

# Pourquoi parle-t-on de « criticité » des matériaux ?

[theconversation.com/pourquoi-parle-t-on-de-criticite-des-materiaux-105258](https://theconversation.com/pourquoi-parle-t-on-de-criticite-des-materiaux-105258)

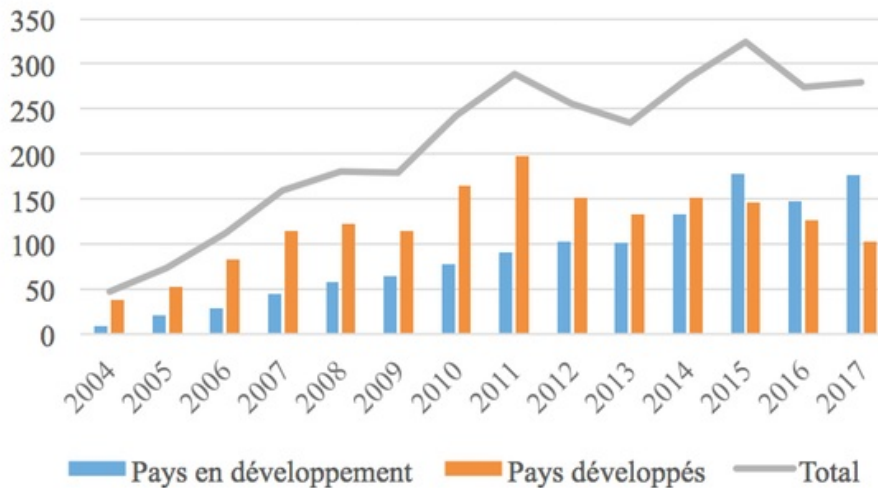


Dans son rapport 2018, le Programme des Nations unies pour l'environnement notait une augmentation de 2 % des investissements dans les énergies renouvelables entre 2016 et 2017. Soit des montants cumulés d'environ 2 200 milliards de dollars depuis 2010.

Près de 157 GW de nouvelles capacités de production électrique renouvelables ont été ajoutés en 2017, ce qui représente près de 70 % des nouvelles capacités de production électriques. Les technologies du solaire, de l'éolien, de la géothermie, de la biomasse, de la valorisation énergétique des déchets, des énergies marines et de l'hydraulique (inférieur à 50 MW) représentent 12,1 % de la génération électrique mondiale, contre 11 % en 2016.

Le secteur du solaire (38 % des nouvelles capacités de production électrique) et la Chine (45 % des investissements dans les renouvelables) figurent au premier rang des bouleversements observés dans le mix électrique mondial.

## • Investissements annuels dans les énergies renouvelables entre 2004 et 2017 (en milliards de dollars)



E. Hache/IPFEN (données UNEP, Bloomberg New Energy Finance), [CC BY-NC-ND](#)

Si les politiques de transition énergétique – dans lesquelles se sont lancés les pays pour faire face au changement climatique – diminuent la dépendance aux énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon), elles ne sont pas exemptes de nouvelles dépendances.

À une dépendance aux ressources fossiles pourrait bien se substituer une dépendance à d'autres ressources, notamment minérales. Cette dernière est communément appelée « criticité ».

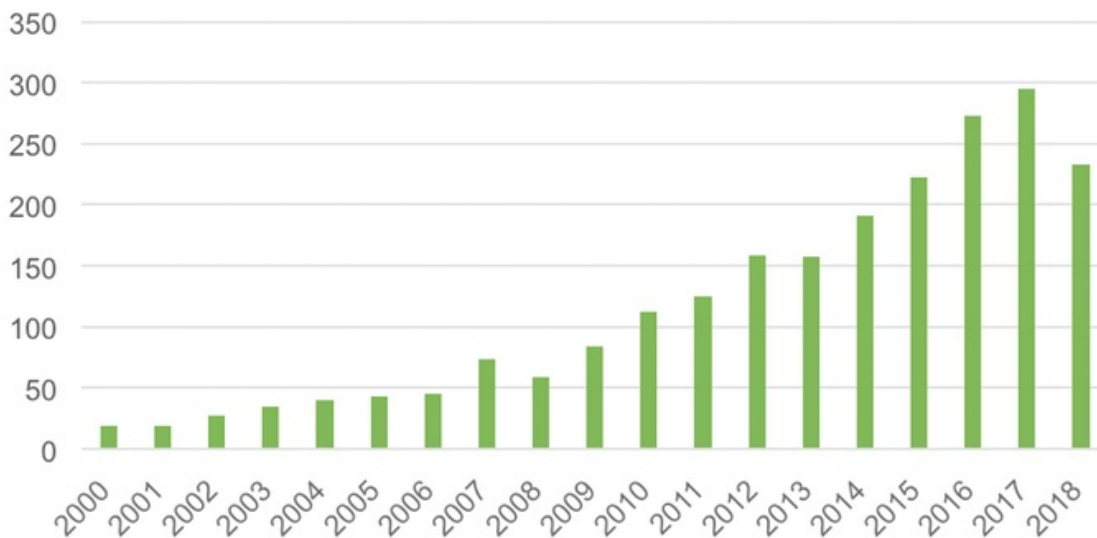
À l'heure actuelle, de nombreuses études (publiées notamment en [2016](#), en [janvier 2018](#) ou en [février 2018](#)) se focalisent sur le lithium, le cobalt ou les terres rares, mais les métaux ou matériaux structurels (aluminium, cuivre, ciment, nickel, etc.) utilisés dans de très nombreux secteurs doivent aussi être étudiés dans le cadre des politiques de transition énergétique.

