

Climat, environnement et économie circulaire | Recyclage des métaux

Décryptages

**Cuivre, cobalt, lithium, des dépendances aux métaux sont à anticiper du fait du déploiement massif des énergies renouvelables et des nouvelles formes de mobilités. Selon l'économiste Emmanuel Hache, porteur du projet ANR GENERATE, elles pourraient causer de nouveaux rapports de forces voire des tensions à l'échelle internationale.**


- Les métaux : quelques définitions
- Les métaux et les énergies renouvelables
- Qu'est-ce qu'un métal critique ou stratégique ?
- Quels sont les métaux les plus menacés ?
- Le recyclage des métaux, et pourquoi pas la sobriété énergétique ?
- A retenir



## LES METAUX : QUELQUES DEFINITIONS

Quelle terminologie employer pour les métaux ? Bref récapitulatif des différentes notions et grandes familles les concernant*.

### Métaux de base, métaux précieux et métaux rares

Les métaux **ne font pas l'objet d'une classification géologique parfaitement définie**, mais ils peuvent néanmoins être rangés dans quatre grandes familles industrielles:

- **Les métaux de base** : fer (Fe), aluminium (Al), titane (Ti), magnésium (Mg), manganèse (Mn), chrome (Cr), zinc (Zn), plomb (Pb), cuivre (Cu), nickel (Ni), étain (Sn) ;
- **Les métaux précieux** : or (Au), argent (Ag), platine (Pt), palladium (Pd), iridium (Ir), osmium (Os), rhodium (Rh), ruthenium (Ru) ;
- **Les métaux de l'énergie nucléaire que sont les actinides** : uranium (U), thorium (Th), plutonium (Pu) ;
- **Les métaux de spécialité** : tous les autres métaux

**Les métaux rares** sont des éléments chimiques dont la « rareté » est estimée en fonction de leur abondance dans la croûte terrestre.

- Les métaux abondants sont ceux à plus de 1000 ppm (0,1%) : silicium, calcium, sodium, magnésium, potassium, fer, aluminium, titane.
- Les métaux rares ou peu abondants, les plus nombreux, sont ceux compris entre 1 et 1000 ppm (plomb, cuivre, zinc, nickel, cobalt, molybdène, tungstène, etc.)
- Les métaux très rares sont ceux dont la teneur est inférieure à 1 ppm et comprennent les métaux précieux (or, argent et les 6 platinoïdes – platine, palladium, rhodium, iridium, ruthénium, osmium) ainsi que l'antimoine, le sélénium et l'indium.

## Les terres rares

**Les terres rares**, à ne pas confondre avec les métaux rares, ne le sont pas tant du fait de leur rareté mais **parce qu'elles sont difficiles à extraire**.  Il s'agit d'un ensemble de 16 ou 17 métaux aux propriétés voisines, chimiquement assez réactifs et disposant de propriétés électromagnétiques les rendant indispensables pour des fabrications de haute technologie.

