

Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique

Olivier Appert*, Richard Lavergne*,
Alexandre Marciel*, Denis Randet*

Mots-clés : métaux, technologies, sécurisation, chaînes de valeur, marché européen

Le dernier rapport du groupe de travail « Transition énergétique » de l'ANRT analyse les risques industriels et géopolitiques liés à la hausse de la demande mondiale en métaux critiques, appelée à tripler d'ici 2050 selon l'AIE. La transition énergétique et numérique, métallivore, renforce la vulnérabilité de la France et de l'Europe face à la domination chinoise. S'appuyant sur des auditions d'industriels, de chercheurs et d'experts, le rapport appelle à une stratégie de long terme combinant relance minière, raffinage, recyclage, substitution, R&D et formation afin de sécuriser les approvisionnements et la souveraineté industrielle européenne.

Selon divers scénarios, dont ceux de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), d'ici 2050, la demande mondiale en métaux pourrait plus que tripler pour répondre aux objectifs environnementaux internationaux « Net Zero Emissions by 2050 » et à la révolution numérique (dont l'intelligence artificielle). L'inégale répartition des ressources et la domination inquiétante de la Chine sur l'ensemble des chaînes de valeur rendent la France et l'Europe particulièrement vulnérables. Les restrictions à l'exportation font partie des rapports de force politiques sur les marchés des matières premières critiques.

Le rapport¹ rédigé par le groupe de travail de l'ANRT « Transition énergétique » met en perspective la façon dont en France, les industriels consommateurs de métaux (secteurs de l'énergie, des mobilités, de la défense...), mais aussi les producteurs de métaux (les producteurs de matières premières et secondaires), se préparent à faire face à ces risques de pressions. La géopolitique des matières premières est même

devenue centrale dans les tensions internationales actuelles.

En préambule, le lecteur pourra se référer au tableau périodique de Mendeleïev et à quelques définitions permettant de comprendre les concepts utilisés dans l'article.

Matières rares et matières premières, métaux rares et terres rares sont des termes souvent confondus et utilisés les uns à la place des autres. Les définitions suivantes s'appliquent dans le présent article :

- **Matières rares** : les « raw materials » du *Critical Raw Materials Act* (CRMA) européen (c'est-à-dire le règlement (UE) 2024/1252 du Parlement européen et du Conseil du 11 avril 2024 établissant un « cadre visant à garantir un approvisionnement sûr et durable en matières premières critiques ») que l'on traduit parfois à tort par « matières rares » sont en réalité des matières premières critiques non encore transformées. Essentielles à la

* Association nationale de la recherche et de la technologie.

Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique

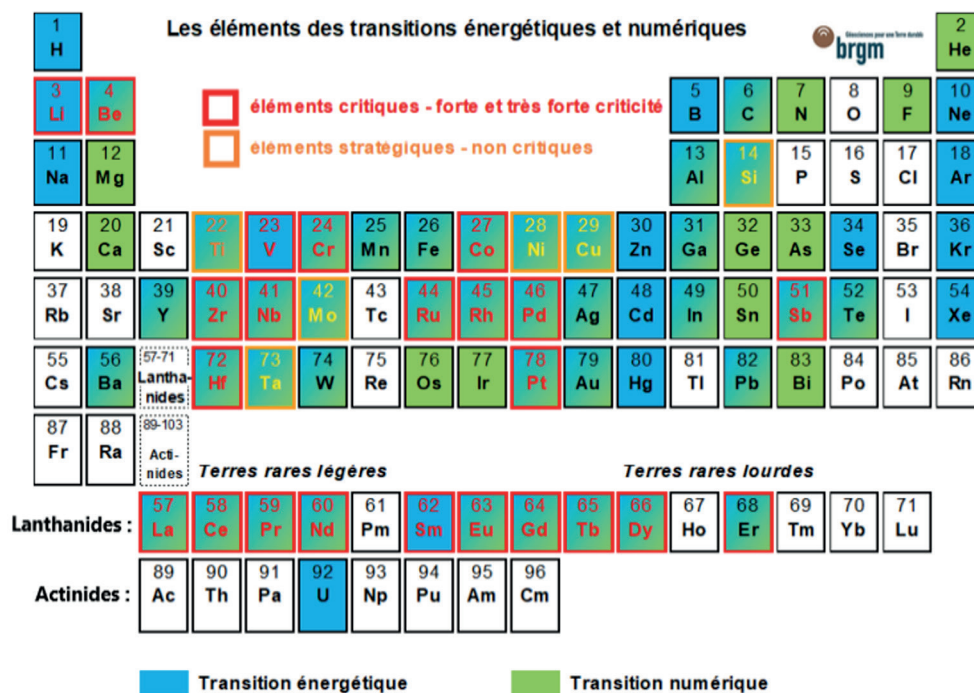


Figure 1. Les éléments des transitions énergétique et numérique selon le tableau de Mendeleïev

Source : BRGM, 2025

transition énergétique, numérique et industrielle de l'Union européenne, elles regroupent des métaux (lithium, nickel, cobalt, cuivre, terres rares, tungstène...) et quelques non-métaux (charbon à coke, feldspath, graphite, phosphore...).

