



Approvisionnements en métaux critiques

Un enjeu pour la compétitivité des industries française et européenne

Blandine Barreau

Gaëlle Hossie

Suzanne Lutfalla

N°2013-04, juillet



Sommaire

Résumé-Abstract	5
Introduction	7
I Les deux dimensions de la criticité : l'importance économique et le risque d'approvisionnement	9
1.1. Matière première stratégique, critique ou rare ?	9
1.2. Comment définir l'importance économique ?	10
1.3. Les principaux risques d'approvisionnement	11
II Quelles sont les matières premières critiques pour la France ?	15
2.1. Les transports et l'énergie : deux secteurs stratégiques aux besoins d'approvisionnement spécifiques	15
2.1.1. Dans les transports	15
2.1.2. Dans l'énergie	17
2.2. Les risques d'approvisionnement sur les métaux indispensables aux industries d'avenir	17
2.2.1. Un risque d'épuisement physique peu réaliste pour la plupart des matériaux, des ruptures ponctuelles d'approvisionnement fortement probables	18
2.2.2. Géographie de la production mondiale des métaux stratégiques et risques géopolitiques et commerciaux	21
2.2.3. Les terres rares : forces et faiblesses de la Chine	23
2.2.4. Les risques environnementaux et sanitaires	25
2.2.5. L'impact des conflits politiques ou sociaux dans les pays producteurs	26
2.2.6. Les limites aux échanges internationaux imposées par certains producteurs	27
2.2.7. L'opacité des marchés et la volatilité des cours, freins à l'accès aux métaux stratégiques	28

III Solutions possibles et recommandations de politique publique	31
3.1. Envisager à long terme le recours aux ressources minières territoriales	33
3.2. Encourager la recherche sur les technologies permettant d'explorer et d'exploiter les ressources sous-marines.....	35
3.3. Approfondir la R & D sur les procédés de transformation métallurgique	36
3.4. Mieux valoriser les ressources secondaires	37
3.5. Identifier et sécuriser les approvisionnements en métaux stratégiques.....	38
3.6. Constituer des stocks stratégiques	40
3.7. Améliorer la transparence sur les marchés des métaux.....	40
3.8. Maintenir et développer des formations initiales et continues de qualité dans le domaine du cycle des matières premières.....	42
3.9. Mettre en œuvre une diplomatie des matières premières	43
3.10. Adopter une politique commerciale <i>ad hoc</i>	45
Conclusion	47
Annexe	
Annexe 1 - Risque de pénurie : les matériaux à surveiller	49
Bibliographie	51

Approvisionnement en métaux critiques

Un enjeu pour la compétitivité des industries française et européenne

Blandine Barreau

Gaëlle Hossie

Suzanne Lutfalla

Résumé

Ce document de travail analyse les risques liés à l'approvisionnement en « métaux mineurs » nécessaires à de nombreuses technologies d'avenir. Qualifiés de « critiques », ces métaux possèdent une grande importance économique – des secteurs aussi stratégiques que les transports et l'énergie en dépendent. Ils sont également soumis à des risques qui menacent leur approvisionnement – non pas parce qu'ils font l'objet d'une pénurie physique mais parce qu'il est difficile d'augmenter rapidement leur production, que les gisements actuellement en production sont très concentrés, et que d'autres facteurs aggravants les concernent : restrictions à l'exportation, indispensables réglementations sanitaires et environnementales, etc. Ce document formule des recommandations de politiques publiques susceptibles d'accompagner les entreprises françaises et européennes, de les aider à renforcer leur stratégie d'approvisionnement et à améliorer leur compétitivité par la mise en place de politiques industrielles adaptées (concernant le recyclage et les ressources minières notamment) et le développement de la coopération internationale et de la R & D.

Mots-clefs : Technologies ; industrie ; métaux mineurs ; terres rares ; sous-produit.

Abstract

This working paper addresses the various risks attached to the industrial supply of “minor metals”, which many key future technologies require. These “critical” metals have a high economic importance –sectors such as transportation and energy rely on them. They also face important supply risks –not so much because of a potential physical shortage but because their production cannot increase easily, current mining sites are geographically concentrated and other aggravating factors exist: export restrictions and necessary sanitary and environmental regulations. Public policy recommendations are suggested, designed to help French and European companies to strengthen their supply strategy and to improve their competitiveness: *ad hoc* industrial policies (regarding recycling and mineral resources for instance) and development of international cooperation and R&D.

Keywords: Technologies; industry; minor metals; rare earths; by-product.

Approvisionnement en métaux critiques

Un enjeu pour la compétitivité des industries française et européenne

Blandine Barreau

Gaëlle Hossie

Suzanne Lutfalla¹

Introduction

Moins visibles que les métaux de base comme le fer, le cuivre, l'aluminium, dont la production annuelle mondiale se chiffre en dizaines de millions de tonnes, les métaux mineurs, souvent produits à moins de 100 000 tonnes par an, ont longtemps vu leur rôle négligé. Ils sont pourtant présents aujourd'hui dans un grand nombre de produits de consommation courante et jouent de surcroît un rôle déterminant dans la production de technologies à haute valeur ajoutée.

Cette quarantaine de métaux mineurs, comme le tantale, le néodyme, le tungstène ou encore le lithium, illustrent la problématique des métaux dit « critiques », à la fois indispensables à l'économie et dont l'accès est parfois complexe à assurer. Car si la perspective d'une pénurie est à écarter, des ruptures ponctuelles d'approvisionnement pourraient survenir. En effet, avec une production de métaux qui ne dépasse pas, dans le meilleur des cas (celui du cuivre), 5 % de la production mondiale, l'Union européenne est très dépendante des importations, du fait de l'importante déprise et délocalisation industrielle du secteur minier européen à partir des années 1980. La concentration des gisements les plus rentables dans un petit nombre de pays producteurs accroît les risques liés à l'accès aux matières premières. Afin de limiter ces problèmes d'accès, il importe d'évaluer l'impact économique des interruptions d'approvisionnement puis de mettre en place des stratégies de réponse adaptées. Si c'est aux entreprises qu'en reviennent en premier lieu l'intérêt et la responsabilité, l'État peut les accompagner et les soutenir par ses politiques industrielles, de recherche, de développement durable et de coopération internationale. La problématique à laquelle la France est confrontée est donc moins une question de pénurie que de difficultés ponctuelles d'approvisionnement et de compétitivité des industries utilisatrices. Les problèmes d'accès aux métaux critiques, notamment à travers la volatilité de leurs cours, peuvent se traduire par la dégradation de la compétitivité-coût des industries con-

¹ Blandine BARREAU, Gaëlle HOSSIE et Suzanne LUTFALLA sont chargées de mission au département Développement durable, Commissariat général à la stratégie et à la prospective (blandine.barreau.strategie.gouv.fr)

Les auteurs tiennent à remercier tous les experts ayant contribué à ce travail, notamment l'atelier de cartographie de Sciences Po Paris.

sommatrices par rapport à des entreprises qui auront fait le choix d'utiliser d'autres matériaux.

Il s'agira donc pour les entreprises de déployer des stratégies permettant de s'approvisionner durablement et à des prix bas (diversification des partenaires commerciaux, ouverture de nouveaux gisements...). L'État peut les accompagner, notamment en soutenant la recherche sur des procédés visant à diminuer le coût des matières premières dans les produits finaux (évolution des technologies, substitution, recyclage, développement de l'éco-conception) et en relançant la prospection sur le territoire français. *In fine*, la politique industrielle visera à éviter la délocalisation des industries aval dépendantes des métaux critiques.

Les enjeux

Depuis une dizaine d'années, de fortes tensions sur l'approvisionnement de l'industrie en métaux, en partie dues à la demande croissante des pays émergents, notamment celle de la Chine, et à des mesures de restriction des exportations, ont fait prendre conscience aux pouvoirs publics de l'importance de l'accès aux ressources. Plusieurs réflexions ont récemment été menées par l'OCDE, la Commission européenne, ainsi qu'aux États-Unis, au Japon, en Allemagne et en France.

Bien que la crise économique actuelle ait fait chuter les prix de certaines matières premières, la croissance de la demande, l'augmentation durable des cours et l'intensification de leur volatilité depuis le début des années 2000 sont des tendances lourdes. L'industrie utilise en effet plus de matériaux et en plus grandes quantités : un téléphone portable contient ainsi une quarantaine d'éléments, soit presque la moitié des 94 éléments naturels que comporte la classification périodique des éléments (CPE). L'élaboration d'une stratégie de gestion de l'approvisionnement en métaux est donc cruciale pour ne pas mettre en péril la croissance et la compétitivité des secteurs fortement consommateurs tels que l'automobile, les énergies décarbonées, les télécommunications...

Le présent document de travail présente une série de métaux stratégiques pour certains secteurs de l'industrie française ; après un passage en revue des différents risques d'approvisionnement, il analyse les leviers à disposition de l'État et des entreprises pour anticiper et faire face à des situations de tensions sur les approvisionnements. Il formule enfin des recommandations de politiques publiques en la matière.

I Les deux dimensions de la criticité : l'importance économique et le risque d'approvisionnement

1.1. Matière première stratégique, critique ou rare ?

Ce document de travail traite plus spécifiquement des métaux « mineurs »² : cette qualification désigne les métaux qui ne sont pas échangés sur les marchés organisés comme le London Metal Exchange³ (LME), la principale bourse mondiale de métaux non ferreux. Ceux-ci font dès lors l'objet d'un marché moins transparent, caractérisé par de faibles volumes d'échanges. Cette étude prend également en compte le cobalt et le molybdène qui sont échangés sur le LME depuis 2010, ainsi que le platine et le palladium qui peuvent être considérés comme des métaux précieux.

Différents adjectifs sont employés pour qualifier ces métaux : rares, stratégiques ou critiques (« critical » en anglais).

Le terme « rare » peut mener à des confusions puisqu'il est utilisé à la fois pour désigner la famille chimique des terres rares (qui ne sont d'ailleurs pas si rares, cf. encadré 1) et pour désigner les matières premières peu abondantes.

Encadré 1

Les terres rares

La famille chimique des terres rares comporte dix-sept éléments aux caractéristiques particulières, souvent présents sous forme de mélange dans les minerais. Ils ont été qualifiés de « rares » au moment de leur découverte, au XVIII^e siècle, en référence à l'état des connaissances de l'époque.

Bien que relativement abondants dans la croûte terrestre, on ne les trouve qu'exceptionnellement dans des concentrations assez élevées pour pouvoir être exploités pour eux-mêmes de manière rentable. On distingue :

- les terres rares légères : lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, prométhium, samarium ;
- les terres rares lourdes dont les concentrations dans les gisements sont encore plus faibles : scandium, yttrium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutétium.

Leurs propriétés catalytiques, électriques, magnétiques, chimiques et optiques sont très recherchées et bien que souvent utilisées en petites quantités, elles sont indispensables à la miniaturisation de certains équipements ainsi qu'à beaucoup de produits de haute technologie : éoliennes et moteurs des véhicules électriques et hybrides (aimants permanents), éclairage basse consommation, disques durs d'ordinateur, écrans vidéo, etc.

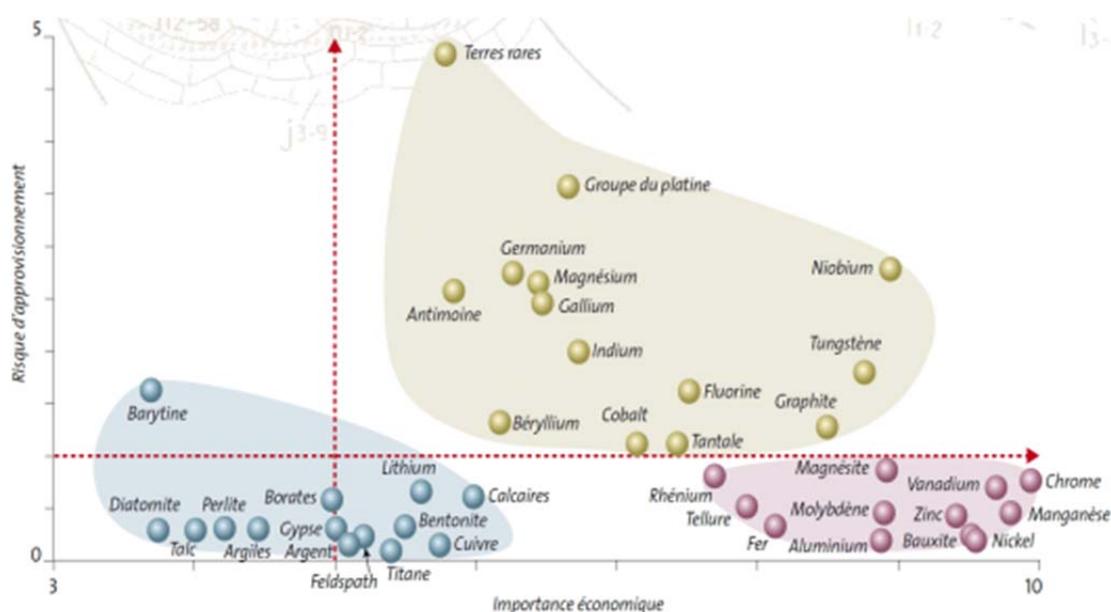
² Selon la définition de l'association dédiée aux métaux mineurs, Minor Metals Trade Association (MMTA), qui en recense quarante-neuf.

³ Sur le LME s'échangent les métaux de base tels que l'aluminium, le cuivre, le plomb, le nickel, l'étain, le zinc, ainsi que de l'acier sous forme de billettes. Depuis 2010, des petits métaux comme le cobalt et le molybdène sont également échangés sur ce marché.

Les définitions variant selon les études et les points de vue, nous considérerons comme « stratégiques » les matières premières indispensables aux différentes filières de l'économie d'un pays, indépendamment des risques pouvant peser sur leur approvisionnement : c'est le cas du dysprosium, du gallium, du germanium, du néodyme ou du tellure pour les énergies renouvelables. Un **métal critique** désignera par ailleurs un **métal dont la chaîne d'approvisionnement est menacée et pour lequel l'impact d'une restriction d'approvisionnement serait néfaste à l'économie d'un pays** (Committee on Critical Mineral Impacts of the U.S. Economy *et al.*, 2008).

La criticité d'une matière première est donc définie selon deux dimensions dont l'une correspond au caractère stratégique du matériau considéré et l'autre aux risques pesant sur la chaîne de valeur correspondante.

Graphique 1
Une illustration des composantes de la criticité
les matériaux critiques, selon la définition de la Commission européenne



Source : Braux et Christmann (2012).

1.2. Comment définir l'importance économique ?

L'importance économique des différents métaux mineurs est difficile à évaluer : ils peuvent être utilisés sous de multiples formes (poudres, alliages, métal brut), dans de nombreux secteurs et dans des quantités très variables (de quelques grammes, pour le tantale dans les téléphones portables à plusieurs centaines de kilogrammes, pour le néodyme dans les éoliennes). Le rapport de la Commission européenne (2010) retient une définition purement quantitative de leur importance économique, sur la base la contribution au PIB européen des différents métaux étudiés⁴, en fonction de leurs « méga-secteurs » d'application⁵. Cette

⁴ Regroupement de plusieurs secteurs de la nomenclature NACE (Nomenclature statistique des activités économiques) en « méga-secteurs » afin de représenter une chaîne de valeur ajoutée.

méthode est largement imparfaite : elle assimile le pourcentage d'utilisation d'un matériau dans un secteur donné à la contribution en valeur ajoutée de ce matériau pour ledit secteur. Elle ne permet pas de détecter les besoins des marchés de niche mais a l'avantage de pouvoir être mise à jour rapidement avec la publication de nouvelles statistiques et de permettre un suivi. Ainsi, une fois ramené à un indicateur entre 1 – faible importance économique – et 10 – très forte importance économique –, tous les métaux mineurs pris en compte dans l'étude ont un indicateur d'importance économique supérieur à 5 : c'est le cas par exemple du germanium, du magnésium, du niobium, du cobalt ou du rhénium. L'analyse conclut que les « méga-secteurs » qui nécessitent le plus grand nombre de métaux mineurs sont ceux des métaux (qui regroupe les secteurs NACE de la manufacture des métaux de base, des métaux fabriqués et du recyclage des métaux), de l'électronique et des TIC, de la chimie, de l'équipement mécanique et du matériel de construction, et du transport routier.

Le rapport sur les métaux critiques pour le secteur de l'énergie publié par le DOE, ministère américain en charge de l'énergie, utilise quant à lui une approche semi-quantitative (Department of Energy, 2011). En se focalisant sur un domaine particulier, celui des énergies vertes, il étudie à la fois l'importance de la demande liée à ce secteur et les limites de la substituabilité du métal considéré. Ainsi, plus la demande du secteur est forte et moins le matériau est substituable, plus le matériau sera stratégique.