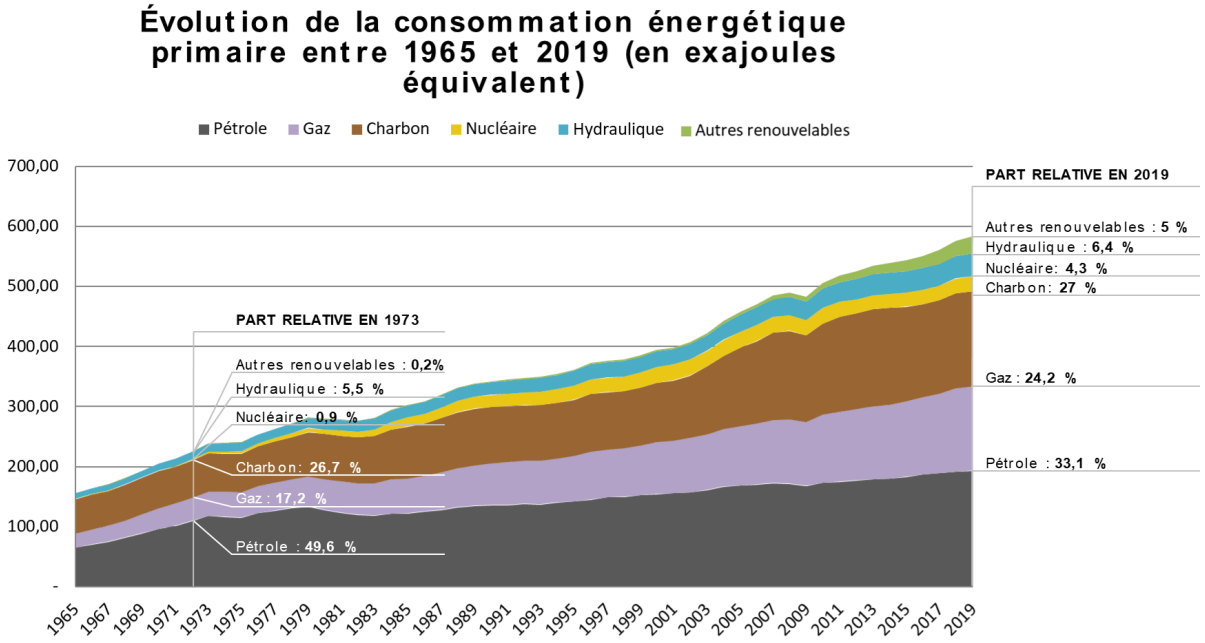
**Epuisement des métaux et minéraux : faut-il s'inquiéter ?, fiche technique de l'ADEME, juin 2017*

---

## LES METAUX ET LES ENERGIES RENOUVELABLES

Une idée répandue voudrait que **l'usage des énergies renouvelables, parce qu'elles n'entrainent aucune concurrence d'usage**, simplifiera la géopolitique énergétique de demain. Les conclusions du projet ANR GENERATE, mené par IFPEN entre 2017 et 2020, laissent entrevoir une réalité plus complexe.

D'abord, la transition énergétique actuelle est très lente à advenir parce qu'elle est **mal définie**. En réalité, la consommation énergétique relève davantage pour le moment **d'un empilement énergétique** constitué d'énergies fossiles et d'énergies renouvelables que d'un basculement.




BP Statistical Review 2020

Si la part relative du pétrole dans le mix énergétique mondial a baissé de **49,6 % à 33,1 %, son volume de consommation absolu a doublé depuis 1973**.

**Les grandes transitions énergétiques de l'histoire**

Quatre transitions énergétiques ont marqué l'histoire des sociétés :
1. **La domestication du feu** il y a 400 000 ans ;
2. 5000 ans avant JC, **l'irrigation et la traction animale** ;
3. A la fin du 18ème siècle, **le charbon** supplante le bois et la force musculaire des hommes et des animaux domestiques ;
4. **Une grappe d'innovations** apparaît durant les deux dernières décennies du XIXe siècle. Elles permettent la domestication de l'électricité et la mise au point du moteur à combustion interne fonctionnant à l'essence ou au diesel.

**Ces transitions énergétiques sont le résultat d'une addition plutôt que d'une succession**, les nouvelles sources primaires d'énergie venant s'ajouter aux sources préexistantes. Cet empilement s'accélère depuis la révolution industrielle.

Par ailleurs, **les ressorts de la transition énergétique sont complexes**. Le progrès technique et l'efficacité énergétique associés aux EnR (Energies renouvelables) induisent un phénomène désigné par le terme « **d'effet rebond** » qui, contrairement à ce que l'on pourrait croire, fait que leur essor ne se traduit pas forcément par une baisse de la consommation en ressources.

**Le saviez-vous ?**

La théorie de **l'effet rebond** ou **paradoxe de l'efficacité énergétique** apparaît sous la plume de l'économiste britannique William Stanley Jevons dans son livre *Sur la question du charbon* (1865). Après avoir observé que les progrès techniques relatifs à la machine à vapeur ne faisaient pas baisser la consommation de charbon, il énonce que **les technologies plus efficaces, alors qu'elles permettent d'opérer des économies d'énergies par unité de production, augmentent paradoxalement la consommation totale d'énergie consommée**. En effet, l'effet d'efficacité énergétique est compensé par la diffusion large de la technologie. L'effet rebond est étudié de manière approfondie dans le secteur de l'automobile et du logement.

