

# Les métaux critiques pour l'économie française

Par Gaétan LEFEBVRE

BRGM, direction des Géorressources

La qualification de critique donnée à un métal découle d'une évaluation, et donc d'un niveau de perception donné. Un métal critique combine de forts risques de déficit en matière d'approvisionnement avec de forts impacts en cas de non disponibilité. Pour les industriels français, les sources de risques sont nombreuses. Ils peuvent provenir de goulots d'étranglement dans la chaîne d'approvisionnement, d'une compétition exacerbée entre secteurs ou encore d'une impossibilité de substitution de la substance en question pour un usage précis, ou d'une indisponibilité géologique ou technique. Les études de criticité, dont celles réalisées par le BRGM, ont pour objectif de fournir une meilleure connaissance de ces risques, permettant d'orienter les acteurs vers des solutions adaptées pour s'en prémunir, par des actions concrètes.

## Criticité des métaux, l'approche française

La notion de métal critique renvoie à quelques définitions, dont les notions peuvent se recouper. Tout d'abord, un métal est dit **rare**, du point de vue géologique, si son abondance moyenne et/ou sa capacité à se concentrer sous la forme de gisements dans la croûte terrestre est faible. Une première nuance est qu'un métal est dit rare du point de vue industriel, s'il est peu employé ou en très faibles quantités dans ses principaux usages. La définition d'un métal dit **stratégique** est plus large, indiquant le caractère indispensable de cette substance à la politique économique d'un État, à sa défense, à sa politique énergétique ou à celle d'une industrie spécifique. Enfin, un métal **critique** combine de forts risques de déficit en matière d'approvisionnement avec de forts impacts en cas de non disponibilité. Cette qualification découle d'une évaluation, et donc d'un niveau de perception donné. C'est à partir de 2007 que plusieurs méthodologies ont été développées par divers acteurs afin de mesurer les impacts économiques en cas de rupture d'approvisionnement en certaines substances minérales et de les classer par « degré de criticité »<sup>(1)</sup>.

La plupart des méthodologies s'accordent ainsi sur deux axes qui découlent de la perception mathématique d'un risque :

- le premier axe pour évaluer le risque d'une rupture d'approvisionnement, renvoie à la probabilité d'occurrence d'un événement perturbateur dans la chaîne d'approvisionnement ;

- le second porte sur l'importance économique, c'est-à-dire l'ampleur des conséquences en cas d'occurrence de la perturbation.

Ces évaluations sont restituées sous forme de nuages de points qui évoluent bien évidemment avec le temps en fonction d'un grand nombre de paramètres. Les principaux paramètres jouant sur la vulnérabilité d'approvisionnement d'une substance sont les suivants (la Figure 1 de la page suivante en donne une représentation schématique) :

- la disponibilité géologique, traduite par la connaissance/découverte de réserves économiquement exploitables pour une durée donnée à une date donnée ;
- l'exposition politique des principaux pays producteurs et leur potentielle influence sur l'offre disponible (restrictions au libre commerce) ;
- l'existence de maillons sensibles dans la chaîne d'approvisionnement entraînant des incertitudes sur l'offre mondiale ;
- l'incertitude de la demande, laquelle est gouvernée par la croissance de nouvelles technologies et les bouleversements industriels correspondants ;
- la vulnérabilité liée à l'impossibilité de la substitution d'une substance dans un circuit de production donné ;
- les difficultés potentielles de recyclage.

À l'échelle de la France, dans le cadre des travaux menés pour le Comité aux métaux stratégiques (COMES) et de l'exercice de ses missions de service public, le BRGM a été chargé, dès 2010, de réaliser des études sur la criticité d'un certain nombre de substances afin de fournir des éléments pour déterminer l'exposition de la France aux risques pesant sur les approvisionnements en chacune de ces substances et leur importance pour l'économie française.

(1) Pour plus d'informations sur les différentes méthodologies, consulter la page : [www.mineralinfo.fr/page/matieres-premieres-critiques](http://www.mineralinfo.fr/page/matieres-premieres-critiques)