En France, les travaux du BRGM⁶, réalisés à la demande du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, ont étudié le caractère stratégique d'un certain nombre de matières premières minérales.

Si de nombreux domaines de l'économie sont sensibles à la disponibilité en matières premières minérales, ce document de travail s'intéresse plus particulièrement aux secteurs de l'énergie et des transports⁷ qui représentent respectivement 14 % et 9 % du PIB⁸.

1.3. Les principaux risques d'approvisionnement

Il existe de multiples risques sur l'accès à ces matériaux, qui vont de la pénurie de ressources géologiques à la volatilité des marchés des matières premières, pour ne citer que les plus médiatisés.

À l'inverse, trois facteurs peuvent diminuer les tensions sur l'approvisionnement : le recyclage qui permet de produire des matières premières à partir de déchets, les économies de matières (à performances équivalentes) et la substitution qui consiste à utiliser un autre matériau ayant des propriétés similaires.

Les difficultés s'accroissent en effet pour les industriels quand les possibilités de substitution du métal critique sont peu intéressantes : lorsque les quantités utilisées sont infinitésimales – de sorte que l'impact prix est relativement faible –, le risque le plus important est

⁵ La contribution correspond à la part dans le PIB du secteur économique utilisant le matériau, pondérée par le pourcentage de la matière première utilisée dans ce secteur.

⁶ Le BRGM s'est jusqu'à présent intéressé à l'antimoine, au béryllium, au gallium, au germanium, au graphite, au lithium, au molybdène, au niobium, au rhénium, au sélénium, au tantale, au tellure et au tungstène. Les fiches synthétiques et les rapports publics complets analysant le marché de ces matières premières sont disponibles sur : <http://www.mineralinfo.fr/panoramas.html>.

⁷ Les secteurs des transports regroupent les activités liées aux industries automobile et aéronautique.

⁸ Données 2010, INSEE.

alors la pénurie ponctuelle qui va menacer l'activité même de l'industrie : la valeur du tantale contenu dans les téléphones portables ou de l'indium dans les téléviseurs à écran plat est ainsi presque négligeable, mais ces matériaux sont difficilement substituables. Dans d'autres cas, le prix d'un métal difficilement substituable peut sérieusement renchérir le coût du produit final : le catalyseur des automobiles diesel contient trois grammes de platine, dont le prix approche aujourd'hui les 50 dollars/gramme ce qui fait près de 150 dollars par véhicule.

Ces éléments de stratégie sont complexes à mettre en œuvre : beaucoup de produits n'ont ainsi pas été conçus en vue de leur recyclage (leurs caractéristiques de conception et leur durée de vie, parfois très longue, devient alors un obstacle en la matière). De plus, le développement de substitutions à grande échelle peut nécessiter d'importants investissements de recherche et d'industrialisation.

La Commission européenne (2010, *op. cit.*) a opté pour une analyse des risques basée sur la diversité des pays producteurs et leur stabilité politique. Cet indicateur est modulé en fonction de l'importance du recyclage et des possibilités de substitution.

Le DOE utilise quant à lui un indicateur agrégeant de multiples facteurs pondérés. On y retrouve les risques liés à la production minière (disponibilité de la ressource, diversité des pays producteurs et des entreprises, risques politiques et sociaux, risques spécifiques aux métaux sous-produits d'une autre industrie minière) et à la demande (compétition entre les différentes utilisations d'un matériau).

En France, plusieurs rapports d'information remis à l'Assemblée nationale ou au Sénat ont abordé la problématique des matériaux stratégiques (Birraux et Kert, 2011 ; Loos et Vautrin, 2011 ; Blanc, 2011). Sans définir de méthodologie propre, ils s'intéressent à l'importance de certains métaux (les terres rares notamment), analysent certains facteurs de risques (la dynamique des marchés par exemple) et montrent la nécessité de sécuriser les approvisionnements français. Le Comité pour les métaux stratégiques (COMES) a également été créé début 2011. Il réunit les différentes parties prenantes (ministères, établissements publics concernés, fédérations professionnelles et entreprises...) dans le but de soutenir la conception et le suivi de la politique sur la sécurité d'approvisionnement en matériaux stratégiques⁹.

⁹ Voir le décret n° 2011-100 du 24 janvier 2011 portant création du COMES : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000023474859&dateTexte=&categorieLien=id>

Tableau 1
Les matériaux critiques*

Commission européenne	US Department of Energy
Dix-sept terres rares*	<i>Critiques</i> Cinq terres rares
Antimoine	Dysprositum
Beryllium	Europium
Cobalt	Terbium
Fluorine	Yttrium
Gallium	Néodyme
Germanium	<i>Quasi critiques</i>
Graphite	Deux terres rares
Indium	Lanthane
Magnésium	Cerium
Six platinoïdes	Lithium
Tantale	Tellure
Tungstène	Indium

* Voir encadré 1.

Sources : Commission européenne (2010) et US Department of Energy (2011).

II Quelles sont les matières premières critiques pour la France ?

2.1. Les transports et l'énergie : deux secteurs stratégiques aux besoins d'approvisionnement spécifiques

Les petits métaux sont des intrants nécessaires à d'importantes filières industrielles françaises, matures ou en développement. Il ne s'agit pas ici de proposer une liste exhaustive des produits et par conséquent des secteurs industriels utilisateurs de ces métaux mais plutôt de mettre en évidence leur caractère stratégique pour la compétitivité française en exposant quelques applications clés. Parmi les industries illustrant tout particulièrement cette réalité, on trouve les transports (aéronautique, automobile, construction navale, ferroviaire) et l'énergie (l'industrie pétrolière, le nucléaire, l'éolien, le solaire photovoltaïque). La part du budget des entreprises allouée à l'achat de métaux mineurs est en général réduite, du fait des faibles quantités nécessaires, ce qui diminue la visibilité des risques pour ces approvisionnements. Par ailleurs, il peut arriver qu'une entreprise intégratrice ne connaisse pas parfaitement l'intégralité des métaux contenus dans les composantes de ses produits finis : cette tendance s'est renforcée avec le développement de la sous-traitance, notamment pour des raisons de secret industriel. En outre, les plus petites d'entre elles n'ont pas forcément les moyens humains et financiers de se doter d'outils d'identification des matières premières critiques et d'analyse d'impact de celles-ci sur leurs activités. Le signal vient alors de l'augmentation significative des prix d'un métal ou de difficultés d'approvisionnement par les acteurs qui, en amont de la chaîne, achètent des matières premières. Ces contraintes se répercutent à leur tour sur le composant : l'entreprise utilisatrice prend alors conscience de la vulnérabilité de sa chaîne de production. Ce défaut d'anticipation peut fortement limiter l'éventail disponible de stratégies appropriées d'autant plus que leur mise en œuvre nécessite de nombreuses années en cas de réelle crise : réduction de la consommation, recyclage, substitution, diversification des achats, etc.

2.1.1. Dans les transports

Les alliages de petits métaux sont utilisés au cours de procédés de production de pièces spécifiques ou dans la composition de certaines d'entre elles : ils confèrent ainsi des performances particulières aux structures des véhicules routiers et ferroviaires, des navires et des aéronefs. Ces besoins particuliers concernent aussi bien les équipements (trains d'atterrissage, rails, équipements au sol, etc.) que l'enveloppe du véhicule (fuselage et voilure pour l'aéronef, carrosserie et caisse en blanc¹⁰ des voitures, coques de navire, etc.) qui doit notamment répondre à des contraintes de résistance aux chocs et à la corrosion. Dans le secteur automobile, le coût moyen des matières premières n'est pas négligeable : il atteindrait 2500 à 3000 euros pour un véhicule de gamme moyenne. Dans l'aéronautique, les groupes motopropulseurs, soumis à des contraintes mécaniques et thermiques élevées (supérieures à 600°C pour les pales des turboréacteurs), en contiennent également. De plus, la tendance est à la mise au point de véhicules de plus en plus légers pour tous les modes de transport, principalement pour réduire la consommation d'énergie. Ainsi, les évolutions que connaissent aujourd'hui le secteur des transports, orientées vers l'allègement des équipements et de la structure des véhicules, leur électrification, leur informatisation croissante et l'amélioration des performances des moteurs thermiques supposent un recours plus important à ces petits métaux. Ils sont toutefois en concurrence avec des maté-

¹⁰ Dans la fabrication d'une voiture, la caisse en blanc se réfère à l'étape de l'élaboration dans laquelle l'ensemble des tôles métalliques a été découpé, embouti et ajusté par des points de soudure.

riaux céramiques (issus de minéraux industriels comme la silice ou les argiles) ou des matériaux plastiques (fabriqués à partir d'hydrocarbures et faisant intervenir des catalyseurs métalliques) même si des combinaisons sont envisageables (matériaux composites).

Les métaux et alliages utilisés diffèrent selon les secteurs, les exigences imposées aux véhicules n'étant pas les mêmes entre l'aéronautique, le routier, le ferroviaire et le maritime du fait de conditions opératoires, mais également de contraintes de coûts distinctes. Ceci étant, les petits métaux employés sont généralement – dans des proportions variables – :

- le rhénium pour la résistance aux fortes températures ;
- le magnésium pour la légèreté (sauf dans l'automobile, où il est rarement utilisé en dehors des roues de véhicule haut de gamme) ;
- le titane pour la bonne résistance mécanique et thermique de la température ambiante à 550°C et la légèreté (il n'est pas utilisé dans l'automobile pour des raisons de coût) ;
- le niobium pour la résistance mécanique et la légèreté en particulier dans les aciers haute résistance faiblement alliés (HSLA – High Strength Low Alloy) ;
- le cobalt pour la résistance à l'usure ;
- le molybdène pour une meilleure résistance à la corrosion dans les aciers au nickel-chrome-molybdène pour les trains d'atterrissage des avions ;
- les alliages fer-cobalt, dans les génératrices de bord ou les actionneurs des avions pour leurs propriétés magnétiques performantes notamment à haute température ;
- le lithium dans les alliages aluminium-cuivre-lithium-argent qui sont des alliages à densité réduite et meilleurs en tenue à la corrosion et en tolérance au dommage ;
- les alliages au béryllium pour leur légèreté, leur stabilité mécanique, leur résistance à l'usure par frottement et à la corrosion : les alliages aluminium-béryllium sont par exemple utilisés dans les structures d'avion.

Les petits métaux sont également utilisés dans les systèmes d'alimentation en énergie, en particulier dans les moteurs électriques servant à la traction ou alimentant les équipements du véhicule (vitres électriques, essuie-glaces, etc.), et dans les batteries. On trouve :

- les terres rares dans les aimants permanents¹¹ des moteurs électriques : néodyme, et dysprosium ainsi que praséodyme et terbium en très faibles quantités dans les aimants fer-néodyme-bore (FeNdB) ; samarium et gadolinium (également en très faible quantité) dans les aimants samarium-cobalt (SmCo) ; lanthane en quantité infime dans certains aimants ferrites. Le recours à l'un ou l'autre de ces aimants va dépendre du compromis entre les performances recherchées (propriétés magnétiques, encombrement, stabilité thermique) et leur coût. Les aimants FeNdB aux performances magnétiques élevées, surtout lorsqu'une forte miniaturisation est primordiale, étaient l'option la plus avantageuse jusqu'à la montée fulgurante du prix des terres rares à partir de l'été 2010. Le pic a été atteint à l'été 2011 et depuis les cours sont redescendus¹².
- le lithium et le cobalt dans les batteries lithium-ion ;
- les terres rares (lanthane, cérium, praséodyme, néodyme) dans les batteries nickel-métal-hydrure ;
- l'antimoine dans les batteries au plomb.

Enfin, les petits métaux sont particulièrement utilisés dans le transport automobile pour la maîtrise des émissions polluantes : le cérium, le zirconium, les platinoïdes (le platine, le palladium et le rhodium dans les pots catalytiques des véhicules diesel et essence) et d'autres terres rares comme le lanthane, le néodyme et le praséodyme.

¹¹ Il existe également un quatrième type d'aimants permanents à base d'aluminium, de nickel, de cobalt et de fer (AlNiCo) qui ne contient pas de terres rares.

¹² Source : <http://www.metal-pages.com/>.

2.1.2. Dans l'énergie

Les métaux mineurs sont utilisés tant pour la production, le transport que pour la transformation des énergies fossiles :

- certains, à l'instar du lanthane, du cérium, du platine, du palladium, du rhénium, du molybdène, du tungstène et du cobalt, sont employés comme catalyseurs pour le raffinage du pétrole (ou dans la pétrochimie pour la fabrication des matériaux plastiques) ;
- la présence de vanadium, de titane, de molybdène dans les aciers permet de lutter contre la corrosion dans les équipements courants de production pétrolière.

Les métaux mineurs sont également présents dans le secteur des énergies décarbonées :

- dans le nucléaire civil : les crayons de combustible d'uranium sont entourés d'une gaine en zircaloy (alliage de zirconium recherché pour ses propriétés de transparence aux neutrons et de résistance à la corrosion), le béryllium (sous forme d'oxyde ou de métal) est utilisé comme modérateur de neutrons dans les centrales nucléaires ;
- dans le photovoltaïque : l'indium, le gallium et le sélénium sont utilisés dans les cellules CIGS¹³, le germanium dans les multi-jonctions, le cadmium et le tellure dans les cellules CdTe ;
- dans l'éolien : les aimants FeNdB des génératrices éoliennes contiennent du néodyme, du praséodyme, du dysprosium et du terbium.

Leur utilisation est également recherchée pour certaines technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique, parmi lesquelles :

- l'éclairage basse consommation : les luminophores¹⁴ utilisés dans la fabrication de lampes fluocompactes renferment des terres rares : le rouge contient de l'yttrium et de l'euporium, le vert du lanthane, du cérium et du terbium et le bleu de l'euporium ; les LED contiennent de l'yttrium, du cérium et du gallium ;
- les piles à combustible : le platine y est utilisé comme catalyseur.

Outre les transports et l'énergie, un grand nombre d'autres industries sont concernées : la chimie et la pharmacie, le secteur des composants électroniques, l'électronique grand public et plus généralement les technologies de l'information et de la communication, les équipements médicaux et le secteur de la défense militaire.

2.2. Les risques d'approvisionnement sur les métaux indispensables aux industries d'avenir

Avec une production de métaux qui ne dépasse pas, dans le meilleur des cas (cuivre), 5 % de la production mondiale, l'Union européenne est très dépendante des importations. Cette dépendance est totale notamment pour l'antimoine, le cobalt, le molybdène, le niobium, les platinoïdes (approvisionnements couverts à 60 % par les importations sud-africaines, à 30 % par les importations russes), les terres rares, le tantale, le titane, ou encore le vanadium¹⁵, et importante pour l'indium (plus de 80 % des importations européennes viennent de Chine, source : Commission européenne, 2010, *op. cit.*).

¹³ CIGS : cuivre-indium-gallium-sélénium.

¹⁴ Un luminophore est un matériau qui émet de la lumière lorsqu'il subit une excitation. La combinaison de trois luminophores : un bleu, un rouge, un vert, produit de la lumière blanche.

¹⁵ La dépendance aux importations exprime le rapport des importations nettes à la consommation apparente d'un pays ou d'une région. Elle est de 100 % pour l'Union européenne pour les métaux cités.

La France ne fait pas exception à la situation européenne. De multiples facteurs peuvent affecter ses importations de métaux : l'indisponibilité physique des métaux, la concentration de la production mondiale dans un nombre restreint de pays, les risques environnementaux et sanitaires qui peuvent provoquer la fermeture de certains sites de production, les restrictions aux exportations mises en place par des pays producteurs, ou encore l'opacité et la volatilité des cours sur les marchés des métaux mineurs.

2.2.1. Un risque d'épuisement physique peu réaliste pour la plupart des matériaux, des ruptures ponctuelles d'approvisionnement fortement probables

Les estimations géologiques actuelles des ressources minérales conventionnelles ne laissent pas augurer de pénurie pour la majorité des métaux.

À noter que les ressources minérales conventionnelles représentent les gisements connus, techniquement exploitables. Elles comprennent donc les ressources non rentables et la base de réserve. Cette base de réserve (terme utilisé par l'U.S. Geological Survey) correspond à des ressources économiquement exploitables au moment présent (les réserves) et à court terme (U.S. Geological Survey, 1980).

Pour la plupart des métaux, les réserves et ressources estimées, sont suffisantes pour assurer plusieurs dizaines d'années de production au rythme actuel.