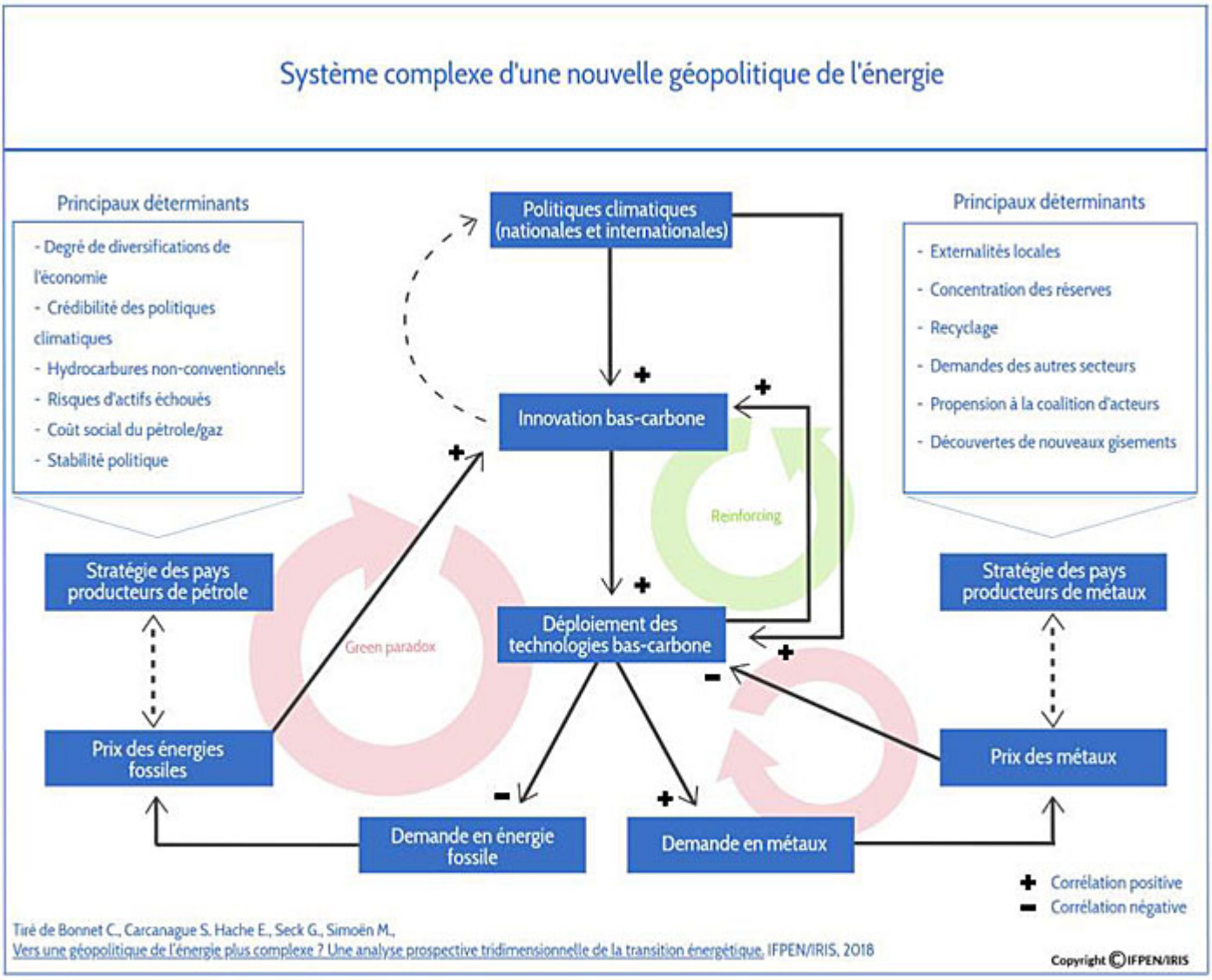
Citons les innovations technologiques qui, développées pour accompagner la transition énergétique, **font appel à ces différents minerais et métaux raffinés** :

- les véhicules électrifiés : cobalt, cuivre, lanthane, lithium ;
- les piles à combustible : platine, palladium, rhodium ;
- les technologies de l'éolien : cuivre, néodyme, dysprosium, terbium ;
- l'aéronautique : titane ;
- les technologies du solaire photovoltaïque : silicium, cuivre, cadmium, indium, gallium ;
- les batteries : lithium, cobalt, nickel.