## Un intérêt grandissant pour cette question

La littérature scientifique au sujet de la « criticité » des matériaux est vaste. Depuis 2000, et selon la base de données Scopus (consultée pour cet article en juin 2018), plus de 2 000 articles, textes de conférences ou autres ressources « [examinées par des pairs](#) » ont été publiés sur la question de la criticité des matériaux, dont près de 80 % depuis 2010.

S'y ajoutent les études globales produites par les organismes gouvernementaux (comme le [Comité pour les métaux stratégiques](#)) et internationaux (comme la [Banque mondiale](#)), qui reflètent l'intérêt et les préoccupations des corps économiques (entreprises, États), politiques, et des sociétés sur ce thème.

## • Croissance des publications mondiales de recherche relatives à la criticité des matériaux



E.Hache/IFPEN (données Intellixir), [CC BY-NC-ND](#)

Dans ces nombreuses études, les matériaux analysés diffèrent selon les espaces, les finalités (études de risques, prospective, etc.) et les temporalités envisagées. La grande complexité du sujet et ses ramifications économiques et géopolitiques rendent souvent difficile une approche globale.

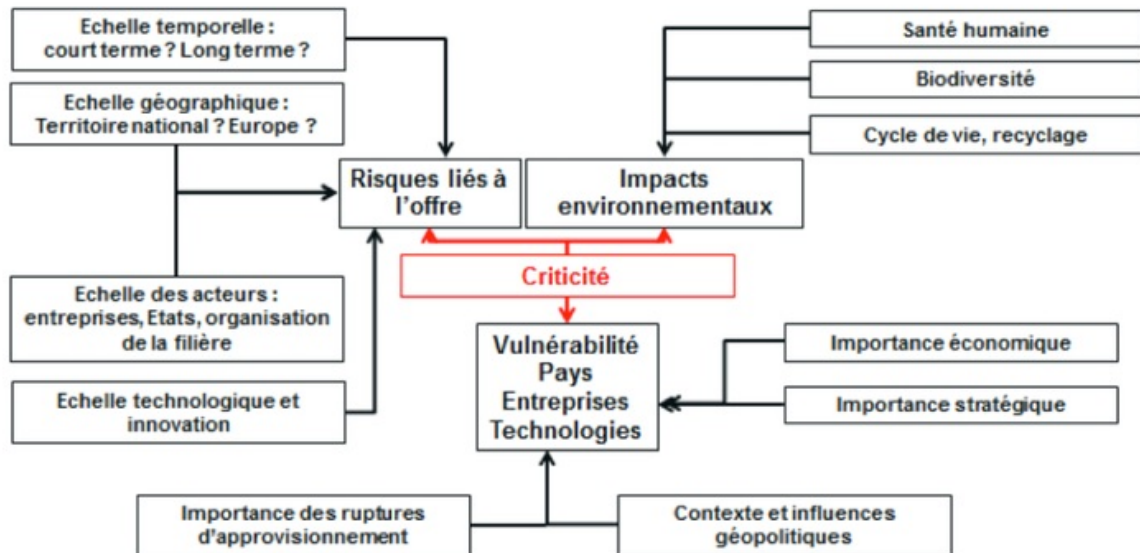
## Une notion à géométrie variable

Derrière le terme de « criticité » se cachent de nombreuses notions, utilisées à plus ou moins bon escient par la littérature scientifique ou grand public.

Dans une [note de l'Ademe](#), le spécialiste Alain Geldron affine cette notion, en distinguant : les métaux « rares » ou peu abondants (leur concentration dans la croûte terrestre est comprise entre 1 et 1 000 ppm, c'est le cas du plomb, du cuivre, du zinc, du nickel et du cobalt) ; les métaux « très rares » (concentration inférieure à 1 ppm, comme les platinoïdes, les métaux précieux, l'antimoine, etc.) ; les métaux « critiques » (relatifs à un épisode d'embargo ou de menaces de la part d'un pays producteur) ; les métaux « stratégiques » (en lien avec la dépendance d'un État, d'un secteur ou d'une entreprise) et enfin les « petits métaux » (qui se rapporte au volume produit et à la taille du marché).