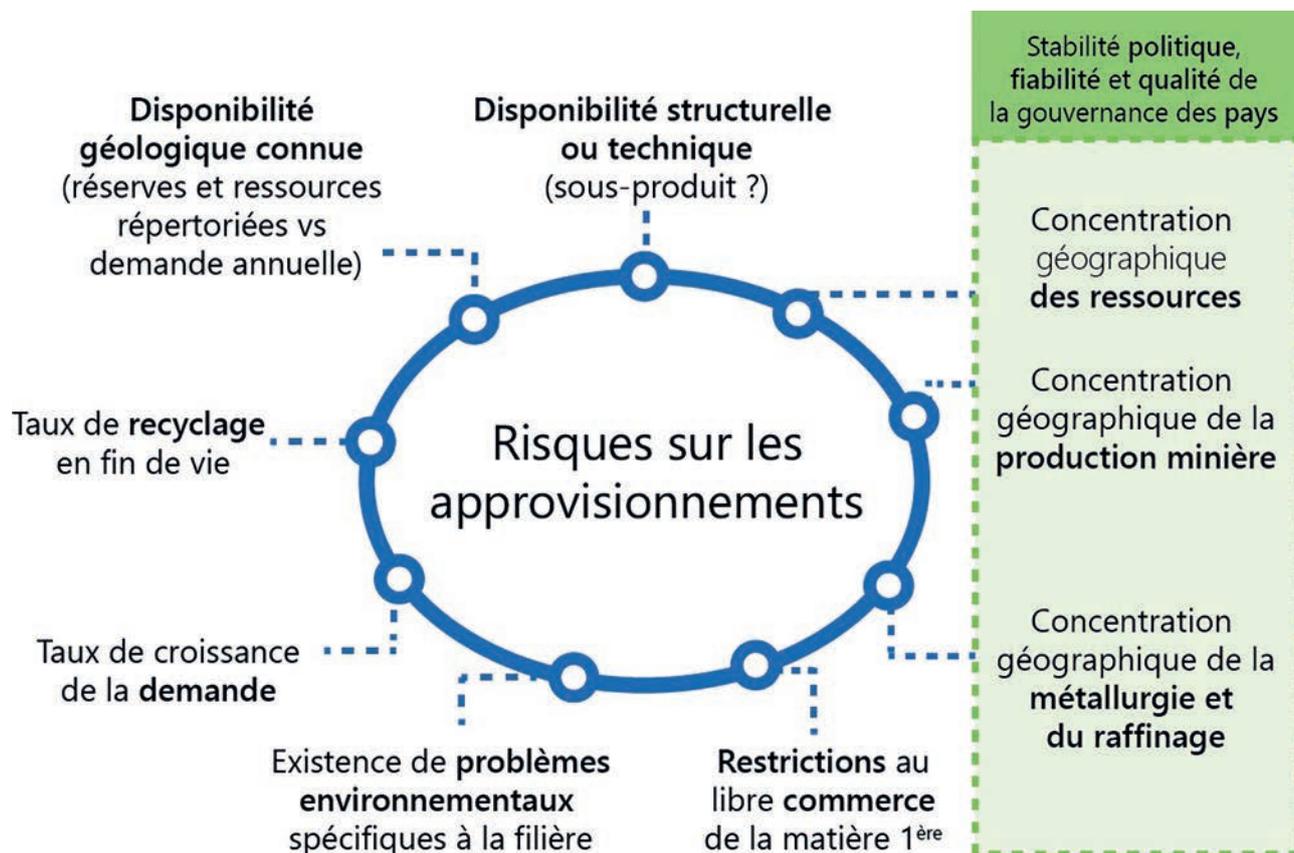


Figure 1 : Principaux facteurs jouant sur la vulnérabilité aux risques d'approvisionnement d'une substance minérale.

Le résultat de ces travaux se présente sous deux formats. Le premier est appelé « Monographie ou panorama de marché » : il consiste en une analyse détaillée de toute la chaîne de valeur. Le second, plus récent, est appelé « Fiche de criticité ». D'abord imaginé comme une retranscription synthétique du premier, mise à jour dans le temps, ce format s'est élargi pour couvrir un nombre plus large de substances. De 2015 à début 2020, 31 fiches de criticité ont été réalisées par l'équipe d'Intelligence minérale du BRGM, venant compléter et actualiser les 16 monographies écrites entre 2010 et 2015. Ces travaux ont été effectués dans le cadre d'une convention conclue avec le bureau des Ressources minérales, chargé d'animer la politique française des matières premières au sein du ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). Les résultats de ces travaux sont mis en ligne régulièrement sur le site Mineralinfo<sup>(2)</sup>. Pour toutes les substances couvertes, une analyse de la criticité est fournie.

La synthèse de celle-ci est représentée par le positionnement de la substance sur un diagramme selon les deux dimensions citées précédemment :

- **les risques pesant sur les approvisionnements** : estimation de ces risques sur une échelle allant de 1 (très faible) à 5 (très forte), en prenant en compte la pérennité et la suffisance des approvisionnements, sachant que la France dépend, aujourd'hui, très majoritairement des im-

portations pour satisfaire sa consommation de métaux ; la production minière issue du territoire national étant très minoritaire et concentrée en Nouvelle-Calédonie et en Guyane ; de même que la part de métaux résultant du recyclage ;

- **l'importance économique** : évaluation là encore sur une échelle de 1 à 5 de l'impact qu'aurait une pénurie d'approvisionnement pour l'économie française (rupture d'approvisionnement, ou une augmentation significative des prix due à une insuffisance de l'offre), en termes de capacité à produire des biens matériels.

