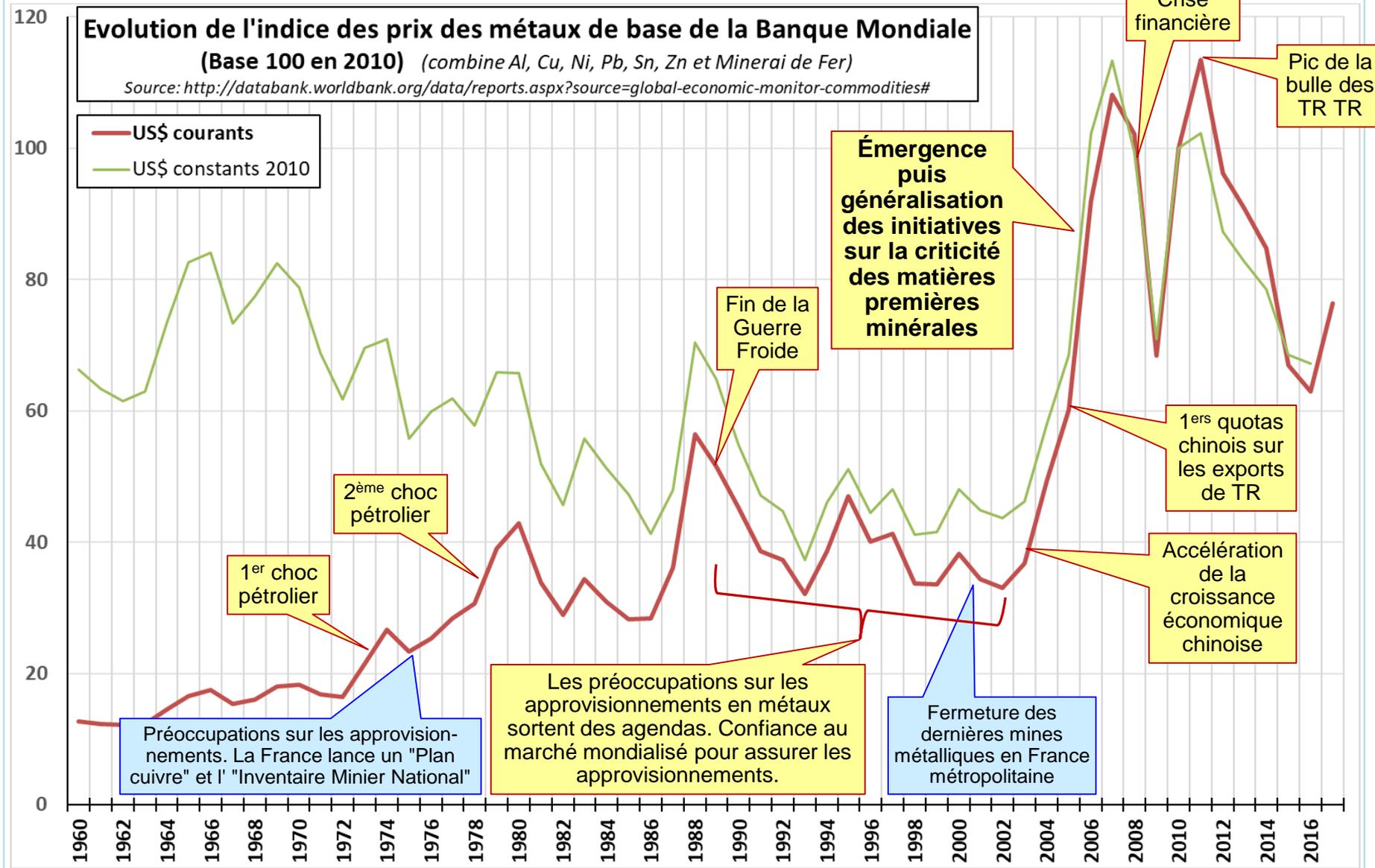


# Point de vue sur la criticité des matières premières minérales non-énergétiques, et en particulier des métaux

Jean-François Labbé  
BRGM/DGR

6 décembre 2017

# La (re-)prise de conscience de la criticité des métaux



# Les initiatives sur la criticité des matières premières à partir de 2007

(non exhaustif)

- > **2007** : Études sur matières premières minérales critiques pour l'économie des USA (NRC/USGS, publiée en 2008 ; DOE)
- > **2007** : création de l'**International Resource Panel** par le **PNUE** (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), qui a publié depuis 2009 une succession de rapports sur la criticité des métaux, leur recyclage, leur potentiel de substitution, etc.
- > **2008** : adoption par la **Commission Européenne** de la "**Raw Material Initiative**" pour définir une stratégie sur la problématique de l'accès de l'UE aux matières premières. Publication de "**Listes de Matières Premières Critiques**". Une première version, élaborée en 2009-2010, a été publiée en **juillet 2010**. Elle a été suivie de 2 mises à jour, l'une publiée en **mai 2014** et l'autre en **septembre 2017** (document daté de juin 2017).
- > En **France**,
  - Janvier **2010** : Lancement d'un "**Plan d'Action pour les métaux stratégiques**", décliné entre autres par une lettre de JF Carencu, Directeur du Cabinet du MEEDDM, au Président du BRGM, lui demandant des **panoramas sur les marchés des métaux** mineurs, à commencer par Ga, Ge, Nb, TR, avec une **évaluation de leur criticité** ;
  - 24 janvier **2011**, création formelle du **COMES** (Comité pour les Métaux Stratégiques), chargé "d'assister le ministre chargé des mines dans l'élaboration et la mise en œuvre de la politique de gestion des métaux stratégiques, en vue de renforcer la sécurité d'approvisionnement nécessaire à la compétitivité durable de l'économie."
- > Autres études et revues de criticité des matières premières minérales au **Royaume-Uni** (BGS), en **Allemagne** (BGR, Fraunhofer Inst.), au **Japon**, etc.
- > Depuis **2010**, ces travaux s'intéressent de + en + aux nouvelles demandes en MPM induites par la **transition énergétique**.

# Les notions de criticité

# Métaux rares ? Métaux stratégiques ? Métaux critiques ?

- > **Métal rare** : plusieurs points de vue :
  - **Géologique / géochimique** : dont l'abondance moyenne et/ou la disponibilité (capacité à se concentrer en gisements) est faible dans la croûte terrestre (*exemple : Sc est plus abondant en moyenne que Pb, mais il ne se concentre pas en gisements et est donc considéré comme plus rare que Pb*). Pas de consensus sur un seuil (*exemple : Ce, la plus abondante des Terres Rares, constitue 0,006 % de la croûte terrestre : rare ou pas rare ?*).
  - **Industriel** : métal peu usité, en particulier peu usité ou peu connu dans des applications grand public (*exemple, le Rb est plus abondant que Cu, Zn ou Ni, mais il sera plus facilement classé comme métal rare que ces 3 derniers*).
- > **Métal stratégique** : indispensable à la politique économique d'un État, à sa défense (*exemple : U en France*), à sa politique énergétique (*exemple : métaux pour la transition énergétique*).
- > **Métal critique** : pouvant entraîner des impacts industriels ou économiques négatifs importants liés à un approvisionnement difficile, sujet à des aléas.

# La criticité des matières premières minérales ?

- > Pour un acteur économique ou une économie, **la criticité** d'une substance minérale **s'apprécie** classiquement **selon deux axes** :
  - Les **risques** pesant **sur les approvisionnements** ("Supply Risk", SR) : quels sont les risques pesant sur la pérennité et la suffisance des approvisionnements ?
  - L'**importance économique** ("Economic Importance", EI), reflétant la vulnérabilité de l'économie à une éventuelle pénurie d'approvisionnement – qui se traduirait par une envolée des prix –, voire à une rupture d'approvisionnement.
- > Pour l'US National Research Council (2007) ou la Commission Européenne (2010),

**Un métal ou un minéral est "critique" s'il est à la fois essentiel dans son usage et sujet à d'éventuelles restrictions d'approvisionnement.**

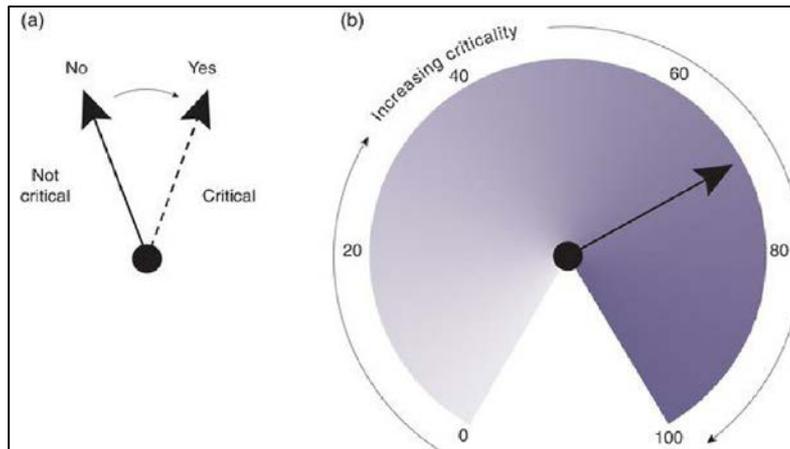
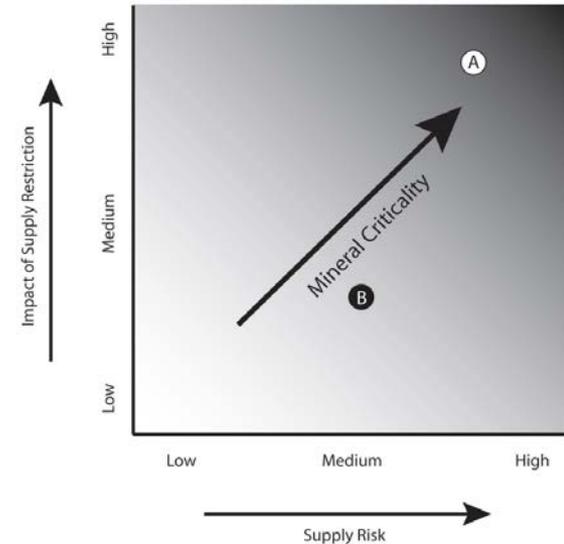
- > De très nombreuses études ont été menées ces toutes dernières années sur cette criticité, et continuent à être publiées, aussi bien de la part des institutions que de la part de certaines entreprises.
- > Il existe **diverses variantes d'évaluation** de la criticité des matières premières minérales (MPM), mais toutes en général convergent sur l'analyse de ces 2 paramètres.

# La criticité des matières premières minérales ?

> Vision dichotomique de la Commission Européenne : une MPM est "critique ou "non critique", avec effet de seuil.

> Vision US : une MPM est +/- critique. Ci-dessous, la MPM (A) est plus critiques que la MPM (B).

Risques sur les approvisionnements ↑	<b>Matière première non-critique</b> (haut risque sur les approvisionnement & faible vulnérabilité)	<b>Matière première critique</b> (haut risque sur les approvisionnement & forte vulnérabilité)
	<b>Matière première non-critique</b> (faible risque sur les approvisionnement & faible vulnérabilité)	<b>Matière première non-critique</b> (faible risque sur les approvisionnement & forte vulnérabilité)
	Importance économique / vulnérabilité →	



Pour T.E.Graedel, G.Gunn et L. Tercero-Espinoza, "La criticité n'est pas une simple notion binaire "critique" / "non-critique" comme en (a), plutôt une question de degré, comme en (b).