Ces aspects définitionnels mettent en évidence la difficulté d'appréhender globalement l'ensemble des risques relatifs à la question des matières premières dans la transition énergétique : risque géopolitique (c'est cas des [terres rares](#), produites en Chine à 83 %), risque économique (embargo, manipulation de marché, etc.), risque lié à la production (sous-investissement) et risque environnemental ou social (émissions de polluants liés à la production, conséquences sanitaires, destruction de paysage, etc.).

## • Évaluer la criticité des matières premières



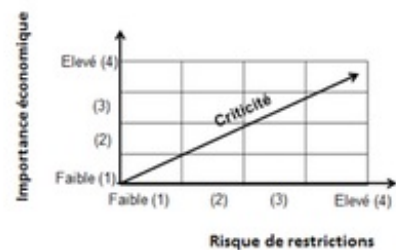
E.Hache/IFPEN (données tirées de Helbig et coll., 2016) , [CC BY-NC-ND](#)

## Le rôle des matrices d'évaluation

Historiquement, les analyses de criticité ont utilisé un outil de gestion – appelé « matrice de criticité » – qui permet de représenter de manière graphique deux dimensions du risque : la probabilité de réalisation du risque et sa sévérité.

Matrice criticité du National Research Council aux États-Unis. E.Hache/IFPEN (données National Research Council, 2008), [CC BY-NC-ND](#)

La première matrice du genre n'a été établie aux États-Unis qu'en 2008 et sur la base d'un double critère : l'importance économique de la ressource et le risque de restrictions d'approvisionnement potentiel. Plus le positionnement d'une matière première se rapproche du coin nord-est de la matrice (voir la figure ci-ci-contre), plus cette dernière sera jugée comme « critique ».



Matériaux critiques selon la classification de la Commission européenne. E. Hache/IFPEN (Commission européenne), [CC BY-NC-ND](#)

Cette approche a été reprise dans les rapports publiés en 2011 et 2014 par la Commission européenne pour évaluer la criticité de certains éléments chimiques. Dans un nouveau rapport, publié en 2017, le nombre d'éléments considérés comme « critiques » s'élève désormais à 27 (voir le tableau ci-contre).

Matériaux	2011	2014	2017
Antimoine	X	X	X
Baryte			X
Béryllium	X	X	X
Bismuth			X
Borate		X	X
Caoutchouc naturel			X
Charbon à coke		X	X
Chrome		X	X
Cobalt	X	X	X
Galium	X	X	X
Germanium	X	X	X
Graphite	X		
Graphite naturel		X	X
Hafnium			X
Hélium			X
Iridium	X	X	X
Magnésite		X	
Magnésium	X	X	X
Niobium	X	X	X
Phosphate naturel			X
Phosphore			X
Platinoides (iridium, platine, rhodium, ruthénium)	X	X	X
Roches phosphatées		X	
Scandium			X
Sélénium métal		X	X
Spath fluor	X	X	X
Tantale	X	X	X
Terres rares	X		
Terres rares légères		X	X
Terres rares lourdes		X	X
Tungstène	X	X	X
Vanadium			X
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>27</b>

## Qu'est-ce qui est pris en compte ?

Le point de départ de toute étude de criticité est de savoir de quel point de vue l'on cherche à se placer pour déterminer si une matière première peut s'avérer ou non critique.

La première considération à prendre en compte est d'ordre géographique (échelle mondiale, régionale ou nationale) – il n'y a pas d'universalité de la criticité. La deuxième considération est celle de la nature de l'entité consommatrice de la matière première (économie nationale, industrie, entreprise ou technologie). La troisième est temporelle car le progrès technique, les processus de production et la mise sur le marché de nouveaux produits engendrent dans le temps des variations de consommation des différents matériaux.

Une fois le cadre défini, les études cherchent à distinguer d'une part les risques sur l'offre de matière première et d'autre part l'importance économique et technique de celle-ci. Une troisième dimension a été ajoutée récemment : les conséquences environnementales liées à la production de la matière première.

Dans ce cadre méthodologique, les enjeux écologiques sont représentés sur un troisième axe qui vient compléter la matrice de criticité. Les conséquences écologiques de la production d'un matériau incluent, sur la base des inventaires d'analyses de cycles de vie, les impacts sur les écosystèmes et sur la santé humaine. Par exemple, les pollutions locales liées à l'extraction des terres rares représentent un coût sanitaire élevé.