L'ensemble de ces analyses sont compilées dans une matrice qui traduit la sensibilité du tissu industriel français aux métaux critiques analysés (voir la Figure 2 de la page suivante). Dans cette approche, les scores traduits sur une échelle de 1 à 5 sont des estimations. Elles résultent d'enquêtes réalisées auprès des entreprises majeures concernées par cette problématique, ainsi qu'auprès, autant que faire se peut, des nombreuses PME potentiellement affectées en raison de l'utilisation de la substance considérée dans leur chaîne de production. Rappelons ici que l'importance stratégique de chacune des substances peut être perçue différemment par telle ou telle entreprise ou industrie selon sa spécialisation. Les positionnements sur cette échelle sont donc des résultats de moyennes et de compromis ; ils ne doivent donc pas être interprétés comme des positionnements absolus. Ils sont aussi fortement susceptibles d'évoluer dans le temps (répartition mondiale de la production minière, apparition de nouveaux usages, produits substituables, crises en tout genre, etc.).

(2) [www.mineralinfo.fr/page/monographie](http://www.mineralinfo.fr/page/monographie)

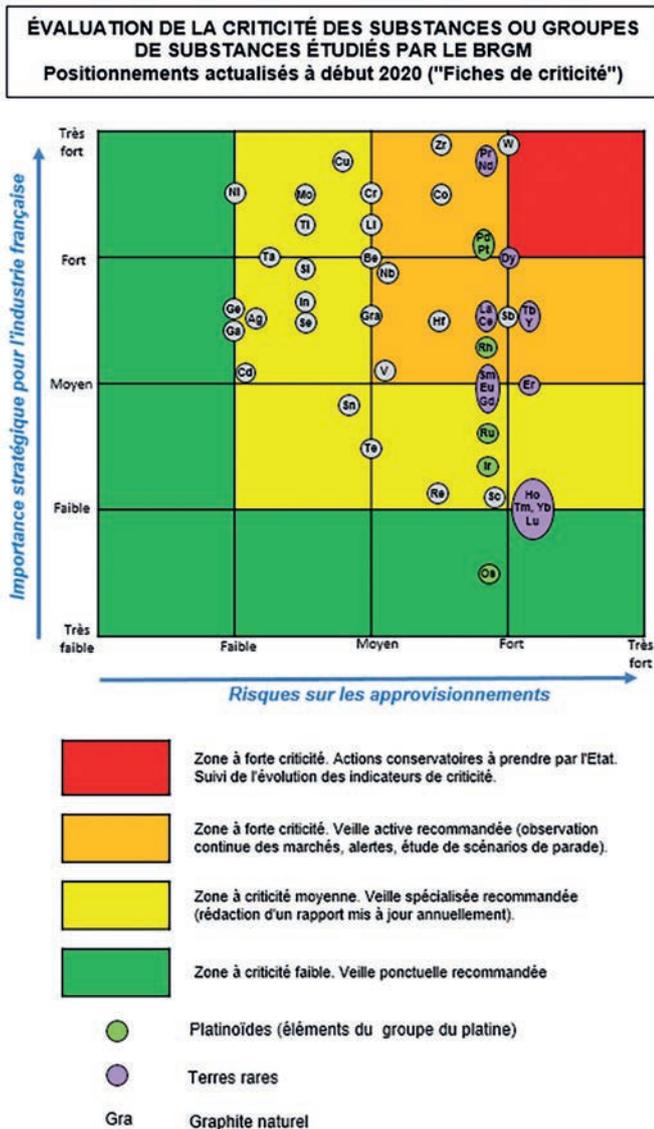


Figure 2 : Matrice de criticité BRGM (mise à jour : début 2020).

## La France face aux risques d'approvisionnement

Le premier constat fait de la situation française sur l'ensemble des métaux concernés est celui de sa forte dépendance aux importations. Sur la base de l'analyse du commerce extérieur français, les fiches de criticité illustrent un déficit commercial sur la quasi-totalité des métaux étudiés pour la catégorie « métaux bruts ». Ce déficit est compris entre 1,5 M€ pour le germanium (en 2014) et 1 067 M€ pour le cuivre (en 2016). Si cette situation est peu différente à l'échelle européenne, puisque 14 des 27 matériaux identifiés dans la liste des matières premières critiques pour l'UE en 2017 (Commission européenne, 2017) affichaient un taux de dépendance aux importations supérieurs à 95 %, elle n'est qu'un reflet des difficultés éprouvées à l'échelle des acteurs industriels.