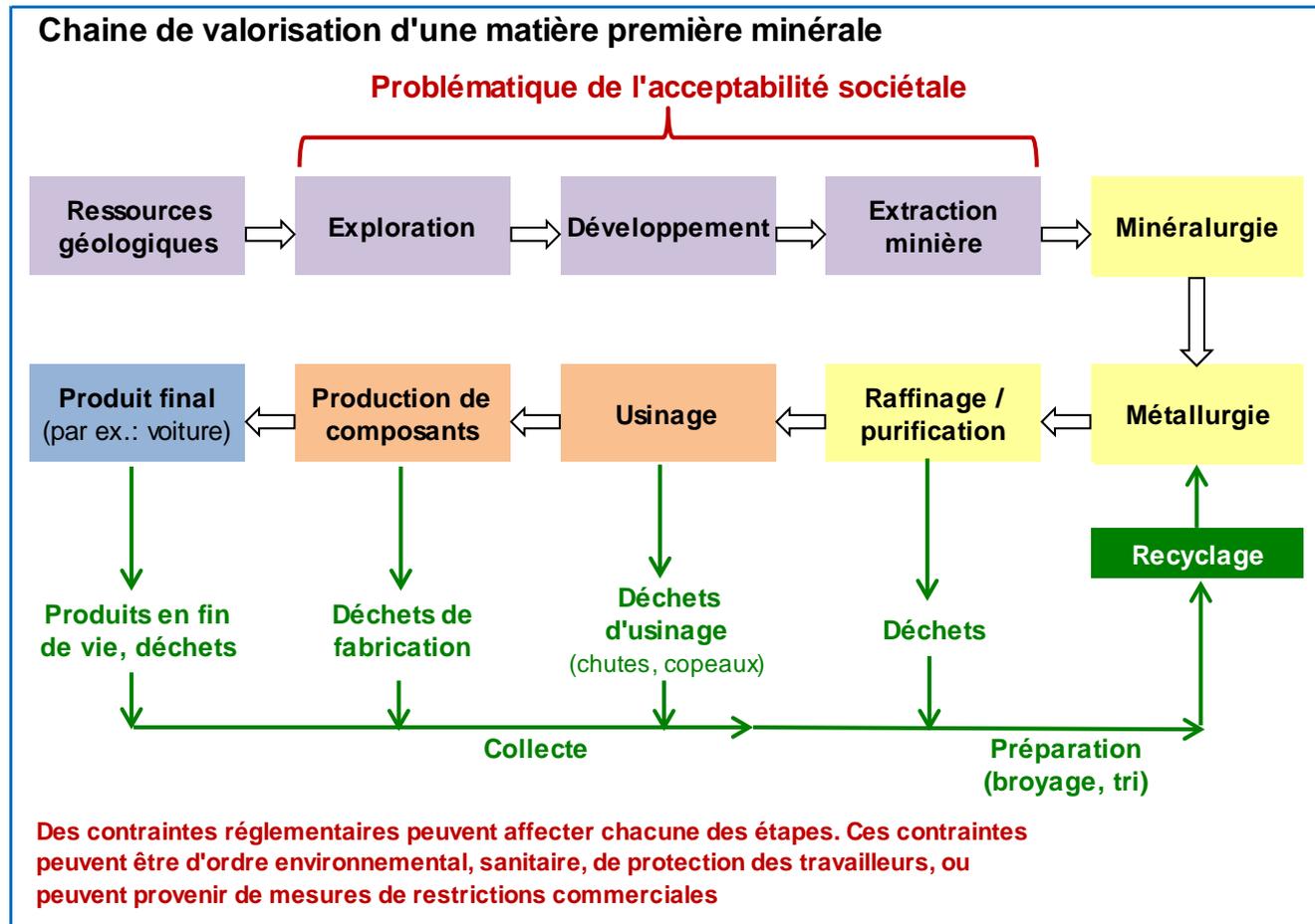
(Critical Metals Handbook, 2014)

# **Revue de divers éléments contribuant à la criticité des matières premières minérales**

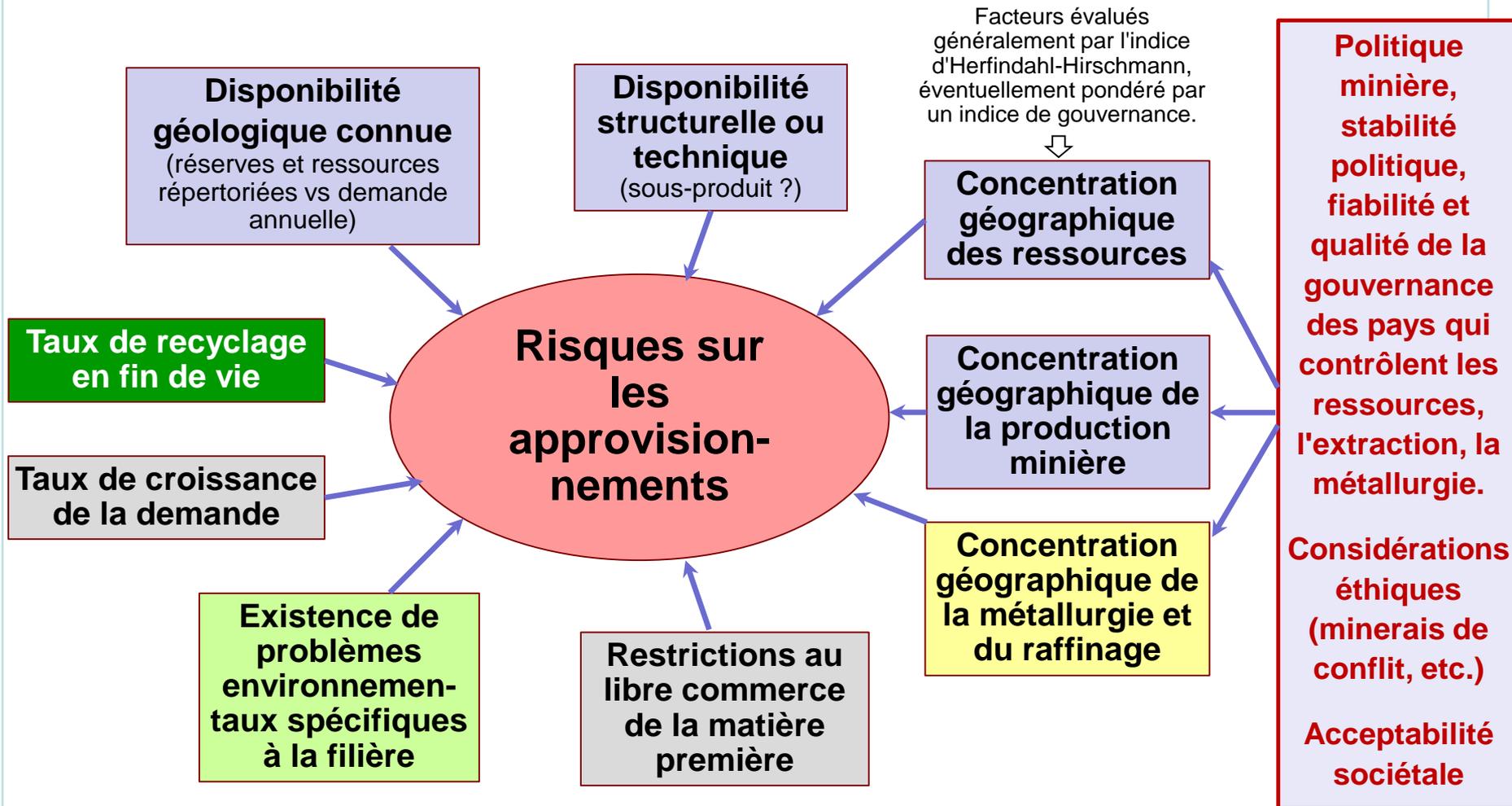
**tels que reflétés par certains indicateurs  
retenus dans les fiches de criticité**

# La chaîne de valeur d'une MPM

- > Les risques d'approvisionnement se distribuent sur toute la chaîne de valeur.
- > Celle-ci commence avec la découverte géologique d'une ressource exploitable, puis sa mise en exploitation pour aboutir, via des produits intermédiaires, à la production et la commercialisation d'un produit final qui peut être très complexe, tel qu'un avion ou une voiture.



# Les facteurs de risques sur les approvisionnements



- > Au-delà de ces facteurs, la flexibilité de l'offre minière pour répondre à une éventuelle forte hausse de la demande (en cas d'évolutions technologiques par exemple) est limitée par les délais nécessaires pour mettre en œuvre de nouveaux projets miniers, qui est en moyenne de 10 à 15 ans. Ces décalages inévitables contribuent à la volatilité et à une certaine cyclicité des prix, lesquelles sont par ailleurs amplifiées par la spéculation.

## Enjeux spécifiques des sous-produits miniers

- > Beaucoup de métaux rares, aux rôles souvent majeurs dans les industries de haute technologie, n'existent qu'à de très faibles teneurs et ne sont exploités que comme sous-produits d'éléments porteurs, ce qui a des conséquences importantes sur la flexibilité de leur offre.
- > Ils ne forment pas de gisements, leur valorisation ne dépend généralement pas des exploitants miniers ;
- > Leurs teneurs dans le minerai tout-venant varie généralement de quelques grammes par tonne à quelques pour mille (de 0,0001 % à 0,1%)
- > Ils sont généralement extraits (ou pas !) pendant le traitement métallurgique du minerai (chimie séparative, traitement des fumées, des boues de cellules électrolytiques...). Leur production est largement contrôlée par des entreprises métallurgiques, dont la localisation et la nationalité peut être très différente de celles des mines.

# Métaux produits miniers principaux et sous-produits

Relations entre les métaux principaux exploités en mines (ligne du haut, carrés pleins) et leurs co-produits ou sous-produits (carrés creux en colonne sous la substance principale considérée)

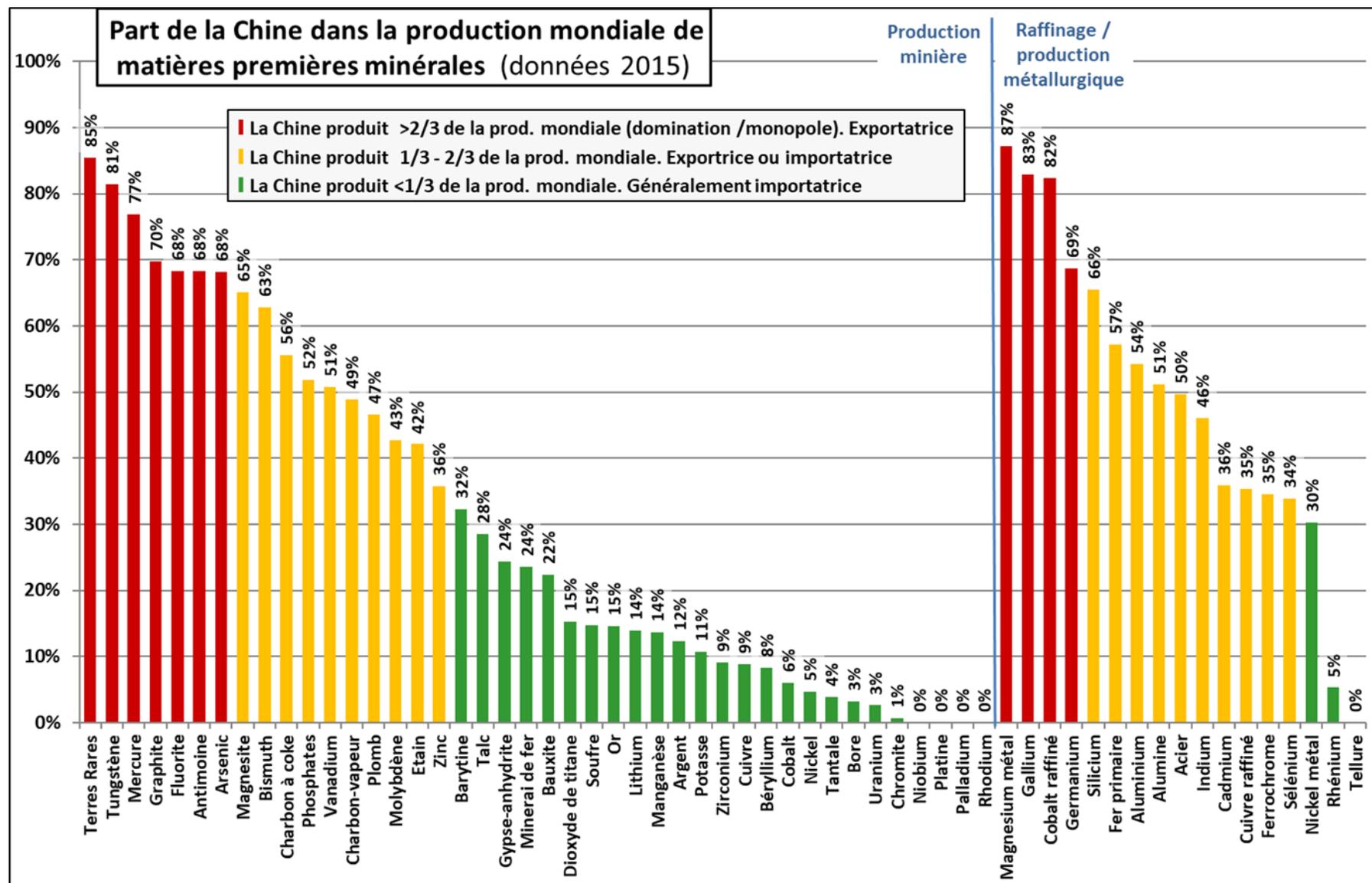
Substance principale	Al	Au	Be	C	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Nb	Ni	P	Pb	Pt	Sb	Sn	Ti	TR	U	W	Zn
Co-produits partiels		Cu			Fe	Au Ni Zn U Sn		K Mg B	Fe		Cu Fe		Zn	Pd	Au	W		Nb Ti	Cu	Sn	Pb Cu
Sous-produits aussi exploités ailleurs en substance principale		Sb			Pt Pd Rh	Pt Pd Rh	TR	Be		TR	Pt Pd	U TR Nb	Sb	Ni Cr		Nb TR Li	Sn TR	P			Be Ta
Sous-produits exploités principalement en sous-produits		Ag				Co Ag		Ta I		Ta	Co		Ag					Ta			
Sous-produits exploités uniquement en sous-produits	Ga Sc	As Te		Ga Ge Se V		Mo Re Se Te					Rh Ru Ir Os Sc		Bi Tl	Rh Ru Ir Os	As		Zr Hf V	Th	V	As	In Ge Cd Tl