Les EnR se déploient massivement du fait bien entendu des impératifs du changement climatique, et plus particulièrement des objectifs mondiaux de décarbonation du secteur électrique, des nombreuses innovations technologiques (digitalisation, smart grids), de la volonté des investisseurs de réduire l'empreinte environnementale de leurs entreprises et d'une demande sociale forte en la matière. Le développement des EnR s'accompagne par ailleurs **d'une baisse mécanique de leurs coûts**, en raison notamment de leur large diffusion.

> Selon l'IRENA, **le coût de l'électricité issu des technologies EnR pourrait continuer à diminuer** d'ici 2035 (entre 25 % et 60 % selon les technologies)

La croissance de production des EnR à des coûts de plus en plus avantageux entrainent de fait **de nouvelles dépendances notamment pour ce qui concerne les matériaux dits « critiques »** ou stratégiques.




A ce propos, l'équipe du projet GENERATE s'interroge : finalement, la transition énergétique n'est-elle pas en réalité en train **de remplacer la dépendance aux ressources fossiles par une autre** ?

## QU'EST-CE QU'UN METAL CRITIQUE OU STRATEGIQUE ?

La criticité est une approche **basée sur une évaluation des risques liés à la production, l'utilisation ou la gestion de fin de vie d'une matière première** (Graedel et Nuss, 2014) . Une matière première est critique quand elle est :

- utilisée dans de nombreux secteurs de l'industrie ;
- difficilement substituable à court terme ;
- objet de nombreuses applications industrielles ;

- dotée d’une grande valeur économique.

Enfin, ses réserves et sa production sont concentrées géographiquement.

**La notion de criticité n’est pas universelle**. La criticité d’une matière première peut varier d’un pays à l’autre, car elle se rapporte en réalité à quatre niveaux de risque, autrement dit quatre types de criticité :

- **géologique** : la multitude des usages de matériaux critiques **fait craindre des pénuries** ;
- **économique** : **la cartellisation des marchés** - quand de nombreux marchés dépendent de peu de producteurs - impacte les pays consommateurs ;
- **stratégique** : les réserves de matériaux, quand elles sont concentrées géographiquement, peuvent **entraver les innovations** engagées par certains pays dans des secteurs stratégiques ;
- **environnementale** : quid des émissions polluantes, de **la consommation en énergie et en eau** pour la production de ces matériaux ? Ces questions sont encore peu abordées aujourd’hui alors qu’elles constituent un enjeu majeur pour la transition énergétique.

Or les technologies bas-carbone (stockage, connectivité, efficacité énergétique, catalyse, production et transport d’électricité, nucléaire, etc.) que les politiques énergétiques mondiales substituent aux technologies traditionnelles **ne sont pas moins gourmandes en matériaux**, bien au contraire.

**20 kg** de cuivre sont nécessaires pour fabriquer un véhicule thermique, **40 kg** pour un véhicule hybride et **environ 80 kg** pour un véhicule électrique.

De fait, la transition énergétique promet de continuer à exercer une pression forte sur les ressources. Partant de ce constat, Emmanuel Hache et son équipe ont établi **un modèle permettant d’évaluer la demande en matériaux** à l’horizon 2050.

**Comment ça marche ?**

Le modèle TIAM-IFPEN (TIMES Integrated Assessment Model), un modèle de programmation linéaire de type « bottom-up », a été développé à IFP Energies nouvelles (IFPEN). Il s'agit d'un modèle mondial multirégional qui dispose d´une base technologique riche pour apprécier les dynamiques du système énergétique mondial, de l'extraction des ressources à l'utilisation finale de l'énergie, sur une période à long terme de plus de 100 ans. Il permet d’évaluer les conséquences de différentes orientations énergétiques et environnementales avec une représentation explicite et détaillée des technologies et des types d’énergies. Dans le cadre du projet GENERATE, l’équipe IFPEN a élaboré l’ensemble des chaines de valeur de différents matériaux (cobalt, cuivre, lithium, nickel et terres rares) dans le modèle TIAM-IFPEN pour évaluer, à l’horizon 2050, leurs demandes sous différents scénarios (2°C et 4°C) en incluant des hypothèses sur différents types de mobilité (soutenable et business as usual) et sur le recyclage.