En effet, l'analyse des risques par filière ou par acteur est plus complexe. Ces derniers sont souvent situés en aval d'une chaîne qui commence avec la découverte géologique d'une ressource exploitable, puis se poursuit avec

sa mise en exploitation pour aboutir, *via* des produits intermédiaires aux degrés de pureté et de transformation variables, à la production et à la commercialisation d'un produit final. Ainsi, du point de vue des industriels, la logique dominante de flux tendus (« zéro stock ») ainsi que la complexité des chaînes de valeur mondiales entraînent souvent une connaissance, voire une visibilité limitées des modes de production des matières premières minérales entrant dans la composition de leurs produits.

Cependant, ces dernières années, une tendance inverse s'observe. Un nombre croissant d'entreprises françaises accentuent en effet leurs efforts pour remonter les chaînes de valeur, identifier leurs propres « risques matières » et réaliser des études de criticité adaptées à leur position sur le marché. Cette tendance touche tous les secteurs, depuis les technologies de l'information et de la communication jusqu'aux industries de Défense, en passant par les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique. Elle s'illustre notamment lors de certains événements tels que le World Materials Forum, qui se tient désormais chaque année à Nancy<sup>(3)</sup>. Néanmoins, un certain nombre de risques continuent de peser sur les filières industrielles françaises. Ces risques relèvent de deux grandes typologies que mettent en exergue les exemples suivants.

### Risques associés à l'existence de goulets d'étranglement dans les chaînes d'approvisionnement

L'exemple choisi ici est celui ayant touché le marché de l'alumine en 2018, dont l'analyse complète a été réalisée par Maïté Le Gleuher (2019). L'alumine ( $Al_2O_3$ ), qui est une substance intermédiaire produite à partir de la bauxite et utilisée pour fabriquer l'aluminium métal, est pourtant loin d'être considérée traditionnellement comme un « métal critique ».

Tout commence le 6 avril 2018, lorsque les États-Unis menacent d'imposer des sanctions commerciales contre Rusal, le leader mondial de l'aluminium alors contrôlé par l'homme d'affaires russe, Oleg Deripaska. La date de mise en place de ces sanctions, repoussée à plusieurs reprises, plonge une multitude d'entreprises de la filière Aluminium européenne et française dans un climat de forte incertitude. L'une des principales raisons de cette panique est l'identification d'un manque de diversification à une étape clé dans la chaîne d'approvisionnement. En effet, l'approvisionnement d'alumine de la quasi-totalité de ces entreprises dépend alors d'une unique raffinerie, celle d'Aughinish en Irlande, laquelle appartient à Rusal. Comme l'illustre le cas français (voir la Figure 3 de la page suivante), cette raffinerie est devenue en dix ans un maillon essentiel de la chaîne française de production de l'aluminium : en 2017, 85 % des importations françaises d'alumine provenaient de cette raffinerie, contre 22 % en 2008.

Cette raffinerie se retrouve directement exposée aux menaces de sanctions (qui visent à empêcher tout commerce entre les filiales de Rusal et les États-Unis), dont la concrétisation risque alors de pénaliser toutes les filières

(3) Pour plus d'informations, consulter le site : <https://worldmaterialsforum.com/home.html>