NB1 : Les associations ci-dessus sont les associations les plus communes, mais chaque gisement est particulier et ce tableau ne peut pas être exhaustif.

NB2 : Les différents co- ou sous-produits d'une substance principale donnée peuvent ne pas être associés entre eux, car ils correspondent à des types de gisements différents. Ainsi par exemple pour le cuivre, les gisements de type porphyry peuvent fournir Au, Mo, Re en sous-produits, les gisements de type sediment-hosted Co (Copperbelt) ou Ag (Pologne) ; les gisements de type Ni-Cu sulfuré Ni, Co, Pt, Pd, Rh ; les gisements de type VMS Zn, Sn ; les gisements IOCG U ; Pour le lithium, les gisements de type salar peuvent fournir K, Mg, B, I ; et les gisements de type minéraux Ta, Be etc.

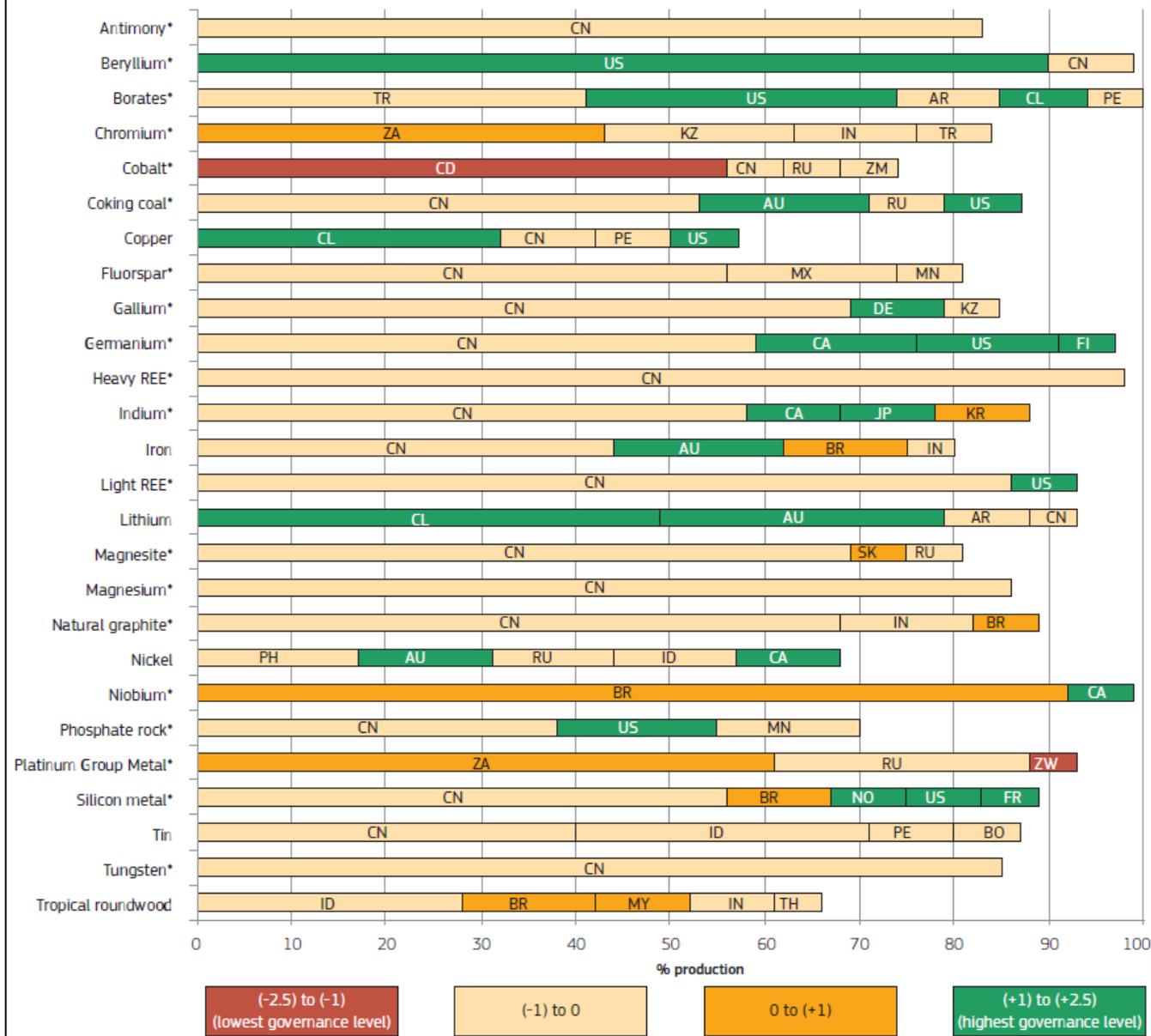
# Importance de la Chine dans la production de nombreuses matières premières minérales

La Chine est le 1<sup>er</sup> producteur minier et/ou métallurgique mondial de plus d'une trentaine de MPM.



# Parts des principaux producteurs de diverses MPM par niveau de gouvernance

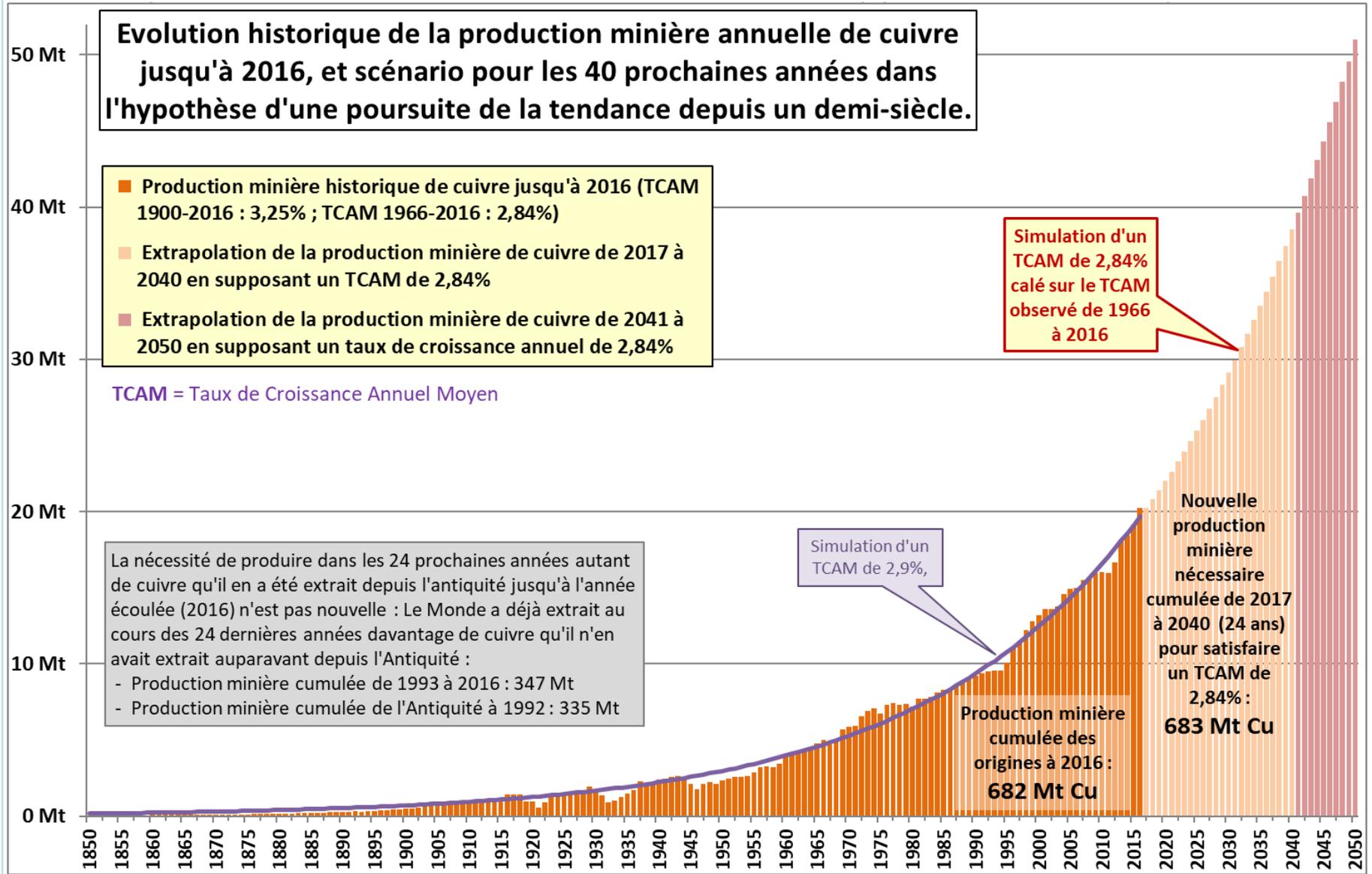
Figure 13: Geographical concentration of raw material production and producer countries' governance levels<sup>60</sup>