## QUELS SONT LES METAUX LES PLUS MENACES ?

Le modèle apporte **un nouvel éclairage sur les conséquences de la transition énergétique**. Il établit des niveaux de pression différenciés sur les ressources étudiées, et révèle que les métaux communs peuvent aussi être soumis à des risques significatifs.

### Cuivre

Alors que la littérature économique s'était jusqu'ici davantage préoccupée du lithium ou des **terres rares**, le modèle met en évidence que **le cuivre** **pourrait être le métal le plus contraint dans la dynamique de transition énergétique**.

> **Près de 90 % des ressources en cuivre** connues aujourd'hui seraient extraites d'ici 2050 dans un scénario 2°C.

Cette prévision est moins liée à la consommation de cuivre dans le réseau électrique et les transports (moins du tiers de la consommation globale), qu'à celle **dans les secteurs des biens de consommation, de l'industrie et de la construction** qui devraient continuer à croître significativement dans les décennies à venir.

### Cobalt

**Le cobalt présente un niveau de criticité géologique élevé** qui doit être relativisé selon le type de batteries utilisé dans le secteur du transport. **Le risque qui pèse sur ce minerai est de prime abord géopolitique** du fait de ses problématiques d'approvisionnement, la production minière étant concentrée en République démocratique du Congo (RDC), un pays très instable politiquement.

> L'indicateur* sur le cobalt varie dans le scénario 2°C **de 64,7 % à 83,2 %** selon le taux de pénétration des batteries à faible contenu en cobalt.

**Ratio : Consommation cumulée de cobalt/Ressources connues actuellement*

### Lithium

**Le lithium a, pour sa part, une criticité géologique faible** puisque **près de 70 % des ressources** seraient encore disponibles à l'horizon 2050 dans un scénario 2°C.

Pour ce métal, **la criticité économique** interpelle davantage : la concentration des réserves de lithium et des acteurs sur le marché, les stratégies différenciées des producteurs (Argentine, Australie, Bolivie et Chili), la faible profondeur du marché financier ou encore l'absence de transparence des prix pourraient, dans le futur, nuire à la sécurité d'approvisionnement en lithium.

> 5 acteurs contrôlent **90 % du marché** du lithium

### Nickel

Le nickel présente, pour sa part, une criticité géologique moyenne avec environ **41 à 39 % de ressources** encore disponibles à l'horizon 2050 dans un scénario 2°C.

> L'ensemble des matériaux étudiés consomment de l'eau dans une situation de concurrence d'usage. **La criticité environnementale est forte sur cette ressource** pour l'ensemble des métaux étudiés.

## LE RECYCLAGE DES METAUX, ET POURQUOI PAS LA SOBRIETE ENERGETIQUE ?

Dans la dynamique de transition énergétique et au regard des résultats portant sur la criticité, le projet GENERATE montre que les politiques publiques ont une grande importance, notamment celles qui s'orientent **vers la mobilité soutenable ou vers le recyclage**. Elles permettent de réduire les contraintes sur les ressources et nécessitent donc une attention marquée. Ainsi, sur le cuivre, le modèle estime qu'une orientation vers la mobilité soutenable, dans le cadre d'un scénario à 2 °C, permettrait **de réduire d'environ 20 % la consommation de ce métal dans le secteur du transport.**

> Une étude estime à **100 millions** le nombre de téléphones (composés en partie de cobalt, de cuivre et de métaux rares) gardés dans les tiroirs qui pourraient être recyclés en France.

Les résultats montrent également que, tous minerais confondus, de fortes pressions risquent de peser sur les ressources en eau, **ce qui pourrait en retour limiter la transition énergétique internationale**.

Au regard de ces conclusions, le projet GENERATE invite à **repenser la transition énergétique** pour sortir du schéma d'addition énergétique actuel ainsi qu'à se poser la question de la sobriété des systèmes énergétiques et économiques.