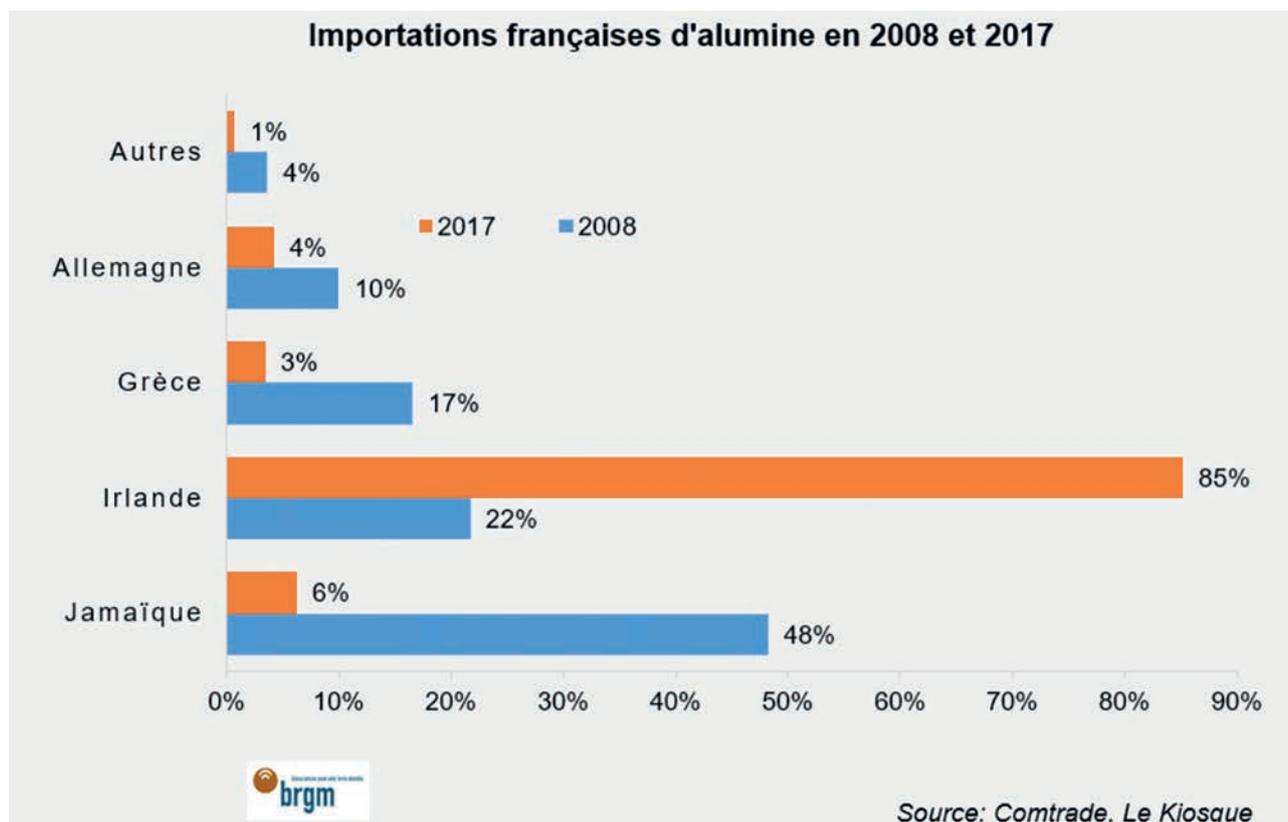


Figure 3 : Dépendance des importations françaises d'alumine par rapport à la raffinerie d'Aughinish (en Irlande) en 2017.

se situant en aval. En outre, les alternatives en matière d'approvisionnement sont alors peu nombreuses du fait d'un marché de l'alumine déjà déficitaire, en dehors des sources chinoises.

Si les menaces de sanctions ont finalement définitivement été levées le 27 janvier 2019 – celles-ci n'ayant de fait pas été mises en application –, cet épisode a mis en évidence la vulnérabilité de la chaîne d'approvisionnement des secteurs européen et français, notamment ceux de l'automobile et de l'aéronautique, au regard de la production d'aluminium. Or, une telle situation n'est pas un cas isolé, et ne s'applique pas qu'aux métaux « critiques ». Si le fait de privilégier des sources d'approvisionnement européennes n'a pas été remis en cause dans le cas considéré, cet exemple soulève avec force la question de la diversification pour l'Europe de ces sources d'approvisionnement, qui demeure un enjeu majeur pour les États et les industriels.

À cet égard, l'industrie de la Défense, qui est particulièrement sensible à cette problématique, s'organise progressivement. La plupart des systèmes de défense intègre des produits finis ou semi-finis fabriqués essentiellement aux États-Unis, au Japon ou en Europe. L'un des objectifs de ce secteur serait de réussir à développer des chaînes de valeur « 100 % made in Europe » pour ces produits. Des exemples de réussite sont observés, notamment en France, à travers l'entreprise EXXELIA, qui, située à Saint-Nazaire, est le premier fabricant européen de condensateurs au tantale destinés à certains domaines stratégiques, en particulier à des applications en matière de Défense, d'aérospatiale et d'aéronautique ; une

entreprise dont la stratégie repose sur une diversification de ses sources d'approvisionnement et le pari de leur localisation en Europe prioritairement.

### Risques associés à la concurrence entre des filières utilisatrices de métaux critiques

On l'a vu, la criticité consiste à mettre en regard de potentielles vulnérabilités d'approvisionnement concernant un métal avec l'intensité d'utilisation de ce dernier dans un domaine à forte valeur économique ou stratégique. Ces problématiques sont d'autant plus exacerbées lorsqu'elles s'inscrivent dans le cadre du développement de nouvelles filières d'usage. En effet, plus la consommation d'un métal ou d'une substance minérale va croître, et plus les risques déjà préexistants dans les circuits d'approvisionnement mondiaux peuvent s'accroître, rendant ainsi le métal ou la substance considérés encore plus critiques pour certains acteurs.