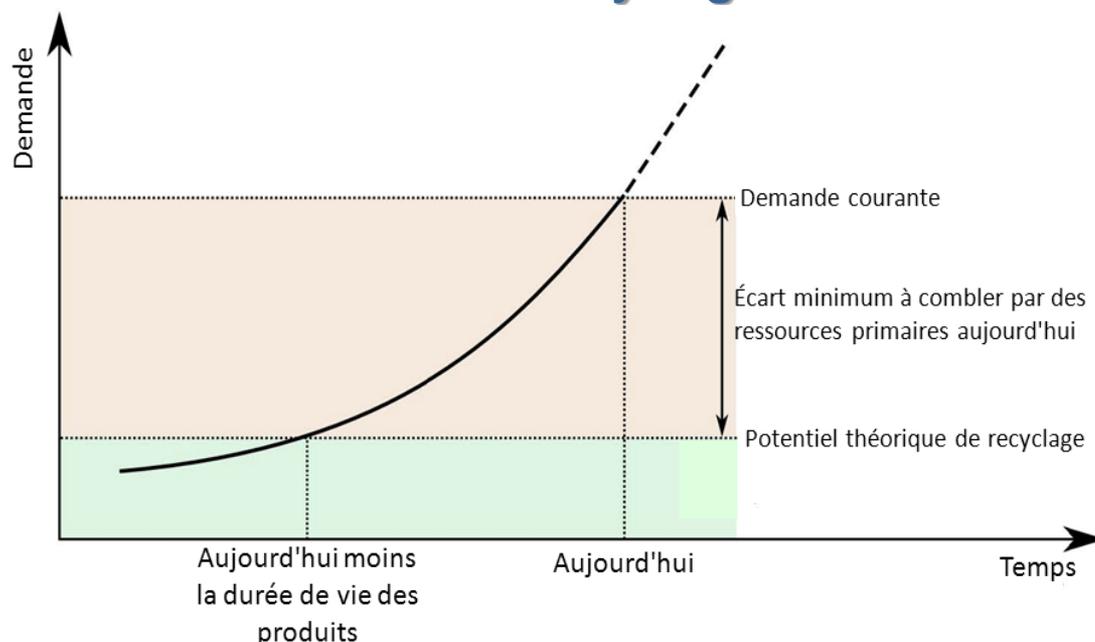
Extrait du "Raw Material Scoreboard" de l'EIP-Raw Materials de la Commission Européenne, 2016

# Les problématiques d'approvisionnement induites par la croissance

Une poursuite de la croissance tendancielle de la production/consommation de cuivre primaire depuis 150 ans



## Les limites de la contribution du recyclage en contexte de croissance



- Dans le cas du cuivre, par exemple, en prenant les hypothèses suivantes :
  - Un TCAM de la consommation de **2,85 %** (moyenne observée depuis 55 ans),
  - Une **durée moyenne de séjour** dans ses usages de **35 ans** (Graedel et al., 2010),même si on parvenait, avec tous les efforts nécessaires, à un **taux de récupération et de recyclage** en fin de vie de **100 %**, le cuivre secondaire issu du recyclage **ne pourra pas satisfaire davantage que 37,4 % de la demande**.
- Actuellement, le **taux de recyclage en fin de vie** ("End-of-life recycling rate") du cuivre est de l'ordre de **36 %**, et la couverture de la consommation par le cuivre secondaire issu de ce recyclage "en fin de vie" ("Recycled Content") est de l'ordre de **19,5 %** (d'après les données de l'ICSG, 2016). Cette couverture est de 33 % si on inclut le recyclage des chutes de fabrication, le "new scrap").

# Les facteurs entraînant les évolutions de la demande

- > La **croissance démographique** mondiale : **+31% entre 2016 et 2050** (soit un TCAM de 0,79%), selon la projection médiane de l'ONU publiée en juin 2017, soit 2,3 Ghab en plus ! Et cette "projection médiane" projette encore 1,4 Ghab de plus entre 2050 et 2100 ;
- > L'**exode rural et l'urbanisation** qui se poursuivent et se généralisent (plus de logements en dur, plus d'infrastructures urbaines, plus de besoins en électricité et en énergie, plus de besoins en logistique alimentaire – amener la nourriture des campagnes vers les villes : transports, chaîne du froid, conserverie) etc. En France 80 % de la population est urbanisée, alors qu'en Chine le taux d'urbanisation n'était encore que de 57,9 % en 2015 (CIA Factbook 2017). La croissance des villes chinoises, qui a tiré la consommation de nombreuses matières premières minérales ces dernières années, n'est pas arrivée à sa fin. Et les tendances à l'urbanisation ne se limitent pas à la Chine.
- > La capacité et l'aspiration d'une **part croissante de la population mondiale à consommer, à acquérir de biens personnels** (voiture, électroménager, équipements de communication et de loisirs, etc.) et **à bénéficier d'infrastructures collectives** (électricité, eau courante, assainissement, routes, écoles, hôpitaux ...) = **Accroissement des classes moyennes.**
- > Les **évolutions technologiques**, éventuellement volontaristes comme la **transition énergétique.**
- > Les **innovations technologiques**, leur accélération et éventuellement leur mort.

**CONSEQUENCE : En dépit des avancées vers une "économie circulaire", l'humanité devra, si elle veut satisfaire ces demandes, extraire davantage de MPM d'ici 2050 que ce qui a été extrait depuis les origines de l'humanité jusqu'à aujourd'hui.**

# Croissance démographique et croissance des classes moyennes (consommatrices de MPM)

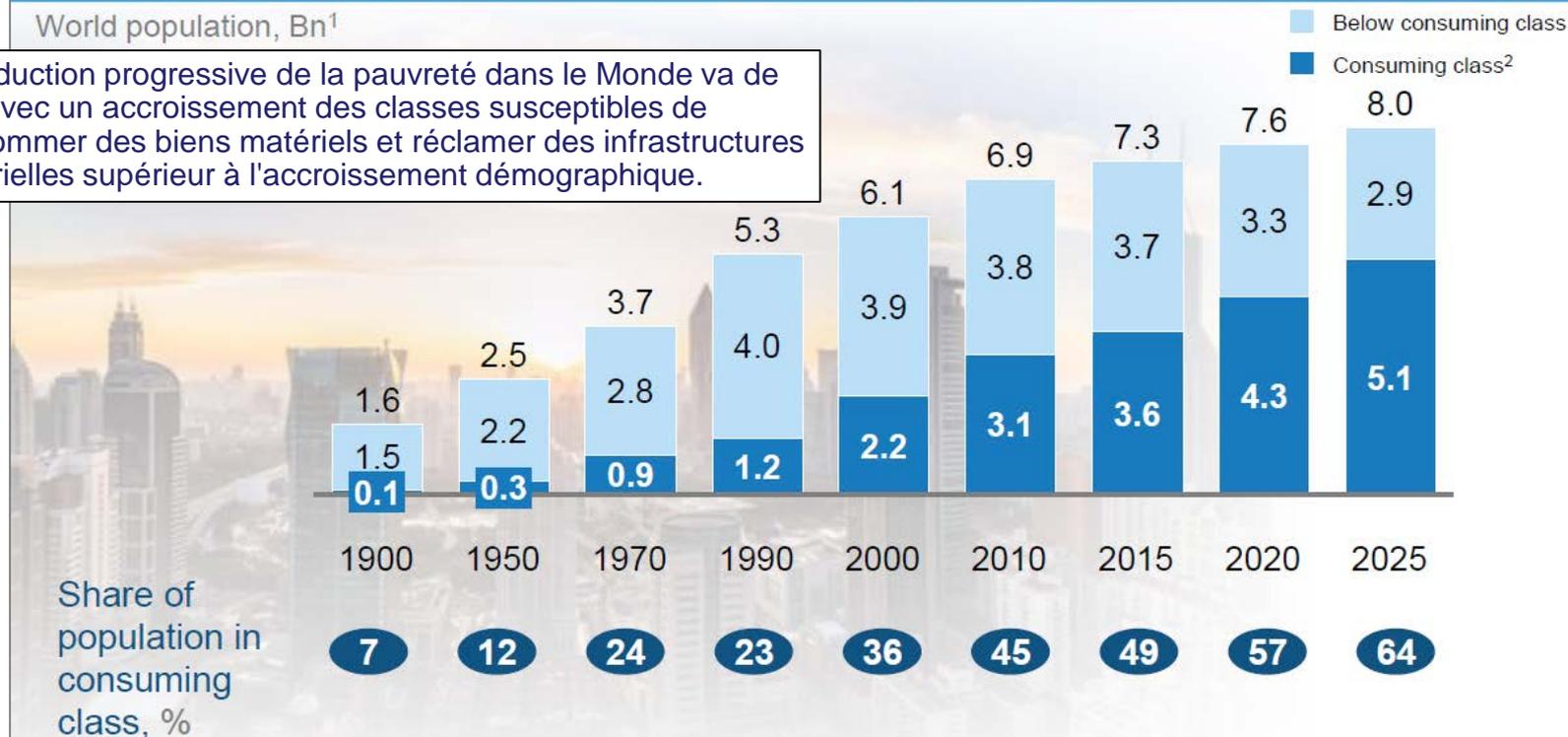
**A growing middle class will continue to sustain demand for commodities in the future**

© McKinsey&Co / BRGM, World Material Forum, 9 juin 2016

The middle/consuming class is set to grow considerably toward 2030

World population, Bn<sup>1</sup>

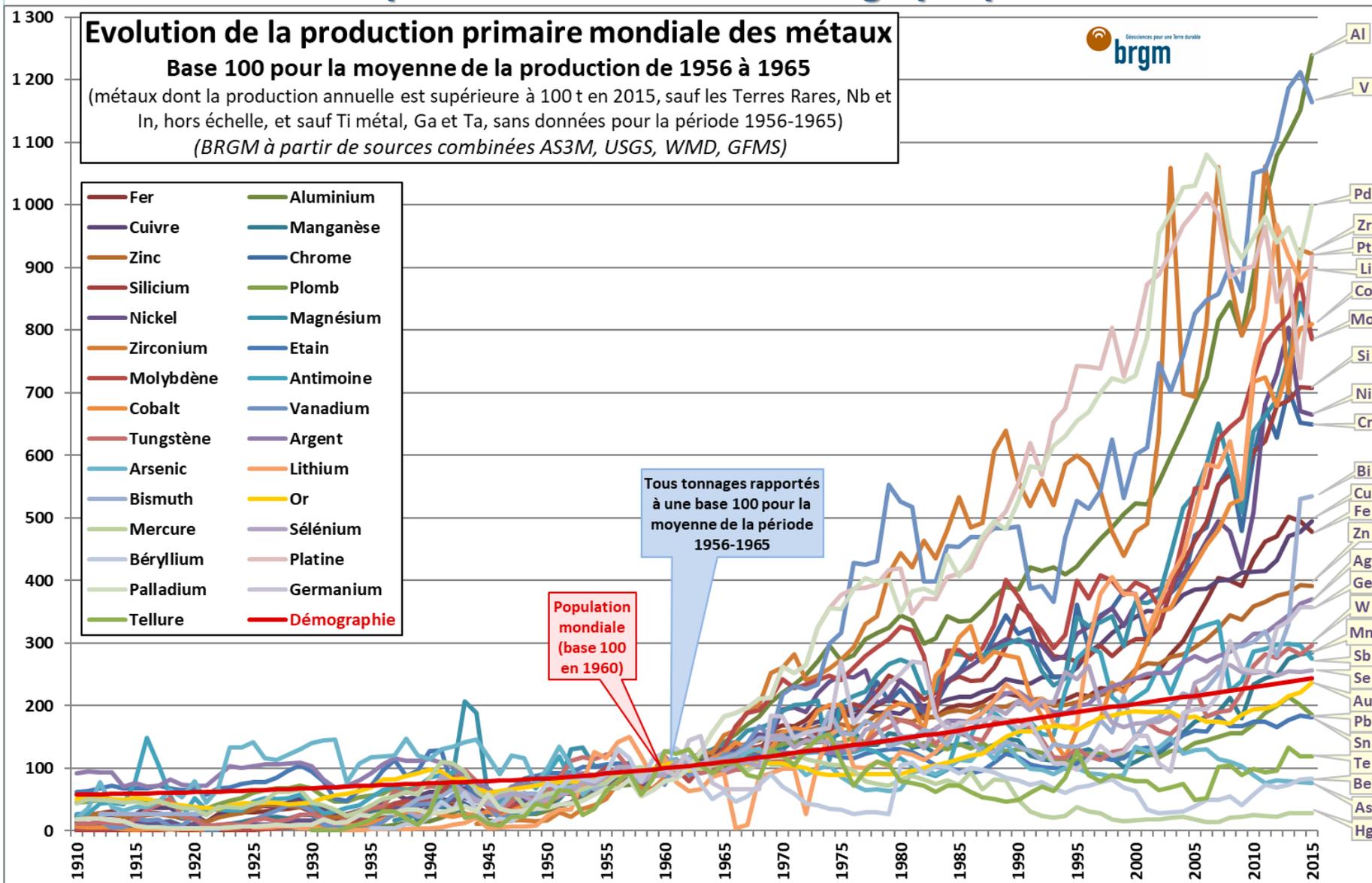
> La réduction progressive de la pauvreté dans le Monde va de pair avec un accroissement des classes susceptibles de consommer des biens matériels et réclamer des infrastructures matérielles supérieur à l'accroissement démographique.