- Métaux rares : il s'agit de métaux dont l'abondance moyenne ou la disponibilité (capacité à se concentrer en gisements) est faible dans la croûte terrestre (par exemple, l'or est 10000 fois moins abondant que le cuivre).
- Terres rares : l'expression «terres rares» peut prêter à confusion, car ces terres rares ne sont pas si rares d'un point de vue géologique et certaines, comme le cérium, sont plus abondantes que le cuivre dans la croûte terrestre. Elles sont rares du fait du nombre limité de gisements exploitables, de la difficulté à les

extraire et à les séparer. Les terres rares sont au nombre de 17 métaux différents.

- Métaux critiques : si l'Union européenne emploie plutôt le terme de «matières premières critiques», les métaux critiques sont ceux pour lesquels un risque pèse sur la chaîne d'approvisionnement (risques liés à des situations de quasi-monopole, risques liés à l'instabilité politique des pays fournisseurs). La Commission européenne propose une liste des matières premières critiques conformément à l'article 4 du règlement CRMA avec une réactualisation tous les 3 ans. Elles sont actuellement au nombre de 34².
- Métaux stratégiques : ce sont des métaux indispensables par exemple à la politique de défense d'un État, à sa politique énergétique ou à celle d'un acteur industriel majeur (par exemple, en France, le titane pour Airbus).

Sur les 34 matières premières listées comme critiques par la Commission européenne, celle-ci en classe 17 comme stratégiques.

1. Contexte de la demande

1.1. Transition énergétique mondiale et explosion de la demande de quelques métaux

La forte expansion des capacités de sources d'énergie renouvelable et de véhicules électriques va pousser à la hausse les besoins en métaux. Notre transition énergétique sera « métallivore ». Un exemple souvent donné : une voiture électrique consomme en moyenne 4 à 5 fois plus de matières critiques qu'une voiture thermique. Le Tableau 1 montre la part due aux technologies bas carbone dans la demande totale de ces métaux qui va, d'ici à 2040, dépasser largement la moitié de la demande, jusqu'à atteindre 63 % pour le graphite ou 91 % pour le lithium.

1.2. Transition énergétique française, des intensités matière différentes

À puissance électrique équivalente, la filière nucléaire nécessite peu de matières premières comparée aux énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque), dont les besoins sont 6 à 7 fois plus élevés. Le choix français d'un mix électrique majoritairement nucléaire limite donc la pression

sur les ressources et renforce la sécurité énergétique grâce à la diversité assurée des origines de l'uranium importé. La France dispose d'un atout stratégique avec une filière quasi souveraine de production de zirconium et d'hafnium via Framatome, essentielle aux crayons et barres de contrôle nucléaires.

1.3. Transition numérique : des quantités relativement faibles mais incontournables

Le domaine du numérique repose sur la consommation importante de certains métaux (terres rares, gallium, germanium...), malgré son apparente immatérialité. Les infrastructures utilisent principalement du cuivre et des métaux spécifiques comme le germanium pour les fibres optiques. Les équipements électroniques contiennent de nombreux métaux, jusqu'à soixante pour un smartphone, même s'ils peuvent être présents en très faibles quantités dans chaque équipement. Pour certains métaux critiques (indium, gallium, germanium, tantale, terres rares), le numérique concentre 80 à 90 % de la demande mondiale. Bien que représentant une part infime du poids des appareils, ces métaux sont essentiels et difficiles à recycler en raison de leurs dispersions, posant un enjeu majeur de durabilité.

	Multiplication potentielle de la demande entre 2023 et 2040	Part des technologies bas carbone dans la demande totale en 2023	Part des technologies bas carbone dans la demande totale en 2030	Part des technologies bas carbone dans la demande totale en 2040
Cuivre	× 1,5	24 %	45 %	50 %
Lithium	× 8,7	56 %	87 %	91 %
Nickel	× 2,1	15 %	50 %	56 %
Cobalt	× 2,2	30 %	59 %	59 %
Graphite	× 3,9	26 %	65 %	63 %
Terres rares	× 1,9	18 %	42 %	41 %

Tableau 1. Premier *game changer* : les technologies bas carbone

Source : E. Hache d'après AIE, 2024

Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique

	Éolien <i>offshore</i>	Éolien <i>onshore</i>	Photovoltaïque	Nucléaire	Charbon	Gaz naturel
Cuivre	8	2,9	2,8221	1,473	1,15	1,1
Nickel	0,24	0,4035	0,0013	1,2974	0,721	0,0158
Chrome	0,525	0,47		2,19	0,3075	0,0483
Cobalt	–	–	–	–	0,2015	0,0018
Manganèse	0,79	0,78		0,1477	–	0,0046
Silicon	–	–	3,9483	–	–	–
Zinc	5,5	5,5	0,03	–	–	–
Molybdène	0,109	0,099	–	0,0708	0,0663	
Terres rares	0,239	0,014	–	0,0005	–	
Autres	0,006	–	0,032	0,0943	0,0339	
Total	15,409	10,1665	6,8337	5,2737	2,4802	1,1705