Fin 2018, une étude réalisée par l'équipe d'Intelligence minérale du BRGM, pour le compte du MTES, conjointement avec P. Christmann, s'intitulait « Compétition interfilière »<sup>(4)</sup>. L'objectif de cette étude était de caractériser les risques liés à l'apparition potentielle d'une compétition dans l'accès aux matières premières entre secteurs industriels. Les résultats sont présentés dans les Figures 4 de la page suivante et 5 de la page 51. Sur les 14 substances étudiées, c'est pour le cobalt et le lithium que les risques sont apparus les plus forts.

(4) L'étude complète est disponible sous le lien suivant : [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/1\\_presentation\\_competition\\_interfiliere\\_v12\\_finale\\_0.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/1_presentation_competition_interfiliere_v12_finale_0.pdf)

ELEMENT	PRINCIPAUX SECTEURS IMPACTES				COMPETITION INTERFILIERE	ALEAS	TCAM 2018-2025
<b>Antimoine</b>	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Industrie des équipements électriques, électroniques, et de communication	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie de la plasturgie et des composites	<b>Faible</b>	- Baisse des réserves mais baisse de la demande pour les batteries au plomb - REACH (retardateurs du feu)	0,6%
<b>Cobalt</b>	 Industrie des équipements électriques, électroniques, et de communication	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Industries mécaniques	<b>Fort</b>	- Aléa géopolitique : RDC et Chine - Tension sur les approvisionnements	8,8%
<b>Chrome</b>	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Industrie du bâtiment, travaux publics	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie de la chimie	<b>Faible</b>	- Risque de dumping FeCr chinois - Aléa géopolitique : situation politique et énergétique en Afrique du Sud	4%
<b>Cuivre</b>	Très nombreux usages				<b>Faible à Moyen</b>	- Demande > offre ces prochaines années - Exploration insuffisante et stagnation de la production du Chili	2,5%
<b>Indium</b>	 Industrie des équipements électriques, électroniques, et de communication	 Industrie de la production et transport d'énergie			<b>Faible</b>	- Surcapacités liées au stock de la bourse chinoise faillie de Fanya	5%
<b>Lithium</b>	 Industrie des équipements électriques, électroniques, et de communication	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Verre, céramiques, vitrocéramiques	<b>Fort</b>	- Très forte croissance de la demande - Réserves très abondantes, mais risques de tensions en cas de retards dans les nouvelles productions - Aléa géopolitique : contrôle chinois croissant	18%
<b>Niobium</b>	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie du bâtiment, travaux publics	 Industrie de la production et transport d'énergie		<b>Faible</b>	- Forte croissance liée au rattrapage de l'économie chinoise - Ressources abondantes	7%

ELEMENT	PRINCIPAUX SECTEURS IMPACTES				COMPETITION INTERFILIERE	ALEAS	TCAM 2018-2025
<b>Palladium</b>	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie des équipements électriques, électroniques, et de communication	 Industrie de la chimie		<b>Moyen</b>	- Aléa géopolitique : production concentrée en Russie et Afrique du Sud - Augmentation de la demande liée à la catalyse "essence"	3%
<b>Platine</b>	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie du luxe	 Industrie de la chimie	 Verre, céramiques, vitrocéramiques	<b>Faible</b>	- Aléa géopolitique : production concentrée en Afrique du Sud - Demande en baisse pour la catalyse des motorisations "diesel"	1%
<b>Tantale</b>	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Industrie de la production et transport d'énergie	 Industrie des équipements électriques, électroniques, et de communication		<b>Faible</b>	- Croissance de la production (Australie et Canada) à partir de 2022 - Contrôle chinois de la métallurgie	3,4%
<b>Terres rares (Dy, Nd, Pr)</b>	 Industrie des équipements électriques, électroniques, et de communication	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie de la production et transport d'énergie		<b>Moyen</b>	- Contrôle chinois de l'amont minier et métallurgique - Applications stratégiques (automobile, énergie, défense) - Faiblesse de l'industrie européenne	8%
<b>Titane</b>	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Industrie de la production et transport d'énergie	 Industrie des peintures, encres, colorants, adhésifs, et préservation du bois		<b>Faible</b>	- Aléas limités au titane "aéronautique" - Aléa géopolitique : forte dépendance aéronautique européenne par rapport à un producteur russe	2%
<b>Tungstène</b>	 Industries mécaniques	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	 Industrie de la production et transport d'énergie	<b>Faible</b>	- Aléa géopolitique : forte dépendance vis-à-vis de la Chine. - Applications stratégiques (nombreux secteurs industriels, défense)	3,5%
<b>Vanadium</b>	 Industrie du bâtiment, travaux publics	 Industries mécaniques	 Industrie de l'aéronautique et spatiale	 Industrie de l'automobile (constructeurs)	<b>Faible</b>	- Aléa géopolitique : 90% de la production vient de l'ensemble Chine (dominante), Afrique du Sud et Russie	3%

Figures 4 a et b : Synthèse des principaux résultats de l'étude « Compétition interfilière », 2018.