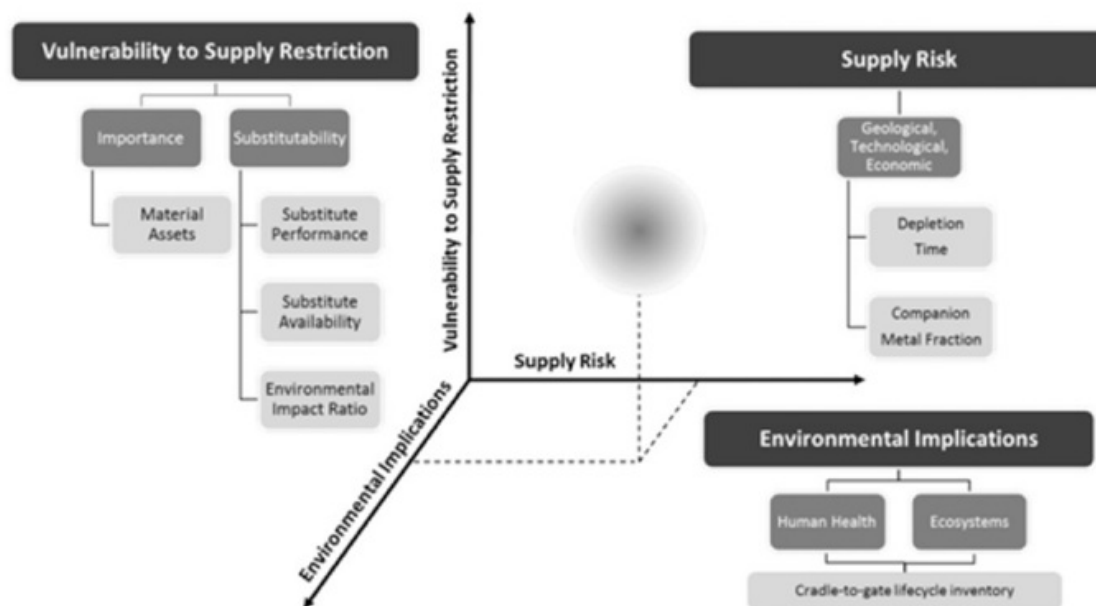
Chacune de ces trois dimensions est quantifiée à l'aide de différents indices qui peuvent être agrégés suivant plusieurs méthodes.

Une limite majeure des analyses de criticité réside dans la pluralité des indices utilisés et leurs modes d'agrégation pour quantifier les concepts de risque d'approvisionnement, d'importance économique et, quand cette dimension est prise en compte, de conséquences



environnementales. Cette hétérogénéité des indicateurs, l'absence de consensus académique sur le sujet et l'utilisation par les chercheurs de méthodologies propres ne permet pas en effet de comparaisons entre les résultats des différentes études.

### • Matrice à 3 dimensions



E.Hache/IFPEN (données issues de Graedel, 2013), [CC BY-NC-ND](#)

## La dimension géopolitique en question

Parmi les indicateurs les plus souvent mobilisés dans la littérature, on trouve le [Herfindahl Hirschman Index](#) (HHI) des firmes productrices et/ou des pays producteurs, le [World Governance Index](#) et le [Global Political Risk Index](#) (mesure du risque-pays), les réserves et ressources encore disponibles (mesure de la raréfaction géologique), la dépendance en tant que coproduit, les projections d'augmentation de la demande, les taux de recyclage de la matière première, le degré de substituabilité par d'autres matériaux (évalué qualitativement) et le prix de la matière première.

Au vu de la sensibilité des résultats aux méthodes et aux données, il est difficile de faire émerger un consensus sur le risque d'approvisionnement lié à une matière première, sauf dans le cas où tous les indicateurs s'accordent pour alerter d'un risque important.

Une dernière lacune méthodologique réside dans l'appréhension de la dimension géopolitique (comprise comme l'étude des rapports de force internationaux). Celle-ci est généralement incluse dans l'évaluation du risque d'approvisionnement à travers divers indicateurs : les deux plus courants sont la concentration de la production et la stabilité politique, évaluée la plupart du temps à l'aide du *World Governance Index*. La concentration de la production s'avère être l'indicateur le plus communément utilisé dans les études de criticité. L'indicateur de stabilité politique est évalué la plupart du temps en fonction du *World Governance Index*.

Outre le fait que le concept de stabilité politique – indicateur constamment mobilisé dans les études de criticité – demeure relativement flou et soumis à toute sorte de biais, que la relation entre bonne gouvernance et stabilité politique n'est pas tout à fait linéaire, la relation causale entre instabilité politique et risques d'approvisionnement mériterait de plus amples recherches empiriques.

