www.researchgate.net/publication/355856137_Digitalization_and_natural_resources