Le stockage d'énergie est devenu en une dizaine d'années le principal secteur utilisateur des marchés du lithium et du cobalt du fait du développement rapide des technologies de batteries Lithium-ion. Cette évolution a radicalement transformé les chaînes de production traditionnelles, ainsi que les modèles d'exploitation, d'échange et de cotation utilisés auparavant pour ces métaux. En conséquence, ce secteur a accaparé l'essentiel des flux financiers et physiques, non sans impacts importants sur les prix, sur les chaînes d'approvisionnement concentrées en quelques points du globe, ainsi que sur les autres secteurs utilisateurs, en particulier l'aéronautique dans le cas du cobalt.

On constate ainsi que l'émergence de nouveaux marchés est propre à faire surgir des tensions sur une ressource donnée, et ce quelle qu'elle soit. Dans le cadre du développement des énergies renouvelables (EnR), les mêmes questions se posent ainsi pour des métaux usuels, comme le cuivre et l'aluminium qui ont de fortes chances de connaître une demande accrue dans le secteur de la distribution d'électricité, car, à grande échelle, ce sont les substances conductrices présentant à ce jour les meilleures performances. Pour le cuivre, c'est environ 5 Mt/an qui devront être ajoutées à la production mondiale actuelle, ce qui équivaut à la production annuelle du Chili.

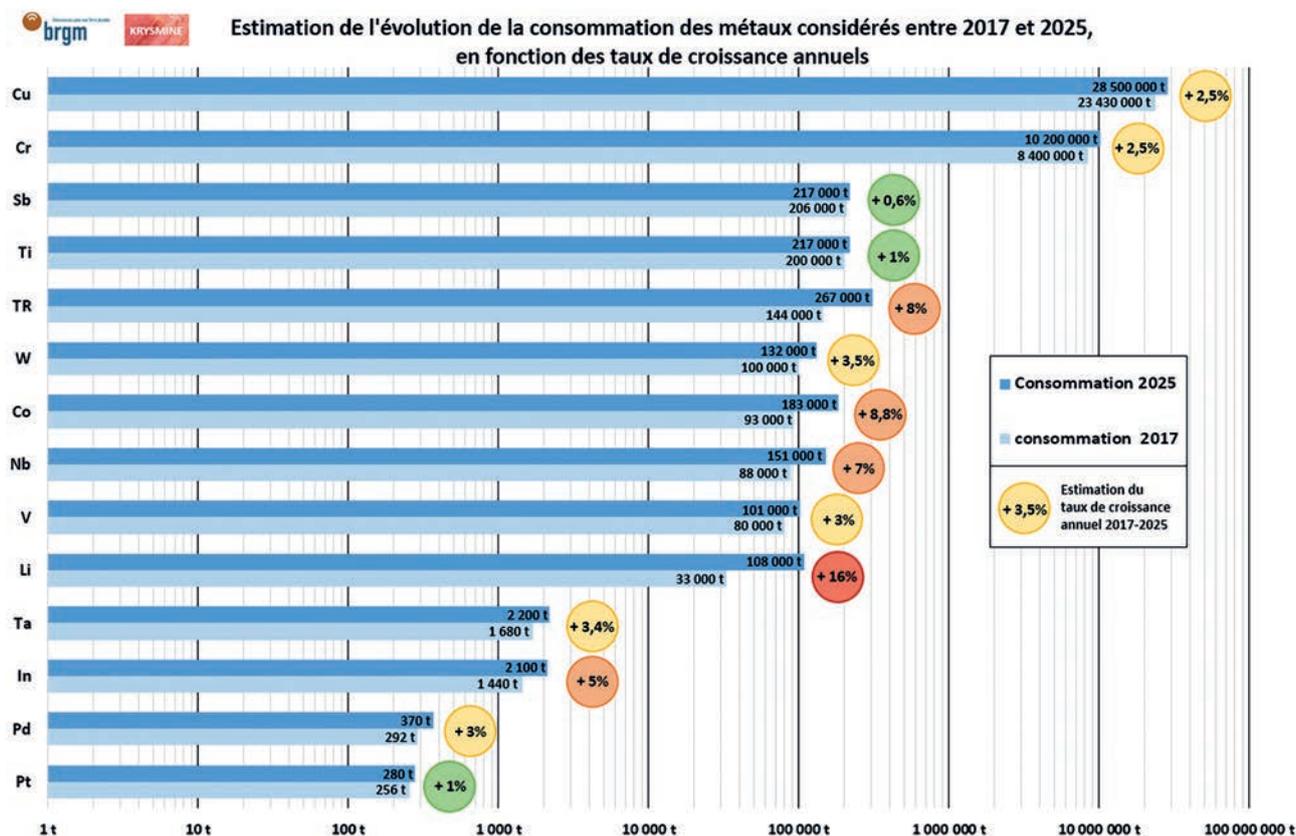


Figure 5 : Synthèse des principaux résultats de l'étude « Compétition interfilrière », 2018.