Tableau 2. Intensité matière dans la production d'énergie

Source : EDF R&D d'après AIE, 2021

1.4. L'aéronautique et la défense : métaux stratégiques et conflits d'usage

Dans l'aéronautique et la défense, certains métaux sont en concurrence avec le secteur de l'énergie et du numérique, ou trop concentrés chez un seul fournisseur. Même si l'aluminium représente 75 % du poids d'un A320, Airbus consomme seulement 0,1 % du marché mondial, ce qui limite son pouvoir de négociation. Le nickel qui représente la moitié du poids d'un moteur est critique pour Safran, car il entre directement en compétition avec le développement des batteries. La défense consomme également peu de métaux en volume (1 % en moyenne de la consommation européenne) et dépend ainsi des chaînes civiles puisque 80 % de ses technologies sont duales. Le titane qui est un métal spécifique à l'aéronautique et la défense (qui n'est donc pas en conflit d'usages avec l'énergie ou le numérique) doit être malgré tout sécurisé, car l'Europe dépend encore fortement de la Russie, ce qui menace ces deux secteurs stratégiques. La question des stocks stratégiques est clairement posée.

2. Problématiques de l'offre de métaux

2.1. Des risques de pénuries liés aux déséquilibres de l'offre et de la demande

Contrairement à certaines idées reçues, le risque principal n'est pas l'épuisement des ressources, mais une pénurie liée à l'incapacité du secteur minier à produire suffisamment rapidement. L'exemple peut être donné du cuivre. L'AIE estime que même si le recyclage pourrait réduire le besoin de nouvelles activités minières de 25 à 40 % d'ici 2050, le reste devra être extrait. Sans augmentation significative de la production, un déficit mondial d'approvisionnement pourrait apparaître dès 2035, estimé entre 1,4 et 9,4 millions de tonnes de cuivre. Pour éviter cette pénurie, il faudrait ouvrir environ 60 nouvelles mines d'ici là, ce qui sera difficile en raison de la baisse des teneurs, du poids des investissements, des délais d'ouverture, de l'acceptabilité sociale et des nouvelles normes... Ainsi, ce temps de réponse du secteur minier pour faire face à la demande va créer et crée déjà des tensions fortes entre l'offre et la demande.

MÉTAUX

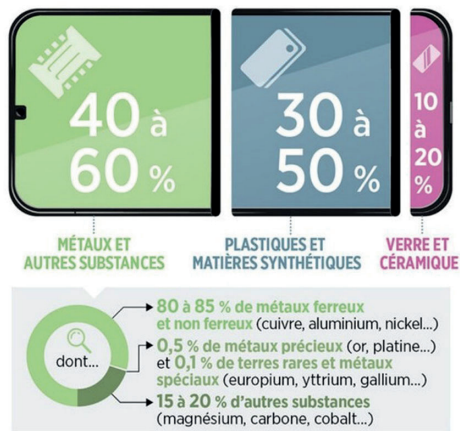


Figure 2. Moins de 0,1 % du poids du téléphone est constitué de terres rares et de métaux spéciaux

Source : ADEME, 2022

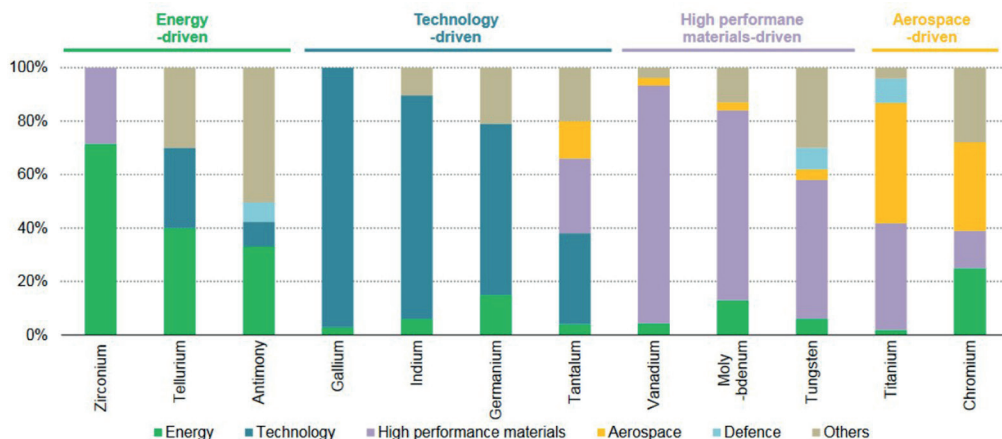


Figure 3. Le poids de l'aéronautique et de la défense dans la demande

Source : R. Danino-Perraud d'après AIE, 2024

2.2. Domination chinoise et perte de souveraineté de la France et de l'Europe

La Figure 5 illustre parfaitement la domination chinoise et la concentration de la production des métaux entre les mains de seulement quelques pays. Selon l'AIE, d'ici à 2030, 70 à 75 % de l'approvisionnement en métaux critiques viendra de trois pays dominants : la Chine, l'Indonésie et la République démocratique du Congo (RDC). Au-delà de l'extraction minière, la force de la Chine est de maîtriser le raffinage des métaux. Prenons

un seul exemple : le lithium. Même si les pays du « triangle du lithium », les pays ABC (Argentine-Bolivie-Chili) représentent à eux seuls 40 % de la production mondiale de minerais et plus de 60 % des réserves mondiales, Pékin domine le monde en raffinant 62 % du lithium mondial. À l'instar des autres pays européens, la France dépend fortement de la Chine pour l'approvisionnement en métaux, laquelle exerce une domination sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique

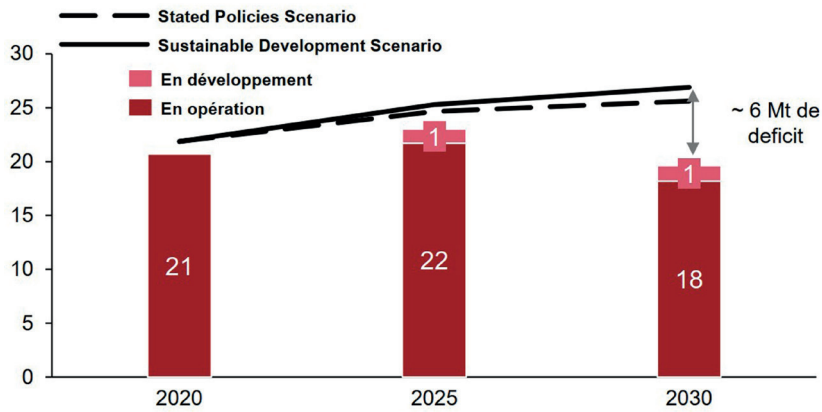


Figure 4. L'exemple de l'offre et de la demande en cuivre d'ici à 2030

Source : OFREMI, 2025

Global production of critical raw materials (CRM) according to EU definition

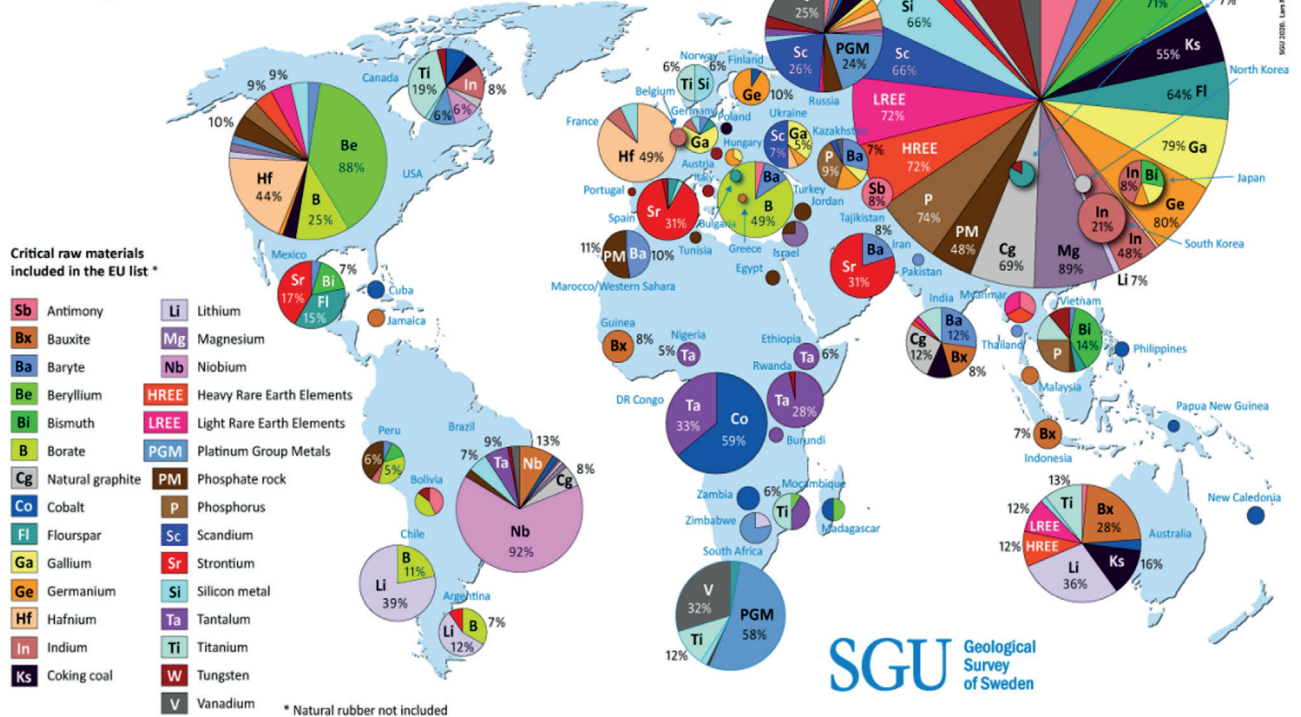


Figure 5. Concentration de la production des métaux dans le monde

Source : SGU, 2024

3. Leviers de sécurisation de l'approvisionnement français en métaux

3.1. Les réponses institutionnelles de l'Europe et de la France

L'intérêt mondial pour les métaux critiques se révèle par la multiplication des nouvelles mesures politiques mises en place : 251 entre 2020 et 2023 contre seulement 20 entre 2000 et 2020. L'Union européenne a élargi sa liste de matières critiques depuis 2011 : de 25 à 34. Via le CRMA, son règlement européen, l'UE vise à sécuriser ses approvisionnements en matières premières critiques, d'ici à 2030. Ses objectifs sont les suivants : au moins 10 % d'extraction, 40 % de transformation, 25 % de recyclage et moins de 65 % de dépendance à un seul pays. La Commission a identifié 47 projets en UE (dont 9 en France). L'UE est confrontée à la concurrence de la Chine, qui a investi plus de 1 000 milliards de dollars (Md\$) dans les «Nouvelles routes de la soie», et des États-Unis, qui ont mobilisé plus de 500 Md\$ pour sécuriser leurs ressources. En France, le rapport Varin (2022) a conduit à la création de la DIAMMS (Délégation interministérielle pour les approvisionnements en minerais et métaux stratégiques), de l'OFREMI (Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles), d'un fonds de 2 milliards d'euros, de deux pôles industriels (Dunkerque, Lacq) et à la signature de 14 accords internationaux. Le plan France 2030 a permis de lancer une quinzaine de projets industriels (extraction de lithium, recyclage de batteries et aimants permanents) et l'extension de dix sites, pouvant générer jusqu'à 3 800 emplois directs.

3.2. La relance de l'extraction minière et la maîtrise du raffinage

Le CRMA fait de la relance des mines européennes un objectif stratégique. La France dispose d'un potentiel minier important, notamment en lithium (dans l'Allier et en Alsace) et en nickel (en Nouvelle-Calédonie), appuyé par l'expertise reconnue du BRGM. Par ailleurs, Imerys et Eramet investissent dans de nouveaux procédés : extraction directe de lithium, cycles fermés de l'eau...