Cependant, les tendances démographiques et sociétales mondiales (augmentation de la population, urbanisation croissante, évolutions des modes de vie vers l'intensification de la consommation de matières premières notamment dans les pays en développement) laissent augurer que la demande en métaux devrait continuer à croître à long terme. Cette dernière est depuis la fin des années 1990 tirée en grande partie par celle des pays émergents : auparavant fournisseurs de matières premières, ils ont connu un important développement industriel dans les secteurs à haute valeur ajoutée, ainsi qu'une forte urbanisation. La Chine, dont la production de terres rares est désormais essentiellement orientée vers les industries domestiques, est un exemple emblématique de la reconfiguration des relations commerciales mondiales autour des matières premières. Par ailleurs, l'industrie mondiale utilise une gamme de plus en plus large de petits métaux car leurs propriétés les ont rendus indispensables à la miniaturisation de nombreux équipements. Ainsi, l'utilisation du tantale a permis de réduire considérablement la taille des téléphones portables en rendant possible la mise au point de micro-condensateurs.

La prospective n'est cependant pas aisée en la matière, car les ressources, les réserves et les usages évoluent dans le temps, en fonction des découvertes géologiques, des progrès technologiques et des prix, qui déterminent la rentabilité des exploitations. L'évolution de la demande est également difficile à prévoir (cf. encadré 2).

Encadré 2

Déterminer la disponibilité future d'un métal : *le cas du cuivre*

Le cuivre n'est pas un « petit métal » : il entre dans la fabrication d'un grand nombre d'équipements électriques, et sa production mondiale était estimée entre 16 et 17 millions

de tonnes entre 2010 et 2012 par le *United States Geological Survey* (USGS), l'agence américaine en charge de l'étude des ressources et des risques naturels au niveau fédéral. Il existe cependant un certain nombre d'incertitudes autour de sa disponibilité à venir.

L'USGS estime ainsi que les ressources totales (identifiées, estimées et non découvertes) représenteraient trois milliards de tonnes, et les réserves 630 millions de tonnes. On disposerait donc de 33 à 166 ans de consommation au rythme actuel¹⁶.

Cependant, l'augmentation de la production au cours de la décennie 2000-2010 (+ 20 %) pourrait se poursuivre à un rythme comparable jusqu'en 2020. L'ampleur et la croissance de la demande chinoise, qui aurait constitué 90 % de l'augmentation de la demande de cuivre entre 2002 et 2007 (Loos et Vautrin, *op. cit.*), et plus largement celle des pays émergents, devraient se maintenir.

Les acteurs attendent un surplus d'offre, dû à l'augmentation de la production mondiale, dans les prochaines années. À partir de 2020, un déséquilibre offre-demande pourrait toutefois survenir. Certains observateurs vont même jusqu'à dire que la demande pourrait, en 2035, excéder la production de plus de 60 %¹⁷.

Le risque de rupture prolongée concerne essentiellement les sous-produits, dont la production dépend de celles d'autres matériaux, et dont l'offre est particulièrement inélastique et la disponibilité peu connue, car difficile à évaluer. Elle dépend en effet de la production du métal principal, de la teneur en sous-produit dans les gisements¹⁸ de ces métaux et de l'intérêt économique de séparer ce même sous-produit. Les principaux groupes miniers (intégrant l'étape de première transformation des minerais) et métallurgiques semblent témoigner d'un faible intérêt pour ces petits marchés. Ils se recentrent aujourd'hui sur les grands minerais qui leur assurent un bénéfice constant (Department of Energy, *op. cit.*), ne produisent donc des métaux rares que lorsqu'il s'agit de sous-produits des métaux de base (zinc, plomb, cuivre, nickel, aluminium) et ne publient pas de données sur ces productions, alimentant l'opacité du secteur. Certains métaux mineurs qui sont aussi des sous-produits pourraient donc être sujets au risque de pénurie : l'indium et le gallium, pour lesquels l'USGS ne donne pas d'estimation chiffrée de réserve ou de ressource, ainsi que l'antimoine (qui était par ailleurs extrait des gisements exploités par le passé en Auvergne et en Vendée), le germanium (de la même manière, l'ancienne mine de zinc de Saint-Salvy en était un producteur important), le sélénium et le tellure, pour lesquels des données sont uniquement disponibles pour les réserves, qui seraient inférieures à vingt ans¹⁹.

¹⁶ Consommation 2010 : 18,5 millions tonnes. Source : U.S. Geological Survey (2012).

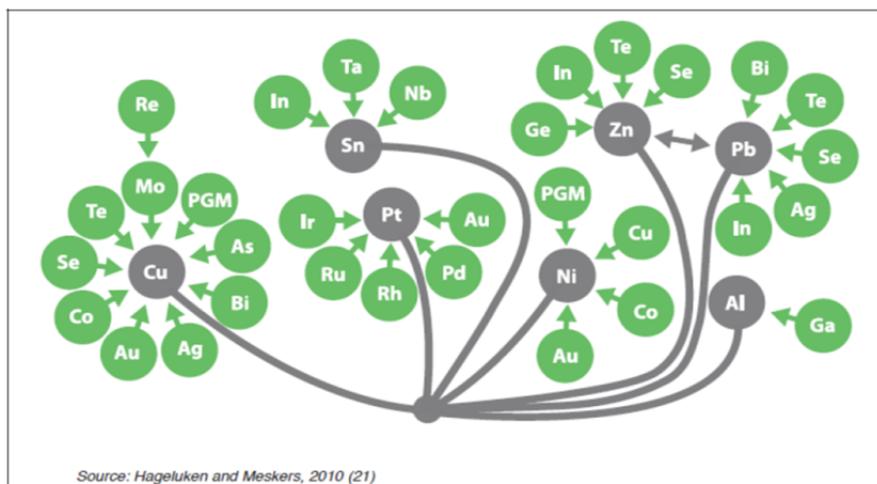
¹⁷ Source : CRU, cabinet de conseil britannique expert en production minière, métaux et fertilisants.

¹⁸ Un gisement est une concentration minérale, économiquement exploitable et rentable dans les conditions et le système économique du moment, socialement acceptable, dans un environnement durablement protégé et avec un futur après mine maîtrisé.

¹⁹ Voir annexe 1.

Schéma 1

Les principaux sous-produits provenant du cuivre, de l'étain, du zinc, du plomb, du nickel, de l'aluminium et du platine*



* Les métaux sont représentés par le symbole de leur élément correspondant dans la classification périodique des éléments, sauf pour les platinoïdes (PGM).

Source : Resnick Institute (2011).

Si le risque d'épuisement physique est donc à relativiser, et celui de rupture d'approvisionnement prolongée à circonscrire à un nombre réduit de sous-produits (cf. *supra*), des progrès techniques et technologiques sont nécessaires pour assurer la rentabilité des activités d'exploitation. Les teneurs des gisements actuellement exploités sont en effet généralement de plus en plus faibles, les plus productifs – et donc les plus rentables – ayant été exploités prioritairement par le passé.

Les principaux risques résident plutôt dans la latence entre l'augmentation des besoins et la mise sur le marché des produits de la mine, ainsi que dans l'insuffisance des investissements dans l'exploration et l'exploitation. En effet, l'offre de métaux ne s'ajuste pas aisément à une augmentation importante de la demande : la mise en production d'un projet minier demande un délai de cinq à quinze ans, ce qui peut conduire à des ruptures ponctuelles pouvant durer de quelques mois à plusieurs années.

L'approvisionnement en lithium et en certaines terres rares pourrait par exemple s'avérer problématique malgré la mise en œuvre de projets d'exploitation. On compte globalement plus de trois cents projets miniers de terres rares en dehors de la Chine dont quarante à un stade avancé : seuls trois à six pourraient aboutir au cours de cette décennie. Pour le lithium, on recense une vingtaine de projets notamment en Amérique latine : cependant, dans le cas d'une large diffusion des véhicules hybrides et électriques à batterie lithium-ion, la demande pourrait dépasser la production d'ici une dizaine d'années. Il est probable qu'à l'horizon 2020, la production de néodyme, terre rare légère utilisée dans les aimants permanents, ne suffise pas à satisfaire la demande puisqu'à cette date, les nouveaux projets d'exploitation ne seront pas encore tous en production. Plus incertain encore est l'approvisionnement en terres rares lourdes comme le dysprosium (indispensable à la production des aimants permanents des éoliennes *offshore* à entraînement direct), le gadoli-

nium (nécessaire aux dispositifs médicaux type IRM) ou le terbium (tubes fluorescents), car les mines qui devraient s'ouvrir à moyen terme n'en contiendront qu'une faible quantité²⁰.

Ces pronostics se basent sur des méthodes prospectives qui consistent à élaborer des scénarios : celles du DOE américain sont par exemple basées sur des projections tendancielles de l'équilibre entre l'offre et la demande mondiale d'ici à 2025, selon différentes modalités technologiques de diffusion et selon les projets de production d'ici à 2015 (Department of Energy, *op. cit.*). Le DOE conclut à la criticité à court terme (avant 2015) et à moyen terme (2015-2025) des approvisionnements en dysprosium, europium, terbium, yttrium et néodyme. Le cérium, le lanthane, le tellure et l'indium seraient, quant à eux, quasi-critiques à court terme tandis que le lithium et le tellure le seraient à long terme. S'agissant du cérium, du lanthane, du tellure et du lithium, la quasi-criticité tient bien plus à leur importance économique dans le secteur des énergies propres qu'au risque de rupture d'approvisionnement. Dans le cas précis du lithium, il existe d'importantes réserves présentes dans les *salars* boliviens et californiens, dont l'exploitation par évaporation ou osmose inverse, est bien moins coûteuse que l'extraction des gisements souterrains.

Des progrès technologiques sont également requis pour atteindre de nouvelles ressources sous-marines qui éloigneraient d'autant plus le spectre d'une éventuelle pénurie physique. Le cas des nodules et amas polymétalliques découverts à plus de 5 000 m de profondeur dans l'océan Pacifique est plus épineux : il n'existe actuellement aucune technologie permettant de les exploiter, malgré les recherches menées dans plusieurs pays depuis les années 1980. La Chine s'est fixée l'objectif d'y parvenir d'ici à 2030²¹. Des équipes japonaises mènent actuellement une mission de recherche au large de Tokyo, suite à la découverte d'un gisement de terres rares situé à 5 600 mètres de profondeur (cf. encadré 6).

2.2.2. Géographie de la production mondiale des métaux stratégiques et risques géopolitiques et commerciaux

Les difficultés d'accès à un métal dépendent de la concentration du minerai correspondant à la surface du globe, des caractéristiques des gisements, dont l'exploitation doit être rentable ; de la localisation des étapes de la chaîne de valeur allant du gisement à la production d'un bien ; du jeu des maisons de négoce dont la plupart sont situées à Singapour ou en Suisse et qui contrôlent le commerce mondial des matières premières ; du contrôle de la propriété intellectuelle existant à ces différentes étapes.

Indépendamment des risques de marché et des disponibilités physiques des matériaux, la forte concentration de certaines réserves, mines ou d'activités de métallurgie, éléments clés de la chaîne de valeur, au sein de quelques régions du globe peut être source de problèmes. Les terres rares, l'antimoine, le béryllium, le magnésium, le niobium, les platinoïdes et le tungstène proviennent ainsi au moins à 75 % d'un seul pays²². La Chine qui a par ail-

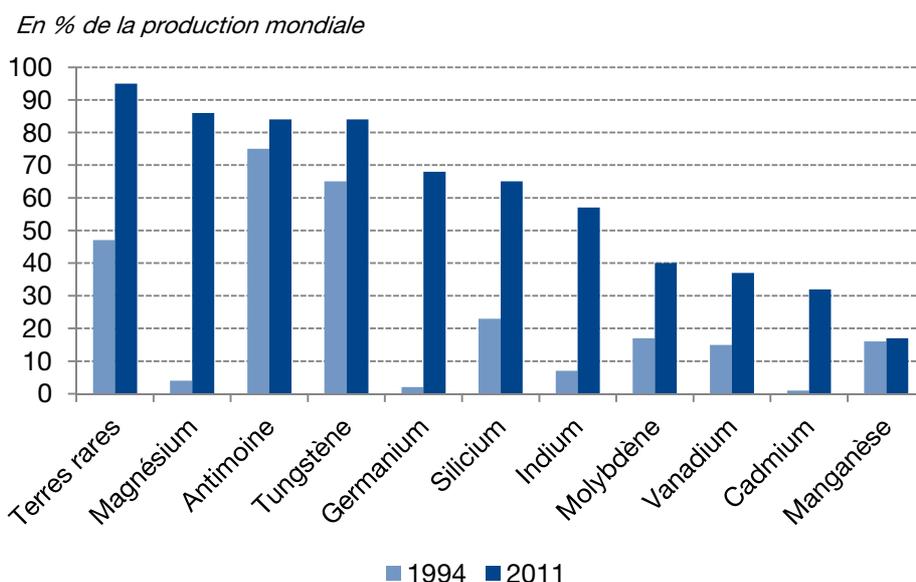
²⁰ Source : TMR, Technology, Metals, Research, *TMR Advanced Rare-Earth Projects Index*. <http://www.techmetalsresearch.com/metrics-indices/tmr-advanced-rare-earth-projects-index/>

²¹ Source : « La Chine veut développer les technologies d'exploitation en eaux profondes d'ici 2030 », *Le Quotidien du Peuple*, 30 mai 2012, entretien avec Sun Zihui, ancien directeur de l'administration océanique de l'État.

²² L'indicateur HHI (Hefindhal-Hirschman Index) mesure le degré de concentration d'un marché (expression du carré des parts de marché de tous les producteurs, généralement multiplié par 100). Il croît avec la concentration, entre les valeurs 100 et 10 000. Lorsqu'il est égal à 100, le marché n'est aucunement concentré : un grand nombre d'acteurs détiennent une part de marché comparable. En 2010, l'indicateur HHI des sept matériaux ou groupes de matériaux cités était supérieur à 6 000. (Source : Calculs CGSP, d'après U.S. Geological Survey, 2012).

leurs entrepris de développer son industrie minière, apparaît instantanément comme un acteur de premier plan : elle fait partie des trois premiers pays producteurs de treize matériaux stratégiques²³ et fournit plus de la moitié de la production mondiale de huit d'entre eux²⁴. Elle réalise aujourd'hui 97 % de la production mondiale de terres rares (scandium excepté), 90 % de celle d'antimoine, 93 % de celles du magnésium et 86 % de celle du tungstène. D'autres États occupent une position particulière parmi les producteurs de métaux : les États-Unis assurent 88 % de la production de béryllium, le Brésil produit à lui seul 92 % du niobium disponible et l'Afrique du Sud 77 % du platine mondial²⁵.

Graphique 2
Part de la Chine dans la production mondiale de métaux mineurs



Source : U.S. Geological Survey, 1996 et 2013; production annuelle 1994 et 2011.

²³ Antimoine, béryllium, cobalt, cuivre, germanium, graphite, indium, lithium, magnésium, silicium, lanthanides (15 terres rares), yttrium (terre rare), zirconium.

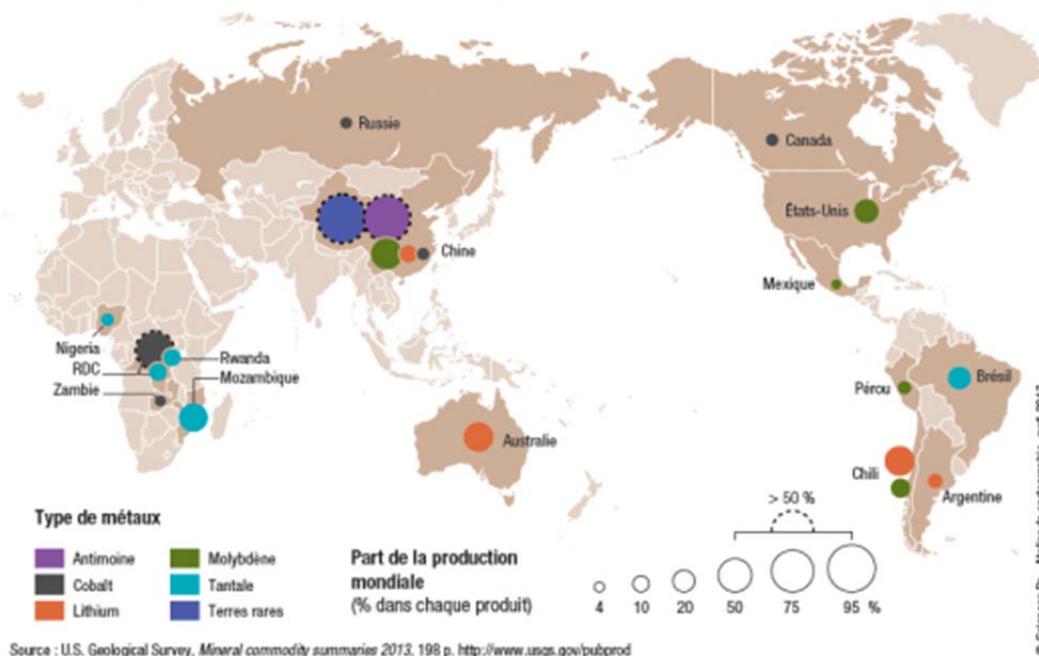
²⁴ Source : U.S. Geological Survey, 2012, données 2010.