## Enjeux et perspectives

À l'échelle mondiale, un métal jugé critique entraîne de nombreuses réactions économiques et politiques. De manière générale, plus un métal est jugé critique, et plus il concentre d'investissements soit sur la découverte de nouveaux gisements, soit sur la recherche à des fins de substitution, soit enfin sur les procédés de recyclage. Si le propre des métaux dit critiques est également de provoquer des tensions sur les marchés, ces dernières ne se matérialisent que rarement en des crises étendues et durables. L'une des principales leçons à tirer des crises passées est que chaque marché, à l'instar de celui de l'alumine ou des terres rares, possède sa propre dynamique, avec des acteurs et un contexte géopolitique qui lui sont également propres. Des points faibles peuvent émerger au niveau d'un maillon important, compromettant ainsi l'aval de la filière. Chaque situation est particulière et nécessite une évaluation précise de la vulnérabilité au regard des évolutions de chacun des facteurs : état de la demande (usages, consommation mondiale), état de l'offre (inventaire des ressources connues, des productions, des sources d'approvisionnement primaires et secondaires), identification des utilisateurs et de leurs besoins...

La situation provoquée par la propagation de l'épidémie du Covid-19 à l'échelle mondiale est d'ores et déjà bien différente, en ce sens que son premier impact a été d'affecter de manière généralisée et durable les chaînes logistiques mondiales. Les conséquences en termes d'accès ou de tensions sur les ressources minérales critiques

ont été variables. Toutefois, l'un des principaux constats faits est celui des effets « dominos » observables dans de nombreux secteurs industriels. Ce constat pousse à repenser les chaînes de production, ainsi que la localisation de leurs impacts. Certains analystes évoquent déjà la probabilité d'une transformation après cette crise des dynamiques actuellement en place, des dynamiques qui voyaient, « depuis 20 ans, toute chaîne de valeur se construire autour d'un seul dénominateur commun, celui du plus bas coût de production »<sup>(5)</sup>.

À l'échelle française, si les effets précis de cette crise épidémique restent à évaluer, une nouvelle approche des chaînes industrielles de métaux stratégiques pourrait également être envisagée en sortie de crise. L'une d'elles pourrait reposer sur une approche novatrice de la constitution des stocks stratégiques. Les principaux enjeux d'une telle démarche seraient d'éviter les risques observés traditionnellement (immobilisation dangereuse de capitaux, dilution au sein d'un fonds d'investissement, etc.), tout en parvenant à concilier les intérêts souvent distincts de différents secteurs industriels. Une forme hybride reste ainsi à trouver, combinant une exposition physique, sans le risque de stockage, avec une gestion active, au plus près des attentes des marchés mondiaux.

(5) Citation empruntée à R. Stall, chef du service Mines et métaux chez Ernst&Young (États-Unis), lors d'un entretien accordé, le 2 avril 2020, au service S&P Global Market Intelligence (accès soumis à abonnement payant).

## Références bibliographiques

MINERALINFO (2020), page « Matière premières critiques », consultable sous le lien suivant : [www.mineralinfo.fr/page/matieres-premier-critiques](http://www.mineralinfo.fr/page/matieres-premier-critiques)

COMMISSION EUROPÉENNE (2017), "Study on the review of the list of critical raw materials", consultable sous le lien suivant : [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en)

LE GLEUHER M. (2019), « Retour à la normale du marché de l'alumine, après une année 2018 turbulente », *Bull. Ecomine*, consultable sous le lien suivant : [www.mineralinfo.fr/ecomine/retour-normale-marche-lalumine-apres-annee-2018-turbulente](http://www.mineralinfo.fr/ecomine/retour-normale-marche-lalumine-apres-annee-2018-turbulente)

LEGUÉRINEL M., LEFEBVRE G. & CHRISTMANN P. (2018), *Compétitions entre secteurs industriels pour l'accès aux matières premières*, consultable sous le lien suivant : [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/1\\_presentation\\_competition\\_interfilie\\_v12\\_finale\\_0.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/1_presentation_competition_interfilie_v12_finale_0.pdf)