Les contrats d'*off-take* constituent un levier clé pour sécuriser les investissements miniers. Les résidus miniers deviennent une opportunité à la fois environnementale et économique, permettant de dépolluer les anciens sites tout en récupérant des métaux critiques. La France a longtemps été au premier plan mondial dans le raffinage des terres rares (séparation et purification) à travers l'usine Rhône-Poulenc de La Rochelle. Même si les équipements ont été conservés, nombre de savoir-faire ont été perdus. Plus généralement, il existe un manque de compétences en France dans le domaine minier et il devient crucial de former davantage d'ingénieurs et de techniciens en chimie des procédés, notamment en hydro-métallurgie et pyrométallurgie. La France doit reconstruire ses capacités de raffinage de métaux pour réduire sa dépendance à la Chine.

3.3. Le développement du recyclage et la valorisation des déchets

L'impact environnemental du recyclage est favorable (exemple : -90 % de gaz à effet de serre pour l'aluminium ou le cuivre) avec des procédés moins énergivores que ceux de l'extraction minière et du raffinage des métaux. Face à la hausse de la demande en métaux, le recyclage est aussi un levier stratégique, mais ne pourra couvrir que 25 à 40 % des besoins d'ici 2050. L'Union européenne vise 25 % de recyclage des métaux critiques via le CRMA. Parmi les projets industriels dédiés, en France, on peut citer notamment les batteries (exemple : Veolia) et les aimants permanents (Orano/CEA-Liten). Le développement restera cependant limité avant 2030-2035, faute de volumes suffisants (notamment pour les batteries de voitures électriques). Les défis majeurs portent sur l'éco-conception, la structuration de filières (collecte, démontage...), le raffinage (maîtrise de la chimie et de la métallisation des poudres), la traçabilité (recherche sur le traçage isotopique) et la propriété des matières recyclées (quels producteurs? quels utilisateurs?). Le recyclage des métaux dispersés en faibles quantités dans les D3E (déchets d'équipements électriques et électroniques) reste technologiquement complexe malgré des avancées (recherche sur la biolixiviation). Le recyclage est

Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique



Figure 6. Les nouvelles chaînes de valeur batteries et aimants en France

Source : EDF R&D, 2025

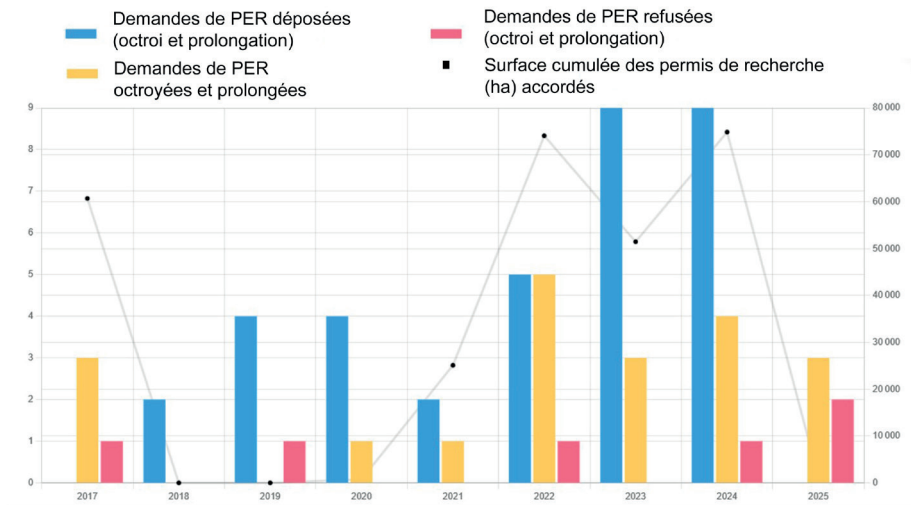


Figure 7. État des permis d'exploration et demandes en cours en France

Source : BRGM, 2025

désormais un enjeu de gouvernance stratégique (par exemple pour Airbus ou Safran). L'avenir du recyclage dépendra de procédés innovants, de réglementations incitatives, de l'engagement des industries aval, de l'évolution des marchés...

3.4. L'intensification de la R&D pour des substitutions durables

La substitution des métaux critiques ne crée pas de nouvelles quantités de métaux, mais permet de réduire certaines dépendances. Elle ne fait cependant pas l'objet d'objectifs chiffrés dans le CRMA en raison de sa complexité. Elle repose sur des substitutions chimiques ou des changements technologiques, parfois déjà industrialisés, comme :

- dans les batteries lithium-ion, le remplacement du cobalt par le fer et le phosphate (passage des batteries NMC aux batteries LFP);
- dans l'automobile, le début du développement des rotors bobinés en cuivre selon la technologie dite EESM en remplacement des terres rares des aimants permanents (exemple : Nissan);
- dans le transport électrique, le remplacement du cuivre par des câbles en aluminium (exemple : RTE);

- dans les télécommunications, le remplacement des réseaux de cuivre par la fibre optique (exemple : Orange);
- dans l'électronique, la réduction de matière comme le gallium grâce au « collage moléculaire » (CEA-Leti);
- l'optimisation de l'usage de métaux critiques grâce à l'intelligence artificielle...

La formation et les partenariats entre la recherche et le privé seront déterminants pour pouvoir développer et industrialiser des chimies innovantes.

4. Les recommandations du rapport

4.1. Relancer l'extraction minière en recherchant le consensus

Le CRMA fait de la relance des mines domestiques en Europe un objectif stratégique. La France dispose d'un potentiel minier important, appuyé par l'expertise reconnue du BRGM, avec notamment des projets d'extraction de lithium portés par des industriels français et la nécessité de préserver les sites existants en outre-mer (exemple : nickel en Nouvelle-Calédonie). Cette dynamique est freinée par un manque d'investissements, des délais d'autorisation trop longs et une faible acceptabilité sociale. Le développement