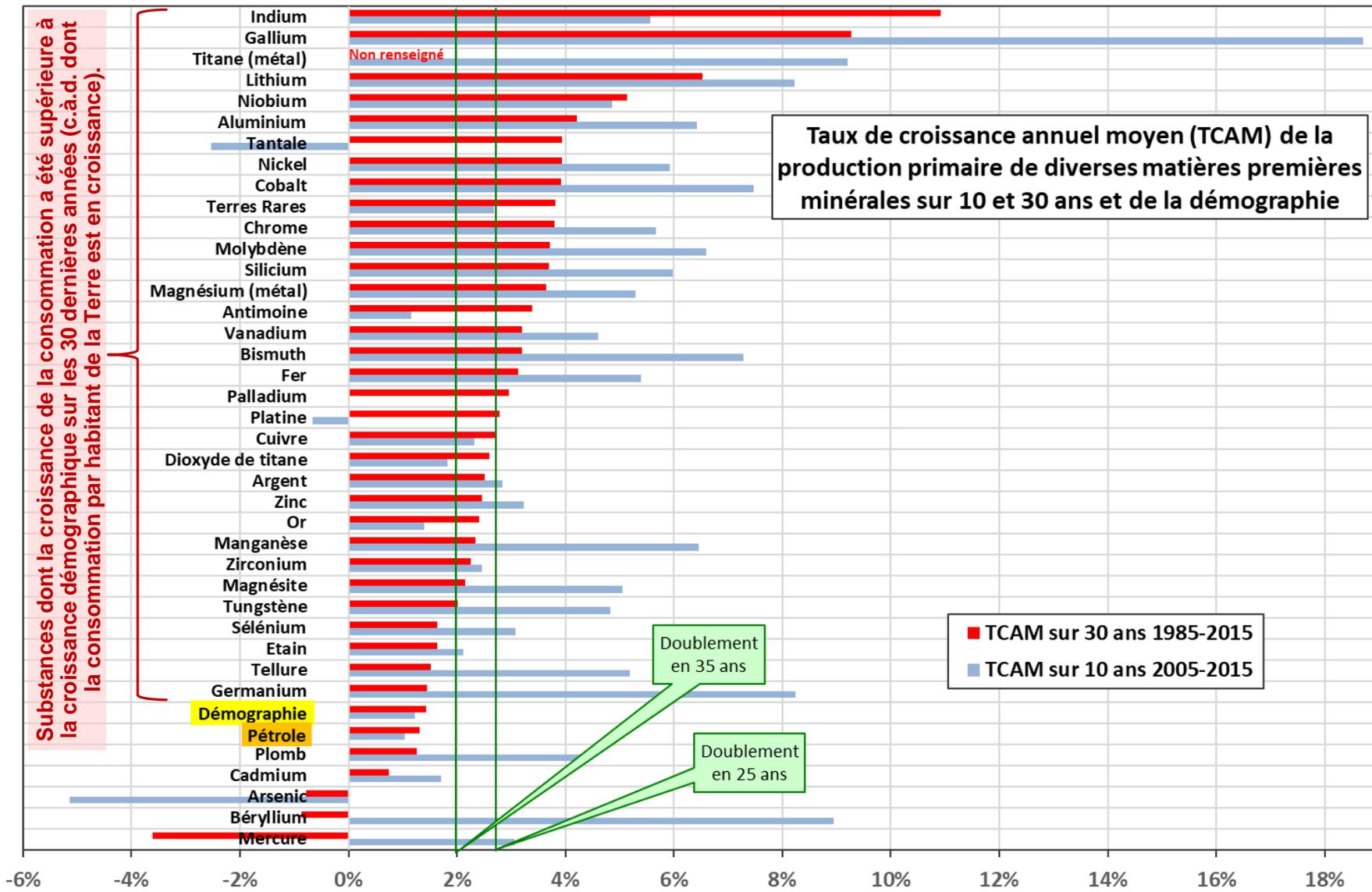
1 Historical values for 1820 through 1990 estimated by Homi Kharas; 2010 - 2025 estimates by McKinsey Global Institute

2 Defined as people with daily disposable income above \$10 at PPP. Population below consuming class defined as individuals with disposable income below \$10 at PPP..

# Croissance de la production primaire (≈ consommation primaire) de divers métaux comparés à la croissance démographique mondiale



# TCAM de la production primaire (≈ consommation primaire) de divers métaux comparés à la croissance démographique mondiale



# La vulnérabilité aux possibles restrictions d'approvisionnement

- > La complexité des systèmes et des filières, les chaînes de sous-traitance à multiples niveaux, la généralisation des flux tendus et des "zéro stock" font que certains industriels produisant un produit final n'ont qu'une visibilité, voire une connaissance, limitée des métaux et ou des ressources minérales entrant dans la composition de leurs produits, ce qui est en soi un facteur de risque.
- > L'impact d'une éventuelle restriction d'approvisionnement dépendra :
  - De quel **point de vue** on se place : pour un industriel manufacturier spécifique donné, l'impact pourra être vu différemment de celui évalué au niveau d'un État, ou pour des entités plus larges (UE, Monde ...).
  - Du niveau de la demande globale, de son évolution, de la part du marché considéré dans cette demande globale ;
  - Des impacts économiques, environnementaux et sociaux anticipés d'éventuelles pénuries ;
  - De la place **stratégique** du domaine de production considéré (défense, production d'énergie et désormais énergies renouvelables, industries clés, haute technologie, etc.)
  - De la disponibilité d'éventuels **substituts**, ou du temps éventuellement nécessaire pour développer de tels substituts et les amener sur le marché ;
  - Plus généralement, du temps nécessaire pour s'adapter aux éventuelles pénuries.
  - De manière très limitée dans le temps, de l'éventuelle disponibilité de stocks pouvant jouer le rôle de tampon temporaire en cas de pénurie (stocks stratégiques comme au Japon, en Corée du Sud, en Chine et jadis aux USA ; stocks de précaution des entreprises).

# Les études BRGM / MTES / COMES

# Etudes BRGM / MTES / COMES de criticité par substance minérale

> Études réalisées à la demande du Ministère en charge des matières premières minérales sous la supervision du Comité pour les Métaux stratégiques (COMES).

16* monographies (panoramas des marchés) réalisées en 2010-2015				
Début 2010	Fin 2010-2011	2011-2012	2013(-2014)	2014(-2015)
<b>Gallium</b>	<b>Béryllium</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Terres Rares</b>
<b>Germanium</b>	<b>Molybdène</b>	<b>Graphite naturel</b>	<b>Platinoïdes</b>	
<b>Niobium</b>	<b>Rhénium</b>	<b>Lithium</b>		
<b>Terres rares</b>	<b>Sélénium</b>	<b>Tantale</b>		
	<b>Tellure</b>	<b>Tungstène</b>		



\* En ne comptant qu'une fois le panorama Terres Rares, dont une première version rapide avait été réalisée en 2010, limitée à Nd, Dy et Sc, et une version plus approfondie, mise à jour et complétée, a été publiée en 2015.

21 fiches de criticité réalisées en 2015-2017			
2015	2016	2017 (réalisé)	2017 (prévu)
<b>Antimoine</b>	<b>Béryllium</b>	<b>Argent</b>	<b>Aluminium</b>
<b>Cobalt</b>	<b>Dysprosium</b>	<b>Chrome</b>	<b>Cuivre</b>
<b>Germanium</b>	<b>Gallium</b>	<b>Etain</b>	<b>Lithium</b>
<b>Néodyme</b>	<b>Graphite naturel</b>	<b>Indium</b>	<b>Scandium</b>
<b>Palladium</b>	<b>Molybdène</b>	<b>Nickel</b>	<b>Sélénium</b>
<b>Platine</b>	<b>Niobium</b>	<b>Rhénium</b>	
<b>Tantale</b>		<b>Titane</b>	
<b>Tungstène</b>			

**minéralinfo**  
LE PORTAL FRANÇAIS DES RESSOURCES MINÉRALES NON ÉNERGÉTIQUES

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE | MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE | MINISTÈRE SUPÉRIEUR DE LA RECHERCHE, DE LA INNOVATION

Accueil • Dossiers

**Dossiers**

- Monographies substances
  - Métaux stratégiques
  - Roches et minéraux industriels
- Fiches de criticité
  - Potentiels minier français
  - Recyclage

**Fiches de criticité**

Sous la conduite du comité des métaux stratégiques (COMES), le BRGM élabore des fiches de criticité des métaux présentées selon un format-type regroupant 10 facteurs.

**Risques d'approvisionnement et impact économique**

Pour un acteur économique ou une économie, la criticité d'une substance minérale s'apprécie selon deux axes : les risques d'approvisionnement et l'impact économique.

L'impact économique est du ressort des entreprises et s'évalue en appréciant principalement les conséquences d'une rupture totale de l'approvisionnement et en calculant la sensibilité du coût de revient à l'évolution des prix.

Les risques d'approvisionnement se distribuent sur toute la chaîne de valeur. Celle-ci commence avec la découverte géologique d'une ressource exploitable, puis sa mise en exploitation pour aboutir à la production et la commercialisation d'un produit qui peut être un système parfois très complexe, tel qu'un avion ou une voiture, comportant donc de nombreux sous-ensembles.

Les versions publiques (hors points confidentiels) des 16 monographies et les 21 fiches de criticité sont téléchargeables sur le portail Mineralinfo ([www.mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr)).

## Études BRGM / MTEs / COMES de criticité par substance minérale

- > Études réalisées pour fournir des éléments de détermination de l'exposition de la France aux risques pesant sur les approvisionnements en chacune de ces substances et leur importance pour l'économie française.
  - éléments détaillés dans les "**Panorama de marché**" (2010 et 2015) ;
  - éléments très schématiques dans les "**Fiches de criticité**" (à partir de 2015, série en cours).
- > Résultats synthétisés par le positionnement de la substance sur un **diagramme de criticité selon les 2 axes classiques** :
  - **Les risques sur les approvisionnements**, estimation sur une **échelle de 1 à 5** des risques pesant sur les approvisionnements – **sachant que la France**, n'ayant plus de production minière – à l'exception de la Nouvelle-Calédonie qui reste un important producteur minier de nickel et de cobalt, et de la Guyane qui produit un peu d'or – **dépend très majoritairement des importations des métaux pour sa consommation**, la part de métaux issus du recyclage étant minoritaire, et
  - **L'importance économique**, évaluation sur une **échelle de 1 à 5** de l'impact qu'aurait une pénurie d'approvisionnement (rupture d'approvisionnement, ou un renchérissement significatif par une insuffisance de l'offre) pour l'économie française, en terme de **capacité à produire les biens matériels**, donc **en terme de production de richesses et de PIB**, et **en terme d'emplois**.

Évaluation	Note
Très forte	5
Forte	4
Moyenne	3
Faible	2
Très faible	1

## Les fiches de criticité

- > Les fiches proposées comprennent, sur 7 à 8 pages :
  - **Un tableau de 47 à 48 rubriques** fixées couvrant divers facteurs impactant la criticité (indicateurs de l'offre, de la demande, des prix, des acteurs, etc.), structurées en 12 ensembles :
    1. Usages et consommation,
    2. Production et ressources mondiales,
    3. Substituabilité,
    4. Recyclage,
    5. Prix,
    6. Restrictions au commerce international, réglementations,
    7. Production et ressources françaises,
    8. Filières industrielles françaises,
    9. Commerce extérieur et consommation française,
    10. Divers.
  - Une série de **graphiques** et tableaux annexes illustrant certaines informations du tableau (répartition des usages, de la production, des ressources et réserves, etc.) ou leur évolution temporelle (diagrammes de l'évolution des productions, des prix, etc.), tableau synthétique sur les imports et exports français des années les plus récentes, et diagramme synthétique de criticité résumant les points ci-dessus.