En 2018, l'OCDE évaluait la consommation de matériaux à **33 kilogrammes par jour et par personne**. Elle pourrait monter à **45 kilogrammes en 2060** selon cette organisation

Ces enjeux devront intégrer **les réflexions associées aux prochaines négociations climatiques**. La détention d'une ressource minière (cobalt, cuivre, lithium, nickel, etc.) ou de brevets de technologies de décarbonation pourrait constituer des actifs intéressants et des clés de négociations pertinentes dans le cadre d'un accord climat post-COP21.

**A RETENIR**

1. **Les technologies bas-carbone sont plus gourmandes en matériaux** que les technologies traditionnelles et l'efficacité énergétique liée au développement des énergies renouvelables s'accompagne elle aussi d'une augmentation de la consommation de ressources minérales.
2. **La criticité d'un métal n'est pas universelle** et peut varier d'un pays à l'autre, mais également dans le temps avec le progrès technique observé.
3. Selon le modèle, **ce n'est pas le lithium, mais le cuivre qui est le métal le plus contraint géologiquement** par la transition énergétique. Le lithium est davantage contraint économiquement et le cobalt géopolitiquement.
4. Les solutions collectives et individuelles de **recyclage des métaux**, de **mobilité soutenable** et, au-delà, de

**sobriété énergétique**, ont pleinement leur place dans les actions à envisager pour notre avenir énergétique.

D'autres économistes abordent la question de la transition énergétique sous l'angle géopolitique, parmi lesquels **David Criekemans** et **Daniel Scholten** en Europe, ou **Meghan O'Sullivan** aux Etats-Unis.



**IFPEN :**
**Nos expertises > Recyclage des métaux**

## CONTACT



Emmanuel HACHE

Adjoint scientifique de la direction Economie et Veille, Economiste-Prospectiviste

## POUR ALLER PLUS LOIN

10 points sur les métaux stratégiques

Les matériaux de la transition énergétique
Pourquoi parle-t-on de criticité des matériaux ?
Sobriété : à quand un Yuka pour comparer les matériaux dans nos produits ?
Les pressions sur l'eau, face ignorée de la transition énergétique
La sobriété, un impensé de la politique européenne sur les matériaux critiques
Comment rendre les métaux critiques moins critiques ? - Science En Questions



Enjeux et prospective
Actualités
mai 2021

## L'aluminium dans la transition énergétique : quel avenir pour ce métal « roi du monde moderne » ?



Enjeux et prospective
Actualités
mars 2021

## Le nickel dans la transition énergétique : pourquoi parle-t-on de métal du diable ?

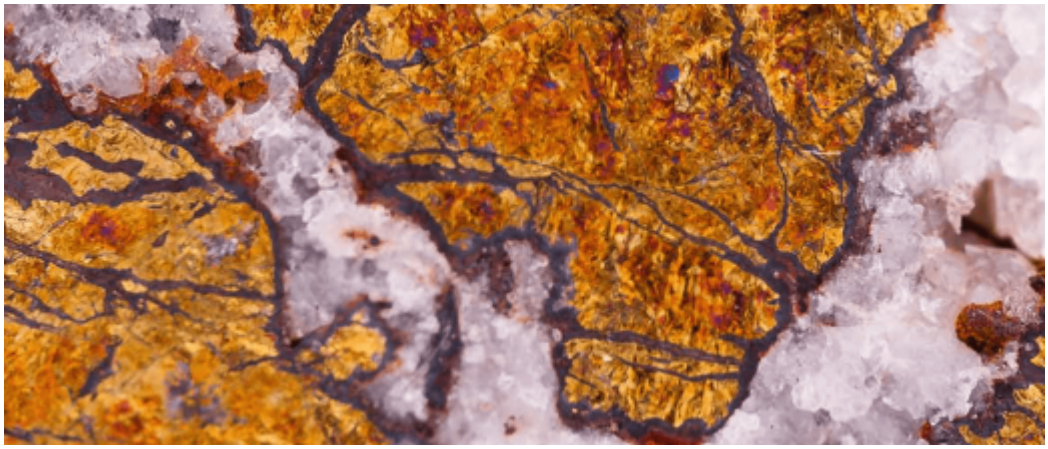
Climat, environnement et économie circulaire
Recyclage des métaux