²⁵ U.S. Geological Survey, données 2010 et Commission européenne, *op. cit.*

Production mondiale de métaux critiques*

Métaux critiques :

Principaux producteurs mondiaux et monopoles, 2011



* © Carte réalisée par l'Atelier de cartographie de Sciences Po Paris.

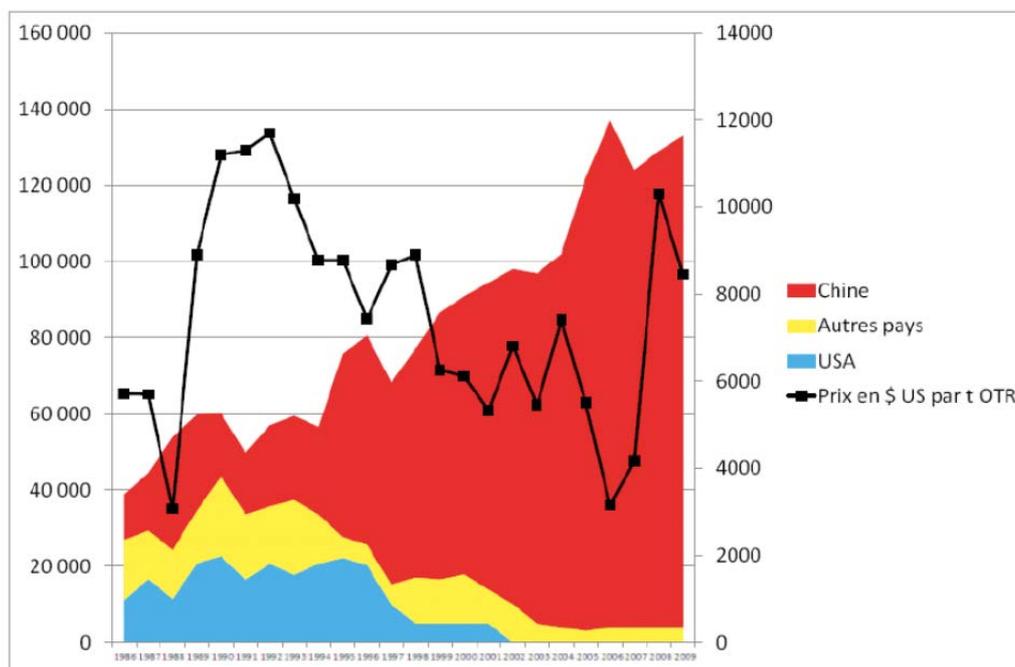
2.2.3. Les terres rares : forces et faiblesses de la Chine

La Chine dispose d'atouts géologiques et bénéficie de l'importance de sa superficie territoriale. Par ailleurs, elle a pu établir une position quasi-monopolistique dans la production mondiale de certains métaux à la faveur du désengagement d'entreprises américaines, européennes et australiennes au cours de la décennie 1990. Ainsi, elle s'est positionnée relativement tôt comme acteur mondial dans les activités en amont de la filière des terres rares (extraction, séparation, raffinage) : le site de Baotou, initialement producteur uniquement de fer, commence à produire des terres rares au début des années 1950. Mais c'est au cours des années 1990 que la Chine supplante les États-Unis au rang de premier producteur international. À cette époque, le premier acteur mondial, l'entreprise américaine Molycorp Inc., diminue puis finit par arrêter la production de sa mine en Californie (Mountain Pass), en 1998²⁶ du fait de l'aggravation de son déficit de compétitivité (coûts de production) vis-à-vis de ses concurrents chinois. De plus, Molycorp doit également faire face à de coûteuses réparations environnementales (dépollution de sites contaminés par des rejets radioactifs de thorium) alors que les entreprises chinoises ne sont pas soumises à de telles réglementations environnementales (Hedrick, 2000). La production américaine diminue alors de 75 % en un an, de 20 000 tonnes à 5 000 tonnes, tandis que la production chinoise augmente, jusqu'à atteindre plus de 90 % de la production mondiale en 2010 (plus de 130 000 tonnes). Le site de Baotou reste actuellement le principal site de production (terres rares légères, lanthane et cérium), qui génère 55 000 tonnes par an.

²⁶ En 1994, la Chine représente 47 % de la production mondiale de terres rares, et les États Unis 32 %. Source : U.S. Geological Survey, 1996.

Graphique 3

Évolution de la production mondiale d'oxydes de terres rares (tonnes) et de leurs prix annuels moyens (1986-2009)*



* Production : en tonnes (échelle de gauche) ; prix : en dollars constants par tonnes (échelle de droite) ; valeurs 1998 – source : US Geological Survey. Source : D'après BRGM (2011).

La Chine vise une montée en gamme rapide dans le domaine des hautes technologies, objectif explicite de son 12^e plan quinquennal²⁷. Ainsi, en aval, elle a beaucoup investi dans la R & D nécessaire à la production d'aimants permanents, de poudres luminophores et de multiples autres applications des terres rares. Cette stratégie, qui pourrait durablement affecter la compétitivité de nombreux segments des économies des pays de l'OCDE, a également été initiée avec le recul des industries américaines sur le marché, et notamment le rachat de la filiale de General Motors spécialisée dans la fabrication d'aimants permanents, Magnequench, par deux entreprises chinoises en 1995²⁸. Peu de pays conservent en effet une longueur d'avance technologique dans les secteurs aval : le Japon possède encore quelques brevets dans la fabrication d'aimants permanents.

Le secteur de la production de terres rares reste cependant relativement émietté en Chine (une vingtaine d'acteurs dans l'extraction, presque une centaine dans la purification et la séparation)²⁹, et l'économie souterraine (mines illégales ou productions détournées) y occupe une place importante. Le gouvernement central cherche donc actuellement à rationali-

²⁷ Le plan nomme sept secteurs stratégiques, dont les énergies renouvelables, les nouveaux matériaux et les véhicules « à nouvelles énergies ». Un plan sectoriel fixe l'objectif de porter à 15 % la contribution au PIB de ces sept secteurs d'ici à 2020. Par ailleurs, il préconise de limiter les exportations à faible valeur ajoutée afin de favoriser le développement des filières domestiques. Source : Wang *et al.*, 2010.

²⁸ À noter que l'entreprise a été de nouveau rachetée par Molycorp en 2012.

²⁹ Rare metal blog, "New rare earth access standard unveiled", 07/08/2012.

ser l'industrie³⁰ autour de quelques grands acteurs et à réaffirmer son pouvoir décisionnel face à celui des provinces et des municipalités, notamment en assujettissant l'autorisation d'ouverture des mines et des fonderies au respect de standards de production minimale ou de protection environnementale. C'est ainsi qu'il justifie essentiellement la réduction des quotas d'exportation de terres rares chinoises. Cette politique de restriction des exportations est à l'origine de la plainte déposée conjointement par les États-Unis, l'Union européenne et le Japon en 2012 à l'OMC (cf. *infra*).

La position dominante de la Chine dans ce secteur est toutefois relativement fragile : la demande chinoise de terres rares, appelée à augmenter, ne pourra être satisfaite par la production domestique. Ceci amènera probablement la Chine à devenir un investisseur important dans le développement de nouveaux gisements en dehors de leur territoire : c'est déjà le cas pour d'autres métaux. Les mines américaine et australienne, dont la mise en exploitation devrait réduire le monopole de Pékin, pourraient donc également bénéficier à l'industrie chinoise³¹. Par ailleurs, la crise économique ainsi que les stratégies d'acteurs industriels et de pays (comme le Japon, cf. encadré 6) visant à diminuer leur dépendance à l'égard de la Chine en diversifiant leurs approvisionnements ont contribué à l'effondrement, au cours du deuxième semestre 2011, des cours des terres rares.

Le grand jeu géopolitique autour des métaux critiques est cependant loin d'être terminé, les pays asiatiques ayant mis la stratégie industrielle et la recherche au cœur de leurs politiques publiques.

2.2.4. Les risques environnementaux et sanitaires

Certains processus de production peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire important. De manière générale, les industries minière et métallurgique ont recours à de grandes quantités de produits chimiques, par exemple de l'acide sulfurique. Plusieurs étapes sont en outre fortement consommatrices d'eau et d'énergie. Dans certains cas, d'autres types de pollution doivent également être maîtrisés : c'est le cas par exemple de l'activité de séparation des terres rares qui peut produire des éléments radioactifs (thorium, uranium et radium³²). La société Molycorp a fait l'expérience de dégâts environnementaux (rejets de thorium) sur le site de Mountain Pass à la fin des années 1990 : les dangers ont incité l'État californien à fermer le site et les travaux de dépollution se sont avérés longs et coûteux. Les méthodes de raffinage des minerais ont connu une amélioration conséquente au cours des dernières années. Toutefois, l'avenir de leur exploitation pourrait être considérablement menacé si les entreprises ne prennent pas les précautions nécessaires pour veiller à ce que les travailleurs et la population locale ne soient pas exposés aux différents risques générés par ces activités.

³⁰ Sur les objectifs du gouvernement chinois, voir le livre blanc sur l'industrie des terres rares, publié en juin 2012 et les directives du State Council intitulées : « Conseils pour la durabilité du développement du secteur des terres rares en Chine ».

(http://www.gov.cn/zwgk/2011-05/19/content_1866997.htm)

³¹ À noter que certaines entreprises ont d'ores et déjà préempté une partie de la production de ces projets.

³² Le radium est un isotope descendant de l'uranium.

2.2.5. L'impact des conflits politiques ou sociaux dans les pays producteurs

Les conflits peuvent arrêter la production minière, ou encore retarder ou annuler la mise en exploitation de certains sites.

Les manifestations violentes qui ont fait une trentaine de morts dans des mines sud-africaines de platinoïdes à l'été 2012 et celles pour le contrôle des ressources minérales dans l'est de la République démocratique du Congo (encadré 3) témoignent de la violence des conflits autour des ressources minières. Dans le domaine des terres rares, la construction de la raffinerie de l'entreprise australienne Lynas a été fortement ralentie en raison d'importantes oppositions exprimées par les riverains³³. Son activité³⁴, qui a démarré en novembre 2012, est toujours source de protestations de la part de la population locale, inquiète des déchets radioactifs (thorium) produits par l'usine. Cette situation rappelle la fermeture de la raffinerie malaise (Bukit Merah) de terres rares codétenue par Mitsubishi Chemical en 1992, suite à des doutes sur l'exposition des travailleurs et de la population locale à ce type de produits. Les conflits géopolitiques peuvent également réduire les échanges commerciaux des pays détenteurs de ressources. D'après certains commentateurs japonais, la Chine aurait mis en place un embargo pendant quelques jours sur les exportations de terres rares en direction du Japon après un litige territorial à l'automne 2010³⁵.

Encadré 3

L'origine géographique des métaux : l'exemple de la crise du coltan des années 2000

Le tantale, généralement issu du minerai de coltan (pour columbo-tantalite), permet la miniaturisation des composants électroniques des téléphones portables. Au début des années 2000, il a fait la une des médias qui l'ont surnommé « *blood metal* » et ont dénoncé son rôle dans la rébellion armée au sein la région du Kivu en République démocratique du Congo. En effet, à cette époque, de nombreuses mines artisanales se sont ouvertes dans cette région car l'industrie minière traditionnelle du tantale ne répondait pas à la demande provenant de l'augmentation fulgurante du nombre de téléphones portables (plus de 400 millions de téléphones portables ont été vendus en 2000).

En quelques mois, le prix de cette matière première a quadruplé pour passer de 65 à 260 dollars/kilo³⁶ ce qui a incité des milliers de « creuseurs » de la région du Kivu à relancer la mine artisanale. Des circuits de collecte ont été organisés et contrôlés par les groupes armés de la région. Pendant cette période d'explosion des prix du coltan qui a duré jusqu'en 2002, cette activité minière a comblé le manque des marchés officiels tout en finançant les milices qui la contrôlaient. L'augmentation des capacités de production de certaines mines australiennes ainsi que la découverte de nouveaux gisements au Canada ont permis de rééquilibrer le marché. Néanmoins, malgré la baisse des cours, cette production illicite conti-

³³ La licence temporaire de deux ans qui avait finalement été accordée par le gouvernement à la société australienne a été suspendue en octobre 2012, avant d'être à nouveau reconnue valable un mois plus tard.

³⁴ L'usine sépare les différentes terres rares issues de la mine de Mount Weld.

³⁵ Après l'interception d'un navire chinois par les garde-côtes japonais au large des îles Senkaku, qui font l'objet d'un conflit entre les deux pays, le Japon a fait écho d'un embargo de terres rares qui se serait exercé pendant plusieurs jours à son encontre. La Chine a cependant démenti les faits, qui restent invérifiables du point de vue des statistiques douanières.

³⁶ Source : Hocquard C. & Le Billon P. (2007).

nue d'alimenter les marchés mondiaux et a entraîné la fermeture de mines conventionnelles, notamment en Australie.

Ce sont des ONG qui ont lancé l'alerte et incité la majorité des acteurs de la filière à choisir du tantale dont on pouvait tracer l'origine géographique. La loi Dodd-Franck adoptée aux États-Unis en 2010 va dans ce sens en obligeant les utilisateurs finaux à certifier qu'ils ne recourent pas à du tantale, de l'étain, du tungstène et de l'or provenant de RDC et de pays limitrophes.

2.2.6. Les limites aux échanges internationaux imposées par certains pays producteurs

La Chine et d'autres pays producteurs ont mis en œuvre des restrictions croissantes, tarifaires et non tarifaires, à l'exportation de certains matériaux stratégiques sous forme de quotas, de droits de douane et de prix minima à l'exportation.

La Chine justifie ces mesures en invoquant des motifs de protection environnementale. Par ailleurs, les autorités chinoises limitent les investissements directs à l'étranger (IDE) dans les domaines des matières premières : ceux-ci sont par exemple interdits dans les secteurs de l'extraction et de l'exploration minière des terres rares, du tungstène et de composés d'antimoine et restreints dans ces mêmes secteurs pour les platinoïdes et le strontium³⁷. Dans les secteurs de la fonte et de la séparation, ils prennent la forme de *joint-ventures* avec des sociétés chinoises.

Afin de limiter les exportations à moindre valeur ajoutée et d'encourager les entreprises chinoises à exporter des produits finis ou semi-finis, le remboursement de la TVA appliquée à l'exportation d'oxydes de terres rares a également été diminué (Wang *et al.*, *op. cit.*).

Ces mesures ont, à deux reprises, fait l'objet de recours devant l'Organe de règlement des différends (ORD), à l'Organisation mondiale du commerce (OMC), de la part des partenaires commerciaux de la Chine : en 2009, les États-Unis, le Mexique et l'Union européenne ont demandé que soient levées les restrictions mises en place sur l'exportation de bauxite, de coke, de spath fluor, de magnésium, de manganèse, de carbure de silicium, de silicium métallique, de phosphore jaune et de zinc, une demande finalement agréée par la décision de l'ORD ; en 2012, l'UE, le Japon et les États-Unis ont entamé une procédure concernant notamment les exportations de terres rares, de tungstène et de molybdène. Cette dernière est en cours d'examen : un groupe spécial a été constitué pour entendre les arguments des deux parties et consulter des experts avant que l'ORD ne rende un avis.

D'autres pays producteurs ont fait le choix de réduire leurs échanges commerciaux de matériaux stratégiques (l'Afrique du Sud et la Russie imposent des restrictions à l'exportation de gallium, de magnésium) et certains États ont récemment repris le contrôle de leur industrie minière : l'Argentine (nationalisation en 2012 de la compagnie pétrolière YPF qui pourrait ouvrir une vague de nationalisation dans le secteur minier), et la Bolivie (politique souverainiste de l'État sur l'exploitation de lithium, nationalisation d'une mine de zinc et d'étain en 2012). Ces évolutions, si elles encourageaient la concentration des entreprises productrices, pourraient conduire à une augmentation des cours.

³⁷ Voir Catalogue for the Guidance of Foreign Invested Industries (2011 Version).

À noter que l'OCDE a développé un système d'information en ligne sur les restrictions tarifaires et non tarifaires aux exportations de matières premières mises en place par divers pays³⁸.

2.2.7. L'opacité des marchés et la volatilité des cours, freins à l'accès aux métaux stratégiques

À partir de 2005, les cours des métaux – auparavant stables, voire, pour certains, en baisse – ont fortement augmenté (triplant de la valeur des cours mondiaux de 1998 à 2010, voir Loos et Vautrin, *op. cit.*) suivant en cela la tendance d'autres matières premières, alimentaires ou énergétiques. Si cette hausse doit être corrigée de l'inflation sur la période, elle reste néanmoins significative³⁹. Le prix des métaux mineurs a d'autant plus augmenté que des innovations technologiques ont en grande partie encouragé l'accroissement de la demande mondiale.