## Les fiches de criticité (suite)

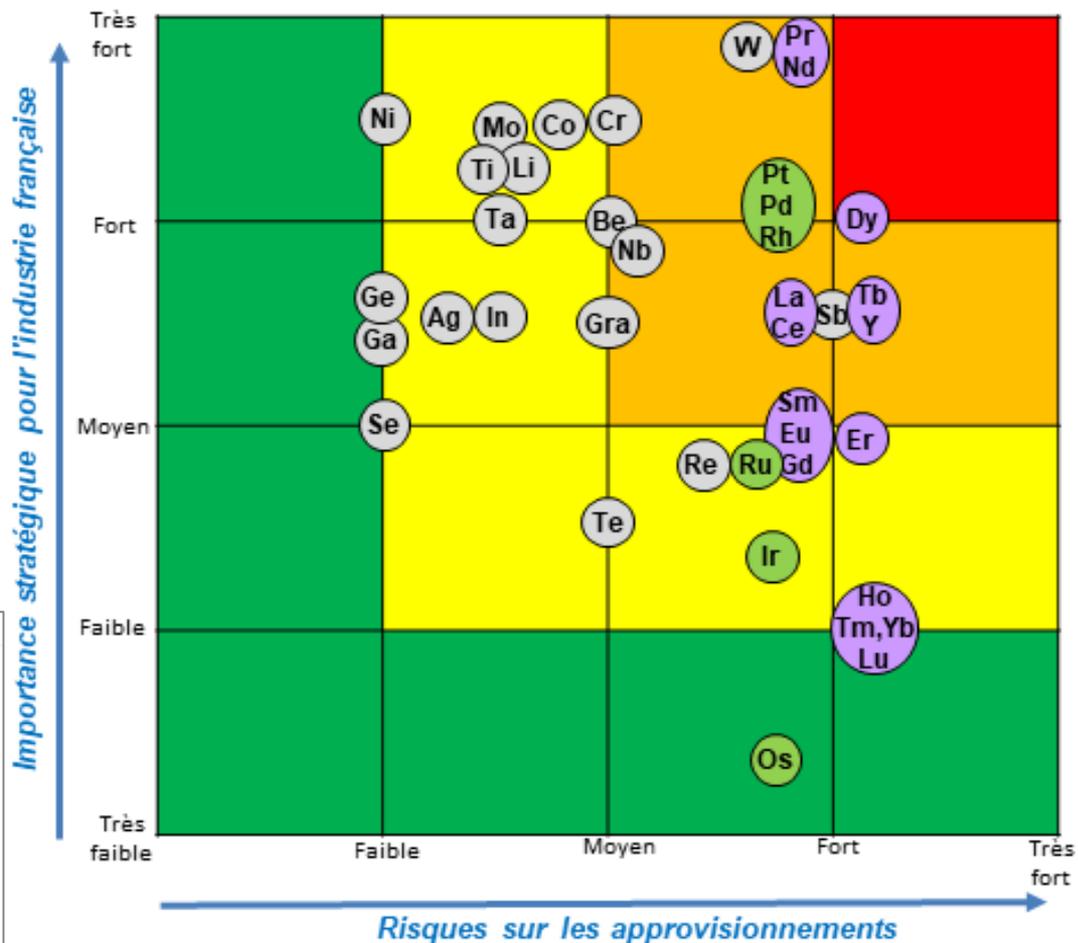
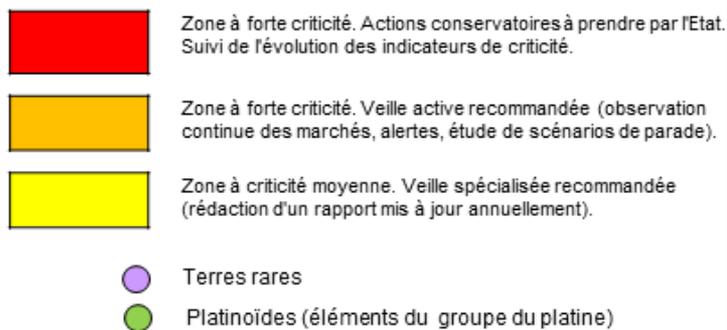
- > **Objectif** : réunir un maximum de données publiques et aussi factuelles que possible permettant une compréhension des principaux usages des matières premières minérales et des éléments de criticité pouvant affecter leur chaîne de valeur.
- > Ces données sont d'abord présentées brutes afin de permettre à **chaque utilisateur** de faire ses propres pondérations et **de se faire sa propre idée de sa situation spécifique par rapport aux facteurs de risque identifiés**.
- > Elles présentent le **positionnement estimé** de la substance sur le même **diagramme de criticité** que les monographies.
- > Les **scores des risques sur les approvisionnements** ont été établis comme la **moyenne arithmétique** des 5 composantes suivantes, notées de manière estimative de 1 à 5 :
  1. Quantité et concentration géographique des ressources et réserves ;
  2. Concentration des exploitations minières et des raffineries ;
  3. Restrictions au libre commerce de la matière première ;
  4. Existence de problèmes environnementaux spécifiques de la filière ;
  5. Concentration de la métallurgie.
- > Les **scores sur l'importance économique** avaient été établis, pour les monographies, après un **questionnaire** envoyé à une série d'**acteurs industriels français** (soit bien connus, soit identifiés via les fédérations professionnelles), à qui il était demandé une notation de 1 à 5 sur la perception du risque associé à une éventuelle de pénurie d'approvisionnement physique. Le score final retenu a été une moyenne de ces notations pour celles des entreprises se sachant concernée par la substance et ayant accepté de répondre. Pour les fiches de criticité, les estimations ont été extrapolées.

# Évaluations indicatives de criticité BRGM / MTES / COMES

> Choix : Progressivité (criticité +/- forte, pas de seuil).

## EVALUATION DE LA CRITICITE DES SUBSTANCES OU GROUPES DE SUBSTANCES ETUDIEES PAR LE BRGM DEPUIS 2010

Positionnements révisés en 2017 ("Fiches de criticité")



## Quelques commentaires sur les métaux positionnés comme les plus critiques

- > Sur l'axe des risques sur les approvisionnements, les scores les plus élevés sont ceux des MPM dont la production est très concentrée aux mains d'un ou deux pays, en particulier s'ils ont des indices de gouvernance non optimaux. Ce sont principalement :
  - Les Terres Rares, le tungstène et l'antimoine (Chine largement dominante, cs. diapo 13, encore davantage pour les TR lourdes que pour les TR légères) ;
  - Les platinoïdes (ressources et production contrôlées à ~80% par 2 pays, l'Afrique du Sud et la Russie).
- > Sur l'axe de l'importance économique, des scores élevés sont attribués (importance moyennement forte à très forte) à la plupart des métaux majeurs (en cours d'évaluation) ou des "petits" métaux dont l'usage est largement répandu :
  - Nd-Pr dans les aimants permanents désormais omniprésents,
  - Li et Co dans les piles et batteries au lithium déjà largement utilisées dans les appareils nomades et appelées à un fort développement avec les VE, W pour les outils de coupe, Pd-Pt dans la catalyse automobile, etc.

ou largement utilisés dans des industries de pointe importantes pour la France (aéronautique, espace, défense) :

- Ti,
- Métaux des superalliages W, Mo, Ta, etc.
- Catalyseurs

## Limites de précision et de fiabilité du positionnement sur le diagramme de criticité

- > Les scores, sur une échelle de 1 à 5 sont estimatifs et doivent être pris avec des **fourchettes significatives d'incertitude**.
- > Les enquêtes sur la perception de l'importance économique demanderaient, pour être exhaustives, davantage de temps que ce qui a été réalisé jusqu'ici. Jusqu'à présent, le temps disponible a essentiellement permis de contacter des entreprises majeures, mais pas les nombreuses PME susceptibles d'être concernées. De plus, seule une partie des entreprises contactées a répondu à l'enquête.
- > L'importance stratégique de telle ou telle substance est perçue différemment par telle ou telle entreprise ou industrie selon son secteur de spécialité.
- > Les positionnements sont donc des résultats de moyennes et de compromis et **ne doivent pas être interprétés comme des positionnements absolus**. Ils sont aussi **susceptibles d'évoluer dans le temps**, avec l'évolution de la répartition de la production minière, et avec les évolutions technologiques (apparition de nouveaux usages, substitutions).
- > Nombre de métaux restent à couvrir par les études de criticité du BRGM. Ceux qui n'ont pas encore été passés en revue n'ont pas encore été positionnés, et en particulier les métaux majeurs ou d'une grande importance économique que sont le fer et l'acier, le cuivre, l'aluminium, le zinc, le plomb, le manganèse, etc. Plusieurs de ces métaux devraient être couverts prochainement.

## Exemples d'évolutions de criticité ces dernières années

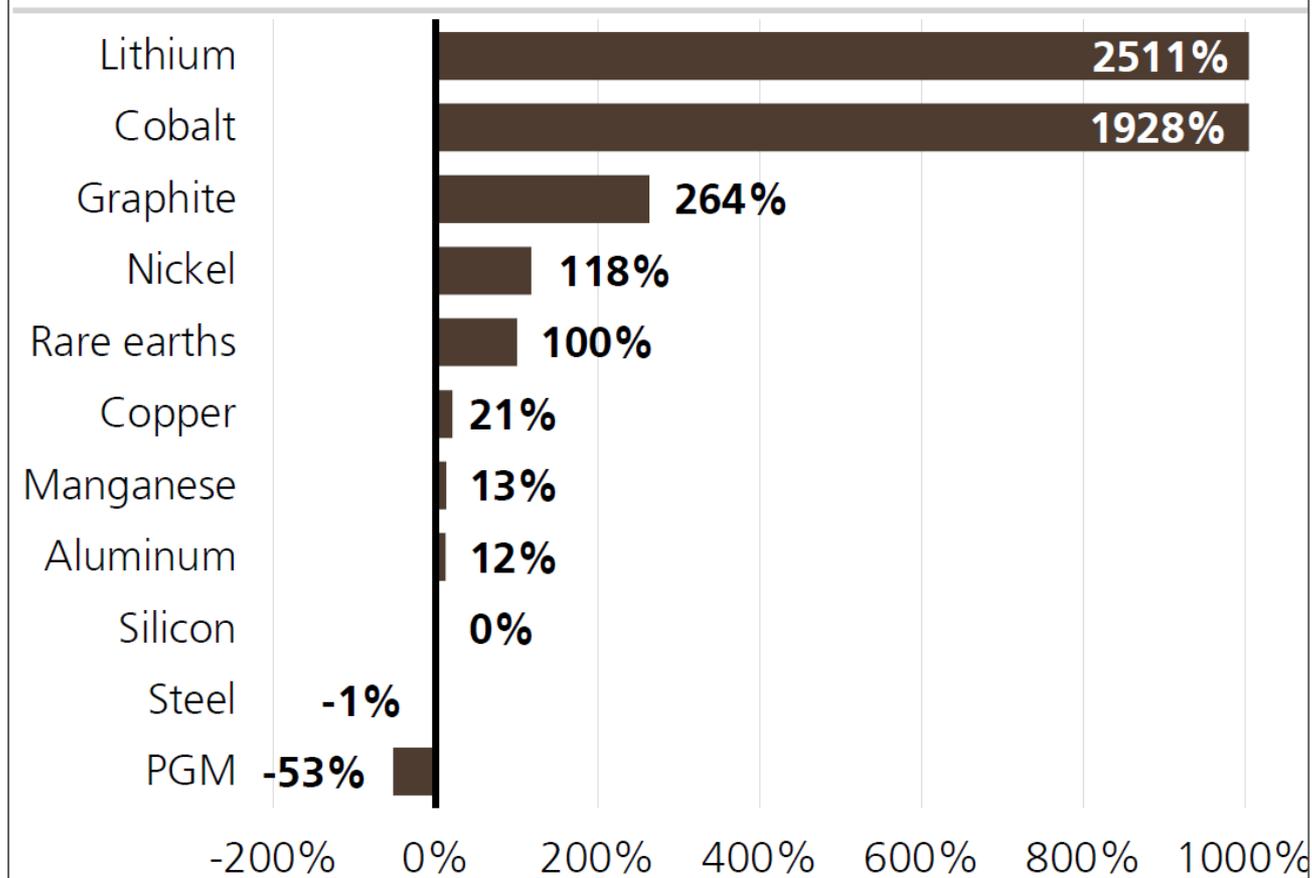
- > Les criticités de Ga et Dy ont fléchi par rapport aux monographies antérieures :
  - **Dy** : perçu comme très critique en 2010-2011 (aimants NdFeB). Le monopole et les décisions restrictives chinois à l'exportation avaient conduit à une violente flambée du prix en 2010-2011. Cette flambée avait conduit les industriels à multiplier les R&D pour utiliser, à performances égales, moins de Dy ou plus du tout de dysprosium, voire à basculer vers des technologies alternatives (aimants sans terres rares). La détente de la demande combinée avec la fin des quotas et taxes à l'exportation chinois ont conduit à un éclatement de la bulle de prix. Dy reste critique, mais à un niveau moins extrême ;
  - **Ga** : perçu comme très critique en 2010 (photovoltaïque CIGS). Les augmentations de capacité chinoises de production de silicium et de panneaux PV au silicium en ont fait baisser les prix, ce qui a rendu la filière CIGS bien moins concurrentielle et l'a laissée à un niveau marginal. Parallèlement, la Chine a multiplié 1) les raffineries d'alumine et 2) les unités de récupération du Ga dans ces raffineries, d'où une production de Ga devenue excédentaire et des prix historiquement bas atteints en juillet 2017.
- > À l'inverse, certaines substances comme Li et Co ont vu leur criticité progresser :
  - **Li** : Accélération de la demande pour les batteries au lithium, tandis que la production ne se développait pas au même rythme => hausse des prix du Li en 2016 et dynamisation des nouveaux projets d'exploitation. Mais les décalages temporels entre découverte, études et exploitation => tensions possibles pendant quelques temps.
  - **Co** : Demande en hausse pour les batteries au lithium, et risques sur les approvisionnements en progression. La RD du Congo, le producteur majoritaire, a niveau de "risque pays" élevé et continue à avoir une part de production artisanale partiellement mise en cause. Par ailleurs la médiocrité persistante des prix du Ni, dont Co est en partie un sous-produit, n'encourage pas à investir pour en accroître la production.