Enjeux et prospective

Actualités février 2021

## Le lithium dans la transition énergétique : au-delà de la question des ressources ?

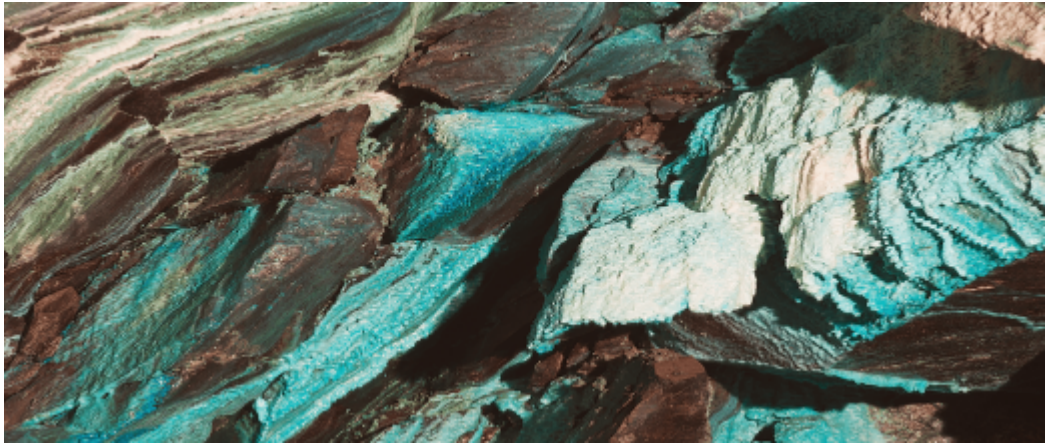


Enjeux et prospective

Actualités janvier 2021

## Les terres rares dans la transition énergétique : quelles menaces sur les « vitamines de l’ère moderne » ?

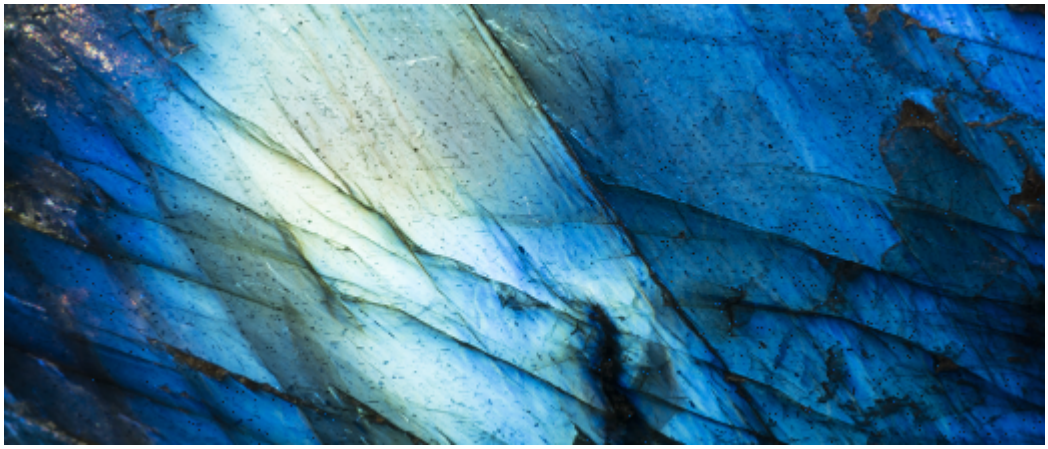
Climat, environnement et économie circulaire | Recyclage des métaux



Enjeux et prospective

Actualités décembre 2020

## Le cuivre dans la transition énergétique : un métal essentiel, structurel et géopolitique !



Enjeux et prospective

Actualités novembre 2020

## Le cobalt dans la transition énergétique : quels risques d’approvisionnements ?

Climat, environnement et économie circulaire

Recyclage des métaux



Enjeux et prospective

Actualités juin 2020

# Transition énergétique bas-carbone : quelles évolutions de la géopolitique de l’énergie ?

## Communiqués de presse

Climat, environnement et économie circulaire | Analyse de cycle de vie (ACV) | Recyclage des métaux

Économie | Prospective et scénarisation

Les métaux dans la transition énergétique

Lien vers la page web :