La criticité n'est ainsi ni universelle, ni intemporelle, ni binaire. Elle varie en réalité en fonction des intérêts économiques (commerciaux, technologiques, financiers) et politiques (sécurité, défense, politique étrangère) d'un État, dont elle est nécessairement le reflet. La nécessité de prendre en compte la dimension géopolitique et d'en affiner la mesure quantitative et qualitative, dans les études sur la criticité apparaît ainsi comme un défi essentiel, à la fois pour le chercheur et le décideur.

---

*Samuel Carcanague, chercheur à l'IRIS spécialisé sur l'espace post-soviétique et les questions énergétiques, a pris part à la rédaction de cet article.*

# Les matériaux de la transition énergétique : le lithium

[theconversation.com/les-materiaux-de-la-transition-energetique-le-lithium-105429](https://theconversation.com/les-materiaux-de-la-transition-energetique-le-lithium-105429)



Que ce soit pour le secteur des véhicules électrifiés (consommateur de cobalt, lanthane, lithium, etc.), des catalyseurs ou des piles à combustible (consommateur de platine, palladium, rhodium, etc.), dans le secteur éolien (consommateur de néodyme, dysprosium, terbium, etc.), aéronautique civil (consommateur de titane) ou encore le solaire photovoltaïque (consommateur de cadmium, indium, gallium, etc.), l'ensemble des innovations développées pour réaliser la transition énergétique dépend de la disponibilité de certains minerais et de métaux raffinés.

Or la plupart de ces matières premières ont des marchés de petite taille, contrairement à ceux des métaux non ferreux (cuivre, aluminium ou nickel par exemple). Ils affichent en effet des productions en tonnes, centaines de tonnes et, plus rarement, milliers de tonnes. Ils sont d'autre part faiblement organisés, peu transparents, l'essentiel des transactions se réalisant de gré à gré sans bénéficier du support de structures de marchés financiers (comme le *London Metal Exchange*, par exemple).

Dans les années à venir, la diffusion à grande échelle des technologies y faisant appel pourrait créer, voire exacerber, des tensions sur les marchés de ces métaux. Avec une structure industrielle de marché oligopolistique et une concentration des réserves sur un nombre restreint de pays, le lithium offre, dans le contexte d'électrification du parc automobile mondial, un terrain d'étude propice. C'est ce que montre l'analyse que nous avons publiée en 2018 à ce propos, et dont cet article reprend certaines données.

## Panorama du marché du lithium

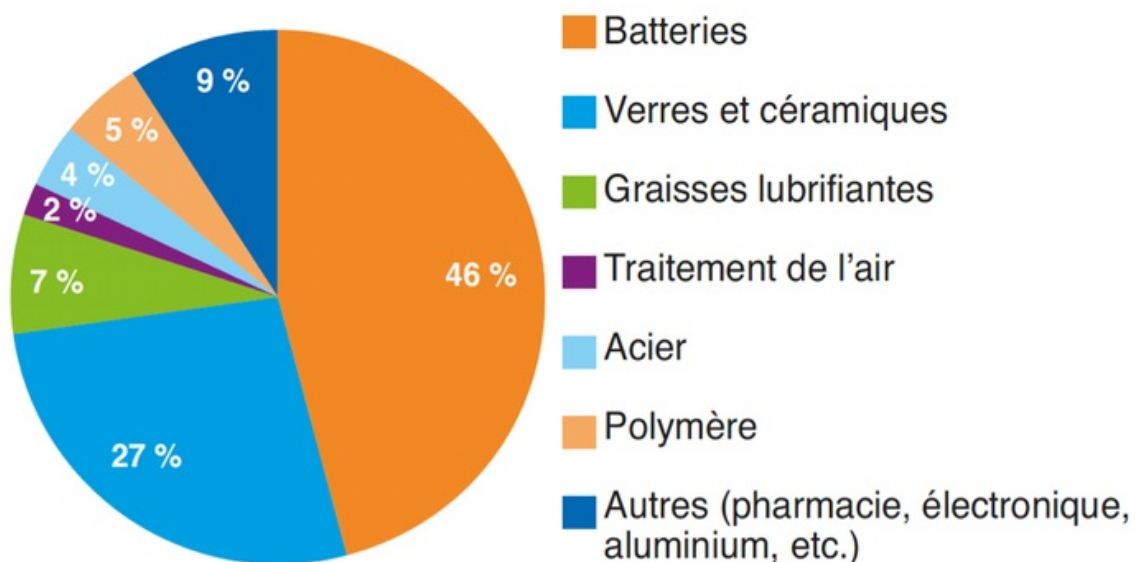


Historiquement, le lithium est utilisé dans les industries du verre et de la céramique, les graisses lubrifiantes ou encore pour la production d'aluminium. Ses propriétés physiques sont recherchées : c'est l'élément solide le plus léger du tableau périodique et il a une bonne tenue à la température.