Les prix des matières premières ont cependant fortement évolué au cours de la période : ils ont chuté au début de la période 2008-2009, parallèlement à ceux de l'euro et du pétrole, avant que la tendance ne s'inverse début 2009. L'impact de la consommation des pays émergents sur les cours (la Chine représente en moyenne 40 % de la demande mondiale de métaux non ferreux⁴⁰) s'est confirmé au second semestre 2011 : l'infléchissement des importations chinoises a alors coïncidé avec un ralentissement de la hausse puis une baisse des prix de certains métaux de base, notamment le cuivre. La reprise de l'économie chinoise a depuis induit une nouvelle hausse des cours.

Ainsi, la demande en terres rares a fortement augmenté au cours de la décennie 2000-2010, à l'aune d'évolutions telles que la diffusion des énergies renouvelables ou la miniaturisation de l'électronique. La hausse des cours a suivi cette progression : de 2001 à 2010, les prix du néodyme et du praséodyme ont été multipliés par quatre, même si la période de la crise financière et économique s'est traduite par une baisse ponctuelle de l'ordre de 50 %⁴¹.

Par ailleurs, l'accroissement de la volatilité des cours⁴² s'est également confirmé.

Une partie de cette volatilité peut être qualifiée de structurelle, inhérente aux marchés des matières premières. Ces derniers se caractérisent par la relative inélasticité de l'offre : l'importance des investissements nécessaires à la mise en production d'un site explique que l'offre ne se réajuste pas à court terme en réponse à une hausse des prix. La demande, en revanche, évolue plus rapidement, notamment en fonction des évolutions technologiques, réglementaires, ou de la conjoncture économique.

Par ailleurs, pour les petits métaux et certains métaux précieux, le déséquilibre offre/demande est renforcé par l'opacité sur la production de certains groupes miniers et métallurgiques (les plus importants d'entre eux négligent généralement de publier la production des métaux rares qui sont générés comme des sous-produits) et de certains pays (la Russie, la Chine et les États-Unis refusent de publier la production de certains métaux,

³⁸ Voir <http://qdd.oecd.org/Subject.aspx?subject=1189A691-9375-461C-89BC-48362D375AD5>

³⁹ Le FMI estime que les prix des métaux devraient continuer à croître au cours de la décennie à venir (FMI, 2010).

⁴⁰ FMI, avril 2011.

⁴¹ Source : www.metal-price.com d'après Hocquard et Hedrick Consultant Inc (2010).

⁴² On retiendra une définition généraliste de la volatilité comme décrivant de très fortes fluctuations des cours des actifs financiers, adaptée de Grouard *et al.* (2003).

ou en donnent des estimations approximatives). L'importance de la production artisanale informelle pour certains métaux représente également une source d'incertitudes.

Cette opacité est accrue par la structure des transactions de métaux mineurs, qui sont réalisées de gré à gré (transactions *OTC* pour *Over-The-Counter*), sans place de marché réglementée. Les entreprises consommatrices de petits métaux et les sociétés minières passent par des *traders* pour régler leurs transactions. Ces derniers ne révèlent pas la source de leurs approvisionnements, alimentant ainsi l'asymétrie d'information. Certaines transactions correspondent à des contrats à livraison différée. D'une part, les entreprises lourdement dépendantes de petits métaux peuvent conclure des contrats *off-take* avec les *juniors*, prévoyant le financement d'un projet minier en échange de la livraison de la production une fois celle-ci disponible⁴³. D'autre part, des contrats à long terme plus traditionnels, où le prix de la livraison est généralement réévalué tous les trois mois, peuvent être conclus pour certains métaux, notamment les terres rares.

Enfin, parallèlement à la volatilité et à l'opacité des marchés précédemment évoquées, les marchés de petits métaux se financiarisent : des produits financiers de type ETP (*Exchange Traded Products*), ont fait leur apparition⁴⁴. Ces véhicules d'investissement sont proposés par des acteurs majeurs (tels BlackRock, la Société générale, la Deutsche Bank) et s'échangent sur des micro-places de marché.

On distingue deux types d'ETP. Certains, « simples », sont basés sur l'achat d'un stock de métal et d'un certificat dont la valeur évolue avec le prix de la commodité correspondante. D'autres, plus complexes, reposent à la fois sur un stock physique de métal et sur un panier d'actions de producteurs de métaux. Ces produits financiers gagés sur un sous-jacent physique, sont à visée purement spéculative : en effet, ils ne rapportent pas d'intérêts, contrairement à des produits financiers comme les actions ou les obligations.

Pour l'heure, les ETP concernent essentiellement les marchés des métaux précieux⁴⁵ et ceux des métaux de base, notamment celui du cuivre. Mais des produits de ce type sont récemment apparus pour certains métaux mineurs comme l'indium, les terres rares ou le lithium. S'ils venaient à se développer dans le domaine des métaux mineurs, les ETP contribueraient à raréfier l'offre et donc à renchérir artificiellement les prix des métaux⁴⁶ car les stocks physiques concernés par ces produits sont effectivement retirés du marché.

Dans d'autres domaines que celui des métaux mineurs, certains producteurs n'hésitent donc pas à réagir : une action en justice contre la *Securities and Exchange Commission* (ou SEC, organisme fédéral américain de réglementation et de contrôle des marchés financiers)

⁴³ La production sera valorisée au prix du marché spot au moment de la livraison ; ce prix est cependant encadré par un seuil et un plafond, afin de limiter les risques de rentabilité pour le producteur et le consommateur.

⁴⁴ À noter que les produits dérivés de type *forward* ou *future* ne concernent pas ou peu les marchés de métaux rares.

⁴⁵ Des ETP existent déjà sur certains platinoïdes (platine, palladium, rhodium) qui font partie à la fois des métaux mineurs et des métaux précieux.

⁴⁶ Par ailleurs, les produits financiers permettent à certains acteurs en position de force de « créer de la rareté » et ainsi d'augmenter artificiellement les cours, selon la stratégie dite de *corner*, qui consiste à acquérir parallèlement des contrats à terme et une proportion significative des stocks physiques d'un métal. L'un des exemples les plus célèbres de *corner* concerne le marché du cuivre : entre 1986 et 1996, un trader de la société de négoce Sumitomo avait acquis plus de 24 % des stocks mondiaux, provoquant par la suite de pertes de plus de 1,8 milliard de dollars (Loos et Vautrin, 2011).

a ainsi été lancée par des producteurs de cuivre (Mason, 2013) après que la SEC ait autorisé les produits financiers gagés sur un stock physique de cuivre (Johnson, 2013) en janvier 2013. Si aucune date de lancement n'a encore été donnée pour les produits en question, les acteurs du marché redoutent un impact fort sur la disponibilité du métal. On comprend d'autant mieux les craintes des acteurs des marchés de métaux mineurs qu'à l'échelle mondiale, selon la Banque des règlements internationaux, le montant des positions sur les marchés de dérivés de gré à gré, tous domaines confondus, a atteint en 2011 l'équivalent de dix fois la valeur du PIB mondial (von Kleist et Pêtre, 2012 ; Heller et Vause, 2012).

De manière générale, le rôle de la spéculation dans l'accroissement de la hausse et la volatilité des cours reste à quantifier : il est probable qu'elle amplifie la tendance volatile des cours, plutôt qu'elle n'en est la cause (Loos et Vautrin, 2011).

In fine, il importe de distinguer la volatilité des prix de l'opacité des transactions, deux phénomènes qui brouillent la vision des agents sur le marché et empêchent la demande et l'offre de se stabiliser de manière pérenne à un prix d'équilibre. Si la hausse des cours porte atteinte à la capacité des acteurs d'acquérir des stocks, elle rend, à terme, certains gisements plus rentables et tend à augmenter la disponibilité des matières premières sur le marché. Elle favorise aussi le développement du recyclage, la recherche de substitutions à l'usage des métaux les plus rares et, d'une manière générale, elle stimule le développement de l'économie circulaire. La baisse des cours, si elle est à court terme favorable aux industriels acquéreurs, est en revanche dommageable aux producteurs à plus long terme, puisqu'elle remet en question la rentabilité de leur activité et leur capacité d'investissement : certaines mines ont ainsi fermé lors de la crise financière en 2008 et de la baisse drastique des cours des matières premières, tendance qui s'est atténuée à partir de 2009 avec la reprise de la demande dans les pays émergents.

III Solutions possibles et recommandations de politique publique

La « criticité » d'un matériau évolue constamment, selon l'activité de recherche de nouveaux gisements (« exploration ») et de son taux de succès, l'état du marché, les conditions d'accès à la production, les besoins des différentes industries, ou enfin la concentration capitaliste du secteur et les contrôles de la propriété intellectuelle sur les technologies, souvent très complexes, tout au long de la chaîne de valeur. Plus que le risque de pénurie physique, celui de rupture ponctuelle d'approvisionnement semble concret pour certains métaux.

Si les métaux critiques représentent un enjeu particulier, cette problématique illustre également l'évolution plus générale des secteurs miniers et métallurgiques en France. Ces derniers ont été touchés par un mouvement de désindustrialisation à partir des années 1980 qui a conduit à la fermeture de toutes les mines françaises : le dernier gisement exploité en métropole (Gardanne, Bouches-du-Rhône) a ainsi arrêté sa production au début des années 2000. La réduction des investissements de production et de recherche dans les domaines de la mine et de la transformation des métaux explique les difficultés d'approvisionnement que peuvent aujourd'hui rencontrer les industries utilisatrices.

En octobre 2012⁴⁷, le ministre du Redressement productif a présenté plusieurs pistes de solutions afin de répondre à l'enjeu de l'approvisionnement en matières premières stratégiques. Il a souligné l'importance du COMES, mais aussi d'organismes de recherche tels que le CNRS, l'IFREMER et le BRGM. Il a évoqué différentes voies pour ouvrir un chantier en la matière, notamment le développement de l'exploration sous-marine, l'accélération de l'innovation sur les techniques de recyclage, l'affirmation d'une diplomatie des matières premières, la réutilisation de l'inventaire minier du BRGM et enfin l'ouverture de démonstrateurs de mines responsables.

Encadré 4

Le comité pour les métaux stratégiques (COMES)

Créé en janvier 2011⁴⁸, le COMES est un organe d'analyse et de dialogue sur les métaux stratégiques, réunissant les parties prenantes dans ce domaine. Il a pour mission d'assister le ministre chargé des matières premières dans la conception et la mise en œuvre des politiques visant à assurer la sécurité des approvisionnements nécessaire à la compétitivité durable de l'économie française.

Présidé par le ministre chargé des matières premières, il comprend également trois collègues, regroupant respectivement les représentants des administrations des différents ministères, des organismes techniques (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Agence française de développement, Bureau de recherches géologiques et minières et Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) et des fédérations professionnelles et industriels des secteurs concernés.

⁴⁷ Discours du 16 octobre 2012, à l'occasion du colloque organisé par le COMES et la DGCIS : « Les métaux stratégiques : enjeux et solutions pour les entreprises ». (<http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/colloques/colloque-metaux-strategiques-enjeux-et-solutions-pour-entreprises>)

⁴⁸ Voir note 9.

Ses travaux sont organisés en groupes de travail thématiques, rassemblant des acteurs des secteurs publics et privés, à différents niveaux de la chaîne de valeur industrielle.

Le COMES est notamment à l'origine d'un outil d'autodiagnostic portant sur la vulnérabilité des entreprises aux matériaux stratégiques. Disponible en ligne⁴⁹, l'outil vise à aider les entreprises à déterminer leur exposition aux risques d'approvisionnement et à mettre au point des stratégies de réponse, notamment par la coopération entre secteurs et industries.

De fait, plusieurs pistes de solutions peuvent être envisagées à différentes échelles de temps pour réduire les risques d'approvisionnement en métaux stratégiques ; bien que chacune connaisse des limites, certaines peuvent néanmoins faire l'objet de recommandations, la meilleure stratégie de sécurisation des approvisionnements reposant dans la mobilisation de différents leviers. Dans les années à venir, il sera important de faire de l'accès aux métaux critiques une priorité de l'action gouvernementale, de définir une stratégie nationale dédiée et de l'intégrer dans l'ensemble des politiques sectorielles, notamment dans les domaines de la recherche, du développement durable, de l'éducation ou encore de la coopération internationale.

Encadré 5

La stratégie européenne en faveur d'un meilleur accès aux matières premières non énergétiques et non agricoles

Les tensions croissantes autour des approvisionnements en matières premières et les effets escomptés sur la compétitivité future de l'industrie européenne ont conduit la Commission européenne à lancer en 2008 l'initiative « Matières premières ». Sa stratégie, exposée dans une première communication en novembre 2008 puis renforcée en 2011, s'articule autour de trois piliers :

- un approvisionnement équitable et durable en matières premières à l'extérieur de l'Union européenne. Cela passe par une « diplomatie des matières premières » associée à des politiques de coopération plus générales avec des pays tiers visant à améliorer la gouvernance (notamment dans le domaine fiscal), la transparence, la protection des droits de l'homme, etc. Cela se traduit également par une politique commerciale adaptée, avec par exemple l'adoption de disciplines commerciales en matière de restrictions à l'exportation dans les négociations bilatérales ou multilatérales ;
- un accès durable aux ressources du territoire européen. L'UE finance dans le cadre du 7^e programme-cadre de recherche & développement (PCRD) le projet ProMine : lancé en 2009 pour une durée de quatre ans et doté d'un budget de 17 millions d'euros, il compte parmi ses principaux objectifs l'amélioration des connaissances sur les ressources minérales européennes et la diffusion de celles-ci auprès de l'industrie extractive ;
- une utilisation plus efficiente des ressources et la promotion du recyclage.

Dans le cadre de cette stratégie, la Commission (DG Entreprises et Industrie) a lancé deux actions majeures :

- en 2011, la publication d'un appel d'offres pour une étude relative aux technologies innovantes et à d'éventuelles usines pilotes ;
- en 2012, le lancement du Partenariat européen d'innovation (*European innovation partnership*) sur les matières premières qui vise à faire de l'Europe un *leader* mondial dans les

⁴⁹ <http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/secteurs-professionnels/industrie/chimie/metaux-strategiques>

domaines de la prospection, de l'extraction, de la transformation, du recyclage et de la substitution d'ici à 2020. Piloté par les États membres et d'autres parties prenantes (entreprises, ONG, chercheurs...), le Partenariat a pour ambition de définir des stratégies communes et de mutualiser les ressources financières et humaines en la matière. L'effort de coopération communautaire doit porter sur l'ensemble de la chaîne de valeur des matières premières, issues de gisements terrestres ou sous-marins, ou du recyclage.

La stratégie européenne a le mérite d'être assez large pour englober tous les enjeux liés à l'approvisionnement en métaux critiques. Dans les années à venir il sera crucial d'intensifier les efforts en la matière pour qu'elle porte ses fruits. L'implication des acteurs français des secteurs publics et privés, qui ont des compétences en matière de technologies d'exploration et d'exploitation et de personnels qualifiés, pourrait être déterminante.

3.1. Envisager à long terme le recours aux ressources minières territoriales

Selon le BRGM, le territoire français, métropolitain et ultra-marin, pourrait disposer d'un potentiel non négligeable de métaux stratégiques, qu'il importe de qualifier.

Si les propriétés du sol et sous-sol français (jusqu'à 100 m de profondeur) sont en effet assez bien connues pour ce qui est de leur teneur en métaux industriels (fer, cuivre, zinc, nickel, etc.), ce n'est pas le cas pour les métaux mineurs. Ces derniers, en raison de leur importance relativement nouvelle, n'ont pas fait l'objet de recherches poussées lors du dernier inventaire minier achevé en 1992. Ainsi, le sous-sol du Massif central, de Bretagne, des Vosges ou encore des Pyrénées contient du tungstène et pourrait contenir des terres rares, du platine ou encore du palladium dans des concentrations intéressantes, actuellement inconnues. De même, la Nouvelle-Calédonie, actuellement productrice de nickel (elle assure 7 % de la production mondiale) et de cobalt, recèlerait des métaux mineurs comme l'antimoine, le manganèse, le scandium et certains platinoïdes⁵⁰.

De nouvelles analyses des échantillons déjà prélevés dans le cadre des différentes campagnes de prospection minière permettraient d'acquérir une meilleure connaissance des réserves en métaux stratégiques du territoire français, conformément aux orientations de l'Initiative Matières Premières lancée en 2008 par la Commission européenne. Les avancées récentes en matière de métallogénie, la science de la formation des gisements métallifères, pourraient également être mises à profit pour améliorer la connaissance du sous-sol français.

▾ **Proposition 1 :** *Rechercher sur le territoire la présence de métaux stratégiques en analysant les prélèvements de l'inventaire minier et en recourant à des méthodes de caractérisation depuis la surface et à des forages, dans le respect du nouveau Code minier.*

Il serait dans un second temps utile d'explorer le sous-sol profond (au-delà de 100 m de profondeur) dont les ressources sont à ce jour méconnues. L'exploration permet de déterminer la présence de gisements. Ensuite, le processus menant à l'exploitation des gisements nécessite la caractérisation de la qualité du minerai, la détermination de leur caractérisation.