## Exemple d'éléments d'évolution probable de criticité

- > Étude d'UBS sur les besoins additionnels en métaux que génèrerait un passage de la flotte automobile mondiale à l'électrique, publiée en mai 2017.

([http://www.advantagelithium.com/\\_resources/pdf/UBS-Article.pdf](http://www.advantagelithium.com/_resources/pdf/UBS-Article.pdf))

**Figure 45: In a 100% EV world, demand for commodities would change by... (in % of global market today)**



# Besoins additionnels en MPM pour la transition énergétique

## > Voir séminaire du COMES dédié du 17 février 2017

([www.mineralinfo.fr/actualites/seminaire-comes-metaux-transition-energetique](http://www.mineralinfo.fr/actualites/seminaire-comes-metaux-transition-energetique)).

Séminaire du COMES sur les métaux de la transition énergétique  
10/02/2017



Le COMES a organisé le 3 février un séminaire sur les métaux de transition énergétique. Il a été ouvert par Mme Christine Albanel, ancienne ministre de la Culture, directrice exécutive en charge de la RSE, de la Diversité, des Partenariats culturels et institutionnels et de la Solidarité de ORANGE. Les enjeux importants relatifs aux métaux stratégiques ont été rappelés en particulier pour le secteur des technologies de l'information et de la communication.

Le COMES s'est penché en première partie sur les enjeux globaux posés par la transition énergétique en matière de besoin en ressources minérales.

M. Vidal, directeur de recherche au CNRS, a présenté les derniers travaux de modélisation sur l'augmentation de cette demande pour les matières premières structurales (ciment, acier, cuivre, aluminium), les implications en termes d'extraction de matières premières primaires et secondaires et les facteurs clés contraignant leur disponibilité future. M. Villeneuve, expert en évaluation environnementale, a exposé les externalités environnementales liées aux besoins en métaux, leur hétérogénéité selon les pays de production, les outils de mesures et enfin les difficultés posées par la mondialisation des flux avec le transfert des externalités des pays consommateurs vers les pays producteurs.

En seconde partie, le COMES s'est intéressé plus spécifiquement aux batteries essentielles pour la mobilité électrique et le stockage des énergies renouvelables intermittentes. M. Pillot, Directeur d'Avicennes Energy, a présenté le marché des batteries, ses prévisions 2016-2025 par secteur utilisateur et les implications sur la demande en métaux lithium, cobalt et nickel. Mme de Guibert, Directeur de la Recherche chez Saft, a partagé son analyse de l'exposition du secteur industriel des batteries aux métaux stratégiques, complétée par une revue des technologies actuelles et des recherches et développement à moyen et long terme.

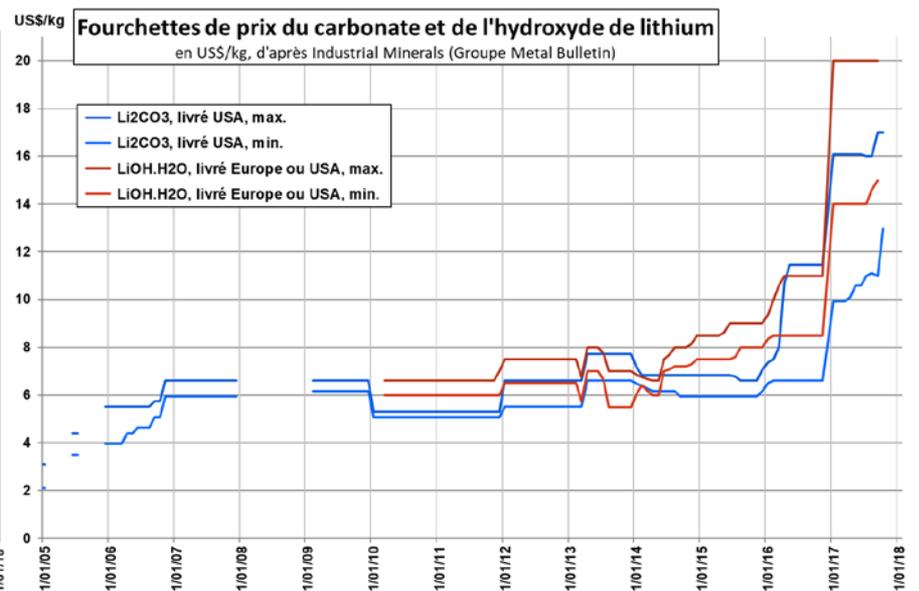
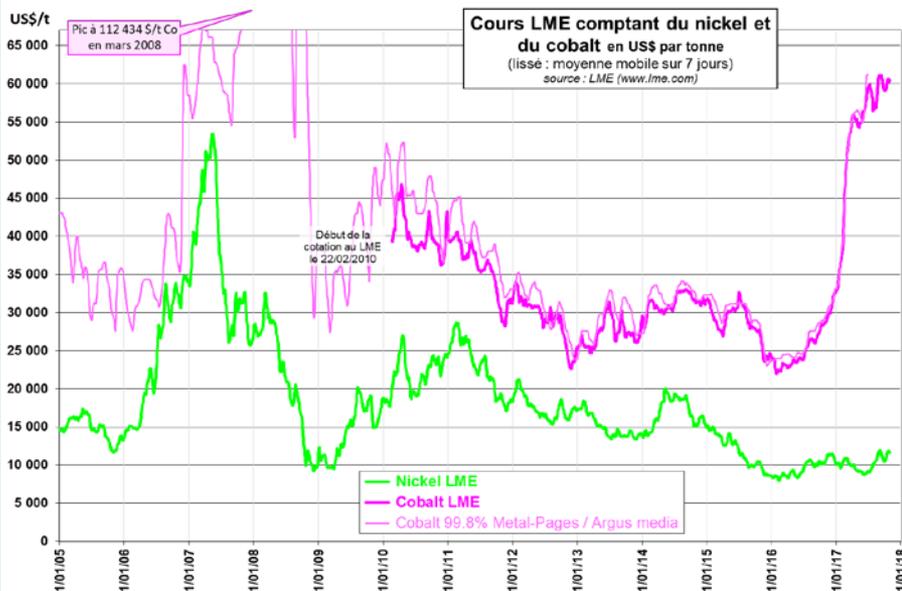
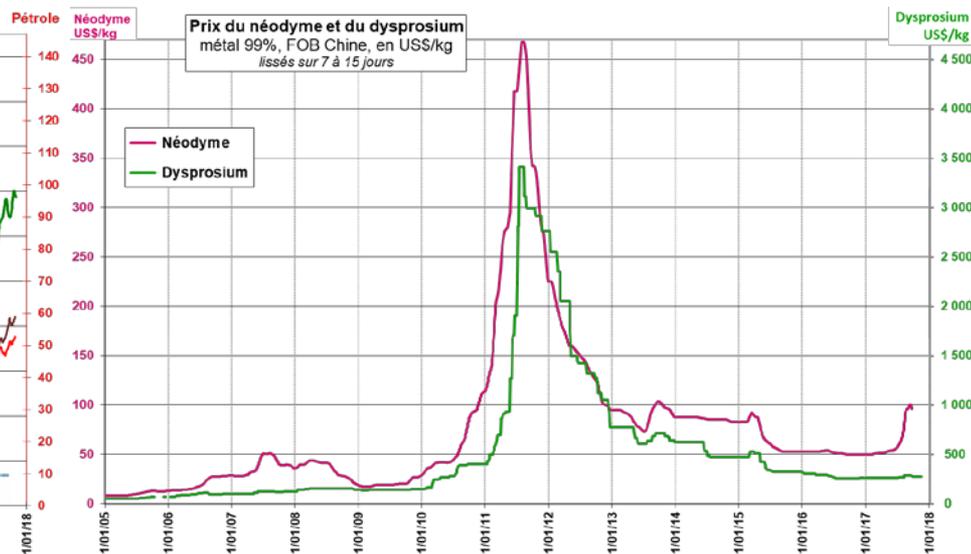
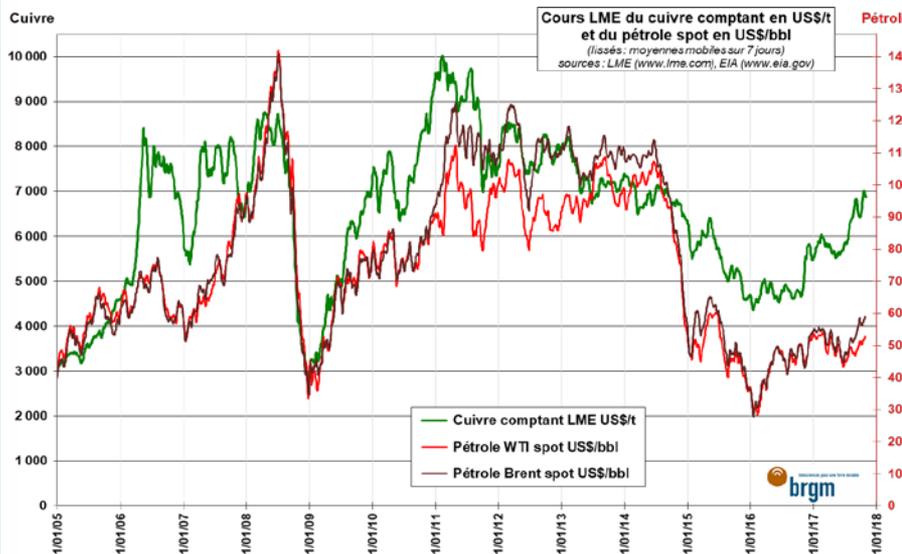
Les documents sont en téléchargement :

- [Modélisations des besoins en matières premières structurales](#)
- [Externalités environnementales liées aux besoins en métaux](#)
- [Marché des batteries et demande en Li, Co et Ni](#)
- [Exposition du secteur industriel des batteries aux métaux stratégiques](#)

## > Et nombre d'études en cours et rapports récents :

- UNEP / International Resource Panel, 2016 : Green energy choices : The benefits, risks and trade-offs of Low-Carbon Technologies for electricity production [www.resourcepanel.org/reports/green-energy-choices-benefits-risks-and-trade-offs-low-carbon-technologies-electricity](http://www.resourcepanel.org/reports/green-energy-choices-benefits-risks-and-trade-offs-low-carbon-technologies-electricity) ;
- Banque Mondiale, The growing role of minerals and metals for a low carbon future, juin 2017 <http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf> ;
- Projet SURFER (ADEME / BRGM / ISTerre), en cours ;
- JRC de la CE (2013 et 2016) ; Etc.