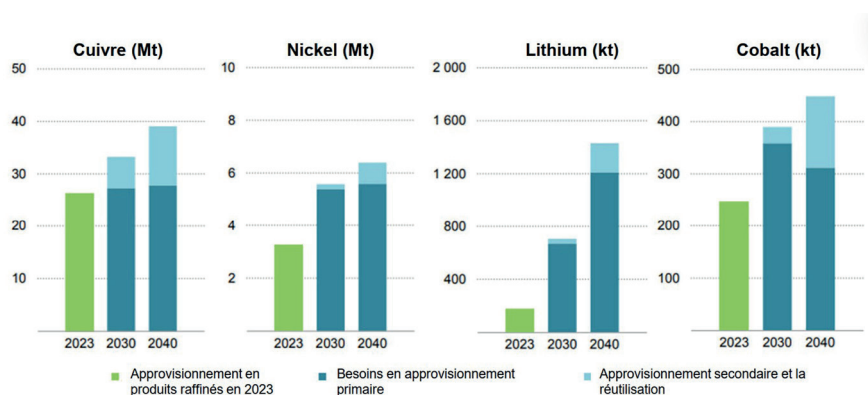


Figure 8. Le recyclage pour réduire les besoins en matières primaires

Source : ADEME, 2025 d'après AIE, 2024

Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique

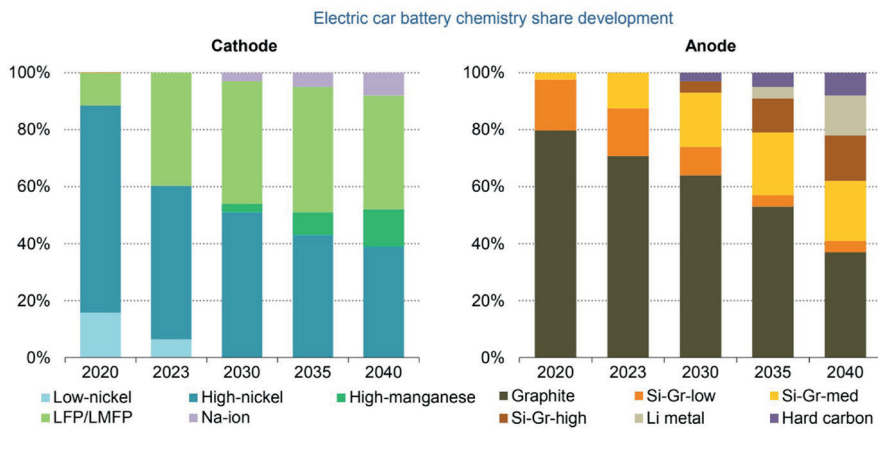


Figure 9. Évolution des chimies dans les batteries

Source : P. Pelata d'après AIE, 2025

minier pose des défis environnementaux majeurs, impliquant la préservation de ressources vitales telles que l'eau, les sols agricoles et la biodiversité.

4.2. Mieux maîtriser les chaînes de valeur, dont les procédés de raffinage et industriels

La France doit reconstruire ses capacités de raffinage pour réduire sa dépendance à la Chine. Le développement de technologies complexes (technologies de la chimie et de la microélectronique, avec production de grande série sans défaut) exige de nombreux essais coûteux et une forte coopération entre industrie et recherche, notamment pour les batteries et les aimants où la maîtrise des procédés manque. Une alliance européenne ciblée, soutenue par un financement de long terme et un vaste programme de formation, apparaît comme la voie à suivre face à ce retard.

4.3. Développer le recyclage pour plus d'indépendance

Les industriels voient le recyclage comme un moyen de réduire leur dépendance, même si certaines filières comme celle des batteries ne fourniront pas de volumes significatifs avant longtemps. Plusieurs défis restent à relever : éco-conception, structuration des filières, développement du raffinage européen et définition

d'un droit de propriété sur la matière recyclée. Le recyclage pourrait couvrir 25 à 40 % des besoins d'ici 2050, mais ne suffira pas à absorber la hausse de la demande. Les stratégies d'efficacité restent essentielles pour limiter l'impact sur les ressources primaires comme secondaires.

4.4. Intensifier la R&D pour des substitutions durables

Le CRMA fixe pour l'Union européenne des objectifs pour l'extraction, le raffinage, le recyclage et la diversification des approvisionnements, sans insister sur la substitution. Les opportunités offertes par la substitution (exemple : moteurs sans aimants) voire des ruptures (exemple : batteries à électrolytes solides) sont pourtant stratégiques pour pouvoir remplacer des métaux critiques par des métaux plus accessibles. La recherche et l'industrialisation de ces nouveaux process seront décisives pour s'affranchir de certains métaux critiques.

4.5. Définir et appliquer une vision stable à moyen et long terme

Les investisseurs asiatiques se distinguent par leur patience et leur vision industrielle de long terme, tandis que la France reste trop dépendante de décisions politiques déconnectées du terrain

industriel. Japon, Corée et Chine ont investi durablement, souvent à perte dans un premier temps, dans des technologies prometteuses, la Chine profitant en plus de la puissance de son marché intérieur. Pour se réindustrialiser, la France doit adopter une vision claire et durable, en ciblant les technologies essentielles à sa souveraineté et celles d'avenir où elle peut exceller.

4.6. Former nos jeunes à innover et produire en France

La désindustrialisation a fait disparaître des compétences clés, alors même que la demande mondiale en nouvelles technologies et donc en métaux explose. Former et attirer de nouveaux talents en géosciences, métallurgie, chimie, recyclage... devient indispensable pour sécuriser toute la chaîne de valeur. La France doit relancer et valoriser ces filières pour répondre efficacement aux besoins stratégiques à venir. L'ANRT avec ses partenaires a vocation à soutenir cette relance en continuant à faire travailler ensemble le monde industriel et académique.

4.7. Soutenir les secteurs économiques français les plus menacés

La France paye aujourd'hui le prix fort de trente ans de démobilitation et de désindustrialisation face à la concurrence internationale. Les approvisionnements en métaux critiques font désormais partie de la cartographie des risques pour nos industriels. Les secteurs français les plus exposés à ce risque sont : 1) l'automobile, 2) l'électronique et l'électricité, 3) l'aéronautique et la défense (malgré la consommation de petits volumes de métaux). Des efforts devraient être menés, y compris par les pouvoirs publics, pour mieux identifier les chaînes de valeur.

4.8. Défendre nos intérêts et renforcer la préférence européenne

La France doit sortir une fois de plus de sa naïveté vis-à-vis de l'Europe et mieux défendre ses intérêts économiques (par exemple dans l'industrie automobile et l'aéronautique). Pour cela, elle doit considérer le marché européen comme un

levier majeur de consommation et mieux peser politiquement à Bruxelles pour imposer la préférence économique européenne (orienter les normes et les achats publics), mettre en place plus de protections douanières, inciter à produire en Europe et à acheter européen.