⁵⁰ Le manganèse et l'antimoine ont déjà fait l'objet d'exploitations, les autres n'ont jamais été valorisés.

Source : <http://blogs.lesechos.fr/market-makers/nickel-pacifique-en-nouvelle-caledonie-a12456.html>

rière exploitable selon les critères internationaux et les conditions du marché, deux déterminants de la rentabilité des gisements.

La première étape pourrait mobiliser des techniques d'exploration non invasives : les différentes techniques géophysiques ou géochimiques permettent d'identifier des signaux pouvant traduire la présence de minerai et d'orienter ainsi les forages. Ces derniers, coûteux, sont indispensables pour identifier la nature de l'anomalie détectée. Les méthodes géophysiques sont également très utiles pour découvrir les extensions de gisements déjà connus. Les travaux nécessaires sont soumis à l'obtention de permis et souvent problématiques du point de vue de l'acceptabilité sociale, bien qu'ils aient, à ce stade, une très faible empreinte environnementale. De même, le développement des outils informatiques a permis de gros progrès en modélisation 3D et 4D, qu'il serait intéressant d'appliquer au territoire français. Des initiatives européennes existent déjà : le projet ProMine⁵¹, dont le BRGM est partenaire, s'est ainsi attelé à la mise en place de la première base de données minérales européenne et d'un modèle géologique 4D (suivi temporel de la 3D) pour quatre régions métallifères.

La deuxième étape éventuelle serait celle de l'exploitation des gisements économiquement viables : elle nécessiterait des sondages afin de caractériser la géométrie et la qualité des gisements précédemment découverts. De l'exploration à la pleine production, une quinzaine d'années est susceptible de s'écouler.

La mise en œuvre de ces deux étapes nécessite de mobiliser d'importants investissements. Leurs conditions de réalisation dépendront des conditions d'accès spécifiées par le Code minier, dont une réforme est actuellement en cours. De plus, elles sont directement soumises à l'amélioration de la compréhension par le public de l'intérêt de l'activité minière sur le territoire français⁵², et à la possibilité de mobiliser des techniques d'exploitation respectueuses de l'environnement et acceptables pour les populations locales, dans un cadre de « mine responsable ». Les pratiques mobilisées en Suède, en Finlande ainsi qu'au Portugal, et l'organisation de la recherche en la matière dans ces pays où le secteur minier, en fort développement, représente un moteur de croissance économique, offrent des pistes intéressantes.

L'agence finlandaise de financement pour la technologie et l'innovation (Tekes) a ainsi lancé au printemps 2011 un programme quinquennal de Recherche, Développement et Innovation (R & D & I) dédié à la « mine verte », dans le but de constituer un réseau dédié à l'innovation, liant petites et moyennes entreprises, universités et centres de recherche. Les travaux cofinancés par le Tekes et par ses partenaires, visent à la fois à développer l'efficacité et la sécurité de l'activité minière. Les expérimentations, publiques ou confidentielles (lorsqu'elles sont réalisées par les partenaires privés) ont à terme pour objectif de permettre la mise en œuvre de mines à impact environnemental minimal en mettant au point des procédés innovants d'extraction et de transformation (techniques d'enrichissement chimiques et biologiques), en améliorant l'automatisation de l'activité ainsi que son optimisation (réutilisation accrue des déchets et sous-produits, gestion économe de l'eau). Une grande partie des recherches actuelles s'oriente vers la mine profonde, au-delà de deux à trois km. Avantageuse de par son faible impact paysager, elle pose néanmoins des défis techniques pour réduire les risques de mouvements de terrain et améliorer la sécurité des travailleurs.

La Commission européenne cofinance également, dans le cadre du septième Programme-cadre de recherche et de développement technologique, le projet I2Mine (*Innovative Tech-*

⁵¹ Site internet du projet Promine : <http://promine.gtk.fi/>.

⁵² Notamment afin de permettre la réalisation de forages.

nologies and Concepts for the Intelligent Deep Mine of the Future) dédié aux enjeux futurs de l'activité minière.

Enfin, des progrès significatifs peuvent être accomplis dans le domaine de la réhabilitation des sites miniers où la France dispose déjà de compétences reconnues.

3.2. Encourager la recherche sur les technologies permettant d'explorer et d'exploiter les ressources sous-marines

L'IFREMER identifie trois grands types de ressources présentes dans les fonds marins : les nodules polymétalliques, les encroûtements cobaltifères et les sulfures hydrothermaux. Combinées, ces ressources contiennent quasiment tous les métaux discutés ici.

La France possède la deuxième plus grande surface de zone économique exclusive et, de fait, bénéficie de ressources sous-marines significatives. C'est le cas en particulier au large de Wallis-et-Futuna où des expérimentations sont actuellement conduites sur des sulfures hydrothermaux dans le cadre d'un partenariat public-privé impliquant des organismes tels que l'IFREMER, l'Agence des Aires Marines Protégées et des industriels (ERAMET et Technip).

Les eaux internationales présentent aussi un intérêt significatif. Depuis 2001 et pour quinze ans, l'IFREMER est titulaire d'un contrat d'exploration délivré par l'Autorité internationale des Fonds Marins (AIFM) pour des nodules polymétalliques dans le Pacifique Nord. En juillet 2012, il a obtenu de l'AIFM un contrat d'exploration concernant des sulfures hydrothermaux également dans l'Atlantique Nord.

Des campagnes de prélèvements ont déjà eu lieu (la première date de 1974 en Atlantique) mais les métaux recherchés à l'époque ne correspondent pas à ceux aujourd'hui qualifiés de critiques. Une analyse des collections existantes pour identifier les teneurs en métaux critiques permettrait de valoriser ces différentes campagnes de prélèvements et serait l'occasion d'une première évaluation du potentiel des ressources sous-marines⁵³. À plus long terme, l'organisation d'autres campagnes de prélèvement permettrait un inventaire plus exhaustif des ressources territoriales et internationales.

Les techniques d'exploitation de ces ressources sont encore en développement. La France, grâce à différents acteurs d'envergure internationale, pourrait se placer à la pointe de cette technologie en investissant dans la recherche dans ce domaine. En janvier 2011, un premier permis d'exploitation a été accordé à Nautilus, groupe canadien, au large de la Papouasie-Nouvelle-Guinée pour exploiter du cuivre, de l'or et de l'argent à partir de sulfures hydrothermaux⁵⁴. La maîtrise de l'impact environnemental de ces opérations est une condition *sine qua non* du développement de véritables projets miniers et une facette importante de leur acceptabilité sociale.

⁵³ Axe développé lors de l'étude prospective entreprise par l'IFREMER entre 2009 et 2011 (Fouquet et Lacroix, 2012).

⁵⁴ À noter que la construction de la plateforme de production a été suspendue en novembre 2012 dans l'attente de la résolution du litige qui l'oppose au gouvernement de Papouasie-Nouvelle-Guinée.

↘ **Proposition 2 : Développer la recherche portant sur les ressources minières sous-marines.**

L'amélioration de la connaissance des impacts de l'activité minière en milieu sous-marin sera sans doute un préalable indispensable à la poursuite de l'activité d'exploitation.

Par ailleurs, le rapport de l'IFREMER sur les ressources minérales profondes (Fouquet et Lacroix, *op. cit.*) propose :

- de soutenir la recherche susceptible d'améliorer les connaissances scientifiques dans ce domaine, notamment en élaborant un partenariat public/privé destiné à roder les technologies émergentes d'exploration et d'exploitation *via* un pilote d'extraction ;
- de compléter le cadre réglementaire de l'exploration et l'exploitation des ressources marines, aujourd'hui déficient et parcellaire ;
- et enfin de renforcer la présence française au sein de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), laquelle est notamment en charge des questions de gouvernance environnementale et du suivi des permis.

3.3. Approfondir la R & D sur les procédés de transformation métallurgique

Il est indispensable de développer les nouveaux procédés de transformation du minerai en métal (hydrométallurgiques par exemple) plus respectueux de l'environnement et plus adaptés aux nouveaux gisements exploités. Leur valorisation optimale nécessite une séparation fine des différents éléments pour pouvoir exploiter les métaux qu'ils contiennent, d'autant plus que les teneurs en métaux mineurs de certains minerais sont très basses. De telles techniques trouvent également leur intérêt dans le champ du recyclage qui partage avec les nouveaux gisements une problématique similaire de séparation des impuretés et de récupération de faibles quantités.

Le champ de l'innovation scientifique et technique dans le domaine des matériaux est bien entendu plus large et l'ensemble de ses domaines mériterait des efforts de recherche accentués : géologie, métallogénie, minéralurgie, modélisation régionale, séparation, impact environnemental et écotoxicologie, capteurs et observation systématique⁵⁵. Ceci consisterait à identifier les principaux besoins de recherche liés à l'« écoconception », au recyclage des métaux ainsi qu'à leur substitution, et à participer activement aux programmes de recherche communautaires.

⁵⁵ S'agissant des initiatives et projets existants, on peut citer le projet européen ERA-MIN, coordonné par le CNRS (www.era-min-eu.org/), les projets soutenus par les pôles de compétitivité (Movéo et Materialia) ainsi que des réalisations du programme « Investissement d'avenir » comme l'IRT M2P (Matériaux, Métallurgie, Procédés) les Laboratoires d'Excellence (Labex) Voltaire et Ressources 21.

Encadré 6

Le Japon et l'innovation dans le domaine des métaux rares

Le gouvernement japonais a également annoncé l'objectif de diminuer la consommation de terres rares dans les années à venir, et débloqué un budget de 40 millions d'euros (5 milliards de Yen) pour développer le recyclage et la substitution des métaux en question.

Les entreprises japonaises ont en effet investi dans le développement de l'efficacité productive, pour diminuer les besoins en terres rares : TDK Corp a investi dans la production de moteurs électriques utilisant moins de dysprosium en remplaçant l'insertion du métal dans l'aimant par une couche peinte à sa surface. Les techniques de recyclage font également l'objet de recherches dont les applications commencent à se concrétiser : Panasonic travaille à la récupération de néodyme dans les appareils électroménagers, et s'est associé à Mitsubishi et TDK pour recycler le dysprosium présent dans des systèmes d'air conditionnés usagés. Honda cherche à extraire les métaux rares contenus dans les batteries des véhicules hybrides. La substitution des terres rares par d'autres métaux est le dernier levier susceptible de réduire la dépendance aux importations. Toyota développe par exemple des véhicules électriques et hybrides sans néodyme.

Enfin, l'État japonais subventionne les activités de recherche destinées à mettre au point des techniques d'exploration et d'exploitation sous-marine, encore inexistantes pour les gisements situés en très grande profondeur. Suite à la découverte d'un gisement de terres rares – notamment du dysprosium – situé à 2000 km au large des côtes de Tokyo et à 5 600 mètres de profondeur, l'expédition organisée par l'entreprise Mitsui Ocean et l'équipe de chercheurs de l'université de la ville a ainsi été financée en partie par la ville et l'Agence japonaise pour la technologie et la science de la mer et de la terre.

➤ **Proposition 3:** *Identifier les besoins de recherche liés à l'« écoconception », au recyclage des métaux ainsi qu'à leur substitution et participer activement aux programmes de recherche communautaire.*

3.4. Mieux valoriser les ressources secondaires

Il s'agit de mettre à profit les mines « urbaines » existantes, en particulier les déchets d'appareils électroniques de consommation courante (téléphonie mobile, ordinateurs, etc.) qui constituent d'ores et déjà un gisement massif. Il y a là un enjeu de recherche et d'innovation important avec la mise au point de techniques permettant de récupérer les matériaux disséminés dans les appareils de manière économique. Cet axe est d'ores et déjà exploré et soutenu en France, notamment dans le cadre du programme « Investissements d'avenir » (IA). Le laboratoire d'excellence (Labex) Ressources 21 de l'Université de Lorraine⁵⁶, traite, parmi ces enjeux, du développement de nouveaux procédés éco-efficaces de concentration et de recyclage de métaux stratégiques. La contribution de l'ADEME sur ce thème est également significative. En effet, dans le cadre des appels à manifestations

⁵⁶ http://www.ressources21.univ-lorraine.fr/fileadmin/Ressources21/Espace_Presse/CP_LABEX_Ressources_21.pdf

d'intérêt du programme IA, un projet de traitement de déchets zincifères est soutenu et deux autres projets sélectionnés sont en cours d'instruction.

L'Agence nationale de la recherche a également identifié ce thème dans ses axes de travail : son programme ECO-TS fait de l'amélioration du taux de recyclage des déchets, un enjeu stratégique et économique⁵⁷. Une telle avancée passera, entre autres, par l'intensification des recherches académiques dans ce secteur ou des transferts de technologies provenant d'autres secteurs afin d'encourager les ruptures technologiques.

S'il est clair que les gisements de déchets concernés ne seront manifestement pas d'une taille suffisante pour répondre à l'ensemble de la demande, cela constitue incontestablement une opportunité de création d'une filière compétitive et innovante en France et en Europe. Par exemple dans le domaine de la séparation des terres rares, la division Rhodia Rare Earth Systems du groupe Solvay dispose d'une expertise de grande valeur en ayant développé et acquis la maîtrise de procédés complexes à haute valeur ajoutée et maîtrisés par très peu d'acteurs. Elle détient deux unités de recyclage de poudres fluorescentes, issues de lampes basse consommation, récupérant ainsi les terres rares qu'elles contiennent.

En plus de la mise au point de méthodes compétitives d'extraction et de recyclage des métaux contenus dans les déchets, il est également important de promouvoir l'écoconception, car de nombreux produits, au premier rang desquels ceux qui font appel à l'électronique, ne sont pas conçus en vue du recyclage de la vaste gamme de minéraux et métaux qu'ils contiennent⁵⁸. Le développement du recyclage passe également par le maintien, en France et au sein de l'UE, d'une industrie métallurgique de haut niveau. Parce que l'écoconception cherche, dès la conception du produit, non seulement à intégrer des matériaux présentant un faible niveau de criticité et à réaliser des économies de matières, mais aussi à faciliter la récupération en fin de vie des éléments qu'il contient, l'écoconception permet d'abaisser les obstacles techniques et économiques au recyclage.

Il importe enfin de mettre un terme aux exportations illégales de déchets aux frontières de l'Europe, lesquelles représentent, dans cette perspective, une perte de ressources. Ceci suppose une meilleure coordination entre les organismes de contrôle (douane et gendarmerie) et la révision de la nomenclature des douanes.

3.5. Identifier et sécuriser les approvisionnements en métaux stratégiques

Le COMES, créé en janvier 2011, répond à la nécessité de faire dialoguer les acteurs privés des secteurs économiques concernés avec les pouvoirs publics au sujet de l'élaboration et la mise en œuvre d'une stratégie nationale en matière de ressources minérales et de sécurisation des approvisionnements des métaux nécessaires à la compétitivité de l'économie française. Il doit acquérir un rôle central auprès des entreprises et des acteurs de la recherche.

L'amélioration de la prise de conscience du risque d'approvisionnement par les acteurs industriels est en effet un véritable enjeu, qui concerne toutes les entreprises, en premier

⁵⁷ Le programme ECO-TS prend le relais de PRECODD (2005-2008) et ECOTECH (2009-2011), qui disposaient d'un budget annuel d'une dizaine de millions d'euros.

⁵⁸ La gamme des minéraux et métaux contenus dans les produits finis est en effet bien supérieure à celle des minerais naturels les plus complexes.

lieu desquelles les PME et les TPE. Les grandes entreprises, notamment celles qui ont une dimension multinationale ont en effet souvent les moyens d'identifier et de gérer ce risque elles-mêmes. C'est le cas de Renault qui a développé à partir de 2009 une méthodologie interne d'évaluation des risques d'approvisionnement sur les matières premières considérées comme critiques pour ses activités.

Il importe donc de diffuser le guide d'autodiagnostic de la vulnérabilité des entreprises élaboré par le COMES⁵⁹ dans le but de sensibiliser ces dernières et de leur permettre d'évaluer le risque auquel elles s'exposent à travers les approvisionnements en matières premières minérales non énergétiques (seize matières premières sont couvertes pour l'instant). À court terme, et de manière régulière, il s'agit de mettre à jour l'outil au fur et à mesure que de nouvelles données sont publiées et d'étendre cet outil à d'autres métaux mineurs, comme par exemple l'indium ou le gallium. Par ailleurs, les retours d'expériences des acteurs à propos de l'utilisation de ce guide permettront de distinguer plus clairement les fragilités et dépendances aux approvisionnements au niveau macroéconomique.