# Exemples de transcription des évolutions de criticité dans les prix



# Exemple de matrice de criticité pour un industriel

# Diagramme de criticité pour un constructeur automobile

- > À titre d'exemple, le constructeur automobile Renault réalise, en interne, ses propres évaluations des métaux nécessaires à son activité. En 2012, Renault avait accepté de publier son diagramme de 2010 concernant 25 métaux.

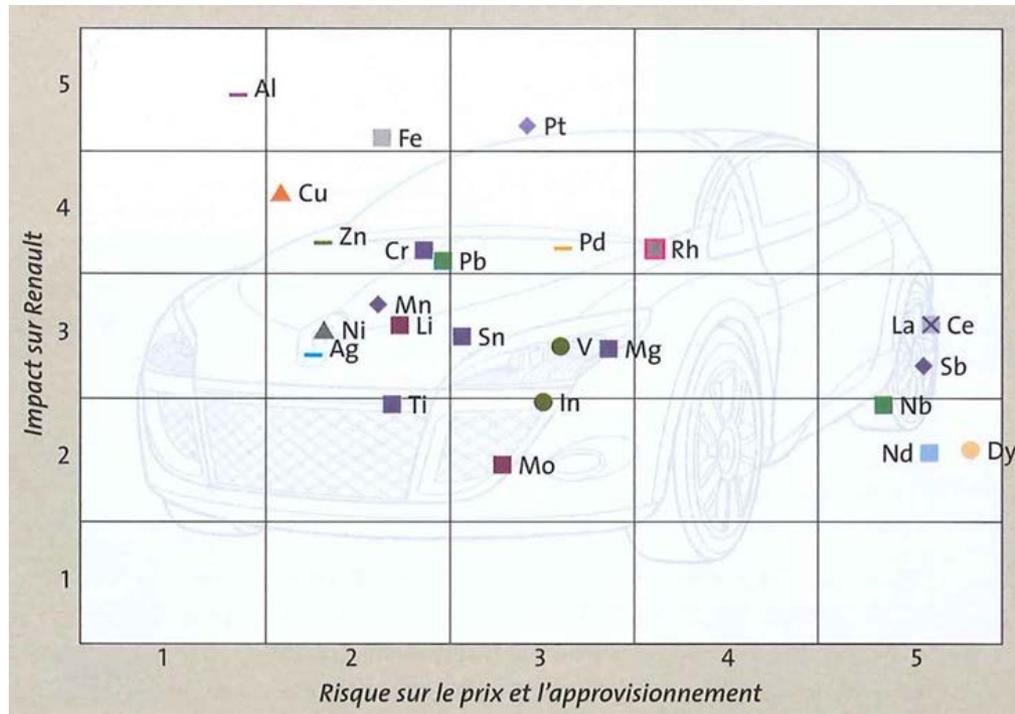


Diagramme publié en 2012 dans Géosciences, disponible sur [www.brgm.fr/sites/default/brgm/publications/revue\\_geosciences15/index.html#/20/](http://www.brgm.fr/sites/default/brgm/publications/revue_geosciences15/index.html#/20/)

- > Ce diagramme a certainement évolué, en particulier avec la montée en puissance des programmes de véhicules électriques : le lithium et le cobalt, nécessaires aux batteries pour VE, sont désormais devenus plus sensibles, tandis que le platine, dont l'usage principal est pour les pots catalytiques des moteurs diesel, est devenu moins sensible.

# **La matrice de criticité et la "Liste des Matières Premières Critiques" de la Commission Européenne**

# EU Critical Raw Materials assessment, juin-septembre 2017

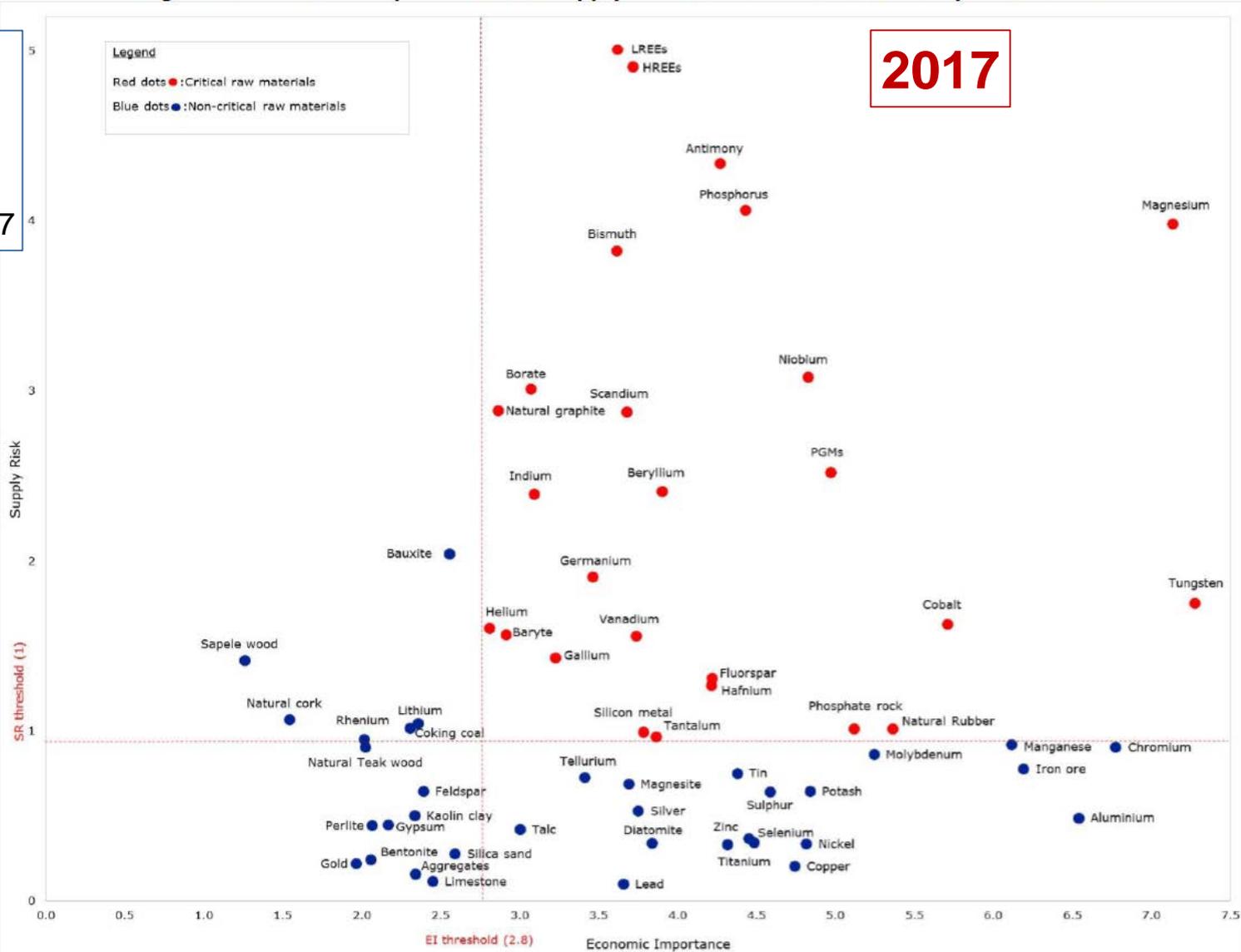
Figure A: Economic importance and supply risk results of 2017 criticality assessment

3 versions publiées :

- Juin-juil. 2010
- Mai 2014
- Juin-sept. 2017

Source :

<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>





# Commentaires sur les études de criticité de la Commission Européenne

## > Avantages

- C'est un outil important de communication sur les matières premières, sur leur rôle pour notre société et la dépendance de l'Europe pour ses approvisionnements ;
- Des choix méthodologiques théoriquement transparents (données, formule de calcul), devant permettre la comparaison entre les exercices, et visant à un impact en communication plus marquant par la publication d'une liste avec des seuils :

## > **Évolution** : L'exercice 2017 a vu deux évolutions dans les calculs d'Importance Économique :

- La répartition des usages des MP en 26 secteurs économiques\* de la NACE Rev.2 à 2 chiffres au lieu des 17 "mégasecteurs" qui avait été générés à dessein en recombinaison divers anciens secteurs NACE2 et NACE3 ;
- L'introduction d'un indice de substituabilité pour l'importance économique (en pratique toujours compris entre 0,8 et 1) ;

Ainsi que pour les risques sur les approvisionnements :

- Introduction, entre autres, d'une notion de facteur de dépendance aux importations ("Import Reliance") et prise en compte combinée de la répartition globale de la production par pays et de la répartition des sources d'importations de l'UE par pays.

\* En pratique seuls les 24 rubriques du secteur manufacturier ont été utilisées, à l'exception d'un usage de la bentonite et d'un usage du calcaire

## Commentaires sur les études de criticité de la C.E. (suite)

- > **Limites** : certaines limites de l'exercice sont importantes à connaître pour exploiter et interpréter l'étude, dont une partie sont exposées en fin du rapport de 2017.
  - Incertitudes parfois importantes sur les données et donc incertitudes au moins aussi importantes sur les scores obtenus ;
  - Seule la contribution d'une matière première à la part manufacturière de l'économie est évaluée, à partir de données publiques disponibles (Eurostat) qui ne sont pas toujours adaptées pour obtenir des scores indiscutables, ce qui peut aboutir à des résultats différents des perceptions de certains acteurs industriels et économiques ;
  - Il reste une part de subjectivité dans l'attribution d'un domaine d'utilisation d'une MPM à un secteur manufacturier donné ;
  - L'importance économique est censée être traduite par la valeur ajoutée des secteurs utilisateurs. Mais elle ne tient pas compte du degré d'importance de la substance pour le secteur utilisateur ;
  - Seules les données factuelles moyennes de production et d'utilisation des 5 années 2010 à 2014 ont été utilisées (pour le rapport 2017), sans introduction de facteurs de croissance ou d'anticipation d'évolution (*d'où par exemple le "supply risk" modéré du cobalt*) ;
  - La publication de la liste avec un seuil critique / non-critique ignore ces incertitudes ;
  - La formule de calcul de l'importance économique elle-même soulève des questions (*par exemple sur l'importance économique du scandium apparaissant supérieure à celle du lithium*).
- > Pour atténuer ces problèmes, la Commission européenne a publié, dans ses éditions de 2014 et de 2017, une annexe présentant pour chaque substance un memento ("**Fact sheet**") détaillant les éléments les plus pertinents pour en apprécier la criticité.
- > Ces "Fact Sheets" sont souvent plus pertinentes pour apprécier la criticité, mais elles sont moins adaptées (991 pages au total) à la communication synthétique, et donc moins diffusées ou reprises que le diagramme binaire.