Conclusion

Le rapport du groupe de travail considère que la France doit impérativement rompre avec la logique du court terme qui a guidé sa désindustrialisation depuis trente ans. Les investisseurs asiatiques démontrent qu'une vision industrielle stable et de long terme est un levier décisif : accepter des pertes initiales pour sécuriser des technologies clés et structurer des filières d'avenir. La France doit adopter une stratégie comparable, ciblant prioritairement les technologies essentielles à sa souveraineté et les secteurs où elle peut redevenir compétitive.

La dépendance aux métaux critiques appelle à des actions urgentes. L'automobile, l'électronique et l'électricité, l'aéronautique et la défense sont aujourd'hui les secteurs les plus exposés aux ruptures d'approvisionnement. Il est nécessaire de cartographier précisément les chaînes de valeur et de prioriser des efforts, non pas seulement par filières globales mais par produits (exemple : aimants samarium-cobalt), non pas seulement par matériaux mais d'abord par fonctions critiques (exemple : fonctions vitales).

Le marché européen devra être mobilisé comme levier de consommation pour soutenir la production locale. Il conviendra d'orienter les normes et les achats publics vers une préférence économique européenne, d'inciter à produire et acheter en Europe, d'augmenter les protections douanières.

Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique

NOTES

1. Les références de l'article sont issues des auditions réalisées par le groupe de travail comme indiqué dans le rapport «Les enjeux industriels et technologiques des minerais et métaux pour la transition énergétique et numérique» disponible en ligne : https://www.anrt.asso.fr/sites/default/files/2026-01/ANRT_enjeux%20industriels_et_technologiques_des_minerais_et_métaux_pour_la_transition_energetique_et_numerique_decembre2025.pdf.

2. Les 34 matières premières critiques listées en 2024 par la Commission européenne sont : aluminium/bauxite/alumine, antimoine, arsenic, barytine, béryllium, bismuth, bore, charbon à coke, cobalt, cuivre, feldspath, gallium, germanium, graphite, zirconium/hafnium, hélium, lithium, magnésium, manganèse, nickel, niobium, phosphore, phosphorite, scandium, silicium métallique, spath fluor, strontium, tantale, titane métal, platine (métaux du groupe), terres rares légères, terres rares lourdes, tungstène, vanadium.

BIOGRAPHIES

Diplômé de l'École polytechnique et ingénieur des mines, **OLIVIER APPERT** a occupé des fonctions de direction dans des administrations et des entreprises, essentiellement dans le domaine de l'énergie et de la technologie, et aussi à l'AIE de 1999 à 2003. De 2003 à 2015, il a été président-directeur général de IFP Energies Nouvelles. Il a présidé le Conseil Français de l'Énergie de 2010 à 2018 et est aujourd'hui conseiller du centre énergie de l'Ifri et membre de l'Académie des technologies.

RICHARD LAVERGNE est ingénieur général honoraire du Corps des mines, X75. Depuis 2021, il est membre associé du Conseil général de l'économie (ministère de l'Économie et des Finances). Il a été conseiller à la fois du directeur général de l'énergie et du climat (DGEC) et de la commissaire générale au développement durable (CGDD) au sein du ministère de l'Écologie. Il a été directeur de l'Observatoire de l'énergie et des matières premières.

Ancien journaliste et collaborateur de cabinets politiques, **ALEXANDRE MARCIEL** a été adjoint au maire de Toulouse et élu métropolitain. Il est à l'origine de plusieurs innovations dans les *smart cities*. Ancien administrateur de l'INP-ENSIACET, il a mené ces 10 dernières années une enquête approfondie sur l'ensemble des éléments du tableau périodique et leurs applications. Expert des métaux critiques et des nouvelles énergies, il collabore avec des industriels, des chercheurs et des institutions, dont l'ANRT. Il est l'auteur de plusieurs livres sur ces enjeux, son dernier s'intitule *Mendeleïev au cœur des énergies*.

DENIS RANDET a fait la plus grande partie de sa carrière au CEA, où il a dirigé le Leti, un des principaux laboratoires mondiaux de microélectronique et microtechnologies, puis créé CEA Valorisation. Ensuite, il a dirigé l'ANRT, où il a lancé l'opération FutuRIS, afin de rassembler recherche publique et entreprises dans la construction de visions prospectives communes. Il est ingénieur général de l'armement, docteur ès sciences.

À lire également dans *La Revue de l'Énergie*

- L'émergence de l'industrie européenne des batteries : vers d'incontournables dépendances, *Dominique Finon (n° 665, novembre-décembre 2022)*
- Économie des métaux : un aperçu de la littérature académique, *Maylis Peyret, Frédéric Gonand (n° 669, novembre-décembre 2023)*
- Électrification des transports : les batteries lithium-ion au cœur d'enjeux géopolitiques majeurs, *Romain Capliez, Carl Grekou, Emmanuel Hache, Valérie Mignon (n° 676, janvier-février 2025)*

À retrouver sur www.larevuedelenergie.com.