En plus d'être très léger, le lithium possède une très faible électronégativité, en faisant un matériel de choix pour les batteries qui permettent le stockage réversible d'énergie. Avec le développement des technologies Li-ion, il a ainsi trouvé un fort débouché dans ce secteur, que soit pour l'électronique portatif (téléphones ou ordinateurs portables notamment) ou plus récemment pour le véhicule électrique (VE).

Le secteur des batteries représente aujourd'hui 46 % environ des volumes de lithium consommés, dont un tiers est dédié aux seuls usages liés aux véhicules électriques, selon l'Agence internationale de l'énergie.

### • Part des différents secteurs dans la consommation de lithium en 2017



E. Hache/IFPEN (avec données USGS 2018), CC BY-NC-ND

On observe un taux de croissance positif ces dernières années pour tous les secteurs (exception faite du celui des graisses lubrifiantes). Dans le secteur des batteries, la hausse de la consommation de lithium est la plus forte, avec 20 % par an environ. Les plus grands importateurs et consommateurs de ce métal sont les pays les plus actifs dans le secteur de l'électronique (Chine, Corée du Sud, États-Unis en tête).

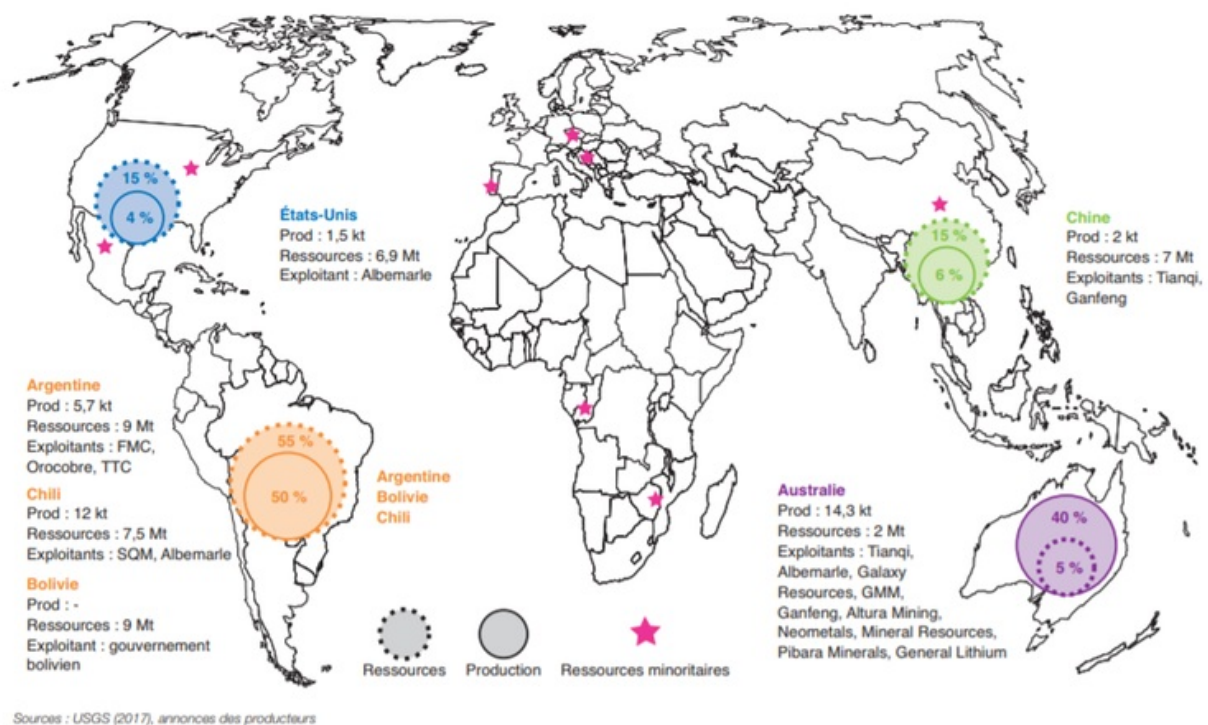
### Le « triangle du lithium »

Si l'utilisation du lithium se concentre en Asie et aux États-Unis, la géographie minière est bien différente. En 2017, la production est estimée à 45 kt d'équivalent lithium (d'après les chiffres fournis par l'USGS et consolidés par les auteurs).