Le COMES pourrait enfin recenser les programmes de recherche existant sur les métaux rares (substitution, recyclage) et, dans la mesure du possible, identifier les domaines qui sont sous investis.

L'action du COMES a mené au lancement, par le BRGM, d'un portail dédié à l'information minière⁶⁰. Avec l'assistance du BRGM, et en coopération avec les acteurs du secteur, le COMES pourrait être chargé de publier une prospective annuelle (sur le modèle de l'*Outlook* de l'Agence internationale de l'Énergie) compilant les données disponibles sur les réserves et les ressources des métaux concernés, mais aussi sur les projets annoncés par les juniors minières et leur développement, ainsi que sur l'état de la demande actuelle et prévisionnelle.

L'organisation, par le Comité, d'assises annuelles sur les métaux stratégiques qui rassembleraient les différentes parties prenantes constituerait un temps fort de la coopération public-privé et donnerait un écho aux travaux réalisés, notamment dans le secteur industriel. À terme, ces assises pourraient acquérir une audience internationale.

➤ *Proposition 4 : Renforcer les moyens du Comité pour les métaux stratégiques afin de publier, en collaboration avec le BRGM, et en liaison avec les homologues européens de ces deux organismes français, un exercice annuel de prospective sur l'accès aux métaux les plus critiques à l'horizon de dix ans et sur les stratégies possibles d'approvisionnement.*

Enfin, le COMES pourrait étudier l'opportunité pour l'État, *via* des acteurs spécialisés (Proparco, BPI) de mettre en place une garantie des financements à hauteur d'une certaine proportion du concours bancaire, qui faciliterait l'accès des entreprises au financement pour le développement de projets d'exploitation minière. Au-delà du secteur de l'extraction, il sera à l'avenir important de soutenir et de développer les filières de transformation des métaux critiques, essentielles pour conserver le savoir-faire et les technologies nécessaires à la compétitivité industrielle nationale.

⁵⁹ Disponible sur le site de la DGCIS : <http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/secteurs-professionnels/industrie/chimie/metaux-strategiques>

⁶⁰ <http://www.mineralinfo.fr/>.

3.6. Constituer des stocks stratégiques

La constitution de stocks stratégiques de métaux apparaît au premier abord utile pour assurer l'approvisionnement et se prémunir contre les hausses de prix sur le marché. Cependant, l'efficacité de cette solution à laquelle plusieurs pays, dont la France, ont pu recourir dans le passé s'est avérée discutable.

Les conclusions d'une étude de la Commission européenne (2012) mettent ainsi fortement en doute la pertinence d'un stockage stratégique.

Sur la base des expériences chinoise, coréenne, américaine (politique de stockage mise en œuvre par l'État, stocks gérés par des organismes publics) et japonaise (dont la politique publique de stockage est complétée par des objectifs de stockage volontaire à l'intention des entreprises, pour certains matériaux), l'étude conclut en effet que ce recours est particulièrement coûteux et épineux à mettre en place.

Les coûts estimés d'acquisition des réserves varient de plus de 90 millions (dans l'hypothèse d'un stockage volontaire par les entreprises encouragé par les États, sans incitation financière) à 900 millions d'euros (dans l'hypothèse d'un stock de 60 jours de consommation communautaire de chacun des 14 matériaux stratégiques listés par la Commission, géré par un organisme européen).

La constitution de stocks nationaux ou communautaires pourrait également être contre-productive, dans le cas où elle accentuerait les hausses de prix, voire les épisodes de pénuries pour certains métaux, dont une partie serait ainsi retirée du marché. Par ailleurs, du fait du temps nécessaire à la constitution d'un stock l'industrie pourrait trouver un substitut à un métal auparavant critique, rendant de fait inutile le stock constitué. Enfin, le choix des matériaux à stocker et de leur forme est particulièrement complexe : le secteur privé pourrait bien être plus à même de déterminer quels métaux, dans quelle quantité et sous quelle forme, devraient faire l'objet de réserves, et pour combien de temps.

Peu d'information permet de se prononcer sur l'effet concret de ces stratégies, en grande partie parce que les stocks publics sont gérés comme des investissements de long terme : en pratique, les hausses brutales des cours n'incitent bien souvent pas les autorités à faire usage des réserves.

Enfin, le stockage stratégique (géré par l'État) n'est plébiscité ni par les États-membres, ni par les industriels européens.

Le rapport conclut que les stocks constitués par les entreprises semblent plus à même de résoudre les problèmes d'approvisionnement, sans exercer d'effet pervers sur l'équilibre du marché. Pour les PME qui n'auraient pas les capacités financières et techniques de se constituer des réserves, il semble que les solutions alternatives (amélioration de la connaissance de la chaîne de valeur, des métaux critiques associés et des conditions du marché), soient, sur le long terme, plus efficaces.

3.7. Améliorer la transparence sur les marchés des métaux

Les marchés physiques des métaux mineurs, dont les transactions sont réalisées de gré à gré ne sont pas encadrés.

À l'échelle communautaire, l'AEMF est seule mandatée pour réguler les transactions OTC⁶¹; elle ne dispose pas encore d'homologue assurant ces fonctions au niveau national⁶².

Des réglementations communautaires existent. D'abord, la révision en cours de la directive MIF⁶³ (Marchés d'Instruments Financiers ou Directive MiFID⁶⁴) prévoit notamment de rendre obligatoire la négociation de certaines transactions OTC, qui pourraient être compensées sur des marchés réglementés ou de nouvelles plateformes de négociation organisées, les « systèmes organisés de négociation » (OTF). Elle devrait également autoriser les autorités de régulation des marchés financiers à fixer des limites de positions sur les dérivés dans les marchés de matières premières si ces dernières induisent des perturbations des cours. Cette dernière mesure pourrait atténuer les risques liés aux produits basés sur le « blocage » d'un stock physique s'ils venaient à se développer : en imposant des plafonds aux stocks concernés (seuil fixé à un certain pourcentage de la demande mondiale), les régulateurs européens limiteraient en effet les situations de pénuries artificielles créées par des investisseurs.

Ensuite, le nouveau règlement EMIR « European Market Infrastructure Regulation » prévoit d'enregistrer les transactions de gré à gré réalisées dans l'UE auprès de registres (ou « référentiels centraux de données »). Ces derniers auront pour mission de publier les positions prises, agrégées par catégories, afin de rendre le marché plus transparent. Par ailleurs, les transactions satisfaisant à des critères de liquidité seront normalisées et devront être compensées par des contreparties centrales. Les autres devront s'astreindre à des mesures de gestion des risques.

En pratique, le règlement EMIR et la directive MIF sont peu susceptibles de s'appliquer aux transactions de métaux mineurs et aux produits financiers qui y sont liés. En effet, l'hétérogénéité des transactions (différents types de contrats, portant sur différentes qualités de métaux, existent) et le manque de liquidité de ces marchés (faible volume de transactions et faible nombre d'acteurs) compliquent fortement l'entreprise de standardisation et rendent coûteux l'enregistrement des transactions.

Afin d'améliorer la transparence des marchés de métaux mineurs, le rapport de l'Assemblée nationale (Loos et Vautrin, *op. cit.*) recommande de mandater la Conférence des Nations Unies pour le Commerce et le Développement (CNUCED) pour mettre en place des groupes d'études à vocation internationale, susceptibles de publier des informations sur la production de métaux stratégiques (notamment celles qui émanent des États), à l'image du Comité international des études sur le cuivre (ICSG), de celui sur le nickel (INSG) et de celui sur le plomb et le zinc (ILZSG).

Ces *study groups* publient des données sur les grands métaux. Il serait utile de les encourager à diffuser des données sur les productions de sous-produits. Ces données seraient

⁶¹ La régulation financière est définie au niveau international par les principes du G20, les recommandations du Conseil de stabilité financière (CSF) et les standards de l'Organisation internationale des commissions de valeurs (OICV) ou du Comité de Bâle. Chaque État, fédération ou union d'États est libre de traduire ces normes internationales dans sa propre législation. Au niveau européen, elles font l'objet de règlements et de directives. L'Autorité européenne des marchés financiers, qui a remplacé en 2011 le Comité des régulateurs européens, est en charge des mesures de régulation technique.

⁶² En France, le périmètre d'intervention de l'Autorité des marchés financiers (AMF) s'étend uniquement aux marchés financiers organisés et ne comprend pas les marchés de gré à gré.

⁶³ La proposition de la Commission publiée en octobre 2011, amendée et votée par le Parlement un an plus tard, devrait être définitivement adoptée en 2013, pour une application en 2015.

⁶⁴ *Markets in Financial Instruments Directive*.

publiées dans une forme agrégée afin de respecter la confidentialité des opérations des groupes miniers, essentielle pour encourager leur participation.

▾ **Proposition 5** : *Encourager la publication de données agrégées sur la production de sous-produits du cuivre, du nickel, du plomb et du zinc par les groupes d'étude à dimension internationale correspondants.*

3.8. Maintenir et développer des formations initiales et continues de qualité dans le domaine du cycle des matières premières

Le ralentissement de l'activité minière mondiale et la fermeture progressive des exploitations minières sur le territoire métropolitain à partir des années 1980 ont fragilisé la formation française dans le domaine des matières premières. Au moment de la relance de l'activité minière mondiale en 2006, elle était concentrée sur quatre sites : Nancy (l'École des Mines, l'École nationale supérieure de géologie et l'Université), Orléans (Université), Paris et Alès (Écoles des Mines). À ces structures, s'ajoutait le Centre d'études supérieures des matières premières (CESMAT), institut de perfectionnement de cadres supérieurs regroupant à l'origine sept cycles de formation d'un an sur les sites de Paris-Fontainebleau, Nancy, Alès.

La reconnaissance du caractère stratégique des matières premières appelle au développement et au maintien d'une formation initiale et continue de qualité d'autant plus que la France possède de sérieux atouts en la matière. En effet, elle bénéficie d'acquis historiques, d'écoles d'ingénieurs de haut niveau, d'acteurs miniers d'envergure internationale et d'une expertise mondialement reconnue dans des domaines comme les géostatistiques et la modélisation numérique. Le processus est d'ores et déjà entamé avec le renforcement des offres de formation et de cursus dans le domaine des géosciences et plus largement des ressources minérales : on peut citer la création en 2009 de l'École Nationale d'Application des Géosciences, l'école de spécialité du BRGM (Bac + 6) qui accueille, en partenariat notamment avec l'université d'Orléans, des étudiants en formation initiale ou continue, principalement français, mais dont les diplômés ne bénéficient pas encore de l'accréditation de la Commission des titres d'ingénieur.

Une bonne formation, en plus d'être nécessaire au maintien et à la construction de compétences françaises dans des domaines clés pour l'industrie minière (exploration, géosciences, minéralurgie, métallurgie, matériaux, environnement minier), présente un intérêt manifeste comme outil de coopération avec les pays émergents et en développement producteurs de matières premières.

Ce double objectif était assuré par les formations dispensées au sein du CESMAT⁶⁵, qui a formé de nombreux cadres étrangers, africains et sud-américains pour la plupart, aussi bien pour les entreprises que pour les administrations publiques.

▾ **Proposition 6** : *Développer, sur la base des organismes existants, des filières destinées aux jeunes diplômés et aux cadres, ouvertes à l'international, avec attribution de bourses d'excellence.*

Les formations existantes, en école ou au sein de l'université, offrent une belle complémentarité en matière de spécialisation. Afin de développer leur attractivité auprès des

⁶⁵ Centre d'Études Supérieures des Matières Premières.

jeunes diplômés et des cadres étrangers, il serait opportun de mettre en place un système de bourses d'excellence qui prendrait ainsi la suite des activités du CESMAT. Leur attribution devrait tenir compte de l'importance stratégique des pays en termes de potentiel d'exploitation minière à court et long termes. Il faudra également veiller à intégrer des élèves issus à la fois des administrations publiques et des entreprises privées.

Afin de garantir la qualité mais également la lisibilité de ces formations, tant en France qu'à l'étranger, il est souhaitable que les différents cycles de formation délivrent un diplôme de master ou d'ingénieur, accrédité par la Commission des titres d'ingénieur.

3.9. Mettre en œuvre une diplomatie des matières premières

Il s'agit là de faciliter aux entreprises françaises l'accès aux ressources minières provenant de pays hors d'Europe producteurs de métaux stratégiques et, autant que possible, de diversifier ces approvisionnements pour s'affranchir de la dépendance à un pays particulier, qui a pour corollaire une extrême vulnérabilité. Dans ce but, le thème de l'approvisionnement en matières premières devrait être un axe de coopération identifié avec chacun de ces pays ou régions (Afrique, Asie centrale, Amérique latine, mais également le Canada et l'Australie) qui serait de fait intégré dans les programmes des organismes et circuits de coopération traditionnels.

Un tel axe de coopération, déjà entrepris par des pays tels que l'Allemagne et le Japon, ainsi qu'au niveau européen – puisqu'il constitue l'un des piliers de l'initiative Matières premières –, doit être poursuivi et défendu par la France au sein de l'Union européenne mais également dans ses relations diplomatiques bilatérales hors Union européenne. Cela s'inscrit d'ailleurs dans l'orientation actuelle de la politique de coopération française qui fait de la diplomatie économique une priorité structurante. La France dispose de compétences en matière de technologies d'exploration et d'exploitation. Par ailleurs, les formations françaises dédiées à la géologie et aux techniques d'exploitation, qui constituent un atout historique, étaient valorisées au sein du CESMAT et de son réseau international. Cet institut, destiné à la formation continue de cadres étrangers, ne recevant plus de financement a arrêté ses activités au moment même où les tensions sur les approvisionnements décidaient l'Union européenne à formuler une stratégie de réponse. Les écoles et organismes de formation, ainsi que les compétences technologiques françaises pourraient constituer le fondement de partenariats qui auraient pour but de renforcer la coopération scientifique, technique et industrielle avec des pays producteurs de métaux critiques.

Encadré 7

Les stratégies allemande et japonaise :

un partenariat public/privé pour assurer les approvisionnements en métaux critiques

La stratégie de l'Allemagne

L'Allemagne n'extrait aucun minerai métallique de son sol, son industrie est donc complètement dépendante des importations. Depuis 2005, une véritable stratégie des matières premières a été mise en place et s'est traduite par :

- l'intensification des relations diplomatiques : un partenariat avec le Kazakhstan, un projet de partenariat avec l'Union africaine ;

- la création en octobre 2010 de la *Deutsche Rohstoffagentur* (DERA), agence allemande des matières premières intégrée au sein du BGR (Institut fédéral pour les géosciences et les matières premières) qui fournit de l'information publique aux entreprises ;
- début 2012, la réunion de grandes entreprises de la chimie (BASF, Bayer), de l'automobile (BMW, Daimler), de la sidérurgie (ThyssenKrupp, Stahl) au sein d'une Alliance pour la sécurisation des matières premières (Rohstoff-Allianz), qui servira de centrale d'achat pour ses membres et prendrait des participations dans des activités d'exploration/production.

La stratégie du Japon

Premier importateur mondial de terres rares, dont les besoins (demande estimée de 20 000 à 30 000 tonnes/an par le gouvernement) étaient jusqu'à présent couverts à 60 % par la Chine, le Japon est particulièrement exposé aux ruptures d'approvisionnement, occasionnées par l'annonce d'une suspension des livraisons en 2010 et la baisse des quotas d'exportation chinois en 2012. Du fait de la prééminence des secteurs électroniques et automobile dans son modèle industriel, de telles ruptures auraient un impact considérable sur l'économie japonaise.

Si l'impact de la crise économique mondiale, responsable d'une baisse de l'activité industrielle, s'est traduit par une diminution de la demande japonaise de terres rares, l'État et le secteur privé se sont mobilisés pour actionner différents leviers susceptibles de diminuer les contraintes d'approvisionnement à long terme. L'objectif est de diviser par deux les importations chinoises de terres rares et d'être autosuffisant pour moitié de la demande en métaux stratégiques. Le gouvernement subventionne à la fois les projets permettant d'assurer un approvisionnement diversifié, ainsi que de développer le recyclage et la substitution.

Le *Japan Oil, Gas and Metals National Corporation* (Jogmec) est l'agence administrative au centre de la politique japonaise de gestion des approvisionnements en matières premières. Elle réalise une veille approfondie sur les ressources et l'état de la demande, ainsi que sur les prix des métaux repérés comme stratégiques (notamment l'indium, les terres rares, le platine, le gallium, le niobium, le tantale, le strontium), signe des accords de coopération avec des pays producteurs, finance une partie des co-entreprises (ou *joint-ventures*) établies entre des entreprises japonaises et étrangères, et subventionne des projets d'exploration par des entreprises domestiques.

