AgroParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

FORÊT, NATURE ET SOCIÉTÉ

Centre d'analyse stratégique

Les matières premières critiques pour la France

Mémoire de mission professionnelle

Suzanne Lutfalla
2011-2012

Octobre 2012

AgroParisTech

Centre d'analyse stratégique

Les matières premières critiques pour la France

Mémoire de mission professionnelle

Suzanne Lutfalla
2011-2012

Octobre 2012

Maître de stage : Blandine Barreau
Directeur du département Développement durable : Dominique Auverlot

Résumé

L'objectif de cette étude est de fournir une liste de matières premières critiques pour la France. Indispensables pour l'industrie française, ce sont des matières premières minérales non énergétiques dont l'approvisionnement pourrait être problématique à court ou moyen terme. Leur détermination constitue la première étape dans le processus de propositions de politiques publiques quant à l'accès aux matières premières.
Premièrement, la notion de criticité des matières premières minérales est définie à travers l'étude des rapports américains et européens sur le sujet. La criticité des matériaux se définit selon deux axes : l'importance économique et le risque pesant sur l'approvisionnement. Chaque étude définit des critères qualitatifs ou quantitatifs qui permettent d'isoler un nombre restreint de matériaux critiques.
Dans une deuxième partie, les besoins de l'industrie française sont étudiés. Il s'agit de déterminer l'ensemble des matières premières minérales non énergétiques sur lesquels reposent des secteurs importants de notre économie. Les besoins des secteurs de la chimie, de l'automobile, de l'aéronautique, des équipements électriques, des technologies de l'information et de la communication (TIC), des énergies renouvelables et de la défense sont tour à tour étudiés. Vingt et une familles de matières premières sont ainsi isolées : l'antimoine, le béryllium, le cobalt, le cuivre, le gallium, le germanium, le graphite, l'indium, le lithium, le magnésium, le nickel, le niobium, les platinoïdes, le rhénium, le sélénium, le silicium, le tantale, le tellure, les terres rares, le titane et le zirconium.
Dans une troisième partie, les risques pouvant peser sur l'approvisionnement de chacun des matériaux précédemment sélectionnés sont analysés. Les sources potentielles de tension sur l'approvisionnement sont étudiées : l'augmentation de la demande mondiale, la volatilité des prix des matières premières, leur disponibilité physique, les mécanismes de marchés, la substituabilité, les caractéristiques de l'industrie minière ainsi que les facteurs climatiques, environnementaux, politiques, géopolitiques et sociaux. De plus, les stratégies de certains pays clés sont étudiées, la Chine en tant que pays producteur, le Japon et les États-Unis pour les pays consommateurs qui ont déjà mis en place une stratégie pour les matières premières critiques.
En conclusion, un petit nombre de matières premières présente des risques particulièrement forts à court terme : les terres rares lourdes. À moyen terme, d'autres matières premières sont concernées : le lithium selon les évolutions de marché du véhicule électrique ou hybride, l'antimoine dont les réserves diminuent chaque année. De plus, les sous-produits d'autres exploitations minières sont à surveiller. En effet, l'indium et le gallium sont utilisés dans des secteurs porteurs d'une forte demande alors que leur production est inélastique.

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante qu'elles m'ont fait vivre durant ces cinq mois de stage au sein du Centre d'analyse stratégique :

Madame Blandine Barreau, ma tutrice, pour son encadrement équilibré, son éternelle motivation, sa bonne humeur et ses conseils ;

Monsieur Dominique Auverlot, pour son accueil au sein du Département développement durable et ses conseils toujours pertinents lors des différentes réunions que nous avons eues et tout au long de l'avancement de ce rapport ;

Madame Gaëlle Hossie, pour son accompagnement tout au long de cette mission, sans oublier sa participation au cheminement de ce rapport ;

Madame Sylvie Paupardin, pour toutes les fois où elle m'a conseillée et aidée ;

Je remercie également tous les membres de l'équipe du département Développement durable pour leur accueil chaleureux ;

Je tiens également à remercier l'équipe pédagogique du mastère spécialisé « Forêt, nature et société » et particulièrement Monsieur Christophe Voreux, pour ses conseils avisés et pour avoir accepté d'être mon tuteur lors de cette mission professionnelle ;

Et merci à Olivia et Olivier !

Avant-propos

Ceci est un exemplaire du rapport que j'ai rédigé à l'occasion de ma mission professionnelle du mastère spécialisé « Forêt, nature et société » de l'école AgroParisTech ENGREF.
L'organisme qui m'accueillait pour ce stage est le Centre d'analyse stratégique, une institution publique d'expertise placée auprès du Premier ministre. Ses missions consistent à accompagner le gouvernement dans la formulation de certaines réformes par le biais de la publication de notes de synthèse, de notes d'analyse et de rapports. Ces livrables comportent toujours un volet de propositions de politiques publiques concrètes sur le sujet traité. En l'occurrence j'ai travaillé sur la problématique des matières premières critiques, ce sont l'ensemble des matières premières minérales non énergétiques (ce qui exclut donc le pétrole, l'uranium ou le gaz de schistes) qui sont indispensables pour l'industrie et dont l'approvisionnement peut faire l'objet de tensions dues à un ensemble de raisons diverses et variées (aléas naturels, mécanismes de marché, barrières à l'exportation…). Cette mission est somme toute assez éloignée de la gestion forestière qui a été le sujet des enseignements du mastère spécialisé. Cependant, il est en continuité avec mon parcours au sein du département de Chimie à l'École normale supérieure de Lyon et il a répondu à mes attentes par rapport à la nature des missions que l'on peut réaliser au sein de l'Administration. En effet, l'ENS de Lyon m'avait fait connaître le monde académique grâce à une formation « pour la recherche, par la recherche » et j'avais le souhait de découvrir si les missions que l'on peut trouver au sein de l'Administration pouvaient me correspondre. C'est chose faite, et je vais d'ailleurs concilier le monde académique et l'analyse stratégique et prospective pendant ma thèse en continuant de travailler pour Centre d'analyse stratégique.
Pendant les 5 mois de stage j'ai rempli le rôle d'une chargée de mission du département Développement durable. En collaboration étroite avec ma maîtresse de stage, Blandine Barreau, et une autre chargée de mission, Gaëlle Hossie, j'ai réalisé une analyse des matières premières critiques pour la France et lorsque c'était possible pour l'Union européenne.

Abréviations

- ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ;
- AFD : Agence française de développement
- BRGM : Bureau des ressources géologiques et minières ;
- CAS : Centre d'analyse stratégique ;
- CEA : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives ;
- CEPII : Centre d'études prospectives et d'informations internationales ;
- CESMAT : Centre d'études supérieures sur les matières premières ;
- CdTe : cadmium, tellure ;
- CIGS : cuivre, indium, gallium, sélénium ;
- CNRS : Centre national de la recherche scientifique ;
- COMES : Comité pour les métaux stratégiques ;
- DOD : *Department of Defense*. ministère de la Défense américain ;
- DOE : *Department of Energy*, ministère de l'Énergie américain ;
- EPIC : Établissement public à caractère industriel et commercial ;
- ETC : *Exchange traded commodities* ;
- ETF : *Exchange traded funds* ;
- ETN : *Exchange traded notes* ;
- ETP : *Exchange traded products* ;
- HHI : *Herfindahl-Hirschman Index* ;
- IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer ;
- INSU : Institut national des sciences de l'univers ;
- IRM : Imagerie par résonance magnétique ;
- LME : *London Metal Exchange* ;
- OMC : Organisation mondiale du commerce ;
- OPESCT : Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques ;
- ORD : Organe de règlement des différends ;
- PIB : Produit intérieur brut ;
- PV : Photovoltaïque ;
- SMPB : *Strategic Materials Protection Board,* ;
- TIC : Technologies de l'information et de la communication ;
- USGS : *United States Geological Survey,* Service Géologique Américain.

Sommaire

Résumé **5**

Remerciements **7**

Avant-propos **7**

Abréviations **8**

Introduction Pourquoi parle-t-on de matières premières critiques ? *13*

Chapitre 1 La notion de criticité : le déséquilibre entre l'offre et la demande de terres rares donne à ce terme toute sa signification *15*

1. La définition générale de la criticité : l'importance économique et le risque d'approvisionnement **15**

1.1. Le caractère stratégique des matières premières indispensables à une filière de l'économie . 15

1.2. Les deux dimensions de la criticité : l'importance économique et le risque d'approvisionnement 15

2. Les études américaines définissent la criticité dans une approche sectorielle de l'importance économique **16**

2.1. Le ministère de l'Énergie américain se focalise sur quatre technologies du secteur des énergies vertes et retient cinq matières premières critiques 16

2.2. Les besoins spécifiques au secteur de la défense américain ont fait l'objet de plusieurs études qui identifient sept matières premières stratégiques 17

3. La Commission européenne et les pays européens retiennent les besoins de l'économie globale dans leur évaluation de la criticité **19**

3.1. Le rapport de la Commission européenne de juillet 2010 identifie quatorze matières premières critiques à travers une analyse quantitative multifactorielle 19

3.2. Les documents de stratégie nationale des pays de l'Union européenne s'inscrivent dans la démarche de la Commission européenne 21

3.3. Les Pays-Bas et l'Allemagne définissent une méthodologie d'évaluation de la criticité afin de déterminer leurs besoins nationaux respectifs 21

4. La définition de la criticité utilisée dans la suite de cette étude repose sur l'analyse de l'ensemble des matières premières stratégiques pour l'industrie puis par l'évaluation du risque de rupture d'approvisionnement en matériaux pour la France **22**

Chapitre 2 Des initiatives françaises ont déjà vu le jour et les acteurs français du monde minier ont une carrure internationale mais il n'existe pour l'instant pas de stratégie minière française *24*

Quelques acteurs de l'industrie minière sont encore présents en France mais ne se positionnent que sur certaines matières premières **24**

Chapitre 3 Les besoins en matériaux de l'industrie française à dix ans permettent d'identifier une liste de matériaux stratégiques dont nous devons assurer l'approvisionnement *27*

1. Les principaux secteurs industriels dans l'économie d'aujourd'hui et de demain font appel à quelques matériaux stratégiques **27**

1.1. Les besoins du secteur de la chimie et de la pharmacie 28

1.2. Les besoins du secteur de l'aéronautique et de l'automobile 28

1.3. Les besoins particuliers du secteur de l'énergie nucléaire 29

1.4. Le secteur de la défense 29

1.5. Les technologies vertes 29
1.6. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) 30

2. Les secteurs industriels français compétitifs sur la scène internationale ont des besoins similaires à ceux des principaux secteurs de l'économie nationale 30

3. Certains secteurs industriels sont moins compétitifs mais dépendent fortement de plusieurs autres matériaux 31

4. Des volumes d'importation importants relativement à la production mondiale pour certains matériaux montrent une forte dépendance de la France vis-à-vis d'approvisionnements extérieurs 32

5. Récapitulatif 32

Chapitre 4 Des risques importants pèsent sur notre approvisionnement à court terme 37

1. Les tendances globales d'augmentation de la demande en matières premières minérales et la volatilité durable de leurs cours laissent présager des tensions sur l'approvisionnement 37
1.1. Une demande mondiale tirée par la croissance des pays émergents qui redéfinit la répartition des besoins en matières premières provenant traditionnellement de l'Europe et des pays industrialisés 37
1.2. La décennie 2000-2010 a montré que les cours des matières premières sont fortement volatils et aucune stabilisation n'est prévisible à court terme du fait de l'augmentation de la demande mondiale 38
1.3. Il existe des scénarios de croissance de la demande pour certaines matières premières et pour certaines utilisations qui permettent de mettre en lumière de potentielles inadéquations entre l'offre et la demande 40

2. Les mécanismes de marché spécifiques aux matières premières peuvent être à l'origine des ruptures d'approvisionnement ponctuelles 41
2.1. Des situations différentes selon les métaux considérés 41
2.2. L'influence toujours plus importante du marché financier sur le marché physique des métaux déstabilise les cours et crée des tensions sur l'approvisionnement 42
2.3. Beaucoup d'incertitudes demeurent quant à l'impact de la spéculation sur les cours des matières premières 43

3. La substituabilité est le premier facteur qui peut renforcer ou réduire le risque lié à l'approvisionnement d'un matériau 44

4. Un épuisement physique des ressources est peu probable à moyen terme mais les coûts d'extraction sont croissants 45
4.1. La pénurie physique ne constitue pas un problème à moyen terme pour la plupart des matériaux, explication à travers l'exemple du cuivre 47
4.2. Cependant certains matériaux sont à surveiller car ils ont des réserves ou des ressources très faibles d'après l'*USGS* 48
4.3. Néanmoins le cas particulier des sous-produits est à surveiller, puisqu'ils sont caractérisés par une plus grande difficulté d'estimation des ressources et par une production inélastique 48
4.4. De plus les concentrations en minerais sont de plus en plus faibles et les mélanges de plus en plus complexes ce qui rend plus difficile une exploitation rentable, des progrès technologiques et techniques sont requis dans ce domaine 50

5. À court terme, le risque essentiel correspond à une insuffisance de l'offre accessible au niveau mondial résultant du délai entre prospection et production inhérent au secteur et d'un manque d'investissement 50

6. Les risques sociaux, politiques, géopolitiques et environnementaux liés à une production concentrée dans certains pays peuvent conduire à des ruptures ponctuelles d'approvisionnement indépendantes des mécanismes de marché 53
6.1. Les manifestations et grèves récentes des mineurs dans les mines de platinoïdes en Afrique du Sud et le soulèvement local contre la raffinerie de terres rares de Lynas en Malaisie montrent que des risques sociaux peuvent peser sur l'approvisionnement en matières premières 53
6.2. Les matières premières peuvent faire l'objet de représailles dans le cadre de disputes diplomatiques ou géopolitiques interétatiques, comme l'illustre la dispute sino-japonaise au sujet des îles Senkakku/Diaoyu dans la mer de Chine 54
6.3. Certains pays détenteurs de ressources annoncent la mise en place de barrières à l'exportation des matières premières, c'est le cas de la Chine ou de la Bolivie par exemple 54
6.4. Exemple d'un monopole sur une matière première : cas de la Chine et des terres rares 55

Conclusion ***59***

Bibliographie ***60***

Littérature : **60**

Rapports fondateurs : **60**

Autres rapports : **60**

Articles scientifiques : **61**

Sites internet : **61**

Support de cours : **62**

Journaux et articles de presse : **62**

Annexes ***63***

1. Tableau périodique des éléments **63**

2. Les matériaux exclus de cette étude **63**
2.1. Le fer, un métal majeur 63
2.2. Le plomb, de plus en plus délaissé 63
2.3. Le zinc et l'aluminium, des métaux majeurs peu problématiques 64

Pourquoi parle-t-on de matières premières critiques ?

L'utilisation des éléments de la classification périodique de Mendeleïev a beaucoup évolué depuis les années 1980. De nouvelles propriétés ont été découvertes et sont dorénavant utilisées dans des objets de la vie quotidienne. C'est ainsi qu'Intel (entreprise américaine, premier producteur mondial de semi-conducteurs et de composants d'ordinateur) estime être passé de 11 éléments de la classification périodique pour la fabrication d'un ordinateur dans les années 1980 à presque 60 aujourd'hui (sur un total de 94 éléments rencontrés à l'état naturel).

Nombre de ces éléments aujourd'hui indispensables pour des technologies telles que les téléphones portables, les appareils à écrans tactiles, les éoliennes, les voitures électriques ou hybrides proviennent de minerais qui n'étaient pas exploités il y a quarante ans. L'industrie minière est passée de l'exploitation de quelques métaux à plusieurs dizaines aujourd'hui. Les cas des terres rares est un exemple souvent repris par la presse. Ces éléments sont produits presque exclusivement par la Chine (97 % de la production mondiale en 2010 d'après l'USGS) et sont indispensables au développement des nouvelles technologies. La mise en place par les autorités chinoises de quotas d'exportation en 2005 a conduit à une envolée des prix pour certains de ces éléments. Cet événement a déclenché une prise de conscience de la part des États sur leur vulnérabilité vis-à-vis de l'approvisionnement de certains matériaux « stratégiques » ou « critiques »[1]. Les premiers rapports sur le sujet ont été publiés en 2008[2]. En réponse aux quotas d'exportation chinois sur les terres rares, les États-Unis, le Japon et l'Union européenne ont déposé une plainte auprès de l'Organe de règlement des différends (ORD) de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) en mars 2012[3].

[1] "Critical raw materials for the UE", European Commission 2010,
lien : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm
"Critical materials strategy", Department of Energy (DOE), 2011,
lien : http://energy.gov/pi/office-policy-and-international-affairs/downloads/2011-critical-materials-strategy

[2] " Minerals, critical minerals and the U.S. economy", National Research Council, 2008, plus d'information sur le site internet : http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12034

[3] Une autre plainte avait déjà été déposée en 2009 par les États-Unis, l'Union européenne et le Mexique par rapport aux restrictions à l'exportation de la Chine sur différentes matières premières. Plus d'information sur les deux plaintes sur le site internet de l'OMC :
http://www.wto.org/french/tratop_f/dispu_f/cases_f/ds394_f.htm pour la première et
http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds432_e.htm pour la deuxième.

D’autres matières premières sont indispensables aux technologies d’avenir et présentent un risque de rupture d’approvisionnement : ils peuvent par conséquent être qualifiés de critiques. Le but de cette étude est de proposer une liste argumentée de matières premières critiques pour la France en évaluant d’une part les besoins en matières premières de l’industrie française et d’autre part en analysant les risques pesant sur leur approvisionnement afin de présenter des recommandations de politiques publiques visant d’une part à diminuer les risques de rupture d’approvisionnement et d’autre part à limiter l’impact qu’aurait une rupture d’approvisionnement sur l’économie française.

Chapitre 1

La notion de criticité : le déséquilibre entre l'offre et la demande de terres rares donne à ce terme toute sa signification

1. La définition générale de la criticité : l'importance économique et le risque d'approvisionnement

1.1. Le caractère stratégique des matières premières indispensables à une filière de l'économie

Les matières premières indispensables à une filière de l'économie sont qualifiés de stratégiques [4] pour cette filière ; c'est par exemple le cas du cuivre pour les équipements électriques ou le cas du néodyme pour les énergies renouvelables[5]. La détermination des matériaux stratégiques pour chaque filière de l'économie permet de mettre en évidence un ensemble de matières premières dont il faut assurer l'approvisionnement.

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

De manière générale, la criticité se définit par un ensemble de paramètres que l'on peut regrouper selon deux dimensions : un premier axe correspondant à l'importance économique d'un matériau (caractère stratégique) et un deuxième correspondant au risque lié à son approvisionnement. Cette notion vient de la nécessité de quantifier (afin de minimiser ensuite) l'impact qu'aurait une rupture ou une difficulté d'approvisionnement d'un matériau sur l'économie d'un pays ou d'une entreprise. L'analyse de la criticité permet donc d'isoler un certain nombre de matières premières stratégiques et dont le risque de rupture (ou de difficulté) d'approvisionnement est fort. Chaque étude sur la criticité sera différente, car la criticité dépend de l'échelle de temps retenue, des paramètres retenus pour évaluer les risques et de leur pondération et du nombre de filières économiques prises en compte (d'un secteur spécifique à l'ensemble de l'économie).

[4] Attention, le terme « stratégique » peut aussi s'appliquer au cas des matières premières nécessaires aux secteurs de la défense. Cette définition n'est pas retenue dans le cadre de ce rapport.
[5] Le néodyme est un constituant indispensable des aimants permanents de la plupart des éoliennes.

Pour aller plus loin…

Une équipe de l'université Yale travaille sur la notion de criticité, un de ses axes de recherche consiste à mettre au point une méthode de détermination de la criticité personnalisable et utilisable par tous les acteurs concernés (entreprises, états, ONG…). Trois axes sont utilisés : le risque d'approvisionnement, la vulnérabilité à une rupture d'approvisionnement et l'impact environnemental.
L'objectif est de déterminer la criticité des quelques soixante matériaux utilisés dans les technologies modernes.
Cette initiative implique des partenaires industriels américains et européens (Renault, General Electrics, Shell, …).

Source :
http://cie.research.yale.edu/research/criticality-metals.

2. Les études américaines définissent la criticité dans une approche sectorielle de l'importance économique

2.1. Le ministère de l'Énergie américain se focalise sur quatre technologies du secteur des énergies vertes et retient cinq matières premières critiques

Pour le ministère américain de l'Énergie (*Department of Energy*, DOE), l'importance économique correspond à l'importance de la matière première dans le domaine des énergies vertes et s'intéresse essentiellement à quatre technologies bien spécifiques : les éoliennes, les panneaux solaires photovoltaïques, les véhicules électriques et l'éclairage basse-consommation[6]. Leur analyse de la criticité se fonde sur un raisonnement quantitatif et qualitatif. Deux facteurs sont étudiés pour déterminer l'importance dans le domaine des énergies vertes : l'importance de la demande du secteur des énergies vertes, l'évolution présumée de l'offre et les limites de substituabilité. Plus la demande du secteur est forte et moins le matériau est substituable, plus le matériau sera critique vis-à-vis de son importance économique.

La détermination du niveau de risque lié à l'approvisionnement repose sur l'évaluation d'un indicateur multi-agrégé, les facteurs qui entrent en considération sont multiples et interviennent avec une pondération plus ou moins grande dans le calcul final :

- la disponibilité de la matière première (en termes d'unités de production existantes et de projets de mines),
- la compétition entre l'utilisation du matériau dans le secteur des énergies vertes et son utilisation dans d'autres secteurs,
- la stabilité politique,
- le risque de régulation et les pressions sociales pour les principaux pays producteurs,

[6] "Critical materials strategy", Department of Energy (DOE), 2011,
lien : http://energy.gov/pi/office-policy-and-international-affairs/downloads/2011-critical-materials-strategy

- le fait que le matériau soit un sous-produit et qu'il dépende du marché du produit principal et
- la diversité des pays producteurs et des entreprises productrices.

L'avantage de cette démarche est de prendre en compte le fait que le risque d'approvisionnement dépend en effet d'une multitude de facteurs et non uniquement de la concentration de la production dans quelques pays producteurs. Cependant, l'utilisation d'indicateurs multi-agrégés peut conduire à une certaine perte d'information sur la spécificité de chaque matière première.
Leur analyse conduit à la détermination de cinq matières premières critiques pour le court terme (2011-2015) et le moyen terme (2015-2025), ce sont tous des terres rares (voir encadré ci-contre) :

- le dysprosium (Dy),
- l'europium (Eu),
- le terbium (Tb),
- l'yttrium (Y),
- le néodyme (Nd).

Les terres rares

La famille chimique des terres rares comporte 17 éléments qui possèdent des caractéristiques similaires et qui sont souvent présents sous forme de mélange dans les minerais. Elles sont qualifiées de « rares » parce que quoique relativement abondantes dans la composition du manteau terrestre, on les trouve rarement dans des concentrations assez élevées pour pouvoir les exploiter et le processus d'extraction est complexe et coûteux. On distingue les terres rares légères et les terres rares lourdes :
Les terres rares légères : lanthane (La), cérium (Ce), praséodyme (Pr), néodyme (Nd), prométhium (Pm), samarium (Sm)
Les terres rares lourdes : scandium (Sc), yttrium (Y), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutétium (Lu).
Leurs propriétés catalytiques, électriques, magnétiques, chimiques et optiques sont très recherchées et bien que souvent utilisées en petites quantités, elles sont désormais indispensables pour beaucoup de produits de haute technologie : aimants permanents des éoliennes, éclairage basse consommation, moteurs des véhicules électriques ou hybrides, disques durs d'ordinateur, etc.

2.2. Les besoins spécifiques au secteur de la défense américain ont fait l'objet de plusieurs études qui identifient sept matières premières stratégiques

Afin d'assurer leur sécurité nationale, les pays développent des équipements militaires toujours plus sophistiqués et performants. De ce fait, le secteur de la défense dépend d'un approvisionnement en certains matériaux aux propriétés très spécifiques, notamment pour les missiles ou les radars de précision.
Le centre de recherche du Congrès américain s'est penché sur la question de la dépendance du secteur de la défense vis-à-vis de différents matériaux dont les très médiatisées terres rares, s'est ensuivie la publication d'un rapport[7] qui regroupe les résultats de différentes études sur le sujet. Parmi les sept terres rares dont dépendent les équipements militaires[8], seul l'approvisionnement en yttrium (utilisé dans les appareils de communication de la défense) pourrait poser problème à moyen terme puisqu'aucun projet de production domestique n'est envisagé pour cette terre rare[9].

[7] «Rare Earth Elements in National Defense: Background, Oversight Issues, and Options for Congress» publié en avril 2012, rédigé par Valerie Bailey Grasso pour le Congressional Research Service
[8] Dysprosium, erbium, europium, gadolinium, néodyme, praséodyme, et yttrium.
[9] En effet il ne sera pas récupéré dans la mine américaine de Mountain Pass : http://www.molycorp.com/resources/the-rare-earth-elements/yttrium/

En revanche, d'ici un an, les autres devraient être produites sur le sol américain en quantité suffisante pour le secteur de la défense. Un autre élément avancé par un membre du DOD est que le secteur de la défense utilise moins de 5 % des terres rares consommées aux États-Unis, ce qui ne constitue pas un gros volume.

Néanmoins, les terres rares ne sont pas les seules matières premières nécessaires aux équipements militaires. Le rapport du *Strategic Materials Protection Board* (SMPB) identifie le béryllium comme hautement stratégique du fait du très large spectre de ses applications militaires[10] et du nombre très restreint de producteurs[11]. De même, un rapport publié par le *Center for a New American Security*[12] s'intéresse à six familles de matériaux importants pour assurer la sécurité nationale des États-Unis : le lithium, le rhénium, les terres rares, le niobium, le tantale et le gallium. L'auteur met l'accent sur le fait que ces matières premières peuvent être en compétition entre une utilisation dans le domaine civil et dans le domaine militaire, amenant parfois l'industrie de la défense à dépendre de l'industrie civile pour ses approvisionnements.

En résumé, sept matières premières ont été identifiées comme stratégiques pour le secteur de la défense américain et leur approvisionnement doit faire l'objet d'une attention particulière (voir tableau ci-après).

Pour aller plus loin…

Dans son rapport annuel sur les capacités industrielles américaines, le ministère de la Défense américain (DOD) préconise de surveiller attentivement les métaux de spécialité et les matériaux nécessaires aux superalliages (chrome, cobalt, lithium, terres rares et platinoïdes). Selon l'auteur, la recherche accélérée de substituts aux ressources pétrolières dans le domaine de l'énergie conduit au développement de technologies reposant sur ces matériaux de spécialité. Ceci pourrait entraîner des tensions sur leur disponibilité.

Source :

Annual Industrial Capabilities Report to Congress, May 2010, p. 19, http://www.acq.osd.mil/ip/docs/annual_ind_cap_rpt_to_congress_2010.pdf .

[10] Du gain de poids dans les alliages, à la précision des appareils optiques en passant par l'isolation électrique. Son utilisation dans le domaine civil est quasi inexistante du fait de sa grande toxicité.

[11] Un seul fournisseur, d'après les rapporteurs : Brush Wellman.

[12] «Elements of Security : Mitigating the Risks of U.S. Dependence on Critical Minerals» publié en juin 2011 par Christine Parthemore, disponible à l'adresse : http://www.cnas.org/elementsofsecurity

Tableau 1 : Les besoins spécifiques du secteur de la défense

Matériau	Utilisation militaire	Utilisation civile
Béryllium	- Instrument de détection optique - Alliages résistants et légers - Électronique	- Faible car le béryllium est toxique - Nucléaire civil
Gallium	- Satellites - Radars, télécommunications	- Semi-conducteurs - Cellules photovoltaïques - Télécommunication
Lithium	- Batteries d'équipement militaire et de véhicules	- Stockage de l'électricité (batteries) - Céramiques
Niobium	- Missiles - Moteurs d'avion	- Additif dans les aciers HLE
Rhénium	- Moteurs d'avion	- Additif dans les aciers pour moteurs d'avion et turbines à gaz
Tantale	- Véhicules autoguidés	- Micro-électronique (condensateurs) - Smartphones
Terres rares	- Munitions autoguidées - Moteurs d'avion - « *Smart bombs* » - Lunettes Infra-rouge - Drones - Missiles	- Pots catalytiques - Catalyseurs pour le raffinage du pétrole - Agents de polissage du verre - Constituants des aimants permanents (éoliennes, voitures électriques,…) - Lasers - …

3. La Commission européenne et les pays européens retiennent les besoins de l'économie globale dans leur évaluation de la criticité

3.1. Le rapport de la Commission européenne de juillet 2010 identifie quatorze matières premières critiques à travers une analyse quantitative multifactorielle

Dans son rapport de juillet 2010 « Critical raw materials for the EU », la Commission européenne qualifie de critiques les matières premières en considérant trois facteurs : le risque d'accès lié à la stabilité des pays producteurs, celui lié à des contraintes environnementales et l'importance économique pour l'Union européenne.

L'importance économique d'un matériau est égale à la somme des contributions au produit intérieur brut (PIB) de chaque secteur industriel dans lequel il est utilisé pondérées par la proportion quantitative de matériau utilisé dans ce secteur.

Exemple : soit un produit X utilisé dans les secteurs A, B et C de contributions respectives au PIB c_A, c_B et c_C (en pourcentage). Les utilisations du produit X sont réparties dans les trois secteurs selon des pourcentages d'utilisation : x_A pour le secteur A, x_B et x_C pour les deux autres (avec $x_A + x_B + x_C = 1$). L'importance économique IE_X de X sera égale à :

$$IE_X = x_A c_A + x_B c_B + x_C c_C$$

Pour la Commission européenne, la stabilité de la sécurité de l'approvisionnement en termes de stabilité repose sur la diversité des pays producteurs et leur stabilité politique. Plus la matière première considérée est produite dans un petit nombre de pays (indicateur de concentration de production HHI[13]) et plus les pays producteurs sont peu stables (indicateurs de bonne gouvernance de la Banque mondiale[14]), plus le risque sur l'approvisionnement de la matière première sera considéré comme important. L'importance du recyclage et les possibilités de substitution sont cités comme des facteurs qui diminuent le risque lié à l'approvisionnement.

De même, la sécurité de l'approvisionnement en termes d'environnement repose sur la diversité des pays producteurs et sur la faible probabilité qu'ils mettent en place des barrières à la production ou à l'exportation pour des raisons environnementales. La construction de l'indicateur est identique à celle de l'indicateur de risque lié à l'approvisionnement en modifiant l'indicateur de concentration de production (HHI) pour y inclure l'indicateur de performance environnementale EPI de l'université Yale[15]. Si un pays a une performance environnementale faible, le risque lié à l'environnement est fort. Plus le matériau considéré est recyclé[16] ou substituable, plus le risque lié à l'environnement est faible.

Le résultat de leur analyse conduit à la détermination d'une liste de quatorze familles de matières premières critiques (pour voir leur position dans le tableau périodique des éléments voir l'annexe 1, p. 63) :

- les dix-sept terres rares[17],
- l'antimoine (Sb),
- le béryllium (Be),
- le cobalt (Co),
- la fluorine (CaF_2),
- le gallium (Ga),
- le germanium (Ge),
- le graphite (C),
- l'indium (In),
- le magnésium (Mg),
- le niobium (Nb),

[13] Pour une definition succinte, voir le site : http://www.justice.gov/atr/public/guidelines/hhi.html ; pour une définition plus détaillée voir le site : http://en.wikipedia.org/wiki/Herfindahl_index .
[14] http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.asp
[15] http://epi.yale.edu/
[16] On fait la différence entre recyclé et recyclable. Certains matériaux peuvent être recyclables techniquement mais ne sont pas recyclés par manque de rentabilité de la filière par exemple.
[17] Voir encadré « Les terres rares » page 17.

- les six platinoïdes[18],
- le tantale (Ta),
- le tungstène (W).

3.2. Les documents de stratégie nationale des pays de l'Union européenne s'inscrivent dans la démarche de la Commission européenne

Les résultats du rapport de la Commission européenne ont été réutilisés par les États membres pour élaborer leur stratégie nationale. La Finlande a mis en place une stratégie pour les matières premières minérales[19] dans laquelle elle reprend les résultats du rapport de la Commission européenne et évalue les potentialités minières de son territoire pour les minéraux retenus puis propose une série de politiques à mettre en place pour fortifier la position du pays sur le plan minier. Dans sa « stratégie pour l'Arctique 2011-2020 »[20], le royaume du Danemark reprend la liste des matériaux critiques de l'Union européenne en y ajoutant les matières premières cernées par d'autres études sur le sujet[21] afin d'étudier les potentialités minières de son territoire et du Groenland pour l'ensemble de ces matériaux.

3.3. Les Pays-Bas et l'Allemagne définissent une méthodologie d'évaluation de la criticité afin de déterminer leurs besoins nationaux respectifs

Les Pays-Bas[22] ont quant à eux repris les 41 matériaux qui ont servi de point de départ pour l'étude de la Commission européenne et définissent les besoins particuliers de leur économie en utilisant une méthodologie qui leur est propre.

L'Allemagne[23] aussi redéfinit une méthodologie afin de déterminer une liste de matières premières critiques pour son économie. L'analyse de la criticité repose aussi sur les deux dimensions d'importance économique et de risque pesant sur l'approvisionnement mais les indicateurs utilisés sont différents. Le premier axe est développé sous l'angle de la vulnérabilité économique : une première série d'indicateurs sert à évaluer l'importance de la demande allemande sur la scène mondiale en termes de consommation et d'importation et une deuxième série d'indicateurs détermine l'étendue de l'utilisation des matériaux dans l'économie allemande[24]. Les risques liés à l'approvisionnement sont évalués sur la base d'un

[18] Platine (Pt), palladium (Pd), iridium (Ir), rhodium (Rh), ruthénium (Ru), osmium (Os)
[19] Rapport « Finland's mineral strategy » rédigé en 2010 sous la supervision de la Geological Survey of Finland disponible en ligne : http://www.mineraalistrategia.fi/materiaalit/fi_FI/materiaalit/
[20] Rapport "Kingdom of Denmark : Strategy for the Arctic 2011– 2020 " du royaume du Danemark (2011), disponible en ligne : http://um.dk/en/news/newsdisplaypage/?newsID=F721F2CB-AFF1-4CF7-A3E7-14FDA508690A
[21] Rapport « Minerals, critical minerals, and the U.S. Economy » de la *National Academy* des États-Unis et rapport « Critical metals for future sustainable technologies and their recycling potential » du Programme des Nations unies pour l'environnement.
[22] Rapport publié en 2010 « Critical materials in the Dutch economy » par le Centre des statistiques publiques néerlandais. Disponible en ligne : http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/37ADC207-2FD4-4D34-B5DE-02A3ADBDF3B4/0/criticalmaterialsinthedutcheconomy.pdf
[23] Étude réalisée par l'IZT pour la banque KfW : « Kritische Rohstoffe für Deutschland », 2011, lien : http://institut-seltene-erden.org/wp-content/uploads/2012/03/Rohstoffkritikalitaet_LF.pdf
[24] Cela passe par l'évaluation du degré de substituabilité du matériau et de la part des industries qui l'utilisent.

risque provenant des pays producteurs, de la disponibilité globale des minerais et des ressources secondaires, comme le recyclage.

Leur analyse les conduit à distinguer trois matières premières très critiques et dix matières premières critiques :

- le germanium (Ge),
- le rhénium (Rh),
- l'antimoine (Sb),

} Très critiques

- l'indium (In),
- le tungstène (W),
- les terres rares,
- le gallium (Ga),
- le palladium (Pd),
- l'argent (Ag),
- l'étain (Sn),
- le niobium (Nb),
- le chrome (Cr),
- le bismuth (Bi).

} Critiques

4. La définition de la criticité utilisée dans la suite de cette étude repose sur l'analyse de l'ensemble des matières premières stratégiques pour l'industrie puis par l'évaluation du risque de rupture d'approvisionnement en matériaux pour la France

Les critères retenus dans cette étude : une approche semi-quantitative de l'importance économique et un risque d'approvisionnement fondé sur l'analyse des caractéristiques de chaque matière première.

Dans le cadre de cette étude, la criticité sera définie en deux étapes. La première étape (troisième chapitre de ce rapport) correspond à l'analyse des besoins des secteurs de l'industrie et de la défense en termes de matériaux. Cette analyse est fondée sur deux approches, une approche « top-down » qui consiste à isoler les secteurs industriels les plus importants dans l'économie française, critère quantitatif, pour ensuite déterminer leurs besoins en matériaux, critère qualitatif, et une approche « bottom-up » qui repose sur l'étude des volumes de matières premières importés par la France afin de déterminer d'une part la quantité et d'autre part la provenance de ces matières premières.

Une fois cette analyse faite, la deuxième étape (quatrième chapitre de ce rapport) correspond à l'étude des risques pesant sur l'approvisionnement en matières premières dont l'industrie a besoin. Les critères que l'on va regarder pour évaluer et analyser les différents risques seront :

- L’augmentation inexorable de la demande mondiale due à l’augmentation de la population et tirée par la demande des pays émergents ;
- Les mécanismes de marché propres aux matières premières qui peuvent provoquer des ruptures ponctuelles d’approvisionnement ;
- La substituabilité qui peut permettre de relâcher les tensions sur un matériau en se reportant sur un autre matériau ayant des propriétés similaires ;
- La disponibilité physique des matières premières, les risques de pénurie ou de production insuffisante ainsi que la complexification des minerais et le coût énergétique croissant de leur extraction ;
- L’effet sur l’approvisionnement du temps nécessaire à la mise en production de nouveaux projets miniers ;
- Le rôle et l’importance des facteurs sociaux, politiques, géopolitiques sur les flux de matières premières.

Chapitre 2

Des initiatives françaises ont déjà vu le jour et les acteurs français du monde minier ont une carrure internationale mais il n'existe pour l'instant pas de stratégie minière française

Quelques acteurs de l'industrie minière sont encore présents en France mais ne se positionnent que sur certaines matières premières

D'un point de vue global, les pays de l'Union européenne sont aujourd'hui confrontés aux conséquences de vingt ans de sous-investissement dans la production minière. Depuis les années 1980, l'industrie minière en France a décliné et de nombreuses mines ont été fermées. La dernière mine en métropole a fermé au début des années 2000 (mine de charbon à Gardanne). Cette tendance s'est accompagnée d'une diminution du nombre d'acteurs industriels et d'un désintérêt pour les questions minières par les gouvernements successifs. Alors qu'aujourd'hui, une stratégie européenne pour l'approvisionnement en matières premières minérales se construit, il ne reste plus que trois acteurs industriels actifs dans le secteur minier en France : ERAMET, AREVA et IMERYS.

ERAMET est spécialisé dans l'extraction minière et la purification du nickel, provenant originellement de Nouvelle-Calédonie mais il développe des gisements dans des pays extérieurs notamment en Indonésie. La production de nickel s'accompagne d'une petite production de cobalt comme sous-produit. ERAMET produit aussi du manganèse au Gabon, et des projets de diversification sont en cours (production de terres rares et de niobium au Gabon[25]).
AREVA Mines filiale du groupe AREVA a une activité dans l'industrie minière mais uniquement pour des gisements d'uranium auquel nous ne nous intéressons pas dans le cadre de cette étude compte-tenu de la relative abondance de ce matériau[26].
IMERYS est spécialisé dans les matériaux réfractaires, les matériaux de construction et les pigments. Mis à part son activité dans le domaine des pigments, le cœur de

[25] Source : http://www.affaires-etrangeres.gouv.ga/ambassade/france/9-actualites/35-economique/277-secteur-minier--la-cooperation-entre-le-gabon-et-eramet-sauintensifie/
[26] Pour plus de détails voir le chapitre « Nucléaire » du rapport du Centre d'analyse stratégique, « Des technologies compétitives au service du développement durable », août 2012, accessible en ligne : http://www.strategie.gouv.fr/content/rapport-des-technologies-competitives-au-service-du-developpement-durable

métier d'IMERYS ne correspond aux matériaux que nous étudions dans le cadre de cette étude.

Plus en aval sur la chaine de valeur, Rhodia (filiale du groupe belge Solvay) possède un savoir-faire sur les terres rares, de renommée internationale. Les activités de l'entreprise vont de la purification du minerai brut au recyclage des poudres luminophores utilisées dans les ampoules basse consommation.

D'autres acteurs français ont un lien avec le secteur minier.
Le Bureau des ressources géologiques et minières (BRGM) est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) spécialisé dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol. Dans le domaine de la recherche, le CEA travaille sur les problématiques des matériaux critiques en lien avec le nucléaire et les nouvelles technologies en s'intéressant plutôt à l'utilisation des matériaux (pouvant provenir de mines) qu'à l'exploitation des mines. Le CNRS s'intéresse également à la problématique des matières premières minérales non énergétiques notamment au travers de son engagement au sein du réseau européen ERA-MIN qu'il coordonne[27]. Quelques laboratoires possèdent des compétences dans le domaine de la géologie minière (le laboratoire de Géosciences de Mines ParisTech) ou dans le domaine des terres rares (l'Institut de Chimie et des Matériaux de Paris-Est).
Dans le domaine de la formation on constate aussi un manque important, l'école des Mines ParisTech n'a plus vocation à former une majorité d'ingénieurs dans le domaine minier. En revanche, d'autres formations existent. Le CESMAT avait vocation à former des cadres étrangers qui se destinaient à travailler dans le secteur minier mais les subventions étatiques ont été arrêtées en 2012, le prix de la formation a augmenté.

Au niveau national, un Comité pour les métaux stratégiques (COMES) a été créé en janvier 2011 par le ministre de l'industrie, il a pour mission d'élaborer et de mettre en place une stratégie nationale pour les matières premières. Il est composé d'organismes publics (ADEME, AFD, BRGM, IFREMER) et de représentants de l'industrie utilisatrice, productrice ou transformatrice de ses matières premières stratégiques. Quatre groupes de travail ont été formés, le premier s'occupe de l'analyse des besoins des industries françaises, le deuxième de la disponibilité des ressources, un troisième s'intéresse aux potentialités du recyclage et de la substitution et un dernier s'occupe de la coopération internationale sur le sujet. Ce comité considère préférable de garder une certaine confidentialité sur ses travaux. Cependant, un guide d'aide à la détermination des matériaux critiques à l'intention des industriels sera rendu public le 16 octobre 2012 à l'occasion du colloque « Les métaux stratégiques » organisé par le COMES[28] .

[27] Plus d'information sur le site internet du projet ERA-MIN : http://www.labo21.dsi.cnrs.fr/index.php
[28] Plus d'information sur le site internet du colloque : http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/colloques/colloque-metaux-strategiques-enjeux-et-solutions-pour-entreprises

Chapitre 3

Les besoins en matériaux de l'industrie française à dix ans permettent d'identifier une liste de matériaux stratégiques dont nous devons assurer l'approvisionnement

Certaines matières premières sont exclues d'emblée, c'est le cas du fer, de l'aluminium, du plomb et du zinc. D'une part ce sont des métaux considérés comme majeurs et d'autre part il ne semble pas y avoir de risque pesant sur leur approvisionnement (voir l'annexe 2 p. 63 pour plus de détails sur ces matériaux).

1. Les principaux secteurs industriels dans l'économie d'aujourd'hui et de demain font appel à quelques matériaux stratégiques

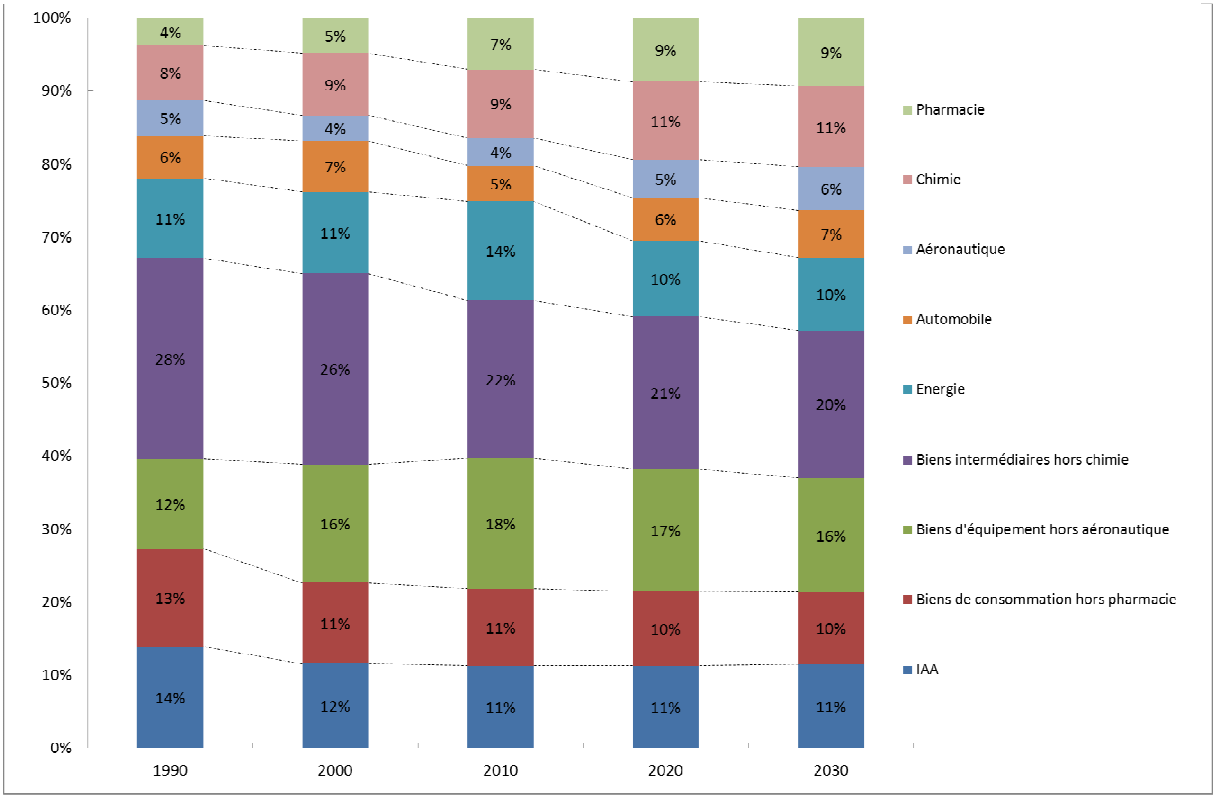
En 2010, l'industrie française participe à hauteur de 15 % environ à la valeur ajoutée nationale et emploie environ 14 % de la population active. Elle repose sur trois secteurs principaux : les biens intermédiaires avec une contribution de 31 % à la valeur ajoutée totale de l'industrie française en 2010, les biens d'équipements (22 %) et les biens de consommation (20 %). Parmi ces trois piliers, trois secteurs présentent des parts importantes : la chimie (9 % de la valeur ajoutée totale de l'industrie), la pharmacie (7 %) et l'aéronautique et l'aérospatiale (4 %). De plus, le secteur de l'automobile représente 5 % de la valeur ajoutée de l'industrie (voir Figure 1 page suivante).

Les travaux du Centre d'analyse stratégique avec le laboratoire ERASME sur le modèle NEMESIS[29] ont permis de réaliser une prospective de l'évolution des différents secteurs industriels. Les secteurs étudiés plus haut prennent une part plus importante d'ici 2030 pour totaliser à eux quatre près de 33 % de la valeur ajoutée de l'industrie (contre 25 % en 2010). Les autres secteurs restent stables ou décroissent légèrement. Les besoins en matériaux dépendent bien entendu de l'évolution des technologies qui seront utilisées dans ces secteurs, mais il est possible de proposer une liste de matériaux stratégiques fondée sur les technologies et utilisations actuelles.

[29] Rapport du CAS : « Les secteurs de la nouvelles croissance : une projection à l'horizon 2030 », 2012, Cécile Jolly, Maxime Liégey, Olivier Passet.

Le nombre de matériaux que ces industries utilisent est très important. Cependant, si on se focalise sur les métaux (dans une acception assez large du terme), on peut isoler certains matériaux dont l'approvisionnement est nécessaire. Nous passerons ainsi en revue les besoins de secteurs considérés comme stratégiques : la chimie et la pharmacie ; l'automobile et l'aéronautique ; l'énergie ; la défense ; les technologies vertes ; le nucléaire ; les TIC.

Figure 1 : Part de la valeur ajoutée des différents secteurs dans la valeur ajoutée totale de l'industrie (données INSEE et calculs du Centre d'analyse stratégique-NEMESIS).



1.1. Les besoins du secteur de la chimie et de la pharmacie

Les secteurs de la chimie et de la pharmacie ont des besoins diversifiés : on peut mentionner la chimie et les médicaments à base d'antimoine et les préparations à base de terres rares (gadolinium) pour augmenter les contrastes des examens par IRM. Rhodia est un des acteurs incontournables du secteur de la chimie des terres rares en France. Détentrice d'un savoir-faire important, cette filiale du groupe belge Solvay est internationalement reconnue dans le domaine de la séparation et la purification des terres rares.

1.2. Les besoins du secteur de l'aéronautique et de l'automobile

Les besoins en matériaux des secteurs de l'aéronautique, de l'aérospatiale et de l'automobile sont bien connus.

Les structures des avions et des voitures requièrent des métaux aux propriétés particulières utilisés sous forme d'alliages, comme le rhénium (résistance aux fortes températures), le magnésium (légèreté), le titane (légèreté, souplesse), le cobalt (résistance à l'usure), le niobium (légèreté) dans des quantités variables (de quelques kilogrammes par structure pour le rhénium jusqu'à 100 tonnes d'alliage de titane -à 99 % en poids- dans la structure du Boeing 787).

Avec le développement des véhicules hybrides ou électriques, les besoins de l'industrie automobile évoluent, les aimants permanents du moteur électrique nécessitent des terres rares (néodyme, praséodyme, dysprosium), les batteries peuvent utiliser du lithium, du cobalt, du graphite et du lanthane (batteries lithium-ion), du nickel (batterie nickel métal hydrure) ou de l'antimoine (batteries au plomb). Cependant, les véhicules thermiques contiennent aussi des matériaux spécifiques : chaque véhicule contient entre 200 et 500 grammes de terres rares (principalement sous forme de petits aimants permanents comme on en trouve dans les haut-parleurs par exemple) et environ 20 kilogrammes de cuivre contre 50 kg pour un véhicule hybride ou électrique[30].

Les pots catalytiques utilisent des platinoïdes (platine, palladium) et des terres rares (cérium). Parmi les nombreux acteurs de ce secteur on peut citer Renault qui a mis au point une véritable stratégie pour l'approvisionnement en matières premières (évitant actuellement l'utilisation d'aimants permanents à base de terres rares dans ses modèles). Pour l'industrie aval, parmi les acteurs confrontés aux tensions sur l'approvisionnement de certains matériaux, on peut citer les aciéristes Arcelor Mittal et ERAMET steel.

1.3. Les besoins particuliers du secteur de l'énergie nucléaire

La filière nucléaire en France est très développée ; quels que soient les choix politiques qui seront pris dans les prochaines années vis-à-vis de cette filière en France, les centrales fonctionneront encore pendant de nombreuses années. Il importe de lister les matériaux stratégiques pour cette technologie particulière.
Le cas du combustible, l'uranium, rappelons-le, n'est pas traité dans cette étude. En revanche les matériaux nécessaires à la structure de la centrale rentrent dans le cadre de ce rapport. Parmi les plus important on retrouve le béryllium, le zirconium, le gadolinium, l'antimoine. Au niveau français, le principal acteur est AREVA.

1.4. Le secteur de la défense

Parmi les matériaux stratégiques pour le secteur de la défense, les principaux sont : le béryllium, le gallium, le lithium, le niobium, le germanium (vision infra-rouge), le rhénium, le tantale, les terres rares (pour les utilisations voir le tableau 1, page 19).

1.5. Les technologies vertes

Afin de remplir les objectifs qu'elles se sont fixés en matière d'énergie renouvelable, l'Union européenne et la France vont installer un grand nombre de panneaux

[30] Source : http://www.enerzine.com/604/13943+europe-recycle-son-cuivre-couvrir-ses-besoins+.html?posts_usersPage=1

photovoltaïques et d'éoliennes. Ces technologies vertes reposent sur des matériaux très spécifiques, dont l'approvisionnement doit être assuré :

- Photovoltaïque (PV) : plusieurs types de cellules photovoltaïques existent actuellement. Parmi les cellules à couches minces, les technologies principales sont la technologie CIGS et la technologie CdTe[31]. Les cellules CIGS nécessitent du cuivre, de l'indium, du gallium et du sélénium, alors que la technologie CdTe utilise du cadmium et du tellure. Aujourd'hui, les cellules les plus fabriquées sont les cellules CIGS, en partie à cause de la grande toxicité du cadmium contenu dans les cellules CdTe. Cependant, la disponibilité de l'indium et du gallium pourra être un facteur limitant leur développement (ce sujet est traité dans le chapitre 3). Saint Gobain Solar Systems est un acteur important dans ce secteur.
- Éolien : les aimants permanents les plus performants à l'heure actuelle sont principalement des aimants à base de terres rares, les aimants FeNdB (fer-néodyme-bore) qui contiennent du néodyme et du dysprosium (terres rares) dans des quantités variables (12-25 % en masse de néodyme, 2-6 % de dysprosium). L'installation d'un mégawatt de capacité correspond à 600 kg d'alliage, soit entre 100 et 200 kg de néodyme et environ 25 kg de dysprosium[32] ! Il n'y a pas de production significative d'aimants permanents en France. Néanmoins Alstom est un acteur important du secteur de l'assemblage des éoliennes et pourrait être confronté à un problème d'approvisionnement en aimants permanents. D'autre part, les aimants permanents ne sont pas uniquement présents dans les éoliennes, on en trouve dans le secteur automobile et dans le secteur des TIC, notamment dans les diques durs.
- L'éclairage basse consommation : les mélanges photophores actuellement utilisés sont fabriqués à partir de terres rares (europium, terbium, erbium). Dans ce secteur, l'acteur principal aux niveaux français et européen est Rhodia.

1.6. Les technologies de l'information et de la communication (TIC)

Bien que peu d'entreprises françaises soient encore positionnées sur le secteur des TIC, il existe de nombreux matériaux indispensables à ces technologies, les principaux étant l'indium (écrans LCD et écrans tactiles), le tantale (micro-condensateurs dans les téléphones portables) et le cuivre (connectique). Il n'y a pas de fabrication d'écrans en France mais Alcatel et Thales sont des entreprises proposant des produits dans le domaine des TIC.

2. Les secteurs industriels français compétitifs sur la scène internationale ont des besoins similaires à ceux des principaux secteurs de l'économie nationale

Le calcul des indicateurs d'avantages comparatifs révélés[33] pour l'économie française en 2010 montrent que l'économie française s'est spécialisée sur la scène

[31] L'entreprise italienne SSE utilise cette technologie, plus d'informations sur leur site internet : http://www.solar-sse.com/index-en.htm
[32] Source : http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/mine/tera/textera.htm
[33] Les avantages comparatifs révélés servent à évaluer les points forts et les points faibles d'une économie. Ils sont calculés comme la part du solde commercial d'un secteur par rapport au poids du commerce international dans le PIB de l'économie française et par rapport au poids du secteur dans les

internationale dans différents secteurs. Parmi les 15 premiers, on retrouve plusieurs secteurs qui dépendent de l'approvisionnement en produits miniers :

- Aéronautique et espace
- Produits pharmaceutiques
- Éléments de véhicules automobiles
- Moteurs
- Composants électroniques
- Peintures
- Fer et acier
- Navires
- Minerais non ferreux

Par rapport aux besoins en matériaux déjà évalués, cette liste ne rajoute presque pas de matériaux, les besoins des secteurs ayant déjà été traités dans les parties précédentes (secteurs de l'aéronautique, des produits pharmaceutiques, de l'automobile). En revanche, le secteur des composants électroniques peut rajouter certains matériaux comme le tantale (micro-électronique) et le silicium (électronique) et le secteur de la peinture qui utilise de grandes quantités de pigments à base de titane.

3. Certains secteurs industriels sont moins compétitifs mais dépendent fortement de plusieurs autres matériaux

L'évaluation des coefficients techniques[34] des différents secteurs industriels permet de déterminer les secteurs à forte dépendance en matériaux. Par exemple, le secteur qui a le plus fort coefficient technique en produits métalliques est le secteur des produits métalliques (18 % en 2010). Viennent ensuite les machines industrielles et agricoles (10 %), les équipements électriques (7 %) et les équipements de transports (4 %).

Pour le recours aux métaux ferreux et non ferreux, les secteurs avec les plus hauts coefficients techniques sont : le secteur des métaux ferreux et non ferreux (44 %), les produits métalliques (12 %), les machines industrielles et agricoles (7 %), les équipements électriques (5 %) et les équipements de transports (5 %).

Cette analyse nous permet de rajouter le cuivre (connectique des équipements électriques).

Grâce à cette approche, nous pouvons identifier les secteurs fortement dépendants en matériaux. En revanche, il n'existe pas de méthode similaire permettant d'identifier les secteurs dépendant des matériaux en faibles quantités, mais dont la technologie repose sur ces matériaux. On citera l'exemple des quelques grammes de tantale utilisés dans les téléphones portables, qui ont permis de réduire considérablement la taille et le poids des appareils.

échanges mondiaux. Lorsque l'indicateur prend des valeurs positives cela correspond à une spécialisation de l'économie (les valeurs négatives correspondent à une déspécialisation). Les calculs ont été réalisés à partir de la base de données CHELEM du Centre d'études prospectives et d'informations internationales (*C*EPII).

[34] Un coefficient technique correspond à l'intensité du recours d'un secteur à un intrant de production.

4. Des volumes d'importation importants relativement à la production mondiale pour certains matériaux montrent une forte dépendance de la France vis-à-vis d'approvisionnements extérieurs

Les statistiques douanières pour la France permettent de déterminer le degré de dépendance de nos économies et de notre industrie vis-à-vis de certains matériaux. Néanmoins, cette méthode sous-estime généralement la dépendance aux approvisionnements extérieurs, puisque seule la consommation apparente d'un matériau est déterminée (quantité de matériau importé sous forme brute ou semi-brute) et non la consommation réelle (quantité totale du matériau, qui prend en compte son utilisation tout au long de la chaîne de valeur, dans toute la gamme de produits finis ou semi-finis qui en contiennent). Cependant, elle permet de mettre en évidence certains besoins spécifiques des industries : par exemple, une forte importation de cobalt brut montre vraisemblablement qu'il existe une industrie de métallurgie du cobalt sur le territoire et que le cobalt produit sur place (s'il existe) ne suffit pas à satisfaire la demande de cette industrie. De même, une forte importation de cobalt sous forme de métal montre vraisemblablement qu'il n'existe pas d'industrie de métallurgie du cobalt sur le territoire mais qu'il existe des industries consommatrice de cobalt comme intrant de production (c'est le cas par exemple de la sidérurgie). En revanche, dénombrer tous les produits contenant du cobalt et utiliser les statistiques douanières sur tous ces produits réclame un travail très conséquent.

L'analyse des données immédiatement disponibles permet de mettre en évidence certains matériaux pour lesquels la France importe une proportion significative de la production mondiale.

Béryllium :

En 2010, la France a importé 35 tonnes de béryllium brut, soit 17 % de la production primaire mondiale[35], en provenance du Royaume-Uni. Sachant qu'en 2010, 88 % du béryllium est produit aux États-Unis et 10 % en Chine, on peut affirmer que le Royaume-Uni s'était lui-même fourni en dehors de l'Union européenne. Les principales utilisations du béryllium se font dans le domaine des équipements électriques et la France possède une expertise dans l'industrie du béryllium.

Tellure :

En 2010, la France a importé 25 tonnes de tellure, soit approximativement 20 % de la production primaire mondiale[36], provenant de Belgique. Le tellure est principalement utilisé comme additif dans des aciers[37].

5. Récapitulatif

Pour l'instant, l'évaluation des besoins des industries française et européenne nous permet de définir une liste de matières premières stratégiques qui proviennent principalement des besoins des secteurs de l'aéronautique et de l'automobile (pour

[35] Chiffre INSEE pour statistiques douanières et USGS 2012 pour production.
[36] Ibidem, le chiffre de production de tellure est très imprécis, il est au moins égal à 100 t en 2010.
[37] Source : http://www.mineralinfo.org/Substance/Tellure/TeDCE.pdf

les alliages spéciaux permettant de nouvelles propriétés) complétés par quelques matériaux provenant d'autres secteurs (pharmacie, chimie et composants électroniques) : l'antimoine, le béryllium, le cobalt, le cuivre, le gallium, le germanium, le graphite, l'indium, le lithium, le magnésium, le nickel, le niobium, les platinoïdes, le rhénium, le sélénium, le silicium, le tantale, le tellure, les terres rares, le titane et le zirconium (voir Tableau 2, page suivante).

Tableau 2 : Récapitulatif des matériaux sélectionnés et de leurs principales utilisations

Matériaux	Secteur d'utilisation	Fonction, produit
Antimoine (Sb)	industrie textile et matériaux de synthèse	retardateur de flamme
Béryllium (Be)	industrie aéronautique, défense, automobile	alliages pour la structure de drones, équipements rayons X
Cobalt (Co)	métallurgie, automobile	alliage résistants à l'usure, batterie Li-io
Cuivre (Cu)	industrie des équipements électriques	câbles (connectique)
Gallium (Ga)	photovoltaïque, électronique, défense	Cellules PV (CIGS), lasers (AsGa)
Germanium (Ge)	défense et TIC	instruments d'optique infrarouge, fibre optique, panneaux solaires
Graphite (C)	automobile	électrode des batteries Li-ion
Indium (In)	électronique, TIC, photovoltaïque	affichage (écrans plats, LCD, écrans tactiles), cellules PV (CIGS)
Lithium (Li)	industrie du verre et des céramiques, automobile	verres et céramiques, batteries Li-ion
Magnésium (Mg)	automobile, aéronautique	gain de poids, alliages
Nickel (Ni)	sidérurgie	composant de l'acier inoxydable
Niobium (Nb)	métallurgie, aéronautique	superalliages
Platinoïdes (6 métaux)	catalyse, automobile	pots catalytiques
Rhénium (Re)	aéronautique, catalyse	résistance à la chaleur, alliages, catalyseurs
Sélénium (Se)	catalyse, industrie du verre, médecine, photovoltaïque	Cellule photovoltaïque (CIGS), lasers (AsGa)
Silicium (Si)	électronique, photovoltaïque	semi-conducteur, cellules photovoltaïques
Tantale (Ta)	électronique, TIC, métallurgie	électronique miniature, alliages
Tellure (Te)	photovoltaïque, sidérurgie	cellules PV (CdTe)
Terres rares (17 éléments)	catalyse, automobile, énergie	aimants permanents, agent polisseur, luminophores…
Titane (Ti)	aéronautique, industrie chimique, chirurgie	structure des avions, équipement, prothèses et implants
Zirconium (Zr)	industrie nucléaire (90 %)	tubes contenant les combustibles

Chapitre 4

Des risques importants pèsent sur notre approvisionnement à court terme

1. Les tendances globales d'augmentation de la demande en matières premières minérales et la volatilité durable de leurs cours laissent présager des tensions sur l'approvisionnement

1.1. Une demande mondiale tirée par la croissance des pays émergents qui redéfinit la répartition des besoins en matières premières provenant traditionnellement de l'Europe et des pays industrialisés

Cette augmentation est due en partie à la croissance des pays émergents depuis les années 1990 (principalement de la Chine) dont certains étaient jusqu'alors producteurs et fournisseurs du reste du monde et qui doivent désormais faire face à une demande domestique grandissante. C'est le cas par exemple de la Chine, dont les industries aval se développent et qui ne peut plus assurer l'approvisionnement du reste du monde en terres rares. En revanche, pour certaines matières premières, la Chine se trouve en déficit d'approvisionnement : c'est le cas pour le cuivre, pour lequel elle doit sécuriser de gros volumes d'importations. Entre 2002 et 2007, la Chine a représenté 90 % de l'augmentation de la consommation de cuivre[38] : les raisons de cette augmentation de consommation sont une urbanisation et une industrialisation rapides, très consommatrices de métaux.

De plus, la demande en métaux ne peut qu'accroître avec l'augmentation de la population mondiale : les estimations prévoient près de 9 milliards d'êtres humains en 2050 et il est aussi prévu que d'ici là, il faudra extraire autant de métaux que ce qui a été extrait depuis le début de l'extraction minière[39].

En conséquence, il faut s'attendre à des tensions grandissantes sur l'approvisionnement, notamment pour les matières premières qui n'ont pas une production élastique (les sous-produits d'autres industries minières[40]). Pour les autres

[38] Rapport d'information remis à l'Assemblée Nationale en 2011, écrit par Vautrin et Loos, accessible en ligne : http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i3863.pdf
[39] Source : entretiens de Suzanne Lutfalla, Blandine Barreau et Gaëlle Hossie avec les coordinateurs du réseau européen ERA-MIN, le 14 septembre 2012.
[40] Cf. même chapitre section 4.3, page 46.

matières premières, les tensions perdureront pendant la durée nécessaire à l'augmentation de la capacité de production mondiale (certaines mines ont des possibilités d'ajustements ponctuelles et limitées de leurs productions mais en cas d'une augmentation importante de la demande, le temps de mise en production d'un nouveau projet minier est d'au moins 10 ans).

Un autre phénomène est à l'œuvre : c'est l'augmentation de l'utilisation de certains « petits » métaux pour des applications de haute technologie. En effet, le nombre de matériaux exploités est passé de quelques-uns à plus de quarante en quelques dizaines d'années. Et les volumes produits sont en constante augmentation. Un exemple parlant est le tantale dont la demande a explosé au début des années 2000 du fait de son utilisation dans les téléphones portables[41].

1.2. La décennie 2000-2010 a montré que les cours des matières premières sont fortement volatils et aucune stabilisation n'est prévisible à court terme du fait de l'augmentation de la demande mondiale

Les marchés des matières premières (minérales ou non) sont instables par nature. Ils dépendent en effet des variations de la production et de la consommation selon l'activité économique. En outre, l'offre et la demande sont sur des marchés inélastiques au prix. Parmi les facteurs modifiant la situation sur le marché, les plus importants sont les aléas naturels (qui peuvent survenir à toutes les étapes de la chaîne de valeur ajoutée), les évènements géopolitiques, les mesures protectionnistes et les chocs technologiques. De même, ces marchés sont caractérisés par une incertitude sur les niveaux d'offre et de demande qui aboutit la plupart du temps à des situations de déséquilibre.

Durant la décennie 2000-2010, le prix des matières premières est passé par plusieurs phases de perturbations particulièrement importantes. Aux alentours de 2002, ce qui a coïncidé avec l'entrée de la Chine dans l'OMC, la forte croissance de ce pays et son statut progressif de première consommatrice de plusieurs matières premières minérales ont perturbé les cours mondiaux. À partir de 2005, afin de répondre à la demande chinoise, le marché des matières premières voit l'arrivée d'importants fonds d'investissements, qui entretiennent la hausse des cours. En 2008, la crise des *subprimes* fait chuter les cours parfois en dessous des coûts de production des métaux, le secteur minier réagit rapidement et beaucoup de mines ferment. La reprise est ensuite très rapide et dès 2009, les cours sont remontés à des niveaux semblables à ceux d'avant la crise de septembre 2008. Ceci est majoritairement dû à la Chine, qui soutient fortement la demande. Ces évènements ont montré que les prix des matières premières minérales sont de plus en plus volatils[42]. C'est le cas de l'aluminium qui est passé de 1 280 dollars la tonne en avril 1999 à plus de 2 600 en avril 2011[43].

[41] Le tantale, rappelons-le, est utilisé dans les micro-condensateurs des téléphones portables, il a permis leur miniaturisation.
[42] Variations de prix brusques et de forte amplitude.
[43] Source : chiffres INSEE, disponible en ligne : http://www.bdm.insee.fr/bdm2/affichageSeries.action;jsessionid=48550B60EAFDF59544CB615DABAF6682?recherche=idbank&idbank=000455739&codeGroupe=298

La volatilité des prix des matières premières n'est pas fondamentalement due à des phénomènes spéculatifs. La spéculation aurait plutôt un rôle d'amplificateur de tendances préexistantes puisque c'est un marché instable par nature.
De 2000 à 2010, le prix de l'ensemble des matières premières (énergie, métaux industriels, métaux précieux, produits agricoles) a été multiplié par quatre[44], ces estimations ne prennent pas en compte l'inflation[45].
De plus, l'opacité des marchés physiques et le manque de régulation des marchés[46] accentuent les tensions potentielles entre l'offre et la demande.

Évolution des prix de certains métaux côtés au *London Metal Exchange* (LME) depuis la crise de 2008

Le cours de l'étain a dépassé 33 000 dollars la tonne en 2011. Cette augmentation est spectaculaire : en 2005 une tonne d'étain valait 6 500 dollars. Cette évolution a eu lieu alors que la production des principaux pays producteurs diminuait (en 2010, la Chine est responsable de 73 % de la production mondiale, l'Indonésie de 21 % et le Pérou de 13 %). Le prix est ensuite redescendu à 28 000 dollars la tonne en milieu d'année. Les réserves (4,8 millions de tonnes en 2010) ne sont pas particulièrement importantes comparées au rythme de production actuelle (265 000 tonnes en 2010), c'est donc l'un des grands métaux pour lesquels il convient de surveiller l'évolution des cours. Selon les prévisions, la consommation devrait croître doucement dans les années à venir.

Le cours du nickel a connu une trajectoire globalement ascendante depuis le choc enregistré par les bourses en 2008, avec une évolution ponctuelle en dents de scie. Le maximum a été atteint début 2011 avec des cours à plus de 32 000 dollars la tonne, alors qu'en 2007, les prix s'étaient stabilisé autour de 50 000 dollars la tonne. Les réserves actuelles représenteraient 50 ans de production au rythme de production actuel (1,59 million de tonnes en 2010). La Nouvelle-Calédonie dispose d'une part significative de ces réserves (10 % environ). Des progrès technologiques dans les techniques d'extraction permettent d'exploiter des gisements à teneurs toujours plus faibles en nickel.

Le cours du cuivre a récupéré son niveau d'avant la crise de 2008 et se situe aux alentours de 10 000 dollars la tonne. Aujourd'hui, la demande mondiale pour ce métal est tirée par la demande chinoise. Les réserves devraient permettre de satisfaire la production à son rythme actuel pendant un peu plus de 40 ans mais la sonnette d'alarme est tirée par certains spécialistes qui font le constat que les perspectives d'augmentation de la production sont limitées alors que la demande est en forte augmentation. Le principal producteur est le Chili.

Sources :
- Rapport d'information « le Prix des matières premières » remis à l'Assemblée nationale en octobre 2011, écrit par Vautrin et Loos (http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i3863.pdf)
- Rapport annuel sur le marché de l'étain publié par l'*International Tin Research Institute,* https://www.itri.co.uk/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=2435&Itemid=65

[44] Rapport d'information remis à l'Assemblée nationale en 2011, écrit par Vautrin et Loos, accessible en ligne : http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i3863.pdf
[45] Prix en dollars courants.
[46] Cf. même chapitre, section 2, page 39.

1.3. Il existe des scénarios de croissance de la demande pour certaines matières premières et pour certaines utilisations qui permettent de mettre en lumière de potentielles inadéquations entre l'offre et la demande

Une analyse de l'évolution future de l'offre et de la demande est nécessaire afin de pouvoir se préparer au mieux à une éventuelle tension sur l'approvisionnement en matières premières dans les prochaines années.

La difficulté réside dans la prévision des utilisations des matières premières qui ne seront pas forcément identiques aux utilisations actuelles, car des ruptures technologiques sont possibles et imprévisibles. De plus, pour certaines applications, plusieurs technologies existent et les évolutions de la demande en matériaux vont dépendre de certains choix technologiques [47] qui n'ont pas encore été faits. Des estimations existent cependant, fondées sur des progressions dans l'utilisation de tel ou tel matériau dans des utilisations bien spécifiques.

Les travaux du *Department of Energy* américain sur l'évolution de l'offre et de la demande

Dans le rapport « Critical materials strategy » publié en 2011, les auteurs ont étudié l'évolution de la demande et de la production jusqu'à l'horizon 2025 en prenant différents scénarios de pénétration des technologies étudiées et leur impact sur la demande. L'évolution de l'offre se fait en prenant en compte les projets de production ou d'extension de production à l'horizon 2015. Les métaux étudiés sont le cobalt, le lithium, le lanthane*, le cérium*, le nickel, la manganèse, le tellure, l'indium, le gallium, l'europium*, le terbium*, l'yttrium* (les métaux suivis d'un astérisque (*) appartiennent à la famille des terres rares).

Certains matériaux sont identifiés comme problématiques car leur approvisionnement risque de ne pas être suffisant pour satisfaire la demande mondiale (voir encadré). C'est le cas du lithium : dans le cas d'une forte pénétration des véhicules hybrides et électriques et avec une part de marché importante pour les batteries au lithium, les estimations du niveau de production en 2015 ne suffiraient pas à satisfaire la demande à partir de 2020. Pour les terres rares légères (dont le lanthane et le cérium font partie), les estimations prévoient que la production sera suffisamment importante et satisfera la demande au moins jusqu'à l'horizon 2020. Le cas des terres rares lourdes[48] pose plus d'interrogations, les projets d'exploitation de gisements de terres rares qui vont bientôt approvisionner le marché international ayant des teneurs très faibles en terres rares lourdes[49]. Pour l'europium[50], quelle que soit la pénétration des lampes à basse consommation sur le marché, un fort déséquilibre entre l'offre et la demande est prévisible à court et moyen terme.

[47] C'est le cas des batteries pour véhicules hybrides ou électriques. Toyota a fait le choix de mettre des batteries au nickel, alors que Bolloré a choisi une technologie de batteries au lithium.
[48] Voici la liste des terres rares lourdes : gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutétium.
[49] Projets des entreprises Lynas (gisement de Mount Weld) et Molycorp (gisement de Mountain Pass).
[50] Luminophore rouge dans les télévisions, au départ dans les écrans à tubes cathodiques et maintenant dans les mélanges luminophores pour les éclairages basse consommation.

2. Les mécanismes de marché spécifiques aux matières premières peuvent être à l'origine des ruptures d'approvisionnement ponctuelles

2.1. Des situations différentes selon les métaux considérés

Il existe deux marchés des matières premières, le marché organisé et le marché de gré à gré ou OTC (pour l'expression anglaise *Over the counter market*). Le marché organisé correspond à l'existence d'une bourse (formation du prix « spot ») ou de marchés à terme (proposant une vaste gamme de produits financiers) au sein desquels les échanges sont standardisés et où il existe des chambres de compensation. À l'inverse, sur le marché de gré à gré, les transactions se font directement entre acheteur et vendeur, les transactions ne sont ni standardisées ni contrôlées. Ce marché OTC, très flexible, permet d'adapter plus aisément les spécificités des offres des vendeurs et des acheteurs.

Les entrepôts du LME et l'influence des sociétés financières

Deux sociétés financières, Goldman Sachs et JP Morgan, par ailleurs actives sur le marché des matières premières, ont racheté une grande partie des 600 entrepôts de stockage agréés par le LME. Il s'agit d'un moyen pour ces sociétés de baisser leurs coûts de stockage et de se procurer des informations sur l'ensemble du marché des matières premières minérales.
De plus, ces gestionnaires de fonds ont la capacité financière d'acquérir une grande partie des stocks d'un métal donné, ce qui peut créer des pénuries et déstabiliser les cours. Leur grand poids financier dans ces marchés de taille relativement réduite est critiqué par les acteurs industriels traditionnels.

On peut établir une distinction entre les métaux qui font l'objet d'un marché organisé et les autres. La place financière internationalement reconnue pour le marché organisé des métaux non ferreux est le *London metal exchange* (LME) (voir partie suivante) où l'on peut acquérir de l'aluminium, du cuivre, du plomb, du nickel, de l'étain, du zinc, du cobalt, du molybdène et des métaux précieux.

Les métaux sont stockés physiquement dans les 600 entrepôts répartis dans le monde, agréés par le LME et gérés par des sociétés privées (voir encadré), un stockage qui permet la livraison au moment du débouclage du contrat.

Depuis les années 1970, de nombreux produits financiers dérivés ont été créés et ils sont de plus en plus utilisés sur le marché des matières premières. On assiste depuis les années 2000 à une financiarisation importante du marché des matières premières minérales avec le recours de plus en plus important à des fonds

Les différents produits financiers
Depuis le début des années 2000, une grande variété de produits dérivés ont fait leur apparition sur le marché des matières premières. Il s'agit des *Exchange Traded Products* (ETP) qui correspondent à des investissements gagés sur le matériau physique. Il existe trois catégories d'ETP : les ETF (*Exchange traded funds*) qui peuvent être indexés sur un ensemble de matières premières, les ETC (*Exchange traded commodities*) dont le sous-jacent ne concerne qu'une seule matière première et les ETN (*Exchange traded notes*).

indiciels et un éventail toujours plus fourni de produits dérivés.

Pour les autres métaux, parfois qualifiés de « petits métaux » en référence aux faibles volumes de production annuelle, il n'existe pas de marché organisé et l'accès aux prix est parfois problématique[51]. C'est le cas pour les terres rares, l'indium, le gallium, le germanium, le béryllium, etc. Ils ne sont pas disponibles sur la plateforme du LME, le marché fonctionne par des contrats de gré à gré ce qui correspond à une entente directe entre vendeur et acheteur. Il en découle une influence potentiellement importante de la spéculation sur les stocks et sur les prix. Le marché est qualifié d'opaque car les informations disponibles sur les prix sont rares et peu fiables.

2.2. L'influence toujours plus importante du marché financier sur le marché physique des métaux déstabilise les cours et crée des tensions sur l'approvisionnement

L'augmentation du nombre de produits financiers dérivés par rapport aux échanges sur le marché physique des métaux est phénoménale, les montants investis dans ces fonds sur le marché du cuivre seraient 40 fois supérieurs à la valeur de la production mondiale (4 500 milliards d'euros de transaction pour un marché physique de 110 milliards d'euros[52]).
On constate de plus un changement dans la prise de position des investisseurs dans le secteur des matières premières minérales. Auparavant, les investisseurs prenaient des actions dans les sociétés minières alors qu'à présent, ils sont à la recherche d'une position sur la matière première seule (position « pure ») et utilisent les produits dérivés. Une partie des stocks physiques peut alors être retirée des marchés, ce qui met les industriels en difficulté et peut provoquer d'importantes ruptures d'approvisionnement. De plus, ces produits dérivés permettent aux acteurs qui ont le poids financier suffisant de réaliser un abus de position ou *corner* sur un marché donné (acquisition de contrats à termes et, en parallèle, d'une proportion significative des stocks physique d'un métal afin de créer une situation de rareté), ce qui peut faire monter les prix de manière artificielle [53] et déstabiliser les cours.

Qui contrôle le LME ?

Le LME a lancé en septembre 2011 une procédure officielle de cession alors même que son Directeur affirmait alors « nous n'avons pas besoin de vendre ». Les actionnaires, au faible nombre de 71, se sont penchés sur les offres de rachat au cours de l'année 2012. C'est la bourse de Hong Kong qui a racheté la plateforme londonienne.

Source : article du monde juin 2012, lien : http://abonnes.lemonde.fr/economie/article/2012/06/15/le-london-metal-exchange-rachete-par-la-bourse-de-hongkong_1719264_3234.html

Dans le même temps, on constate aussi une augmentation des investissements sur les marchés de gré à gré depuis 2005, qui sont des marchés beaucoup plus opaques que les marchés organisés.

[51] Les prix de références sont publiés par des revues, le *Metal Bulletin* par exemple.
[52] Rapport d'information remis à l'Assemblée nationale en 2011, écrit par Vautrin et Loos, accessible en ligne : http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i3863.pdf
[53] « Un cas célèbre de *corner* concerne le marché du cuivre. Entre 1986 et 1996, Yasuo Hamanaka, chef *trader* chez Sumitomo - grande société de négoce -, provoqua des pertes de plus de 1,8 milliard de dollars après avoir acquis, à l'insu de sa hiérarchie, près de 24 % des stocks mondiaux de cuivre pendant près de 10 ans. Il fut condamné à huit ans de réclusion. » Rapport d'information de l'Assemblée nationale « Le prix des matières premières » d'octobre 2011 par Vautrin et Loos.

Enfin, il est intéressant de noter qu'il n'existe pas de régulateur national pour les matières premières minérales non énergétiques et l'Autorité européenne des marchés financiers n'a pas d'interlocuteurs sur les marchés physiques au niveau national.

2.3. Beaucoup d'incertitudes demeurent quant à l'impact de la spéculation sur les cours des matières premières

Les rôles théoriques de la spéculation sont multiples : elle permet d'une part aux agents économiques de se couvrir du risque en transférant ce risque vers les spéculateurs et d'autre part, elle assure la liquidité des marchés en augmentant le nombre de transactions. Néanmoins, la volatilité accrue des cours constatée pendant la décennie 2001-2011, parallèlement à la financiarisation du marché des matières premières, fait douter de l'hypothèse selon laquelle la spéculation stabilise les cours des matières premières.

L'impact de la spéculation sur la volatilité des prix fait l'objet de suppositions. Il est en effet très difficile de comprendre les hausses parfois brutales des cours des matières premières. Identifier la raison spécifique de cette volatilité s'avère quasi impossible, les marchés étant soit très opaques, soit très complexes (marché de produits dérivés). De manière générale, les informations disponibles sont assez imprécises. Cependant, certaines questions demeurent : quel serait l'intérêt des sociétés financières à stocker des métaux et à spéculer sur le marché des matières premières si la spéculation ne faisait pas augmenter le prix des matières premières ?

Cependant, le rapport « Le prix des matières premières » (2011) n'a pas montré que la spéculation était responsable de la volatilité mais qu'elle amplifiait des phénomènes préexistants. De plus, les experts auditionnés dans le cadre de ce rapport ont souligné que la spéculation a toujours un temps de retard sur les prix et qu'elle possède des effets bénéfiques en ce qu'elle assure une contrepartie à l'activité de couverture des autres acteurs. En revanche, il est avéré que la spéculation a joué un rôle dans l'évolution des

La spéculation stabilise-t-elle les prix des matières premières ?

Par définition, toute opération marchande est spéculative quand elle est motivée par l'anticipation d'une évolution des marchés et non par un avantage quelconque lié à la possession ou à l'utilisation du bien acheté ou vendu.
Deux théories s'affrontent quant à l'effet de la spéculation sur le prix des matières premières.
D'un côté, la théorie de Milton Friedman soutient que la spéculation tend à stabiliser les prix à terme. Les spéculateurs achètent les contrats quand les prix sont faibles, ce qui tend par les lois de l'offre et de la demande à élever les prix et ils vendent les contrats lorsque les prix sont élevés, ce qui tend à faire baisser les prix.
De l'autre côté, Kaldor développe l'idée selon laquelle la spéculation peut déstabiliser les prix car les spéculateurs professionnels sont prêts à acheter des contrats quand les prix sont élevés (ce qui tend à les élever encore plus) s'ils sont capables de les revendre à des spéculateurs moins informés à un prix encore plus élevé, ce qui tend à déstabiliser les cours.

Adapté de plusieurs documents :
- Support de cours en ligne de Science Po : http://supportscoursenligne.sciences-po.fr/200910/CECO1065/pdf/CECO1065_seance4.pdf
- Rapport d'information remis à l'Assemblée Nationale en 2011, écrit par Vautrin et Loos, accessible en ligne : http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i3863.pdf

cours du cuivre ces dernières années[54].

3. La substituabilité est le premier facteur qui peut renforcer ou réduire le risque lié à l'approvisionnement d'un matériau

Lors de la conception d'un nouveau produit et lors de l'analyse de la vulnérabilité d'une industrie à l'approvisionnement en matières premières minérales non énergétiques, le facteur de substituabilité apparaît comme primordial. En effet, si le matériau que l'industriel souhaite utiliser est potentiellement la cible de tensions d'approvisionnement, il importe de connaître son degré de substituabilité. Cependant, la substitution s'accompagne de manière générale d'une perte de performance. Les industriels doivent alors réaliser un arbitrage entre la perte de performance liée à la substitution et la potentielle hausse des prix du matériau initialement sélectionné.

Au vu des tensions persistantes sur certains matériaux, certains groupes industriels optent pourtant pour les matériaux de substitution. C'est ainsi que Renault a choisi de développer sa première gamme de véhicules hybrides et électriques sans aimants à base de terres rares bien que ces derniers soient actuellement les plus performants. Cependant, substituer un matériau par un autre peut aussi déplacer le problème de l'approvisionnement sur le deuxième matériau en créant de nouvelles utilisations sur un marché qui était plus stable.

Les informations disponibles sur la substitution sont incomplètes, elles dépendent des activités de recherche et développement actuellement en cours à la fois dans le domaine privé et dans les laboratoires publics. Cependant on peut donner quelques indications sur le degré de substituabilité de plusieurs des matériaux étudiés. Celui-ci dépend bien sûr des propriétés utilisées dans les différentes utilisations du matériau.

Le lithium utilisé dans les batteries est substituable mais actuellement les autres technologies disponibles sont moins performantes (nickel métal hydrure). Les questions se focalisent souvent sur l'approvisionnement en lithium alors qu'il ne constitue généralement que 2 à 3 % en masse de la batterie (qui pèse entre 200 et 250 kg pour un véhicule hybride). Il ne faut pas oublier que les batteries Li-ion possèdent dans le plupart des cas des électrodes en cobalt, en nickel ou en graphite dont l'approvisionnement peut faire également l'objet de tensions.

L'antimoine utilisé dans l'industrie des textiles et dans la fabrication des plastiques ne possède pas de substituts.

Les terres rares, lorsqu'elles sont utilisées pour leurs propriétés électroniques ne sont pas substituables. En effet, elles constituent une famille aux propriétés uniques grâce à leur structure électronique particulière (présence d'électrons sur la couche *4f*). Par conséquent, les terres rares dans les aimants permanents[55] ne sont que très peu substituables. De la même façon, les propriétés luminophores exceptionnelles de l'europium et du terbium sont dues à leur structure électronique unique et elles ne sont quasiment pas substituables. En revanche, les propriétés du cérium utilisées pour le polissage du verre sont plus facilement substituables.

[54] Il en est de même pour l'évolution des cours du pétrole entre 2000 et 2008.
[55] Nédoyme, dysprosium, praséodyme et samarium.

Les aimants permanents les plus performants aujourd'hui sont constitués d'un alliage de fer, de néodyme et de bore dopé au dysprosium. Il existe néanmoins d'autres formulations à base de samarium et de cobalt (deux matériaux potentiellement critiques) ou à base d'aluminium, de nickel et de cobalt (aimants alnico) mais leurs performances sont nettement moins bonnes.

Le béryllium est substituable mais avec une perte importante des propriétés dans les domaines de la défense (guidage de missiles, gyroscopes) et du nucléaire (réflecteur et modérateur de neutrons). Il est aussi utilisé dans les télécommunications mais son usage est très limité, ceci étant dû à sa toxicité. Aujourd'hui les domaines où le béryllium est encore utilisé correspondent aux domaines où il n'est pas substituable (consommation très faible : environ 300 tonnes par an selon l'USGS).

Le sélénium et le gallium sont utilisés dans la technologie photovoltaïque CIGS. Ils pourraient être substituables (technologie au silicium ou au cadmium-tellure - CdTe - par exemple) mais avec de moins bons rendements. De plus, les cellules CdTe comportent du cadmium qui est toxique. L'utilisation dans les cellules CIGS serait le principal facteur d'augmentation de la demande en sélénium et en gallium.

En ce qui concerne l'indium, deux utilisations vont se développer et seront responsable d'une augmentation de la demande : les écrans LCD ou tactiles et les cellules photovoltaïques. Pour cette dernière utilisation, la problématique rejoint celle du gallium et du sélénium. En revanche, dans le cas des écrans, aucun substitut n'est pour l'instant envisageable, des recherches sont en cours sur des polymères ou sur des couches de graphène.

Le germanium est actuellement utilisé dans les fibres optiques et pour la vision de nuit (vision infrarouge). Pour cette application, il n'existe pas de substitut mais le marché est relativement stable[56], ce qui n'est pas le cas pour le marché de la fibre optique pour lequel le germanium n'a pas de substitut non plus mais dont la demande va augmenter pendant la prochaine décennie.

Après avoir identifié s'il existe plusieurs matériaux qui peuvent se substituer pour une même utilisation, il est important de se poser la question de la disponibilité physique des matières premières dont le procédé industriel va dépendre.

4. Un épuisement physique des ressources est peu probable à moyen terme mais les coûts d'extraction sont croissants

Les médias se réfèrent souvent à la théorie de l'épuisement physique des ressources quand ils parlent des ressources minières ou du pétrole. Mais qu'en est-il ? Comme nous le rappelle Paul Valéry, «l*e temps du monde fini commence »*[57]. Dans ce monde dont les ressources ne sont plus considérées infinies, va-t-on devoir repenser notre mode de vie à cause d'une pénurie physique de cuivre (nécessaire au transport d'électricité) ou de zinc (indispensable à la fabrication de l'acier) ? Les terres rares (dont le nom est trompeur puisqu'elles sont relativement abondantes dans la croûte terrestre) vont-elles s'épuiser bientôt ? Les nouvelles technologies vont-elles devoir se

[56] Ceci signifie que l'augmentation de la demande prévue pour cette application pourra être satisfaite par l'offre.
[57] *Regards sur le monde actuel* (1931)

développer sans elles (batteries, aimants permanents, éclairage basse consommation) ?

Ce type de raisonnement pessimiste, voire alarmiste, repose malgré tout sur des données chiffrées et toute la difficulté réside dans la bonne utilisation et interprétation des données disponibles. Pour certains minerais, celles-ci sont soit indisponibles soit très approximatives. Dans le cadre de cette étude, nous utilisons les valeurs fournies par le bureau de l'*USGS* et disponibles sur le site internet http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/ .

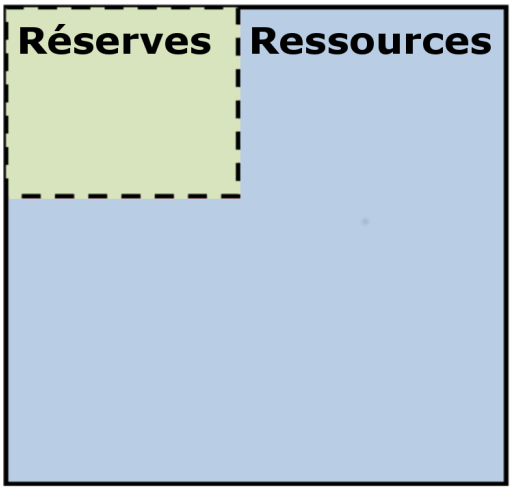
Deux données permettent d'évaluer l'épuisement physique d'une ressource minérale : l'abondance des éléments dans la croûte terrestre (domaine de la géochimie) et les données géologiques de présence de gisements exploitables : les « réserves » et les « ressources ».

La première donnée intéressante est celle qui témoigne de l'abondance d'un élément dans la croûte terrestre. Il faut néanmoins l'utiliser avec précaution, car elle ne reflète pas l'existence de zones de concentration, qui seules peuvent alors constituer des gisements exploitables de façon rentable - ou potentiellement rentable dans le futur. L'indicateur d'abondance terrestre a néanmoins le mérite de nous permettre d'établir une classification des éléments, par ordre d'abondance.
Une seconde donnée intéressante concerne les « ressources », c'est-à-dire les zones de concentration naturelle des différents éléments, lesquelles peuvent constituer des gisements.

Définitions : ressources et réserves

Les ressources minérales conventionnelles (qui englobent les ressources non rentables, la base de réserve et les réserves) sont constituées de l'ensemble des gisements qui ont été répertoriés et qui sont techniquement exploitables. Ils peuvent potentiellement devenir exploitables de manière rentable dans le futur (si une avancée technologique future permet un moindre coût de production, si une situation économique particulière fait monter les prix ou si une volonté politique de soutenir la filière se met en place avec des subventions ou des aides).

Les réserves sont la partie des ressources qui a été inventoriée et mesurée et qui peut être exploitée de manière rentable dans les conditions actuelles (géologiques, économiques, technologiques et politiques) en utilisant les technologies actuelles.



4.1. La pénurie physique ne constitue pas un problème à moyen terme pour la plupart des matériaux, explication à travers l'exemple du cuivre

La donnée « ressources » [58] évolue en fonction des nouvelles découvertes de gisements. Des ressources sous-marines commencent même à être exploitées, notamment par le Japon. Ce ne sont pour l'instant que des essais sur des gisements situés à des profondeurs relativement faibles (entre 1 000 et 1 500 mètres sous le niveau de la mer[59]) ou sur des amas sulfurés qui peuvent contenir des quantités importantes de cuivre et d'or. En revanche, certains gisements découverts dans l'océan Pacifique à plus de 5 000 mètres de profondeur, les nodules polymétalliques, sont pour l'instant classés « ressources non conventionnelles » car il n'existe aujourd'hui aucune technologie permettant de les exploiter à l'échelle industrielle dans des conditions économiques et environnementales acceptables.
Sun Zhihui, ancien directeur de l'Administration océanique d'État en Chine, qui s'est exprimé sur le sujet dans *le Quotidien du peuple*, considère que l'exploitation de ce genre de gisement sous-marin profond (nodules polymétalliques) devrait commencer dès 2030[60].

Pour certains métaux, les ressources éloignent le spectre de la pénurie. L'*USGS* estime par exemple que les ressources actuelles totales (somme des ressources identifiées, estimées et non découvertes) de cuivre représenteraient 3 milliards de tonnes. Avec un rythme actuel de production de 15,9 millions de tonnes par an (en 2010, donnée USGS 2012), l'humanité disposerait de 188 ans de répit avant une pénurie. Deux limitations existent à ce raisonnement :

- d'une part la production ne va sans doute pas rester à 16 millions de tonnes par an car les pays émergents sont actuellement porteurs d'une forte demande en cuivre pour l'équipement électrique, la production va dont augmenter dans la mesure du possible pour satisfaire cette demande. À titre d'exemple la production de cuivre a augmenté de 20 % entre 2000 et 2010 et on peut s'attendre à une évolution similaire dans les 10 à 20 prochaines années,
- d'autre part les ressources aussi vont évoluer : des gisements restent à découvrir et des gisements non conventionnels vont peut-être devenir exploitables. Les ressources sont passées de 1,6 milliard de tonnes en 2000 à 3 milliards en 2010 soit une augmentation de 97 % ! Cette augmentation spectaculaire est due à des progrès techniques et à une hausse régulière des prix qui rend rentable l'exploitation de ressources moins atteignables.

La notion de « réserves » est dynamique, les réserves sont la partie des ressources qui sont exploitables de manière rentable à un instant donné et résultent de l'interaction de la situation économique, technologique et politique à un instant donné. Pour

[58] Ici, nous raisonnons sur les ressources conventionnelles identifiées, voir encadré « Définitions ».
[59] Cela concerne des gisements de gaz, les hydrates de méthane dans la fosse de Nankaï : http://en.wikipedia.org/wiki/Nankai_Trough_gas_hydrate_site; http://www.leblogenergie.com/2012/01/30/le-japon-poursuit-le-developpement-dexploitation-des-gisements-sous-marins-d-hydrate-de-methane/
[60] « La Chine veut développer les technologies d'exploitation en eaux profondes d'ici 2030 », Le Quotidien du Peuple, 30/05/2012, http://french.peopledaily.com.cn/Sci-Edu/7830625.html

reprendre le cas du cuivre, les derniers chiffres avancés par l'*USGS* font état de 690 millions de tonnes de réserves de cuivre, soit 43 ans d'approvisionnement au rythme de la production actuelle (source *USGS* 2012, chiffre de production 2010), ce qui est nettement moins que les 188 ans d'approvisionnement trouvés si l'on raisonne avec les ressources. Néanmoins, les réserves ont augmenté de plus de 100 % entre 2000 et 2010, nous sommes passés de 340 millions de tonnes à 690 millions de tonnes de réserves de cuivre, alors que la production a augmenté de 20 % pendant le même laps de temps.

4.2. Cependant certains matériaux sont à surveiller car ils ont des réserves ou des ressources très faibles d'après l'*USGS*

Parmi les éléments pour lesquels l'USGS fournit des données chiffrées de ressources et de réserves, on peut néanmoins signaler ceux qui ont des réserves très faibles par rapport à la production actuelle, en raisonnant en nombre d'année de réserves disponibles, on peut identifier ceux qui disposent de moins de 20 ans de réserves : l'antimoine et le germanium. Nous pouvons aussi isoler ceux qui disposent de moins de 100 ans de ressources, c'est le cas pour le nickel et le zirconium.

En regroupant les deux catégories, voici la liste des matériaux qui possèdent des ressources ou des réserves relativement faibles :

- l'antimoine,
- le germanium,
- nickel,
- zirconium.

4.3. Néanmoins le cas particulier des sous-produits est à surveiller, puisqu'ils sont caractérisés par une plus grande difficulté d'estimation des ressources et par une production inélastique

Pour certains matériaux, sous-produits d'autres exploitations minières, les données de réserves et de ressources ne sont pas disponibles : pour le gallium et l'indium, par exemple, l'*USGS* ne fournit pas de données chiffrées de réserves et de ressources. Il est difficile de calculer des réserves puisque leur production dépend d'une part de la production du métal majeur et de l'intérêt financier d'isoler le sous-produit et d'autre part de la teneur en sous-produit dans le minerai. Pour l'antimoine, le germanium, le sélénium, le tellure et le tungstène, l'*USGS* fournit des données chiffrées de réserves mais pas de données concernant les ressources.
En regroupant tous ces éléments nous obtenons une liste de six matériaux pour lesquels les ressources ou les réserves sont inconnues :

- l'antimoine,
- le gallium,
- le germanium,
- l'indium,
- le sélénium,
- le tellure.

En regroupant les matériaux pour lesquels les réserves et ressources connues actuellement sont faibles et ceux pour lesquels les ressources et les réserves sont inconnues on obtient une liste de huit matériaux à surveiller (cf. tableau ci-dessous, p. 49).

Tableau 3 : Récapitulatif de l'état des réserves et des ressources pour une sélection de matériaux à surveiller (Source : *USGS* 2012)

Matériau	Réserves	Ressources
Antimoine	Faibles	Inconnues
Gallium	Inconnues	Inconnues
Germanium	Très faibles	Inconnues
Indium	Inconnues	Inconnues
Nickel	Correctes	Faibles
Sélénium	Correctes	Inconnues
Tellure	Correctes	Inconnues
Zirconium	Correctes	Faibles

Précisions sur quelques sous-produits :

- **Antimoine**

Il est en général le produit principal de la mine mais il a été constaté dans une étude menée par le BRGM[61] que les réserves pour ce matériau n'ont fait que diminuer depuis plus de 10 ans. Cela signifie que le rythme actuel de production dépasse le rythme de découverte de nouveaux gisements exploitables de manière rentable. De plus, nous le verrons par la suite, sa production est concentrée dans un petit nombre de pays. En effet, la Chine produit environ 90 % de l'antimoine mondial (et détient 50 % des réserves) et semble être en train de restructurer son industrie minière pour ce métal. On peut donc s'attendre à une envolée des prix et des difficultés d'approvisionnement dans les dix prochaines années. Cette envolée des prix rendra de nouveaux projets rentables (il existe des gisements d'antimoine en France dont l'exploitation n'est pas du tout rentable pour le moment). De plus, l'antimoine est difficilement substituable dans sa principale application, l'ignifugation (retardateur de flamme). Enfin, cette application est dispersive, ce qui rend le recyclage impossible.

- **Béryllium**

Fourni principalement par les États-Unis (plus de 90 % de la production mondiale).

- **Gallium**

Le gallium est un sous-produit de l'aluminium, lui-même produit à partir de la bauxite. L'obtention du gallium se fait lorsque l'aluminium est encore sous forme d'alumine (trioxyde d'aluminium). L'obtention de gallium ultrapur est très complexe et très peu

[61] Communication entre le Centre d'analyse stratégique et le BRGM, septembre 2012

d'entreprises se sont spécialisées dans ce domaine, il en existe au moins une en France.

4.4. De plus les concentrations en minerais sont de plus en plus faibles et les mélanges de plus en plus complexes ce qui rend plus difficile une exploitation rentable, des progrès technologiques et techniques sont requis dans ce domaine

Au cours de l'histoire de l'exploitation minière, les gisements les plus concentrés ont été exploités préférentiellement car ils étaient plus faciles à exploiter et donc plus rentables. Pour la plupart des métaux nous sommes donc dans une évolution vers des gisements de moins en moins concentrés, c'est-à-dire avec de plus en plus d'impuretés. La tendance est donc à la diminution de la productivité et de la rentabilité de certaines mines.

5. À court terme, le risque essentiel correspond à une insuffisance de l'offre accessible au niveau mondial résultant du délai entre prospection et production inhérent au secteur et d'un manque d'investissement

L'exemple des terres rares montre comment un déséquilibre entre l'offre et la demande entraîne une tension sur les prix qui peut permettre l'ouverture de nouveaux projets miniers.

L'augmentation des prix encourage les investissements dans l'exploration et l'exploitation, qui vont ensuite aider à rééquilibrer les prix en augmentant l'offre disponible. Prenons l'exemple d'un matériau dont la production ne satisfait pas la demande. L'écart entre production et consommation peut avoir une raison d'ordre technologique ou géologique (dans le cas des terres rares les gisements rentables seraient tous exploités et ne suffiraient pas à produire assez pour atteindre la demande mondiale). Nous assistons donc à une difficulté ponctuelle d'approvisionnement qui peut évoluer en rupture ponctuelle pour certains acteurs de la chaîne de transformation. Les prix de la matière première vont alors augmenter sur le marché international. Cette augmentation va permettre d'une part à des gisements qui n'étaient pas rentables de devenir exploitables et d'autre part à des investisseurs de mettre en place de nouveaux projets de prospection et d'exploitation : ce qui équivaut donc à une augmentation des réserves et des ressources. Dans le cas des terres rares, de nombreux projets ont vu le jour ces dernières années (voir la liste ci-après). Cependant le délai entre prospection minière et production met en général plusieurs années et certains observateurs prévoient que tous les projets n'atteindront pas le stade de l'exploitation. En effet, les premiers acteurs dont la production arrivera sur le marché permettront un rééquilibrage de l'offre et de la demande qui contribuera à diminuer le prix des matières premières, ôtant aux autres la perspective d'être rentables.

Entreprises et projets d'exploitation de terres rares en dehors de Chine

- Molycorp Inc (États-Unis), mine : Mountain Pass (Californie)
- Lynas Corporation Ltd (Australie), mine : Mount Weld
- Avalon Rare Metals Inc (Canada), mine : Nechalacho (Thor Lake)

- Alkane Resources, Ltd. (Australie), mine : Dubbo
- Arafura Resources, Ltd. (Australie), mine : Nolans Bore
- Rare Element Resources, Ltd. (États-Unis), mine: Bear Lodge (Bull Hill Lodge)
- Great Western Minerals Group, Ltd. (Canada), mine : Steenkampskraal
- Greenland Minerals and Energy, Ltd. (Australie), mine : Kvanefjeld
- Quest Rare Minerals, Ltd. (Canada), mine : Strange Lake (B Zone)
- Tasman Metals, Ltd. (Canada), mine : Norra Karr
- Stans Energy Corp. (Canada), mine : Kutessay II
- Ucore Rare Metals, Inc. (Canada), mine : Bokan (Doston, I & II Zones)

(Source : rapport du DOE « *Critical materials strategy* » 2011)

Les deux premiers projets de la liste du *Department of Energy* américain sont Lynas et Molycorp. Ils ont commencé leur activité et les terres rares produites devraient atteindre le marché d'ici fin 2012 ou fin 2013. Une fois en pleine production, au bout d'un an environ, ils réduiraient à eux deux le monopole de la Chine de 95 % aujourd'hui à 65 % d'ici quelques années, ce qui équivaudrait à une production de 40 000 tonnes d'oxydes de terres rares par an pour Molycorp et de 20 000 tonnes par an pour Lynas.

Attention cependant, les minerais des différentes mines citées plus haut n'ont pas tous la même composition en terres rares. Ainsi le gisement de Mountain Pass (Projet Molycorp, États-Unis) ne contient presque pas de terres rares lourdes (0,25 % selon le RareMetalBlog[62]) qui sont les moins fréquentes et les plus chères actuellement[63]. En revanche, le projet de Lynas à Mount Weld en Australie possède un gisement plus riche en terres rares lourdes (3,82 %), ce qui le rend un peu plus rentable. Cependant, cette mine ne résoudra pas à elle seule le problème du manque de terres rares lourdes.

Une autre remarque importante est la différence entre production et transformation. Les projets de mines de terres rares hors de Chine vont permettre de réduire le monopole chinois. Il ne faut pas oublier néanmoins que toute une chaîne de valeur ajoutée suit l'extraction. Nombre d'experts soulignent l'importance de mettre en place et de soutenir toute la chaîne de transformation (voir le projet M*ine-to-magnetics* de Molycorp). Après séparation des terres rares du minerai, il faut les raffiner et les séparer : la mine de Mountain Pass ne possède pas de raffinerie pour l'instant donc 10-15 % des produits non séparés et non raffinés extraits de la mine de Mountain Pass seront raffinés… en Chine[64] ! Par ailleurs, le reste partira dans une raffinerie en Estonie. Cette situation est très probable dans le futur, puisque selon les analystes du secteur, la Chine va bientôt être porteuse d'une demande que sa production domestique ne pourra pas satisfaire. De plus, le pays possède les capacités de raffinage et de transformation (aval de la filière), ce qui fera de la Chine une importatrice de terres rares dans le futur proche.

[62] http://www.raremetalblog.com/2012/02/heavy-rare-earths-the-16-most-advanced-projects.html
[63] Voir encadré « Les terres rares », page 17.
[64] Source : site internet de Molycorp : http://www.molycorp.com/about-us/our-facilities/molycorp-silmet

En partant de l'exemple des terres rares, nous voyons donc que les ressources et les réserves dépendent aussi des conditions d'offre et de demande. Pour la plupart des matériaux présents dans les listes de matériaux critiques, les ressources minières deviendront exploitables grâce à des avancées technologiques ou à des tensions sur les prix. Il n'y a donc pas de risque d'épuisement physique à craindre dans les prochaines années mais plutôt des ruptures ponctuelles d'approvisionnement (qui peuvent durer de quelques mois à quelques années) liées à un déséquilibre entre l'offre et la demande et dues au délai incompressible entre prospection et production (qui peut durer de 5 à 15 ans dans le secteur minier).

D'autres matières premières minérales font l'objet de nombreux projets de mines. Ces projets sont généralement portés par des entreprises « juniors[65] ». Environ 20 projets seraient actuellement en cours pour l'extraction du lithium[66], en voici quelques-uns :

- Orocobre (Australie), mine : salar de Olaroz (Argentine)
- Lithium Americas, mine : Salar de Olaroz (Argentine)
- Sentient, mine : Salar del Rincon (Chili)
- Rodinia (Canada), mine : Salar de Salinas Grandes (Argentine)
- Comibol (Bolivie), mine : Salar de Uyuni (Colombie)

[65] Entreprises spécialisées dans la prospection minière.
[66] « The future of lithium », Mining intelligence series, janvier 2010.

6. Les risques sociaux, politiques, géopolitiques et environnementaux liés à une production concentrée dans certains pays peuvent conduire à des ruptures ponctuelles d'approvisionnement indépendantes des mécanismes de marché

Ceci concerne les matériaux caractérisés par un indicateur HHI élevé. L'indicateur HHI (Herfindahl-Hirschman Index) sert à mesurer la concentration d'un marché, il peut prendre des valeurs entre 100 et 10 000 ; 100 correspond à un marché idéal où il existe un grand nombre d'acteurs qui détiennent tous la même part de marché, 10 000 correspond à la situation monopolistique où un seul acteur détient 100 % des parts de marché.

Les exemples les plus marquants sont les terres rares, l'antimoine, le béryllium, le magnésium, le niobium, les platinoïdes et le tungstène pour lesquels l'indicateur HHI 2010 est supérieur à 6 000 et c'est-à-dire qu'au moins 75 % de la production mondiale provient d'un seul pays.
La Chine fournit ainsi 90 % de l'antimoine mondial, 86 % du magnésium, 86 % du tungstène et 97 % des terres rares (scandium exclu). Le béryllium provient à 88 % des États-Unis, le niobium à 92 % du Brésil et le platine à 77 % d'Afrique du Sud. Les valeurs et graphiques proviennent de données *USGS* 2012 et correspondent à la production 2010.

6.1. Les manifestations et grèves récentes des mineurs dans les mines de platinoïdes en Afrique du Sud et le soulèvement local contre la raffinerie de terres rares de Lynas en Malaisie montrent que des risques sociaux peuvent peser sur l'approvisionnement en matières premières

Les sites d'exploitation minière dans des zones qualifiées d'instables sont susceptibles de voir leur production ralentie ou bloquée par des mouvements sociaux (provenant de la population locale ou des mineurs).

Ces évènements peuvent se produire avant l'ouverture de la mine et retarder le moment de la mise en production de nouvelles unités. Les réactions récentes en Malaisie autours de l'ouverture de la raffinerie de terres rares de l'entreprise australienne Lynas ont montré l'importance de l'acceptabilité sociale dans l'industrie minière (voir l'encadré ci-après). Mais des risques peuvent aussi peser sur des unités qui sont déjà en production. L'Afrique du Sud en a été témoin à la fin de l'été 2012 lors des épisodes violents de manifestation dans des mines de platinoïdes (utilisés dans les pots catalytiques[67]) qui ont fait plus de 40 morts.

[67] Article du *Monde* du 5 septembre 2012 :
http://abonnes.lemonde.fr/afrique/article/2012/09/05/nouvelle-manifestation-des-grevistes-de-marikana-avant-la-reprise-des-pourparlers_1755893_3212.html?xtmc=mines&xtcr=18

Lynas dans une impasse ?

Le projet de la mine de terres rares de Mount Weld (Australie) est l'un des plus avancés, et devait être un des premiers à produire ces éléments en dehors de Chine. Cependant leur raffinerie, située à Kuantan en Malaisie en non en Australie, n'est toujours pas en opération, le gouvernement en place n'ayant que très récemment donné une licence temporaire à l'entreprise, sans doute à cause du mécontentement de la population locale car les déchets produits sont radioactifs (ils contiennent du thorium). Cet épisode est lié à l'histoire récente d'une autre raffinerie de terres rares que l'entreprise japonaise Mitsubishi a dû fermer en 1992 car des doutes planaient sur l'exposition des travailleurs et de la population aux éléments radioactifs. Selon certaines sources cette raffinerie aurait pu être la cause de plusieurs cas de leucémies. Était-ce une erreur stratégique de la part de Lynas de vouloir s'implanter en Malaisie alors que la population est encore sous le choc de cette histoire ? Dans tous les cas, on assiste à une forte mobilisation de la part des populations locales, la licence temporaire de Lynas a même été suspendue le 20 septembre dernier. L'avenir de cette source de terres rares est loin d'être assuré.
Source : The New York Times http://www.nytimes.com/2011/03/09/business/energy-environment/09rareside.html?_r=0

6.2. Les matières premières peuvent faire l'objet de représailles dans le cadre de disputes diplomatiques ou géopolitiques interétatiques, comme l'illustre la dispute sino-japonaise au sujet des îles Senkakku/Diaoyu dans la mer de Chine

Dans un monde où la demande en matières premières est en augmentation et où la provenance des matières premières est parfois concentrée dans un petit nombre de pays, les pays producteurs peuvent exercer une pression sur les pays consommateurs. Plusieurs événements récents en ont fait la preuve, l'embargo supposé et non officiel des terres rares chinoises sur le Japon en est un exemple.
En septembre 2010, un navire chinois est intercepté par les garde-côtes japonais au large des îles Senkakku (qui sont revendiquées à la fois par le Japon et la Chine). Plusieurs personnes ont été arrêtées. À la suite de cet événement, le Japon s'est plaint d'un arrêt total des livraisons de terres rares chinoises pendant plusieurs jours. La Chine a démenti cet embargo mais les médias s'étaient déjà emparés de l'information[68]. Qu'elle soit vraie ou fausse, cette suite d'évènements montre comment un pays producteur peut exercer une pression sur les pays consommateurs.

6.3. Certains pays détenteurs de ressources annoncent la mise en place de barrières à l'exportation des matières premières, c'est le cas de la Chine ou de la Bolivie par exemple

Voici pour la plupart des matières premières étudiées les trois premiers pays producteurs et leur part de marché :

[68] Voici un des articles de presse correspondant à ce sujet : http://lecercle.lesechos.fr/economie-societe/international/221131677/bras-de-fer-chine-japon-embargo-sur-les-exportations-de-ter

Matière première	Premier pays producteur	Deuxième pays producteur	Troisième pays producteur
Antimoine	Chine (90 %)	Bolivie (3 %)	Afrique du Sud (1,8 %), Russie (1,8 %)
Béryllium	Etats-Unis (88 %)	Chine (11 %)	Mozambique (1 %)
Cobalt	Congo Kinshasa (53 %)	Chine (7 %), Russie (7 %)	Zambie (6 %)
Cuivre	Chili (34 %)	Pérou (8 %)	Chine (7 %)
Germanium	Chine (68 %)	Russie (4 %)	États-Unis (2 %)
Graphite	Chine (65 %)	Inde (15 %)	Brésil (8 %)
Indium	Chine (56 %)	Japon (11 %), Corée du Sud (11 %)	Canada (10 %)
Lithium	Chili (37 %)	Australie (33 %)	Chine (14 %)
Magnésium	Chine (86 %)	Russie (5 %)	Israël (4 %)
Nickel	Russie (17 %)	Indonésie (15 %)	Philippines (11 %)
Niobium	Brésil (92 %)	Canada (7 %)	---
Palladium	Russie (42 %)	Afrique du Sud (41 %)	États -Unis (6 %)
Platine	Afrique du Sud (77 %)	Russie (13 %)	Zimbabwe (5 %)
Rhénium	Chili (53 %)	États -Unis (13 %)	Pérou (11 %)
Sélénium	Japon (35 %)	Allemagne (31 %)	Belgique (9 %)
Silicium	Chine (67 %)	Russie (9 %)	Norvège (4 %)
Tantale	Brésil (26 %)	Mozambique (18 %)	Rwanda (16 %)
Terres rares	Chine (98 %)	Inde (2 %)	Brésil (0,4 %)
Zirconium	Australie (41 %)	Afrique du Sud (32 %)	Chine (11 %)

Source : USGS 2012 portant sur les chiffres de production de l'année 2010. En rouge : la Chine.

On voit que la Chine fait partie d'un des trois premiers pays producteurs pour 13 matières premières sur 20 ! De plus, elle fournit plus de 50 % de la production mondiale de 8 d'entre-elles, ce qui fait d'elle l'actrice incontournable du marché de ces matières premières. Cette position dominante explique pourquoi le gouvernement et les industriels chinois peuvent influencer les prix et le marché mondial de certains matériaux.
D'autres pays ont récemment annoncé des mesures qui pourraient un jour se concrétiser en barrières à l'exportation pour certaines matières premières. La nationalisation de certaines ressources en Argentine, ou le moratoire sur l'exploitation de lithium en Bolivie en sont des exemples.

6.4. Exemple d'un monopole sur une matière première : cas de la Chine et des terres rares

L'exemple des terres rares illustre la stratégie du gouvernement chinois dans le domaine des matières premières. En premier lieu, il semble important de rappeler que la Chine détient une grande quantité de ressources minérales en partie grâce à la grande superficie de son territoire. De plus, la Chine a développé ses industries minières à une grande échelle, ce qui lui donne une place dans le *top 3* des plus gros producteurs pour un grand nombre de matières premières minérales (voir partie précédente, graphique).

6.4.1. La situation de monopole chinois remonte au début des années 2000 avec la fermeture de la mine américaine de Moutain Pass et le transfert de technologie qui s'ensuit

Une distinction est à faire entre l'industrie de production des terres rares, c'est-à-dire l'amont de la filière (extraction, séparation, raffinage etc), et les industries « aval » de transformation (manufacture d'aimants permanents, de batteries électriques etc). Au niveau de la production, la Chine s'est positionnée très tôt comme acteur majeur au niveau mondial. Pour ce qui est de la transformation, quelques pays possèdent encore une avance technologique dans certains secteurs, c'est le cas du Japon dans le domaine des aimants permanents. Cependant les politiques récentes de la Chine visent une montée en gamme qui pourrait faire de la Chine l'acteur principal des filières aval.

Le 12e plan quinquennal chinois : une stratégie de « montée en gamme »

Le 12e plan quinquennal traduit une volonté de monter en gamme, tant dans le secteur de l'industrie que dans le secteur des services. Il identifie sept secteurs émergents stratégiques dont les énergies renouvelables, les nouveaux matériaux et les véhicules « à nouvelles énergies ». On trouve dans un des plans sectoriels qui complète le plan quinquennal l'objectif que d'ici à 2020, les 7 secteurs stratégiques représentent 15 % du PIB.
Une politique fiscale accompagne ce plan en favorisant les secteurs émergents stratégiques. De même les projets conduisant à une forte intensité énergétique, à une forte consommation en ressources naturelles non renouvelables, à une pollution forte sont pénalisés. En termes de politique commerciale, des efforts sont faits pour limiter les exportations à faible valeur ajoutée afin de favoriser le développement des filières « aval » domestiques.
Sources : Entretiens, articles « *Mitigation targets and actions in Chine up to 2020 », « Can export tax be genuine climate policy ? »* Xin Wang, disponible en ligne : http://www.iddri.org/Publications/Can-export-tax-be-genuine-climate-policy-An-analysis-on-China-s-export-tax-and-export-VAT-refund-rebate-policies

Filière amont : une production américaine importante dans les années 1980 rapidement dépassée par la production chinoise

À la fin des années 1980, le plus gros pays producteur de terres rares était les États-Unis dont la principale entreprise était alors Molycorp Inc., qui exploitait une mine en Californie (Mountain Pass). À partir du milieu des années 1990, la tendance générale s'est inversée et la Chine s'est imposée en devenant premier producteur mondial (en 1994 les États-Unis produisaient 32 % du total de terres rares contre 47 % pour la Chine[69]). Son plus gros site de production étant situé dans la province de Mongolie Intérieure (Baotou, Bayan Obo, lire encadré ci-contre). En 1998, Molycorp, a été contraint d'arrêter sa production pour deux raisons. D'une part les coûts de production étaient plus élevés que les coûts chinois, ce qui

Bayan Obo (Mongolie intérieure) le plus gros site de production de terres rares au monde

Ouvert en 1927 pour la production de fer, ce gisement est situé près de la ville de Baotou. Les terres rares y sont identifiées au début des années 1930 et leur exploitation commence à partir des années 1950. Aujourd'hui, ce site produit toujours majoritairement du fer mais il constitue le premier site mondial de production de terres rares légères avec une production annuelle de 55 000 tonnes environ d'oxydes de terres rares, principalement du lanthane et du cérium provenant d'un minerai de bastnaésite.

[69] Document officiel de l'USGS, 1996, disponible en ligne : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/rareemcs96.pdf

rendait les produits américains moins compétitifs, et d'autre part un problème de gestion des eaux usées contenant des éléments radioactifs (du thorium) a généré des coûts importants de réhabilitation et de dépollution des sites touchés[70]. En termes de quantités, la transition a été brutale : les États-Unis sont passés d'une production de 20 000 tonnes par an à 5 000 tonnes par an en l'espace d'un an[71]. À partir de ce moment, la Chine devient le principal acteur sur le marché de la production de terres rares, sa production passant de 53 300 tonnes par an en 1997 à plus de 130 000 tonnes par an en 2010 (ce qui correspond à plus de 95 % de la production mondiale).

Filière aval : des technologies globalement maîtrisées par les entreprises chinoises mais quelques expertises technologiques subsistent en dehors de Chine

De la même manière que pour l'amont de la filière, les industries utilisatrices de terres rares étaient majoritairement américaines dans les années 1980 et 1990. L'exemple le plus célèbre est celui de la filiale de General Motors (GM), Magnequench, spécialisée dans la fabrication d'aimants permanents au néodyme (terre rare). En 1995, GM se restructure et se sépare des filiales ne correspondant pas à son cœur de métier. Magnequench est vendue à un consortium d'investisseurs dont deux entreprises chinoises (San Huan New Material et China National Nonferrous Metals Import and Export Company) qui détiennent 62% des parts. Cette opération aurait été acceptée par le *Committee on Foreign Investment in the United States* (CFIUS) sous réserve d'un engagement de la part des investisseurs de maintenir les emplois et les lignes de production sur le sol américain pendant 10 ans. Et en effet, l'entreprise est restée sur le sol américain pendant 10 ans, au bout de ces 10 ans, l'entreprise a fermé et le personnel a été remercié. Entre temps, des sources indiquent que l'entreprise avait été dupliquée à l'identique sur le territoire chinois[72].

6.4.2. La Chine se trouve aujourd'hui dans une situation de monopole dépendant d'un secteur industriel peu organisé

Aujourd'hui, la Chine produit et fournit environ 95 % des terres rares dans le monde[73]. Cette situation a des conséquences sur le marché mondial des terres rares : il s'agit d'un quasi-monopole. Ce monopole est généralement vu par le reste du monde comme une volonté de la Chine de s'imposer comme seul acteur mondial dans le domaine des terres rares. Néanmoins, le secteur industriel de l'extraction de terres rares reste très peu organisé en Chine. Jusqu'à présent il y avait plus de 23 entreprises d'extraction minières en Chine et 99 entreprises de purification et de séparation[74] sans compter les nombreuses mines illégales qui approvisionnent le marché noir. Ceci rendait illusoire un quelconque contrôle du secteur par le gouvernement central. Pékin essaye depuis plus d'un an d'y remédier en organisant l'industrie de production de terres rares. Différentes actions ont été entreprises :

– Publication du livre blanc chinois sur l'industrie des terres rares (juin 2012)

[70] Document officiel de l'USGS, 2000, disponible en ligne : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/740400.pdf
[71] Chiffres pour 1997 : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/740399.pdf
Chiffres pour 1998 : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/740300.pdf
[72] Source : http://www.freerepublic.com/focus/f-news/2010985/posts#_ftn5
[73] Les chiffres varient selon les sources, ils oscillent entre 90 et 98 % de la production mondiale, c'est pourquoi nous préférons dire que la Chine produit environ 95 % des terres rares aujourd'hui.
[74] Source : RareMetalBlog article « New rare earth access standard unveiled » du 07/08/2012, lien : http://www.raremetalblog.com/2012/08/new-rare-earth-access-standard-unveiled.html

– Publication de nouveaux standards (production minimale à atteindre pour pouvoir ouvrir une mine ou une fonderie) (août 2012)

6.4.3. Les États-Unis ont perdu leur savoir-faire et tentent de reconstruire une industrie sur leur sol

Depuis la fermeture de l'usine Magnequench en 2005, les États-Unis n'étaient plus présents sur la chaîne d'approvisionnement des terres rares, ni au niveau de l'extraction (fermeture de la mine de Mountain Pass quelques années auparavant), ni au niveau de la transformation. C'est à partir des travaux du *National Research Council* en 2007 que la problématique a refait surface et avec elle toute la problématique de la dépendance aux approvisionnements extérieurs en matières premières.
En effet, les États-Unis sont encore leaders mondiaux pour le béryllium dont ils assurent plus de 90% de la production mondiale mais pour les autres matières premières leur production nationale est faible.
La stratégie des États -Unis est de reconstruire une industrie nationale de production et de transformation des terres rares. Le président des États -Unis, Barack Obama, l'a même exprimé dans un de ses discours.
Les différents axes d'action sont d'une part la prise de position auprès de l'OMC pour assurer un commerce international ouvert et d'autre part la mise en place de plusieurs programmes de subventions pour des recherches (substitut ou recyclage).
Un exemple est l'entreprise américaine Molycorp qui a mis au point un projet *Mine-to-magnetics* qui leur permet d'assurer toute la chaîne d'approvisionnement, depuis l'extraction du minerai à la mine de Mountain Pass jusqu'à la production d'aimants permanents grâce à l'opération de rachat de l'entreprise *NeoMaterials* en 2011.

Conclusion

De nombreux risques peuvent menacer l'approvisionnement en matières premières stratégiques. Parmi eux, la pénurie physique n'est pas tant en cause que les évolutions des marchés - qui déterminent la rentabilité de la production et incitent donc à initier, poursuivre ou arrêter l'exploitation - et la concentration des ressources dans un petit nombre de pays producteurs.
Notre analyse nous a permis d'identifier certains approvisionnements particulièrement critiques. À court terme, les principaux matériaux à surveiller sont les terres rares lourdes, car aucun projet minier les concernant n'entrera en production dans les prochaines années. À moyen terme, l'approvisionnement en lithium, en indium et en gallium posera vraisemblablement problème, dans l'hypothèse du fort développement des véhicules électriques et hybrides (pour le lithium) et des panneaux photovoltaïques de type CIGS (pour l'indium et le gallium).
Des politiques publiques adéquates sont requises afin d'assurer la « sécurité de l'approvisionnement en matériaux » des entreprises françaises. Le Gouvernement a déjà pris conscience de ces problématiques et certaines actions ont déjà été entreprises, notamment la création du Comité pour les métaux stratégiques.
Les principales pistes de solutions permettant d'assurer l'accès aux matières premières minérales sont sans doute le recyclage, l'écoconception des produits, la substitution, la prospection minière sur le territoire national et européen, le développement des techniques d'exploitation sous-marines, la signature d'accords multilatéraux avec des pays producteurs et la « veille minérale » (suivi annuel de l'évolution de la criticité des matériaux[75]).

D'un point de vue plus personnel, cette mission professionnelle a été pour moi l'occasion de découvrir les missions d'un agent du Centre d'analyse stratégique. Dans le but d'éclairer le gouvernement sur un sujet important pouvant faire l'objet de politiques publiques, j'ai été amenée à réaliser une étude bibliographique conséquente qui a été complétée par de nombreux entretiens avec des experts. J'ai beaucoup apprécié la complémentarité de cet aspect avec la dimension opérationnelle des propositions de politiques publiques.
Enfin, l'autonomie que m'ont laissée ma tutrice et le directeur du département m'a permis de découvrir et maîtriser par moi-même (dans la mesure du possible) un domaine qui m'était complétement nouveau.

[75] Toutes ces pistes méritent d'être étudiées et seront présentées plus en détail lors de la présentation orale du 15 octobre prochain (les documents écrits distribués à cette occasion seront rajoutés en annexe de ce rapport).

Bibliographie

Littérature :

- Regards sur le monde actuel, **1931**, Paul Valéry :

« Le temps du monde fini commence »

Rapports fondateurs :

- “Critical raw materials for the UE", European Commission **2010**, lien : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm
- "Critical materials strategy", Department of Energy (DOE), **2011**, lien : http://energy.gov/pi/office-policy-and-international-affairs/downloads/2011-critical-materials-strategy
- ” Minerals, critical minerals and the U.S. economy”, National Research Council, **2008**, plus d’informations sur le site internet : http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12034
- « Finland’s mineral strategy », sous la supervision de la Geological Survey of Finland, **2010**, lien : http://www.mineraalistrategia.fi/materiaalit/fi_FI/materiaalit/
- “Kingdom of Denmark : Strategy for the Arctic 2011– 2020 “, Royaume du Danemark **2011**, lien : http://um.dk/en/news/newsdisplaypage/?newsID=F721F2CB-AFF1-4CF7-A3E7-14FDA508690A
- « Critical metals for future sustainable technologies and their recycling potential », Programme des Nations unies pour l’environnement, **2009**, lien : http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1202xPA-Critical%20Metals%20and%20their%20Recycling%20Potential.pdf
- « Critical materials in the Dutch economy », Centre des statistiques publiques néerlandais. **2010**», lien : http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/37ADC207-2FD4-4D34-B5DE-02A3ADBDF3B4/0/criticalmaterialsinthedutcheconomy.pdf
- « Kritische Rohstoffe für Deutschland », Etude réalisée par l’IZT pour la banque KfW, **2011**, lien : http://institut-seltene-erden.org/wp-content/uploads/2012/03/Rohstoffkritikalitaet_LF.pdf

Autres rapports :

- « Annual Industrial Capabilities Report to Congress », **2010**, http://www.acq.osd.mil/ip/docs/annual_ind_cap_rpt_to_congress_2010.pdf
- « Elements of Security : Mitigating the Risks of U.S. Dependence on Critical Minerals », Christine Parthermore, **2011**, lien : http://www.cnas.org/elementsofsecurity
- « Des technologies compétitives au service du développement durable », Centre d’analyse stratégique, **2012**, lien :

http://www.strategie.gouv.fr/content/rapport-des-technologies-competitives-au-service-du-developpement-durable
- « Les secteurs de la nouvelles croissance : une projection à l'horizon 2030 », Centre d'analyse stratégique, **2012**, lien : http://www.strategie.gouv.fr/fr/content/rapport-les-secteurs-de-la-nouvelle-croissance-une-projection-lhorizon-2030
- « Rapport d'information sur le prix des matières premières », Vautrin et Loos, **2011**, lien : http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i3863.pdf
- « Rapport d'information sur la sécurité des approvisionnements stratégiques de la France », Blanc, **2011**, lien : http://www.senat.fr/rap/r10-349/r10-349_mono.html
- « Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares », Birraux et Kert, Assemblée Nationale, **2011**, lien : http://www.senat.fr/notice-rapport/2010/r10-782-notice.html
- « ITRI survey: tin demand growing slowly », International Tin Research Institute, **2012**, lien : https://www.itri.co.uk/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=2435&Itemid=65

Articles scientifiques :

- « Mitigation targets and actions in Chine up to 2020 », « Can export tax be genuine climate policy ? » Xin Wang, **2010**, lien : http://www.iddri.org/Publications/Can-export-tax-be-genuine-climate-policy-An-analysis-on-China-s-export-tax-and-export-VAT-refund-rebate-policies

Sites internet :

- ***USGS*** : Exemples de liens
  - Document officiel de l'USGS, **1996**, lien : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/rareemcs96.pdf
  - Document officiel de l'USGS, **2000**, lien : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/740400.pdf
  - Chiffres pour **1997** : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/740399.pdf
  - Chiffres pour **1998** : http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/740300.pdf
- ***BRGM*** : monographies des différents métaux critiques, **2010-2012**, exemples de liens :
  - Béryllium : http://www.brgm.fr/publication/pubDetailRapportSP.jsp?id=RSP-BRGM/RP-60203-FR
  - Niobium :http://www.brgm.fr/publication/pubDetailRapportSP.jsp?id=RSP-BRGM/RP-60579-FR
- ***INSEE*** : chiffres INSEE, lien :
  - http://www.bdm.insee.fr/bdm2/affichageSeries.action;jsessionid=48550B60EAFDF59544CB615DABAF6682?recherche=idbank&idbank=000455739&codeGroupe=298
- ***OMC*** : Informations sur les deux plaintes déposée à l'OMC :
  - http://www.wto.org/french/tratop_f/dispu_f/cases_f/ds394_f.htm
  - http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds432_e.htm
- ***The criticality of metals***, Yale, **2009-Present**, lien :
  - http://cie.research.yale.edu/research/criticality-metals
- ***Molycorp*** : site internet de l'entreprise Molycorp

    - http://www.molycorp.com/
- *Rare metal blog*, devenu ProEdge Wire en août 2012 :
    - http://proedgewire.com/rare-earth/
- *ERAMIN* :
    - http://www.labo21.dsi.cnrs.fr/index.php
- *COMES* :
    - http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/colloques/colloque-metaux-strategiques-enjeux-et-solutions-pour-entreprises
- *Blog Enerzine* :
    - http://www.enerzine.com/604/13943+europe-recycle-son-cuivre-couvrir-ses-besoins+.html?posts_usersPage=1

Support de cours :

- Support de cours en ligne de Science Po : http://supportscoursenligne.sciences-po.fr/200910/CECO1065/pdf/CECO1065_seance4.pdf

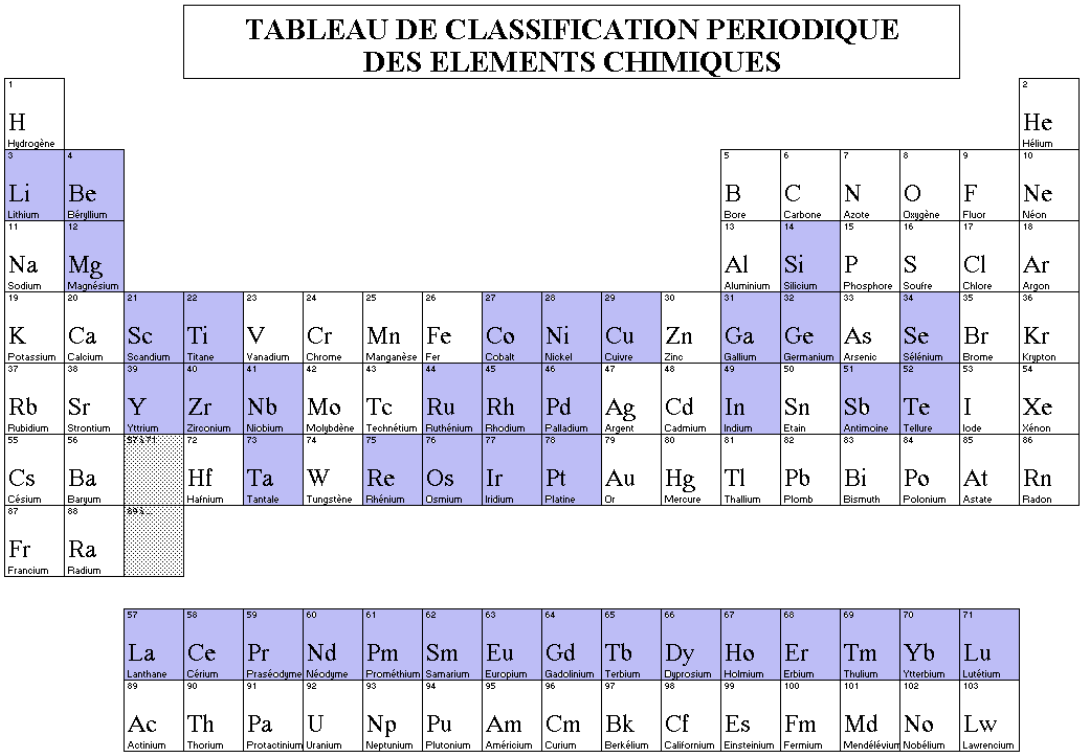
Journaux et articles de presse :

- « La Chine veut développer les technologies d'exploitation en eaux profondes d'ici 2030 », Le Quotidien du Peuple, **2012**, lien : http://french.peopledaily.com.cn/Sci-Edu/7830625.html
- Article du Monde, **2012** : http://abonnes.lemonde.fr/afrique/article/2012/09/05/nouvelle-manifestation-des-grevistes-de-marikana-avant-la-reprise-des-pourparlers_1755893_3212.html?xtmc=mines&xtcr=18
- Article de The New York Times, **2011**, lien : http://www.nytimes.com/2011/03/09/business/energy-environment/09rareside.html?_r=0
- Article des Echos, **2010**, lien : http://lecercle.lesechos.fr/economie-societe/international/221131677/bras-de-fer-chine-japon-embargo-sur-les-exportations-de-ter
- Article de Free Republic, **2008**, lien : http://www.freerepublic.com/focus/f-news/2010985/posts#_ftn5

Annexes

1. Tableau périodique des éléments

Voici une représentation de la classification périodique des éléments, les cases colorées correspondent aux éléments étudiés dans ce le cadre de cette mission :



Source : adapté de http://www4c.ac-lille.fr/commynes/spip.php?article185

2. Les matériaux exclus de cette étude

2.1. Le fer, un métal majeur

Avec un volume de plusieurs centaines de millions de tonnes par an, le fer est le métal le plus produit actuellement. La demande devrait durablement augmenter tant que les pays émergents tireront la demande mondiale. Le marché est gouverné par trois entreprises : Rio Tinto, Vale et BHP Milliton. Au vu de l'ampleur du marché et des volumes échangés nous ne considérons pas le fer comme un métal pouvant être critique.

2.2. Le plomb, de plus en plus délaissé

Sa toxicité et son caractère polluant font qu'il est de moins en moins utilisé et ne rentre pas dans notre analyse de la criticité.

2.3. Le zinc et l'aluminium, des métaux majeurs peu problématiques

Dans le cas du zinc, citons le paragraphe d'ouverture du chapitre qui lui est consacré dans le Panorama des marchés mondiaux « Cyclope »[76] :
« Le marché mondial du zinc […] sans relief. L'offre est pléthorique et les stocks en croissance quasi exponentielle ». Nous ne le prendrons donc pas en compte dans notre analyse de la criticité.

[76] Rapport *Cyclope*, publié en 2012, éditions Economica, sous la direction de Philippe Chalmin.