L'essentiel (environ 90 %) de la production de lithium brut provient de deux régions : l'Australie et le triangle du lithium en Amérique du Sud (Argentine, Bolivie, Chili, sachant que la Bolivie en fait partie sans produire de lithium). La région andine détient ainsi plus de 50 % des ressources mondiales estimées à 52,3 Mt (chiffre fourni et consolidé par les auteurs via des données agrégées de l'USGS, le BRGM et des sites de producteurs).

Toutefois, la géographie de la production primaire de lithium (saumure, roches) peut être différente de celle des bases chimiques (LiOH, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, etc.) ou des produits utilisant les dérivés chimiques de ce métal.

Une étude menée en 2017 sur les flux internationaux de lithium illustre cette dynamique pour l'Australie et la Chine. Si le premier est le plus gros fournisseur de lithium primaire (sous forme de spodumène concentré), les procédés de raffinage sont effectués en Chine pour produire les bases chimiques. À l'inverse, le Chili exporte la très grande majorité du lithium produit sur son territoire sous forme transformée de carbonate de lithium.



Répartition des ressources en pointillés et de la production primaire mondiale en trait plein avec les principales entreprises présentes que les sites de production actuels et les projets en cours. IFPEN

## Un marché segmenté

La production de lithium est historiquement contrôlée par un petit nombre d'acteurs américains (Albemarle et FMC) et chilien (SQM). Ces grands industriels sont des groupes du secteur de la chimie, de l'agroalimentaire (avec les engrais azotés), de la pharmacie ou du secteur minier. Pour ces trois acteurs, la part des revenus associés au lithium est en forte progression ces dernières années. En 2017, la part dans leurs chiffres d'affaires atteint 12 % pour FMC, 30 % pour SQM et 43 % pour Albermarle, selon les rapports annuels

de ces entreprises. Plus récemment, deux compagnies chinoises majeures, Tianqi et Ganfeng (historiquement des transformateurs de lithium) ont aussi investi sur l'ensemble de la chaîne de valeur, et notamment dans l'extraction.

Si les trois grands acteurs historiques – FMC, SQM et Albemarle – détiennent encore aujourd'hui un peu plus de 50 % des parts du marché, les entreprises chinoises étaient, en 2016, à l'origine de près de 40 % de l'approvisionnement en lithium, dont une grande partie est consacrée à leur consommation domestique.

À l'échelle internationale, le marché du lithium est encore segmenté géographiquement entre un marché atlantique (Europe et États-Unis se fournissant majoritairement en Amérique du Sud) et un marché asiatique (la Chine ayant une production domestique et se fournissant majoritairement en Australie).

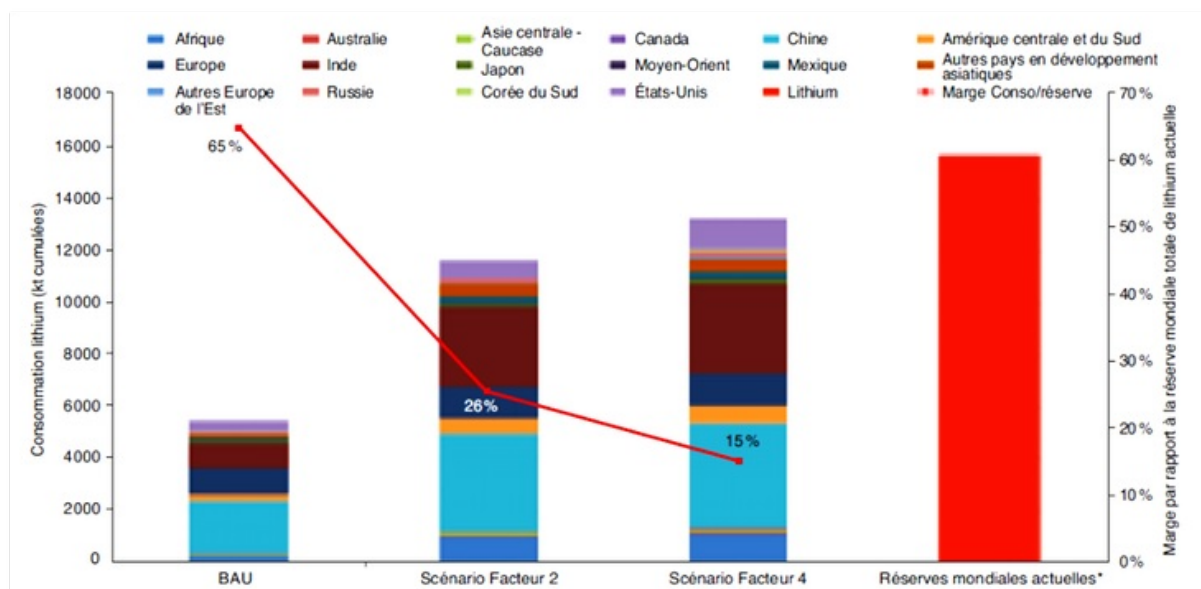
## L'électrification du parc auto mondial

---

Dans le cadre de notre étude, nous avons développé trois scénarios d'électrification du secteur transport à l'échelle mondiale à l'horizon 2050.

Le scénario de référence (appelé « BAU » pour *business as usual*) poursuit la tendance actuelle sans qu'aucune nouvelle mesure ne soit adoptée dans le futur, tandis que les scénarios « Facteur 2 » et « Facteur 4 » enregistrent respectivement une division par deux et par quatre des émissions de CO<sub>2</sub> directes dans le secteur du transport, par rapport au niveau de 2005. La flotte mondiale de VE à batteries (2 et 3-roues non inclus) devrait ainsi représenter entre 200 et 650 millions en 2050. La demande cumulée de lithium est ainsi estimée entre 6 et 13 millions de tonnes, selon le scénario considéré sur la période 2005-2050.

Cette demande est globalement tirée par les régions d'Asie (Chine et Inde) et par l'Europe, avec des parts respectives estimées à environ 30 %, 26 % et 10 % de la consommation totale. Cette forte consommation de la Chine et de l'Inde provient du déploiement des deux et trois roues électriques en plus des véhicules particuliers. Le continent africain n'est pas en reste, avec un poids non négligeable (environ 8 %) dans la consommation mondiale cumulée de lithium du fait du développement de cette filière électrique.



Comparaison de la consommation cumulée de lithium à l'horizon 2050 avec les réserves mondiales actuelles. [IFPEN](#), [CC BY-NC-ND](#)

Ces scénarios tendent à montrer qu'une forte pénétration du véhicule électrique au niveau mondial (jusqu'à 75 % en 2050, tous véhicules confondus) pourrait engendrer une diminution marquée de la marge de sécurité d'approvisionnement en lithium (rapport entre la consommation cumulée de lithium entre 2005 et 2050 et les réserves actuelles évaluées à 16 Mt). La marge de sécurité se situe ainsi à 65 % pour le scénario de référence, et à moins de 15 % pour le scénario le plus contraignant (« Facteur 4 »).

En parallèle, le développement des batteries Li-ion (pour l'électronique portable et pour la première phase de pénétration des VE) entretient une dynamique d'exploration et d'exploitation minière au niveau mondial. Cela a déjà eu pour conséquence une multiplication par 3 des ressources estimées entre 2000 et 2017, et une multiplication par 4 des réserves entre 2000 et 2017.

## De multiples formes de vulnérabilités

Les dynamiques d'équilibre à long terme sur les marchés de matières premières nous apprennent toutefois que l'absence de criticité géologique ne permet pas d'occulter différentes formes de vulnérabilité, qu'elles soient économiques, industrielles, géopolitiques ou environnementales. Parmi elles, la concurrence entre les acteurs apparaît toute relative, malgré l'entrée de nouvelles entreprises sur le marché. Dès lors, la structure industrielle de la filière tend à montrer une criticité économique possible, en raison du faible nombre d'acteurs et de leur positionnement oligopolistique.

En outre, la volatilité des prix pourrait fragiliser les nouveaux entrants sur le marché et conduire à des nouveaux mouvements de consolidations (fusions et acquisitions) entre les acteurs. Toutefois cette volatilité des prix pourrait au final peu impacter l'aval de la filière associée à la production de batteries. En effet, la part du prix du lithium dans le coût global de fabrication d'une batterie automobile reste faible. En 2017, [Bloomberg](#) a ainsi calculé

qu'un triplement du prix du lithium aurait pour conséquence une augmentation de seulement 2 % du prix des batteries, alors que ce chiffre monte à près de 13 % pour le cobalt.

La dynamique des prix observée à partir de 2004 avait suscité de nombreuses interrogations de la part des analystes sur une possible cartellisation du marché du lithium, à savoir la création d'une forme « d'OPEP du lithium »). Si la proximité géographique des acteurs du triangle du lithium est avérée, la proximité stratégique l'est beaucoup moins.

Cependant, les stratégies nationales, dans le triangle du lithium, resteront soumises à de très fortes incertitudes, entre ouverture économique et mise en place de politiques commerciales agressives. Dans les années à venir, il sera nécessaire d'observer les évolutions stratégiques de chacun de ces pays, et plus particulièrement de la Bolivie, étant donné leur part dans les réserves mondiales de lithium et leur capacité à jouer sur l'offre de production.

Enfin, la politique de la Chine et de ses entreprises sur la filière lithium, mais également sur le secteur des batteries, reste un élément clé de compréhension de ce marché dans le futur.