Le JOGMEC est également responsable du programme de stockage national, créé une trentaine d'années auparavant à la suite des chocs pétroliers. Si les terres rares ne font pas partie des sept matériaux stockés (nickel, chrome, tungstène, cobalt, molybdène, manganèse, vanadium), la gestion de ces réserves est partagée, réparties à 70 % dans le secteur public (le JOGMEC détient 42 jours de consommation moyenne nationale) et à 30 % dans le secteur privé (lequel stocke 18 jours de consommation moyenne nationale). Ces stocks sont détenus par des sociétés de négoce (Sojitz, Sumitomo) ou des industries utilisatrices (Mitsubishi) que le JOGMEC a aidé à diversifier les importations de terres rares au cours des dernières années.

Des accords d'importation de terres rares ont ainsi été signés en 2010 avec le Kazakhstan et le Vietnam, puis avec l'Inde en novembre 2012. Cette dernière convention (*memorandum of understanding*) prévoit la livraison de 4 100 tonnes par an au Japon. L'accord conclu avec le Vietnam prévoit la création d'un centre de recherche conjoint sur les terres rares à Hanoï.

Ces partenariats entre États ont été suivis de collaborations dans le secteur privé. Des entreprises comme Toyota, Sumitomo ou Nippon Light Metal ont ainsi mis en place des par-

tenariats portant sur les étapes de traitement et de raffinage des terres rares. Les entreprises partenaires se situent dans les pays concernés par les accords d'importation japonais comme en Inde, au Viêt-Nam, au Kazakhstan, aux Philippines et en Jamaïque⁶⁶.

Pour être efficaces, ces accords conclus avec des pays qui font partie des nouveaux producteurs de terres rares imposent de relever un double défi, à la fois technologique et environnemental. En 1992, ce sont en effet des problèmes environnementaux qui avaient motivé la fermeture de l'usine de traitement de terres rares de Mitsubishi Chemicals en Malaisie. Par ailleurs, le Japon est dans ces territoires en concurrence avec la Chine, également à la recherche de sources d'approvisionnements pour satisfaire sa demande industrielle.

L'aide financière du JOGMEC, sous la forme de garanties ou d'investissements directs (elle bénéficie d'un « budget terres rares ») a par ailleurs permis aux entreprises japonaises de conclure des contrats d'importation avec les sociétés minières sur le point de mettre en production des gisements en Australie (Sojitz a ainsi signé un accord avec la société Lynas, prévoyant la livraison de 9 000 t/an à l'horizon de dix ans) et aux États-Unis (Sumitomo s'est entendu avec la société Molycorp sur la livraison de 3 000 t/an). Au Canada, Toyotsu (Toyota Tsusho Corporation) a pris des participations au capital du projet Kipawa (gisement de terres rares lourdes) en partenariat avec la junior d'exploration Matamec Explorations.

Enfin, les gouvernements allemand et japonais, en lien avec le secteur privé, financent activement des programmes de recherche (cf. encadré 6)

3.10. Adopter une politique commerciale *ad hoc*

Le recours auprès de l'OMC et des instances mondiales pour s'opposer au durcissement des barrières à l'exportation mises en œuvre par les pays producteurs est nécessaire mais ne permet pas d'espérer de résultats immédiats. La plainte déposée en 2009 par le Mexique, les États-Unis et l'Union européenne à l'encontre des restrictions à l'exportation sur un certain nombre de matières premières⁶⁷ mises en place par la Chine, suivie de la condamnation de cette dernière (confirmée en appel en 2012) montre que le délai entre le dépôt d'une plainte et la décision définitive de l'Organe de règlement des différends peut durer plus de trois ans. De plus, le relâchement des tensions sur certains métaux ne semble pas devoir se réaliser à court terme. En effet, les restrictions aux exportations mises en œuvre par certains pays producteurs, notamment la Chine, s'intègrent dans des politiques industrielles de long terme, qui visent à développer la valeur ajoutée de leurs exportations. Ces États cherchent à vendre des produits finis de haute technologie (automobiles, avions, éoliennes...) plutôt que des ressources minérales brutes.

Si l'amorce d'une requête par les États-Unis, l'Union européenne et le Japon en 2012, concernant les barrières à l'exportation sur des matériaux stratégiques notamment les terres

⁶⁶ Sources :

<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/mine/tera/textera.htm>.

<http://www.bloomberg.com/news/2012-11-16/japan-signs-deal-with-india-on-rare-earth-production-supply.html>.

<http://indices.usinenouvelle.com/metaux-non-ferreux/metaux-mineurs/sumitomo-va-produire-du-scandium-aux-philippines.4665>.

<http://www.caribbean360.com/index.php/business/664360.html#axzz2QG4ssquv>.

⁶⁷ Neuf matières premières minérales (bauxite, coke, spath fluor, magnésium, manganèse, carbure de silicium, métal de silicium, phosphore jaune, zinc). Voir les dossiers de l'OMC: http://www.wto.org/french/tratop_f/dispu_f/cases_f/ds394_f.htm

rare⁶⁸, est légitime au vu des compétences de l'OMC en matière de réglementation du commerce international et du caractère dommageable de ces restrictions aux échanges, il semble également pertinent de mettre parallèlement en œuvre des stratégies de diversification des approvisionnements (coopérations avec différents pays producteurs, relance de l'activité minière, recyclage...). Il s'agit alors en amont ou en complément des procédures engagées devant l'ORD, de mener des discussions bilatérales avec les pays concernés, ce qui pourrait permettre d'avoir plus de marges de manœuvre dans les négociations.

Par ailleurs, il serait utile de réfléchir à un approfondissement de la stratégie européenne en la matière. Une récente étude du *Stiftung Wissenschaft und Politik* (SWP, 2013), institution de conseil au gouvernement et au parlement allemand, souligne à la fois l'incapacité d'un État à développer seul une politique de réponse aux risques d'approvisionnement en métaux et l'absence de cohérence entre les stratégies déployées par les pays du G20 en la matière. Le rapport estime que le caractère parcellaire et fragmenté des politiques nationales est contre-productif quand il s'agit d'assurer un accès pérenne aux métaux industriels.

À l'avenir, cet accès est susceptible de dépendre des coopérations entre industriels de différents secteurs et entreprises, *via* leur participation financière au capital de sociétés minières. Au niveau européen, il sera ainsi souhaitable de favoriser des partenariats entre industriels, à l'image des initiatives prises en Allemagne (cf. *supra*), quelle que soit leur taille, au sein d'un même secteur mais à différents niveaux de la chaîne de valeur, afin d'identifier les risques et les opportunités en matière de sécurisation des approvisionnements.

➤ **Proposition 7:** *Au niveau européen, favoriser des partenariats entre industriels du même secteur et à différents niveaux de la chaîne de valeur, sur le modèle de l'initiative lancée en Allemagne.*

⁶⁸ http://www.wto.org/french/tratop_f/dispu_f/cases_f/ds431_f.htm

Conclusion

La criticité des matériaux nécessaires à l'industrie française est par nature fluctuante : elle dépend de l'évolution des technologies, de la demande mondiale, et des contraintes liées à l'exploitation des ressources, de nature environnementale, économique, ou géopolitique.

Les petits métaux, qui se caractérisent par une production modeste par rapport aux métaux de base, sont de plus en plus indispensables aux industries du futur. Ils constituent ainsi des exemples emblématiques de l'aspect variable de la criticité. La demande en terres rares, autrefois très peu utilisées, a ainsi explosé à l'aune de développements technologiques, notamment liés à la transition énergétique : leur caractère critique est apparu avec les premiers signes de limitations aux exportations instaurées par le principal pays producteur.

La France ne peut espérer poursuivre un développement industriel ambitieux à long terme sans une stratégie adéquate pour répondre aux tensions sur l'approvisionnement de ces matériaux. Comme aux États-Unis, en Chine, au Japon et dans certains pays européens, les pouvoirs publics sont désormais conscients de la nécessité de mettre en œuvre des politiques dédiées. La création du COMES et la mobilisation du ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur en faveur du développement de techniques de recyclage sont autant de premiers pas en la matière. Reste à donner à cette stratégie et à ces efforts une envergure nationale, s'intégrant dans l'initiative européenne existante, et à les articuler autour de coopérations entre les parties prenantes des secteurs public et privé.

Annexe 1			
Risque de pénurie <i>les matériaux à surveiller</i>			
Caractéristiques	Utilisations principales	État des ressources et des réserves*	
Antimoine	Sous-produit du plomb. Réserves en diminution depuis dix ans. La Chine (53 % des réserves) réalise 90 % de la production mondiale. Envolée des prix à prévoir, qui peut rendre de nouveaux gisements rentables.	Pharmacie, textiles, électronique (semi-conducteurs, infrarouge), transports (batteries).	Réserves faibles (douze ans de consommation), ressources inconnues.
Gallium	Sous-produit de l'alumine (bauxite) et du zinc. Son extraction nécessite une technologie de pointe. Production située à 40 % en Chine, mais géographiquement diversifiée.	Imagerie médicale, électronique (semi-conducteurs).	Réserves et ressources difficiles à estimer. Réserves estimées à 1,6 Mt, soit plus de 100 siècles de consommation, mais une infime partie des ressources est aujourd'hui économiquement exploitable.
Germanium	Sous-produit du zinc. La Chine réalise 70 % de la production mondiale.	Télécommunication (fibres optiques), Optique (infrarouge), chimie (catalyseurs), électronique, cellules photovoltaïques.	Réserves très faibles, ressources inconnues. En 2009, l'offre aurait couvert la demande mondiale avec dix tonnes d'excédent.
Indium	Sous-produit du zinc. La Chine réalise presque 60 % de la production mondiale.	Audiovisuel (écrans plats LCD), télécommunication (fibres optiques), cellules photovoltaïques, optique (LED), mécanique, dispositifs médicaux	Réserves et ressources inconnues.
Nickel	Production mondiale géographiquement diversifiée.	Aéronautique, électronique, transports	Réserves de 75 Mt tonnes (une trentaine d'années de consommation), ressources faibles (130 Mt tonnes).
Sélénium	Sous-produit du cuivre. Production mondiale géographiquement diversifiée.	Impression/reprographie, cellules photovoltaïques	Réserves de 88 000 tonnes (une trentaine d'années de consommation), ressources de 320 000 t (plus d'un siècle de consommation). Ressources, réserves et production mondiale difficilement évaluables (confidentialité de la production américaine)

Tellure	Sous-produit du cuivre. Extrême rareté dans l'écorce terrestre.	Impression/reprographie, cellules photovoltaïques, optique (infrarouge), chimie (caoutchouc).	Réserves, ressources et production très opaques (confidentialité des données de nombreux acteurs). Consommation mondiale estimée à 200t/an (pourrait augmenter fortement avec le développement du PV CdTe), réserves mondiales imparfaitement estimées à 22 000 t en 2009.
Zirconium	Les États-Unis réalisent plus de 40 % de la production mondiale.	Nucléaire, chimie, dispositifs médicaux (dentisterie), coutellerie céramique, métallurgie.	Réserves de 48 Mt tonnes (une trentaine d'années de consommation), ressources faibles (60 Mt tonnes). La demande pourrait augmenter avec le développement de l'industrie nucléaire chinoise.

* Les réserves estimées en années de consommation s'entendent « au rythme actuel de consommation».

Sources : Fouquet Y. et Lacroix D. (*op. cit.*) ; US Geological Survey (2013).

Bibliographie

Birraux C. et Kert C. (2011), *Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares*, Rapport n° 782 (2010-2011), Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

(<http://www.senat.fr/rap/r10-782/r10-782.html>)

Blanc J. (2011), *La sécurité des approvisionnements stratégiques de la France*, rapport n°349 (2010-2011), 10 mars, Sénat.

(http://www.senat.fr/rap/r10-349/r10-349_mono.html)

Braux C. & Christmann P. (2012), « Facteurs de criticité et stratégies publiques française et européenne - Enjeux et réponses », *Géosciences* n°15, juin, d'après Ad-hoc working group on defining critical raw materials (2010), *Critical raw materials for the EU*.

BRGM (2011), « Terres rares : enjeux et perspectives », *Éco-notes du BRGM*, février.

Commission européenne (2010), *Critical Raw Materials for the EU*, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 30 juillet.

(http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm)

Commission européenne (2012), *Stockpiling of Non-Energy Raw Materials*. Final Report, mars, prepared for Directorate-General Enterprise and Industry by Risk & Policy Analysts Limited.

Committee on Critical Mineral Impacts of the U.S. Economy, Committee on Earth Resources, National Research Council (2008), *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*, National Research Council of the National Academies. (http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12034).

Department of Energy (2011), *Critical Materials Strategy*, Washington DC.

(<http://energy.gov/pi/office-policy-and-international-affairs/downloads/2011-critical-materials-strategy>)

Fouquet Y. et Lacroix D. (2012), *Les ressources minérales marines profondes : étude prospective à l'horizon 2030*, éditions Quæ, CIRAD, IFREMER, INRA, IRSTEA.

FMI (2010), *Perspectives de l'économie mondiale*, avril, Washington DC.

Grouard M.-H., Lévy S. et Lubochinsky C. (2003), « La volatilité boursière : des constats empiriques aux difficultés d'interprétation », *Revue de la stabilité financière*, n°2, juin, Banque de France.

Hedrick J. (2000), *Rare Earths*, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

Heller D. et Vause N. (2012), "Collateral requirements for mandatory central clearing of OTC derivatives", Working papers n°373, mars, Banque des règlements internationaux.

Hocquard C. et Hedrick Consultant Inc (2010), « Rare earths, strategic inputs to sustainability », communication, Ifri Energy Breakfast Roundtable, 20 mai, Bruxelles.

Hocquard C. & Le Billon P. (2007), « Filières industrielles et conflits armés : le cas du tantale dans la région des Grands Lacs », *Écologie & politique* 2007/1, n 34 (<http://www.cairn.info/revue-ecologie-et-politique-2007-1-page-83.htm>)

Johnson S. (2013), "JPMorgan's copper ETP splits opinion", *Financial Times*, 6 janvier. (<http://www.ft.com/cms/s/0/989389f4-533c-11e2-9e71-00144feab49a.html#axzz2PW3ARmsZ>)

von Kleist K. et Pêtre D. (2012), « Statistical release: OTC derivatives statistics at end-December 2011 », mai, monetary and economic department, Banque des règlements internationaux.

Loos F. et Vautrin C. (2011), « Rapport d'information sur le prix des matières premières », 19 octobre, Assemblée nationale. (<http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i3863.pdf>)

Mason J. (2013), "SEC faces legal challenge on approval for JPMorgan's copper ETF", 12 février, Reuter. (<http://www.xe.com/news/2013-02-12%2016:30:00.0/3201121.htm>)

Resnick Institute (2011), "Critical materials for sustainable energy applications", The Resnick Sustainability Institute at the California Institute of Technology, in DEFRA (2012), *A Review of National Resource Strategies and Research*, mars.

SWP (2013), *Fragmentation or Cooperation in Global Resource Governance? A Comparative Analysis of the Raw Materials Strategies of the G20*, SWP Research Paper 2013/RP 01, mars.

U.S. Geological Survey (1980), *Principles of a Resource/Reserve Classification for Minerals*, based on U.S. Geological Survey Circular 831, U.S. Bureau of Mines and the U.S. Geological Survey.

U.S. Geological Survey (1996), *Rare Earths*, Mineral Commodity Summaries, January 1996

U.S. Geological Survey (2011), in Christmann P. (2011), « Terres rares : enjeux et perspectives », éconote du dossier « Terres Rares » de la revue *Géochronique* n°118, 2011.

U.S. Geological Survey (2012), *Minerals Yearbook 2010*.

US Geological Survey (2013) *Rare Earths*, Mineral Commodity Summaries, January.

Wang X., Li J.F. et Zhang Y.X. (2010), "Can export tax be genuine climate policy? An analysis on China's export tax and export VAT refund rebate policies", Working Papers N°08/2010, IDDRI, Sciences Po.



↳ « **La protection sociale en Amérique latine.**

Analyser les enjeux et identifier les axes de coopération pour la France »

Catherine Collombet, Document de travail N°2013-03, juillet.

↳ « **L'impact investing pour financer l'économie sociale et solidaire ?**

Une comparaison internationale »

Camille Guézennec et Guillaume Malochet, Document de travail N°2013-02, juin.

↳ « **L'effet des « taxes comportementales ».** *Revue (non exhaustive) de la littérature »*

Pierre-Yves Cusset, Document de travail N°2013-01, juin.

La série Documents de travail du Commissariat général à la stratégie et à la prospective est disponible sur www.strategie.gouv.fr, rubrique Publications

Copyright : Commissariat général à la stratégie et à la prospective 2013.

Toute demande de reproduction ou traduction, partielle ou en totalité de ce texte, doit être adressée à Jean-Michel Roullé, Responsable de la communication, Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 18, rue de Martignac, 75007 Paris - Mail : jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr

Application for permission to reproduce or translate all, or part of, this material should be made to : Jean-Michel Roullé, Head of Communication, Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 18, rue de Martignac, 75007 Paris, France - Mail : jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr