



IRSEM

INSTITUT DE RECHERCHE STRATÉGIQUE
DE L'ÉCOLE MILITAIRE

Novembre 2019

LA CRITICITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES STRATÉGIQUES POUR L'INDUSTRIE DE DÉFENSE

Raphaël Danino-Perraud

*Doctorant au Laboratoire d'économie d'Orléans,
au Bureau des recherches géologiques et minières
et doctorant associé à l'IRSEM*

ÉTUDE – n° 72





LA CRITICITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES STRATÉGIQUES POUR L'INDUSTRIE DE DÉFENSE

Raphaël Danino-Perraud

*Doctorant au Laboratoire d'économie d'Orléans,
au Bureau des recherches géologiques et minières
et doctorant associé à l'IRSEM*

Pour citer cette étude

Raphaël Danino-Perraud, *La Criticité des matières premières stratégiques pour l'industrie de défense*, Étude n° 72, IRSEM, novembre 2019.

Dépôt légal

ISSN : 2268-3194

ISBN : 978-2-11-152708-9

DERNIÈRES ÉTUDES DE L'IRSEM

71. *Le Sri Lanka, l'Inde et le Pakistan face à la Belt and Road Initiative chinoise*
Raphaëlle KHAN
70. *Risques géopolitiques, crises et ressources naturelles. Approches transversales et apport des sciences humaines*
Sarah ADJEL, Angélique PALLE et Noémie REBIÈRE (dir.)
69. *Contemporary Society-centric Warfare: Insights from the Israeli experience*
Jonathan (Yoni) SHIMSHONI and Ariel (Eli) LEVITE
68. *Les États-Unis divisés : la démocratie américaine à l'épreuve de la présidence Trump*
Frédéric GAGNON, Frédéric HEURTEBIZE et Maud QUESSARD (dir.)
67. *Le Financement chinois dans le secteur des transports en Afrique : un risque maîtrisé*
Juliette GENEVAZ et Denis TULL
66. *L'Expérience militaire dans les médias (2008-2018). Une diversification des formes de récits*
Bénédicte CHÉRON
65. *MCO 4.0. Le potentiel des technologies de l'industrie 4.0 appliquées au maintien en condition opérationnelle (MCO) des équipements de défense*
Josselin DROFF, ICA Benoît RADEMACHER
64. *Impact des nouveaux modèles économiques industriels sur les équipements des armées*
Dr Antoine PIETRI, ICA Benoît RADEMACHER
63. *Le Rôle des armées dans la fonction « intégration » de l'État*
Barbara JANKOWSKI

ÉQUIPE

Directeur

Jean-Baptiste JEANGÈNE VILMER

Directeur scientifique

Jean-Vincent HOLEINDRE

Secrétaire général

CRG1 (2S) Étienne VUILLERMET

Chef du soutien à la recherche

Caroline VERSTAPPEN

Éditrice

Chantal DUKERS

Retrouvez l'IRSEM sur les réseaux sociaux :

@ <https://www.irsem.fr>



@IRSEM1



PRÉSENTATION DE L'IRSEM

Créé en 2009, l'Institut de recherche stratégique de l'École militaire (IRSEM) est un organisme extérieur de la Direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du ministère des Armées. Composé d'une quarantaine de personnes, civiles et militaires, sa mission principale est de renforcer la recherche française sur les questions de défense et de sécurité.

L'équipe de recherche est répartie en cinq domaines :

- Espace euratlantique - Russie - Moyen-Orient.

- Afrique - Asie.

- Armement et économie de défense, qui s'intéresse aux questions économiques liées à la défense et aux questions stratégiques résultant des développements technologiques.

- Défense et société, qui examine le lien armées-nation, l'attitude de l'opinion publique vis-à-vis des questions de défense, et la sociologie de la violence, de la guerre et des forces armées.

- Pensée stratégique, qui étudie la conduite des conflits armés à tous les niveaux (stratégique, opératif, tactique).

En plus de conduire de la recherche interne (au profit du ministère) et externe (à destination de la communauté scientifique), l'IRSEM favorise l'émergence d'une nouvelle génération de chercheurs (la « relève stratégique ») en encadrant des doctorants dans un séminaire mensuel et en octroyant des allocations doctorales et postdoctorales. Les chercheurs de l'Institut contribuent aussi à l'enseignement militaire supérieur et, au travers de leurs publications, leur participation à des colloques et leur présence dans les médias, au débat public sur les questions de défense et de sécurité.

AVERTISSEMENT : l'IRSEM a vocation à contribuer au débat public sur les questions de défense et de sécurité. Ses publications n'engagent que leurs auteurs et ne constituent en aucune manière une position officielle du ministère des Armées.

BIOGRAPHIE

Raphaël Danino-Perraud effectue au Bureau des recherches géologiques et minières et au Laboratoire d'économie d'Orléans une thèse en économie des ressources minérales qui porte sur « Les politiques d'approvisionnement en minerais critiques, l'analyse de la chaîne de valeur du cobalt en Europe ». Il est doctorant associé à l'IRSEM.

Contact : daninoperraud.raphael@gmail.com

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	11
INTRODUCTION	13
I. RETOUR SUR LA NOTION DE CRITICITÉ	17
Les différentes approches de criticité pour les matières premières minérales	18
Les différentes initiatives et stratégies mises en place : Europe, États-Unis et Japon...	22
Les limites des études de criticité	25
II. LA CHAÎNE DE VALEUR DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES DANS L'INDUSTRIE DE DÉFENSE	29
L'évolution historique de la chaîne de valeur des matières premières minérales....	29
La chaîne de valeur des matières premières minérales : constantes et différences..	32
Les minerais critiques dans la chaîne de valeur de l'industrie de défense	38
III. LA CHAÎNE DE VALEUR DES MATIÈRES PREMIÈRES CRITIQUES DANS L'INDUSTRIE DE DÉFENSE EN EUROPE, DÉPENDANCES ET CAPACITÉS : CAS CONCRETS.....	45
Le cobalt, de la mine à l'alliage	47
Le lithium, une matière première d'avenir ?	49
Tungstène, titane, tantale, niobium, les métaux des superalliages.....	53
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	59

RÉSUMÉ

Du silex au Rafale, de l'utilisation du bronze à celle du fer, chaque innovation technologique a posé la question de la supériorité militaire, mais également celle des ressources requises pour leur application. Les tensions sur les approvisionnements en matières premières minérales ne sont pas rares à travers l'histoire. Depuis le début des années 2000, elles ont toutefois pris une autre forme et ont culminé en 2010 avec la crise des terres rares.

En 2017, la Commission européenne a publié sa troisième liste de métaux dits « critiques », dans le cadre de l'Initiative sur les matières premières critiques lancée en novembre 2008. Ce travail a confirmé la dépendance extérieure des pays européens vis-à-vis de ces métaux, puisqu'ils importent la plupart d'entre eux. Cette liste est constituée de 27 métaux et parmi eux, 9 ont des applications militaires. Produire des armes sophistiquées ou développer de nouvelles technologies est impossible sans eux. Les métaux rares sont en train de devenir d'une importance capitale dans le champ des technologies militaires. En effet, si le tungstène et d'autres métaux étaient déjà utilisés pour la fabrication de munitions pendant les deux guerres mondiales et ont ainsi fait l'objet d'une stratégie spécifique, la quantité de cobalt, de terres rares ou de germanium utilisée dans la fabrication d'avions de combat, de missiles ou d'instruments optiques a augmenté, tout comme l'inquiétude sur leurs approvisionnements. Afin de produire des composants sophistiqués et de haute pureté, les minerais doivent être raffinés puis transformés. Ces processus, qui nécessitent parfois une technologie de pointe, ne sont ni bien connus ni bien pris en compte, mais sont pourtant vitaux pour l'industrie de défense européenne et sa souveraineté stratégique.

Cependant, comme la mise en œuvre de ces technologies n'est pas toujours profitable économiquement, elles sont parfois abandonnées par les industriels qui préfèrent acheter des produits meilleur marché, fabriqués en Chine. Malgré de nombreuses études et une quantité d'informations accumulées

depuis 2008, l'industrie européenne continue à fermer des capacités de production. Si cette tendance se poursuit, la dépendance de l'industrie de défense européenne sera à la fois matérielle et technologique, ce qui pourra définitivement mettre en danger la capacité des pays européens à assurer leur propre défense.

L'objectif de cette étude est d'explicitier le concept de criticité à travers une définition et une contextualisation puis d'étudier brièvement certaines stratégies mises en place pour diminuer les vulnérabilités sur les approvisionnements en matières premières critiques. À travers la notion de chaîne de valeur, seront abordées les problématiques rencontrées par différentes matières premières à chaque stade de leur production et consommation. Ces dernières seront ensuite replacées et intégrées dans la chaîne de valeur de l'industrie de défense ce qui permettra de comprendre la difficulté des grands industriels à identifier les enjeux liés aux matières premières minérales, principalement en raison du nombre élevé d'intermédiaires existant entre l'extraction et la fabrication du produit fini. Pour conclure, certaines pistes pour diminuer la vulnérabilité, telle que le recyclage, seront abordées pour en observer les potentiels et les limites. Au-delà de chaque stratégie et initiative particulière, c'est toute une réflexion systémique qui doit voir le jour.

INTRODUCTION

Ces derniers mois, alors que la guerre commerciale sino-américaine fait peser de nombreuses incertitudes sur l'économie mondiale, la résurgence des menaces sur les approvisionnements en terres rares par la Chine nous ramène au premier acte de cette problématique. En septembre 2010, la Chine mettait en place un embargo sur les terres rares à destination du Japon, transformant un différend diplomatique territorial au sujet des îles Senkaku en un conflit commercial aux conséquences vitales. En effet, les terres rares sont essentielles au fonctionnement de l'industrie japonaise puisqu'elles servent à la fabrication d'aimants utilisés pour la production de moteurs de véhicules hybrides ou d'éoliennes. Cet épisode a souligné la vulnérabilité des pays européens vis-à-vis de leurs approvisionnements en matières premières minérales.

Le monopole chinois sur les terres rares (la Chine assure entre 85 % et 95 % de la production mondiale de ce groupe de métaux) n'est pourtant que la partie émergée de l'iceberg. À l'exception des métaux de « base » (cuivre, fer, aluminium...), l'UE dépend à 97 % des approvisionnements extérieurs pour un groupe de 27 matières premières qu'elle a identifiées et qualifiées de critiques. Force est de constater que la Chine produit plus de 50 % de 16 d'entre elles¹.

Cette tendance, observable dès les années 1960 pour le charbon et l'acier en France, s'est accentuée avec la chute de l'URSS en 1991. En effet, la mise sur le marché de stocks de métaux importants par les ex-satellites soviétiques a contribué à faire chuter les prix et à rendre l'exploitation minière moins rentable. Déjà sujette à des controverses environnementales dans les années 1980, la filière minière a progressivement décliné en Europe et en France en particulier. Il n'existe plus en France aucune mine en activité, hors matériaux de construction.

1. Commission européenne, [Critical Raw Materials](#), consulté le 29 août 2018.

Plusieurs de ces matières premières ont été identifiées comme stratégiques par l'industrie de défense. Les minerais concernés ne sont pas utilisés tels quels dans les systèmes d'arme. Leur intégration est le fruit d'un long et coûteux processus de transformation allant de l'extraction à la fabrication d'éléments qui composent les armements. La maîtrise de ce processus est également un élément de souveraineté important pour les pays occidentaux. Comme le soulignait Alain Liger (ingénieur général des mines, ancien secrétaire général du Comité pour les métaux stratégiques [COMES]) en 2014 lors de son audition devant l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, « la dépendance ne concerne pas seulement les minerais, mais toute la chaîne des technologies dans un écosystème complexe ». Cette affirmation a été confirmée par Michel Latroche (directeur de recherche au CNRS) pour qui « l'intérêt stratégique n'est pas sur l'approvisionnement, mais sur la fourniture d'alliages ou la maîtrise des procédés ». Ce dernier regrettait la disparition des laboratoires de recherche et des compétences en France sur les terres rares, observant d'ailleurs que si 50 % des articles scientifiques en métallurgie extractive étaient écrits en Europe dans les années 1990, il n'y en avait plus que 30 % en 2014².

À l'heure actuelle, le débat sur les approvisionnements en matières premières minérales se positionne encore sur les aspects civils plutôt que militaires et les doctrines de sécurité mettent l'accent sur les enjeux économiques de l'approvisionnement en ressources. Néanmoins la dépendance européenne vis-à-vis des matières premières minérales ne se situe plus seulement sur la ressource, mais également sur les technologies de raffinage, de transformation et de production d'éléments destinés à être utilisés par l'industrie de défense. En 2010, à la suite des différends sino-japonais sur les îles Senkaku, la Chine décidait d'augmenter unilatéralement les quotas et les taxes d'exportation sur les terres rares, ce qui avait provoqué une crise aux conséquences psychologiques durables. Alors que, dix ans plus tard, le conflit

2. Patrick Hetzel, Delphine Bataille, *Les enjeux stratégiques des terres rares*, Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques, 2014.

commercial entre la Chine et les États-Unis fait craindre une résurgence de ces tensions, il semble nécessaire d'aller plus dans le détail afin de comprendre et leurs sources et leurs potentielles conséquences.

Après un retour sur la notion de criticité, cette étude présentera la chaîne de valeur des matières premières minérales dites « critiques » et leur intégration à la chaîne de valeur de l'industrie de défense. Elle évoquera la montée en puissance des pays émergents sur la chaîne de valeur des minerais et la dépendance croissante des industriels européens vis-à-vis de ces technologies, qui peuvent presque être qualifiées de technologies de souveraineté, en cela qu'elles participent à la réalisation de l'outil militaire. Enfin, à travers trois exemples, nous tenterons de mettre en lumière les forces et les faiblesses européennes en ce qui concerne ces matières premières et ces technologies.

I. RETOUR SUR LA NOTION DE CRITICITÉ

Apparue après la Première Guerre mondiale, la notion de criticité redevient d'actualité après la Seconde Guerre mondiale à travers le rapport Paley présenté à l'administration Truman, qui évoquait succinctement les dangers présents et potentiels sur les approvisionnements américains en matières premières minérales¹. Toutefois, l'intérêt pour cette question connaît un déclin relatif à partir des années 1970 et des deux chocs pétroliers successifs, l'attention étant focalisée sur les matières premières énergétiques. Après la fin de la guerre froide, la libéralisation des flux commerciaux et la vente des stocks accumulés par les protagonistes des deux blocs provoquent une abondance relative de la ressource, accompagnée d'une baisse des prix bien réelle. Ces paramètres n'encouragent ni l'exploration minière, ni la mise en œuvre de nouveaux gisements. Plus encore, ces prix bas provoquent la fermeture des mines et usines en Occident, concurrencées par l'arrivée sur le marché de pays aux coûts de production bien plus compétitifs². De fait, au début des années 2000, la dépendance des pays européens en termes de matières premières minérales s'est accentuée. Plus grave encore, la fermeture des installations et parfois la faillite des entreprises ont induit une perte de savoir-faire tout le long de la chaîne de valeur des minerais et des métaux. Si l'embargo chinois de 2010 sur les terres rares révèle la problématique au grand public, des initiatives ont été lancées dès 2007 au Japon, aux États-Unis et en Europe pour trouver une solution à ce problème.

1. W. S. Paley, G.R. Brown, A. H. Bunker, E. Hodgins, E. S. Mason, *Resources for freedom*, Washington, DC, President's Materials Policy Commission, 1952.

2. David Humphreys, « Whatever happened to security of supply? Mineral policy in the post-cold war world », *Resources Policies*, 1995.

LES DIFFÉRENTES APPROCHES DE CRITICITÉ POUR LES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES

Plusieurs termes sont utilisés pour qualifier des matières premières qui présentent un intérêt spécifique pour un ou plusieurs pays. Elles sont pour les uns « stratégiques », pour les autres « critiques », d'autres enfin les qualifiant de « rares ». Leurs caractéristiques principales résident néanmoins dans leur importance économique et dans les risques pour leurs approvisionnements.

À la suite de certaines pénuries en matériaux apparues en 1917 et 1918 à la fin de la Première Guerre mondiale, c'est aux États-Unis que la notion de « minerai stratégique » s'impose. Pendant les années 1920, le département de la Guerre présente une liste de 28 matériaux (*Harbor list*) qui ont rencontré certaines difficultés d'approvisionnement pendant la guerre. Au début de la décennie suivante, la notion de « minerai critique » est venue compléter cette analyse. En 1939, l'armée américaine considérait comme « stratégique » des matériaux essentiels pour la défense et dont l'approvisionnement était assuré par des sources étrangères, tandis que les approvisionnements en matériaux « critiques » étaient considérés comme moins problématiques³. Tetsuichi Takagi quant à lui, classait les métaux en trois groupes :

- les métaux de base (cuivre, zinc, fer...) ;
- les métaux précieux (or, argent, platinoïdes⁴) ;
- les métaux rares (cobalt, lithium...), ces derniers étant notamment caractérisés par un faible volume de production mais une utilisation primordiale dans l'industrie⁵.

3. David. G. Haglund, « La nouvelle géopolitique des minéraux, une étude sur l'évolution de l'impact international des minéraux stratégiques », *Études internationales*, 13:3, 1982.

4. Groupes de métaux (métaux du groupe du platine ou MGP) composé du ruthénium, du rhodium, du palladium, de l'osmium, de l'iridium, du platine et du rhénium.

5. Tetsuichi Takagi, « Securing a stable supply of critical raw metals, efforts and issues for the securement of rare earths resources », *Synthesiologie*, 2016.

En 2015, Christophe-Alexandre Paillard insistait sur l'usage de l'épithète « stratégique » dans l'industrie de défense, précisant que « l'on peut qualifier de stratégiques les substances rares du point de vue géologique et qui sont en même temps d'une haute importance pour la fabrication de composants nécessaires aux équipements de haute technologie⁶ ». Sur ce point, on peut également noter qu'un « matériel utilisé pour des objectifs militaires est considéré comme stratégique, bien qu'un matériel stratégique ne soit pas forcément critique ni un matériel critique stratégique⁷ ».

Enfin, pour compléter cette réflexion, il est intéressant de constater que le Japon a sélectionné dans sa liste des matières premières « de base » et des matières « rares »⁸. En 2012, lors d'une audition devant l'Académie des sciences morales et politiques, Didier Julienne (stratège industriel et éditorialiste en ressources naturelles) estimait également que des métaux de base comme le cuivre, l'aluminium, le fer ou encore le zinc devraient être considérés comme critiques en raison de leur importance économique et de l'augmentation des tensions les concernant, notamment la croissance continue de leur consommation et de leur prix. Ce questionnement est confirmé par Christophe-Alexandre Paillard qui identifie, sans les nommer tous, près de 31 métaux stratégiques pour la défense, dont des métaux de base comme le cuivre ou le zinc, des métaux inclus dans les listes de criticité comme les terres rares ou le gallium, mais également des métaux non mentionnés comme le titane ou l'or⁹. Avant 2016, aucune étude en Europe ne s'était intéressée aux métaux pour la défense. L'étude du Joint Research Center (JRC) de la Commission européenne comble ce manque et publie une liste de 39 éléments, dont des terres rares (dysprosium, néodyme, praséodyme, samarium,

6. Christophe-Alexandre Paillard, « [Ressources naturelles stratégiques : conséquences pour la France et sa défense](#) », IRSEM, 19 juin 2015, 59 p.

7. J.-P. Clark, B. Reddy, « Critical and strategical Materials », *Conservation & Recycling*, 9:2, 1986, p. 173-182 (traduction de l'auteur).

8. *Infra*, p. 22-24.

9. Christophe-Alexandre Paillard, « [Ressources naturelles stratégiques : conséquences pour la France et sa défense](#) », *op. cit.*

yttrium et autres), trois métaux précieux (or, argent, platine) et deux éléments non métalliques (bore et sélénium), le reste étant composé par les métaux suivants : aluminium, baryum, béryllium, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, gallium, germanium, hafnium, indium, fer, plomb, lithium, magnésium, manganèse, molybdène, nickel, niobium, rhénium, tantale, thorium, étain, titane, tungstène, vanadium, zinc et zirconium¹⁰.

Après avoir rappelé les différences entre ces notions, il apparaît nécessaire de comprendre les caractéristiques de la criticité, ce à quoi s'applique la Commission européenne à travers l'Initiative pour les matériaux critiques lancée en 2008 dans laquelle la notion de criticité est caractérisée par trois aspects : l'importance économique dans des secteurs clés ; les risques sur les approvisionnements ; le manque de substitut possible¹¹. L. Erdmann et T. E. Graedel, chercheurs à l'université de Yale et experts à l'ONU, estimaient quant à eux que définir la criticité d'un matériel revenait à penser conjointement « les risques sur les approvisionnements d'un côté et la vulnérabilité du système à une potentielle perturbation des approvisionnements de l'autre¹² ». Pour prolonger et compléter la réflexion, il s'agit de bien identifier les tensions présentes sur les approvisionnements de ces minerais. Premièrement, il apparaît que les minerais étudiés sont consommés de manière toujours plus importante pour la fabrication de produits essentiels à la sécurité d'un pays ou à l'implémentation des politiques de transition énergétique. Ensuite, la disponibilité de ces minerais n'est pas assurée en raison de capacités de production qui ne peuvent pas s'adapter automatiquement à la demande. Enfin, la plupart des pays industriels,

10. C. C. Pavel, E. Tzimas, *Raw Materials in the defense industry*, Joint Research Center, 2016.

11. Initiative « matières premières » – répondre à nos besoins fondamentaux pour assurer la croissance et créer des emplois en Europe, Communication de la Commission au parlement et au conseil, Bruxelles, 4 novembre 2008

12. L. Erdman, T. E. Graedel, « Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses, *Environ. Sci. Technol.*, 45:18, 2011, p. 7620-7630.

à l'exception de la Chine, ont abandonné la production d'une grande partie de ces minerais.

Les études de criticité présentent des caractéristiques communes. Elles s'appuient notamment sur deux grands axes que sont les risques d'approvisionnement et l'importance économique qui eux-mêmes sont calculés d'après des variables. L'étude *Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials* du Joint Research Council pour la Commission européenne permet de distinguer certaines d'entre elles. Ainsi, pour calculer l'importance économique, les matières premières sont identifiées selon :

- leurs secteurs d'utilisation finale (définis en « méga-secteurs »),
- la part de valeur ajoutée pour l'économie européenne de ces « méga-secteurs »,
- le degré de substituabilité de chaque matière première étudiée.

Concernant le risque d'approvisionnement, les variables sont plus nombreuses mais concernent principalement :

- le degré de dépendance pour chaque matière première,
- le degré de concentration géographique des fournisseurs,
- la capacité à substituer une source d'approvisionnement par une autre,
- les différentes barrières et accords commerciaux existant sur les matières premières étudiées,
- la part du recyclage et l'aptitude au recyclage des éléments étudiés,
- l'indicateur de gouvernance mondiale qui classe les pays selon leur degré de stabilité¹³.

13. G. A. Blengini, D. Blagoeva, J. Dewulf, C. Torres de Matos, V. Nita, B. Vidal Legaz, C.E.L. Latunussa, Y. Ayam, L. Talens Peiro, C. Baranzelli, S. Manfredi, L. Mancini, P. Nuss, A. Marmier, P. Alves-Dias, C. Pavel, E. Tzimas, F. Mathieux, D. Pennington et C. Ciupagea, *Assessment of the Methodology*

LES DIFFÉRENTES INITIATIVES ET STRATÉGIES MISES EN PLACE : EUROPE, ÉTATS-UNIS ET JAPON

Dès 2007, de l'Europe au Japon en passant par les États-Unis, plusieurs initiatives relatives aux approvisionnements en métaux critiques voient le jour.

Au Japon, le ministère de l'Économie, du commerce extérieur et de l'industrie (METI) charge le JOGMEC (Japan Oil, Gas and Metals National Corporation), de définir les métaux nécessitant une attention particulière et les mesures nécessaires pour en assurer les approvisionnements. Ainsi, la stratégie du JOGMEC s'articule autour des quatre points suivants : la sécurisation des ressources outre-mer, le recyclage, le développement de matériaux alternatifs et le stockage. Entre 30 et 40 substances ont été retenues, mélangeant métaux rares (cobalt, terres rares, lithium, tungstène...) et métaux de base (cuivre, zinc, plomb...). Concrètement, l'État japonais soutient ses entreprises en mettant à leur disposition financements et connaissances leur permettant de prendre des participations dans des projets miniers, que ce soit pour les explorations préliminaires ou bien à un stade plus avancé. Le Japon est également un des pays leaders dans le développement de technologies liées au recyclage. Enfin, le programme de stockage ne concerne que sept métaux (nickel, chrome, tungstène, cobalt, molybdène, manganèse et vanadium), mais doit assurer 60 jours d'approvisionnement au pays (42 jours de stockage public et 18 jours de stockage privé)¹⁴.

Aux États-Unis, le National Research Council (NRC) a reconnu en 2008 dans un document intitulé *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*¹⁵, le retour des tensions sur les approvisionne-

for Establishing the EU List of Critical Raw Materials, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.

14. Hiroyuki Katayama, *JOGMEC's Role in Securing the Supply of Critical Minerals*, Alaska Strategic & Critical Minerals Summit 2012, Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, 30 novembre 2012 ; Hirotoshi Kunitomo, *JOGMEC's strategic support systems for metal mining activities*, Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, 2 février 2017.

15. National Research Council (NRC), *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*. Washington, DC, The National Academies Press, 2008.

ments et l'attention que le gouvernement américain y portait. La stratégie des États-Unis est fondée sur deux piliers : le calcul de l'indice de criticité (dont plusieurs paramètres sont communs à celui de l'Union européenne) et le stockage de certains éléments. La matrice de criticité est proposée à toutes les entreprises américaines qui peuvent entrer leurs propres paramètres, ce qui permet une certaine souplesse et une analyse sectorielle précise. De son côté, la Defense Logistic Agency (DLA) est mandatée par la loi pour stocker des minerais critiques et stratégiques afin de faire face à « la dangereuse et coûteuse dépendance » aux ressources étrangères¹⁶. La liste a été récemment mise à jour et comporte 66 éléments dont 16 terres rares, 3 alliages (aluminium-lithium, béryllium-cuivre, cadmium-zinc), 28 métaux, 3 métaux précieux ainsi que 5 minerais et mélanges (oxydes d'aluminium, minerai de béryl, ferrochrome, ferromanganèse, spath fluor)¹⁷. Malgré la publication de plusieurs listes, notamment par le département de la Défense ou le département de l'Énergie, le United States Government Accountability Office (GAO) regrettait en 2016 une vision peu englobante voire même très fragmentée dont l'analyse laissait à désirer, notamment dans l'approche de l'analyse des vulnérabilités. En effet, la problématique des approvisionnements en matières premières critiques n'était pas centralisée mais au contraire traitée par une multitude d'institutions¹⁸. En février 2018, l'ordre exécutif 13817 du département de l'Intérieur donne enfin une vision d'ensemble à la stratégie américaine. Elle liste ainsi 35 matières critiques : aluminium, antimoine, arsenic, baryte, béryllium, bismuth, césium, chrome, cobalt, fluorine, gallium, germanium, graphite, hafnium, hélium, indium, lithium, magnésium, manganèse, niobium, platinoïdes, potasse, terres

16. Christine Parthemore, *Elements of Security: Mitigating the Risks of U.S. Dependence on Critical Minerals*, Center for new American security, juin 2011.

17. Defense Logistic Agency, Strategic Material, à consulter sur <https://www.dla.mil/HQ/Acquisition/StrategicMaterials/Materials/>

18. United States Government Accountability Office (GAO), *Rare earths materials: Developing a Comprehensive Approach Could Help DOD Better Manage National Security Risks in the Supply Chain*, Report to Congressional Committees, février 2016.

rare, rhénium, rubidium, scandium, strontium, tantale, tellure, étain, titane, tungstène, uranium, vanadium, zirconium¹⁹.

De son côté, la RMI (*Raw Material Initiative*) lancée en 2008 par la Commission européenne promeut trois piliers : la production soutenable et légale de matières premières minérales, la maîtrise des routes d'approvisionnement de l'UE et une stratégie d'utilisation efficiente des ressources à travers le recyclage. Elle s'appuie également sur une méthode de calcul de la criticité fondée sur un calcul dont les principaux paramètres sont l'importance économique et le risque d'approvisionnement. L'UE met aussi en avant sa diplomatie des ressources qui se traduit par la négociation d'accords de libre-échange bilatéraux (Corée, Singapour, Vietnam) et multilatéraux (Amérique centrale, MERCOSUR) incluant les ressources minérales. Fidèle à son fonctionnement, l'UE favorise la collaboration des agences de ses pays membres à travers des partenariats tels que la *European Initiative Partnership on raw materials* (EIP) ou l'initiative H2020²⁰. Concernant l'économie circulaire, de nombreuses mesures législatives sont venues renforcer celles déjà en vigueur. Ainsi, aux directives sur le recyclage des véhicules hors d'usage, des batteries et à l'éco-design se sont ajoutés la directive sur le recyclage des déchets électroniques et le plan d'action de l'UE pour l'économie circulaire en 2015. Enfin, elle a également publié sa première liste de matériaux critiques en 2011. Mise à jour en 2014 et 2017, elle contient 27 éléments : antimoine, béryllium, cobalt, spath fluor, gallium, germanium, graphite, indium, magnésium, niobium, tantale, tungstène, platinoïdes, terres rares (lourdes et légères), baryte, bismuth, borate, charbon à coke, hafnium, hélium, caoutchouc, phosphate, phosphore, scandium, silicium métal et vanadium²¹.

19. *Interior Releases 2018's Final List of 35 Minerals Deemed Critical to U.S. National Security and the Economy*, United States Geological Survey, 18 mai 2018.

20. *Policy and strategy for raw materials*, https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en, consulté le 29 août 2018.

21. Commission européenne, *Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions relatives à la liste 2017 des matières premières critiques pour l'UE*, 13 septembre 2017.

Les listes des matériaux sont assez variées et sujettes à interprétation. Mais déjà, des similitudes sont observables entre elles. Des métaux tels que le cobalt, le tungstène ou encore le vanadium sont communs à toutes les listes.

LES LIMITES DES ÉTUDES DE CRITICITÉ

Ces différentes études sont appliquées à la structure économique de nos sociétés et non pas au monde de la défense en particulier, même si plusieurs rapports²² ont mentionné les matériaux stratégiques pour l'industrie de défense. De plus, les études de criticité sont d'une grande utilité pour donner une image à un instant T, mais ne sont pas exemptes de biais.

Les résultats du calcul de criticité sont en partie la conséquence de choix d'indicateurs et de l'importance qu'on leur accorde. Ainsi dans la méthodologie européenne, le scandium, terre rare utilisée ponctuellement en R&D dans les piles à combustible solide ou pour certains alliages métalliques, est considéré comme plus important économiquement que le lithium utilisé pourtant très largement dans les appareils mobiles et dont la consommation augmentera en raison de son utilisation dans les outils de la transition énergétique. En ce qui concerne le cobalt, 65 % de ce minerai est extrait en République démocratique du Congo (RDC), pays ayant un très mauvais indicateur de gouvernance (*Worldwide Governance Indicator [WGI]*, compris dans les paramètres du calcul). Pourtant, selon l'étude européenne, la criticité du cobalt est considérée comme « modérée », en comparaison d'autres métaux tels que le magnésium, le niobium ou encore les terres rares. Ceci s'explique par l'existence de pays producteurs

22. C. C. Pavel, E. Tzimas, *Raw Materials in the defense industry*, op. cit. ; North Atlantic Treaty Organization (NATO), *Impact of scarcity of materials on military structural, mechanical, propulsion and power systems*, STO Technical report (STO-ST-AVT-196), Science and technology organization, janvier 2015 ; Daniel McGroarty et Sandra Wirtz, *Reviewing risk: Critical metals and national security*, American resources policy network report, juin 2012.

jugés plus « stables » comme le Canada et l’Australie, qui ont un excellent indicateur de gouvernance²³.

Au sujet de la méthodologie européenne, les quotas et les restrictions d’exportations ont par exemple jusqu’ici été exclus du calcul, tout comme l’intégration des multiples segments de la chaîne de valeur (à ce jour, seuls l’extraction et le raffinage sont inclus dans le calcul de criticité)²⁴. De plus, la méthodologie européenne manque de souplesse puisqu’elle travaille par grand secteur économique ce qui permet de donner une image d’ensemble. *A contrario*, la méthodologie américaine est plus flexible : elle permet à chaque entreprise de déterminer ses propres problématiques en lien avec les approvisionnements. Néanmoins la plupart des études de criticité sont fondées sur une méthode de calcul à deux axes : l’importance économique et le risque d’approvisionnement²⁵. Plusieurs auteurs, notamment T. E. Graedel, responsable du programme « Panel des ressources » pour l’ONU, estiment qu’il faudrait ajouter un troisième axe de criticité lié au risque environnemental. Cet axe pourrait notamment être caractérisé par les risques d’épuisement ou les conséquences environnementales de l’exploitation des ressources²⁶.

Il faut surtout garder à l’esprit que la criticité n’est pas une notion figée²⁷. Un métal peut être critique pour une industrie et

23. Henrike Sievers, Luis Tercero, « [European dependance on and concentration tendencies of the material production](#) », Polinares Working Paper n° 14, mars 2012.

24. Gian Andrea Blengini, Philip Nuss, Jo Dewulf, Viorel Nita, Laura Talens Peiro, Beatriz Vidal-Legaz, Cynthia Latunussa, Lucia Mancini, Darina Blagoeva, David Pennington, Matia Pellegrini, Alexis Van Maercke, Slavko Solar, Milan Grohol, Constantin Ciupagea, « EU methodology for critical raw materials assessment: Policy needs and proposed solutions for incremental improvements », *Resources Policy*, vol. 53, septembre 2017, p. 12-19.

25. Voir Commission européenne, *Critical Raw Materials*, *op. cit.*

26. T. E. Graedel et J. Cao, « Metal spectra as indicators of development », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 2010.

27. Bram Buijs, Henrike Sievers, Luis Tercero Espinoza, « Limits to the critical raw material approach », *Waste and Resource Management*, vol. 165, novembre 2012, p. 201-208.

ne pas l’être pour une autre. Les tensions sur un métal peuvent également évoluer, la criticité du néodyme et du gallium a ainsi diminué depuis 2011, même si des résurgences ne sont pas à exclure, que ce soit sur les prix ou sur l’accès à la ressource. L’OTAN et les États-Unis considèrent que le lithium est critique, mais pas l’Union européenne.

Comme cela a déjà été souligné, les études de criticité donnent une image utile sur le moment mais qui doit être explicitée. La criticité actuelle doit être perçue à l’aune de la criticité passée mais également de la criticité future. Au-delà des travaux prospectifs, peu ou pas évoqués, c’est également le prisme d’analyse qui doit être élargi, à savoir la chaîne de valeur des métaux. En effet, les segments de l’extraction et du raffinage seuls ne suffisent pas à expliquer la criticité d’une matière première, cette dernière étant également déterminée par la capacité technique d’utilisation à des fins de fabrication manufacturières mais également par la gestion de son utilisation puis de sa fin de vie. Il s’agit donc de comprendre la chaîne de valeur d’un minerai et son intégration dans celle, plus importante, de l’industrie de défense.

II. LA CHAÎNE DE VALEUR DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES DANS L'INDUSTRIE DE DÉFENSE

Pour se faire une idée de la place des matières premières minérales dans la chaîne de valeur de l'industrie de défense, il faut d'abord revenir sur la notion de chaîne de valeur et sur sa construction, particulière, dans l'industrie minière. Après avoir montré comment un minerai passe de la phase d'extraction à la phase d'utilisation dans un produit, il s'agira de comprendre à quel niveau de la chaîne de valeur de l'industrie de défense il s'intègre.

L'ÉVOLUTION HISTORIQUE DE LA CHAÎNE DE VALEUR DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES

La notion de chaîne de valeur a vu le jour sous la plume de Michael Porter en 1985. Elle comprend « la gamme complète des activités requises pour amener un produit ou un service de la conception à la livraison finale au consommateur et à son traitement après utilisation, à travers toutes les phases de production¹ ». Chaque phase correspond à un lien de la chaîne de valeur, représentant lui-même plusieurs activités. Michael Porter intègre la chaîne de valeur dans un « système de valeur » qui représente les liens internes à une chaîne de valeur et les liens entre les multiples chaînes permettant la fabrication d'un produit². Les différents liens impliquent bien sûr des niveaux de gouvernance différents (entreprises, régions, États) qui peuvent intervenir à chaque stade. Si la chaîne de valeur est un outil principalement développé en économie et en gestion, son utilisation à des fins d'analyse géopolitique est intéressante. En effet, chaque segment

1. Raphael Kaplinski, Mike Morris, *A handbook for value chain research*, International Development Research Center, 2001, traduction de l'auteur.

2. Michael E. Porter, *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, New York, Simon and Schuster, 1985.

implique une création de valeur supplémentaire qui se traduit directement pour l'économie d'un pays en emplois, en valeur ajoutée sur les exportations, en transferts de technologie... Or la place dans l'économie mondiale est un élément de la puissance, au même titre que la capacité d'influence sur la scène internationale et la capacité à assurer sa propre sécurité³. Ainsi, selon G. Gereffi et T. Sturgeon, les chaînes de valeur globales sont un moyen pour les pays moins avancés de développer leur économie en s'insérant progressivement sur les segments les moins profitables⁴. Cela peut en partie expliquer les tensions existantes sur certains métaux dont les pays producteurs ne souhaitent plus seulement produire une matière première possédant une valeur moindre qu'un produit transformé, ce dernier nécessitant toutefois des infrastructures et des investissements plus importants.

Au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, la chaîne de valeur des matières premières a beaucoup évolué en raison de la mondialisation et de la fin de la guerre froide. Historiquement, les lieux de production de minerais correspondaient à leurs lieux de consommation. Les minerais utilisés pour le début de la révolution industrielle en Grande-Bretagne, en France ou en Allemagne ont principalement été des ressources locales. Ce n'est que dans la deuxième moitié du XIX^e que la production de métaux s'est propagée aux colonies et aux pays en développement, cela en raison de la diminution des teneurs exploitables en Europe. Les entreprises minières étaient alors intégrées verticalement et maîtrisaient chaque segment de la production. La mise en valeur de gisements dans les anciennes colonies et l'ouverture de nouvelles capacités de raffinage dans les pays en développement ont bouleversé ce paradigme, conduisant à ce que des phases de production soient réalisées dans des pays différents.

3. Robert Gilpin, *War and change in world politics*, Cambridge University Press, 1981, 288 p.

4. Gary Gereffi et Timothy Sturgeon, « Global value chain-oriented industrial policy: the role of emerging economies », in Deborah K. Elms et Patrick Low (eds), *Global value chains in a changing world*, Fung Global Institute (FGI), Nanyang Technological University (NTU) et World Trade Organization (WTO), 2013.

Dès 1924, la Finlande nationalisait ses actifs miniers, suivie par le Brésil en 1942 et la Suède en 1957. Le processus de décolonisation a renforcé cette tendance. Ainsi, en 1967, le Congo a créé la compagnie minière Gécamines, après la nationalisation des actifs de l'entreprise belge UMHK (Union minière du Haut-Katanga). La Zambie en 1969, le Chili, la Guyane et le Mexique lui ont emboîté le pas. Néanmoins, deux mouvements ont concouru à mettre en échec cette politique. En créant des inquiétudes sur la ressource, le nationalisme minier a encouragé la naissance d'industries dans d'autres pays, rendant leur politique moins effective. Par ailleurs, la baisse du prix des matières premières qui intervient au début des années 1980, entraîne des difficultés budgétaires qui nécessitent la mise en place de politiques d'ajustement structurels. Ces dernières comportent la privatisation des actifs rentables ainsi qu'une profonde transformation des codes miniers nationaux, créant une dynamique favorable aux investisseurs.

Cette baisse des prix des minerais a également encouragé la vente d'activités considérées comme non ou peu rentables par des entreprises alors intégrées verticalement⁵. Le processus de fragmentation de la chaîne de valeur observée lors des processus de nationalisation s'est donc accentué avec l'arrivée de nouveaux acteurs sur des segments de production particuliers et ne maîtrisant qu'incomplètement la chaîne de production⁶.

Ce constat, valable pour la fin du XX^e siècle, est remis en cause. En effet, de nombreux pays émergents mènent des stratégies industrielles de mise en valeur de leurs ressources afin de créer des retombées économiques pour leurs industries en aval. Ainsi, le nombre de barrières commerciales (taxes sur la valeur ajoutée, taxes à l'exportation) sur les matières premières minérales a beaucoup augmenté depuis le début des années 2000. Les terres rares symbolisent la stratégie de la Chine, mais cette

5. Clingendael International Energy Program, « [Part one, Current trends and strategies](#) », Polinares Working Paper n° 43, avril 2012.

6. David Humphreys, « Minerals: Industry History and Fault Lines of Conflict », in R. Dannreuther, W. Ostrowski (eds), *Global Resources*, Londres, Palgrave Macmillan, 2013.

dernière a également produit, en 2015, 85 % du gallium, 64 % du germanium, 57 % de l'indium⁷ ainsi que 64 % du cobalt raffiné en 2018. Pour ce dernier, elle ne produit pourtant que 1 % du minerai dont elle importe la majorité de RDC⁸. Dans un autre secteur, la Bolivie et l'Argentine négocient âprement pour développer sur leur sol l'industrie de transformation du lithium issu de leurs salars⁹.

La montée en puissance des pays émergents sur la chaîne de valeur des matières premières minérales a permis une augmentation de la production et une baisse de prix grâce notamment à des coûts de production inférieurs à ceux pratiqués dans les pays développés. Toutefois, ce phénomène a également entraîné des cessations d'activité et des pertes de compétences préjudiciables pour les pays développés sur le plan stratégique.

LA CHAÎNE DE VALEUR DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES : CONSTANTES ET DIFFÉRENCES

Les entreprises minières présentent des caractéristiques particulières, tout d'abord en raison de leur activité qui s'étale sur le temps long. Il faut par exemple plusieurs années pour qu'une mine devienne opérationnelle. Elle doit en effet passer par une phase d'exploration qui dure entre cinq et dix ans et qui consiste en la détection d'une anomalie géologique, l'identification et le ciblage des différents minerais potentiellement exploitables et l'estimation de la ressource disponible. Si les résultats s'avèrent concluants, l'étude de faisabilité, qui dure entre un et trois ans, doit confirmer la faisabilité économique et technique du projet. Enfin, le développement de la mine peut durer plusieurs années avant sa mise en œuvre

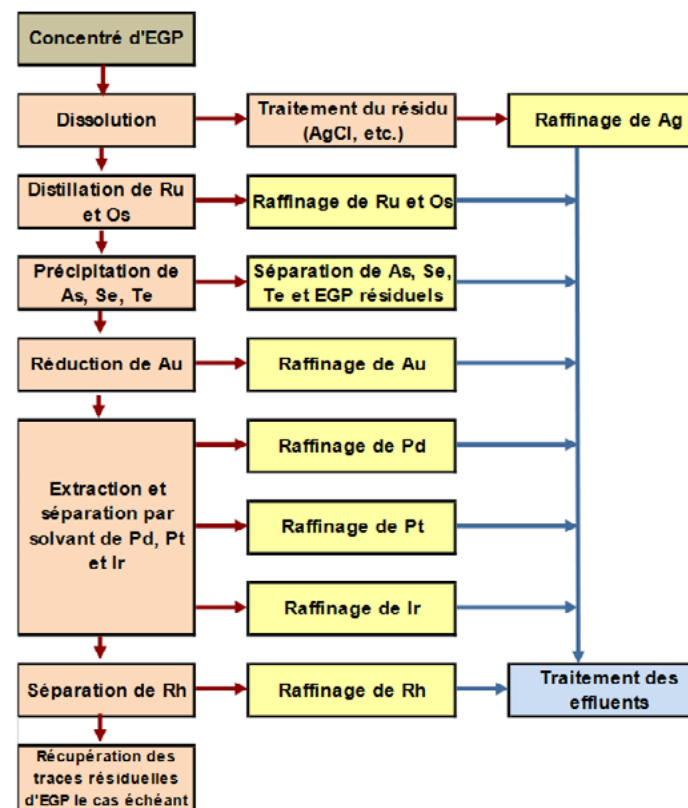
7. European Commission, *Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets*, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Directorate Industrial Transformation and Advanced Value Chains, 2017.

8. Darton Commodities Limited, *Cobalt Market Review 2018-2019*, février 2019.

9. Nicolas Mazzucchi, « [Transition énergétique et numérique : la course mondiale au lithium](#) », *Recherches & Documents*, n° 05, Fondation pour la recherche stratégique (FRS), mars 2018.

opérationnelle. Après l'ouverture d'une mine, il s'agit de traiter le minerai qui en sort. Cinq étapes caractérisent ce que l'on peut appeler l'aval du cycle de vie d'un métal : l'extraction, la concentration, la métallurgie ainsi que le raffinage et la séparation¹⁰.

Figure 1
Exemple de flowsheet de séparation et raffinage d'EGP
(éléments du groupe platine)



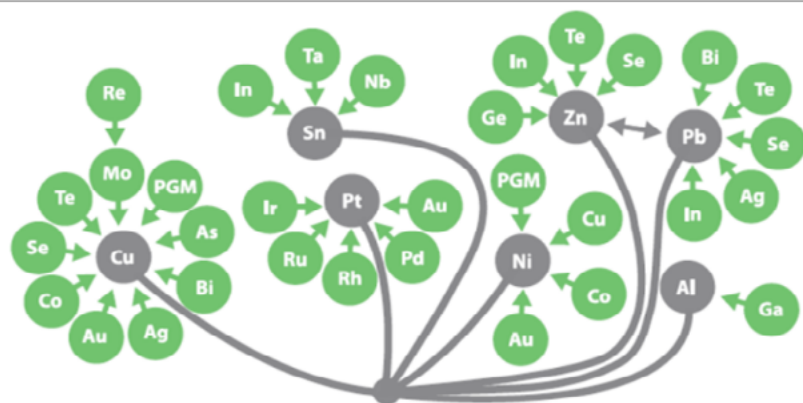
Source : Jean-François Labbé, avec la collaboration de Jean-Jacques Dupuy, *Panorama mondial 2012 du marché des platinoïdes*, Rapport public, 2012

10. Philipp Nuss et Gian Andrea Blengini, « Towards better monitoring of technology critical elements in Europe: Coupling of natural and anthropogenic cycles », *Science of The Total Environment*, septembre 2017.

Plusieurs exemples existent, mais celui du groupe des platinoïdes est très intéressant puisqu'il s'agit d'un marché particulièrement concentré sur lequel les coûts d'entrée sont très élevés. Le schéma précédent explicite leur production dont les étapes sont, malgré quelques singularités, globalement communes à tous les métaux. L'extraction en est principalement souterraine (ce qui renchérit les coûts), même s'il existe quelques mines à ciel ouvert. Ensuite, le minerai est broyé puis concentré par flottation dans une solution chimique. Ces concentrés sont fondus dans un four électrique pour obtenir une sorte de lingot (une matre) rassemblant plusieurs métaux qui sont ensuite séparés à travers des processus variés.

Figure 2

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



Source: Hageloken and Meskers, 2010 (21)

Source : Blandine Barreau, Gaëlle Hossie, Suzanne Luftalla, *Approvisionnements en métaux critiques : Un enjeu pour la compétitivité des industries française et européenne*, Commissariat général à la stratégie et à la prospective, juillet 2013, p. 9-10

Par la suite, d'autres procédés de purification sont nécessaires pour obtenir un métal d'une pureté maximum¹¹. Quatre-vingts pour cent de la production de platinoïdes provient de quatre entreprises et de deux pays (Anglo-Platinum, Impala Platinum, Lonmin Platinum [Afrique du Sud] et Norilsk [Russie]). Elle est complètement intégrée. Le développement des technologies et des infrastructures étant lourds à mettre en œuvre, notamment au niveau de la phase de concentration, 10 % de la production de minerais est vendue aux quatre grandes entreprises pour qu'ils la transforment¹². Les 10 % restant proviennent du recyclage.

Le cas des platinoïdes révèle un autre problème lié aux minerais rares. Ces derniers sont la plupart du temps exploités en tant que co-produits, c'est-à-dire « un métal récupéré conjointement à un autre métal dans un procédé industriel d'extraction » ou que sous-produits, c'est-à-dire « un métal récupéré accessoirement dans un procédé industriel d'extraction¹³ ». Les compagnies privées n'exploitent pas tout le temps les métaux rares en raison de tailles de marchés réduites, de leurs faibles valeurs ou encore de la complexité du processus de traitement.

Les entreprises minières sont tenues de classer et reporter leurs réserves et ressources. Pour cela, plusieurs standards existent, internationaux comme nationaux, chacun avec des critères particuliers. Les standards internationaux que sont le CRIRSCO (*Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards*) et l'UNFC (*United Nations Framework Classification for Resources*) visent à donner une définition commune des critères d'évaluation ainsi qu'une base de reporting internationale. Ils n'ont toutefois rien d'obligatoire au contraire des standards nationaux que sont le JORC (*Joint Ore Reserves Committee*) en Australie, le NI 43-101 (*National Instrument 43-101 – Standards of Disclosure*

11. Jean-François Labbé, avec la collaboration de Jean-Jacques Dupuy, *Panorama mondial 2012 du marché des platinoïdes*, Rapport public, BRGM/RP-63169-FR, 2012, 215 p.

12. Pia Sinisalo, Mari Lundström, *Refining approaches in the platinum group metal processing value chain, a review*, 2018.

13. Michel Jebrak, Éric Marcoux, *Géologie des ressources minérales*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 2008.

for Mineral Projects) au Canada, le SAMREC (*South African Code for the Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves*) en Afrique du Sud ou encore le NAEN (*Russian Code for Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resource and Reserve*) en Russie. De leur côté, les pays européens ont mis en place le PERC (*Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee*) à partir de 2006¹⁴. En raison de l'importance de l'Australie et du Canada sur le plan minier, leurs standards sont le plus souvent utilisés¹⁵. Si la publication des ressources et réserves de métaux de base fonctionne relativement bien, c'est moins le cas pour les petits métaux, souvent co-produits de ces métaux plus importants et donc moins bien connus.

Par ailleurs, leur production étant associée à celle de métaux plus importants, il est parfois difficile de l'augmenter. C'est notamment le cas pour le cobalt, sous-produit du cuivre (65 %) et du nickel (35,5 %)¹⁶, dont les prix ont triplé entre avril 2017 et septembre 2018 (depuis, les prix ont diminué de moitié), des incertitudes existant sur la capacité de l'industrie à répondre à la demande. En effet, le prix du nickel s'est écroulé en 2017, provoquant la fermeture de certaines mines (notamment Ravensthorpe en Australie) où le cobalt était exploité en tant que co-produit.

Comme cela a été évoqué, l'exemple des terres rares symbolise la montée en puissance des pays émergeant sur la chaîne de valeur des matières premières minérales, en particulier de la Chine. Dans ce cas précis, cette dernière est composée de cinq segments : l'extraction, la séparation (entre les différentes terres rares), le raffinage, la transformation (fabrication d'alliages, de poudres,

14. Alicja Krezmien, Pedro Riesgo Fernandez, Ana Suarez Sanchez, Isidro Diego Alvarez, « Beyond the pan-european standard for reporting of exploration results, mineral resources and reserves », *Resources policy*, septembre 2016.

15. À noter que les standards de classification peuvent également faire l'objet d'enjeux géopolitiques. Les entreprises chinoises ne publient pas systématiquement leurs ressources et réserves.

16. « [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux : le cobalt](#) », mineralinfo.fr, décembre 2017.

de composants ou de matériels [aimants permanents e.g.]¹⁷. Les pays occidentaux disposaient de capacités technologiques et de production sur de nombreux segments de la chaîne de valeur des terres rares, mais pour des raisons tant financières qu'environnementales, cette production a migré en Chine occasionnant des transferts de technologies qui ont permis à l'industrie chinoise de construire un quasi-monopole¹⁸. En 2013, elle produisait 97 % des minerais, 97 % des oxydes, 89 % des alliages, 75 % des aimants Ne-Fe-B et 60 % des aimants Sm-Co¹⁹. Marc Humphries soulignait en 2013 que les États-Unis, qui ont pourtant exploité la mine de Mountain Pass jusque dans les années 1990 et disposaient d'entreprises leaders sur le marché des aimants (Manequench) étaient devenus quasiment absents des cinq segments de la chaîne de valeur des terres rares²⁰. La production de minerais et d'oxydes de terres rares a néanmoins repris en 2018 sur le site de Mountain Pass (Molycorp). Malgré cela, une certaine quantité de minerais (non connue) est encore exportée en Chine pour être raffinée²¹ et le groupe chinois Leshan Shenghe Rare Earth Co possède une participation minoritaire de 10 % dans Molycorp²².

Comme le soulignait Armando Rungi, pour de nombreux minerais, la chaîne de valeur complète d'une matière première, allant de l'extraction au produit final à travers diverses opérations de raffinage, de transformation en produits semi-finis ou en composants, est devenue incroyablement complexe et globalisée²³.

17. Marc Humphries, *Rare Earths Elements: the global supply chain*, Congressional Research Service (CRS), 2013.

18. Guillaume Pitron, *La Guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique*, Éd. Les liens qui libèrent, janvier 2018.

19. Valérie Bailey Grosso, *Rare earths elements in national defense: background, oversight issues and options for Congress*, Congressional Research Service (CRS), 2013.

20. Marc Humphries, *Rare Earths Elements: the global supply chain*, op. cit.

21. Ed Crooks, « [Molycorp to start China rare earth exports](#) », *Financial Times*, 9 mars 2012.

22. Martin Ritchie, « The Californian Rare Earths Mine Caught Between Trump and China », Bloomberg, 27 septembre 2018.

23. Armando Rungi, « From export dependency to dynamic comparative advantages », Polinares Working Paper n° 10, septembre 2010.

LES MINÉRAIS CRITIQUES DANS LA CHAÎNE DE VALEUR DE L'INDUSTRIE DE DÉFENSE

Il existe assez peu d'informations sur l'utilisation des minerais critiques dans l'industrie de défense et encore moins sur les procédés de transformation et d'intégration. Comment se fournit un avionneur ? Comment travaille un plate-formiste du naval ? Les réponses à ces questions sont peu connues et dépendent également des métaux utilisés.

Naval Group est une des rares entreprises à avoir fourni une liste de matériaux critiques pour le « Rapport d'information sur la sécurisation des approvisionnements stratégiques de la France ». Cette liste était composée des éléments suivants : l'argent, le cuivre, le cobalt, le chrome, le germanium, le lithium, le molybdène, le nickel, le palladium, le platine, le plomb, le samarium et le titane²⁴. Si l'industrie aéronautique n'a pas fourni de listes spécifiques de métaux critiques, certaines initiatives donnent tout de même des indices. Ainsi, la coopération entre Dassault et l'État français pour l'approvisionnement en titane qui sera explicité dans la dernière partie de l'étude.

L'OTAN s'est également intéressée de près à la question notamment pour les métaux entrant dans la fabrication d'alliages et de composants électroniques. Elle en a tiré une liste de 26 métaux et matériaux²⁵ (dont 10 terres rares) classés en quatre catégories : produits ou métaux hautement critiques, produits ou métaux critiques, produits ou matériaux à forts risques d'impacts mais à risques moyens d'approvisionnements, produits ou matériaux à forts risques d'approvisionnements mais à risques moyens d'impacts²⁶.

24. Jacques Blanc, *Rapport d'information sur la sécurisation des approvisionnements stratégiques de la France*, rapport du Sénat, 2013.

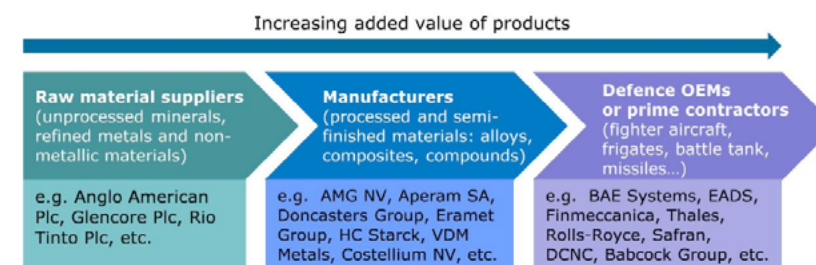
25. Lithium, scandium, titane, chrome, manganèse, cobalt, gallium, germanium, yttrium, niobium, palladium, indium, tellure, lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, samarium, europium, dysprosium, thulium, tantale, tungstène, rhénium, fibres de carbures de silicium, fibres de carbone.

26. NATO, *Impact of scarcity of materials on military structural, mechanical, propulsion and power systems*, op. cit.

De manière basique, la chaîne de valeur de l'industrie de défense pour les matières premières critiques s'organise en trois stades décrits par le schéma suivant. Les producteurs de matières premières sont au premier stade tandis qu'on retrouve au second les entreprises spécialisées en métallurgie et transformation des métaux, mais pas uniquement dans le domaine de la défense. L'industrie de défense ne se retrouve qu'au troisième stade.

Figure 3

Figure simplifiée de la chaîne d'approvisionnement en matériaux et principaux fournisseurs européens



Source : C. C. Pavel, E. Tzimas, *Raw Materials in the defense industry*, Joint Research Center, 2016

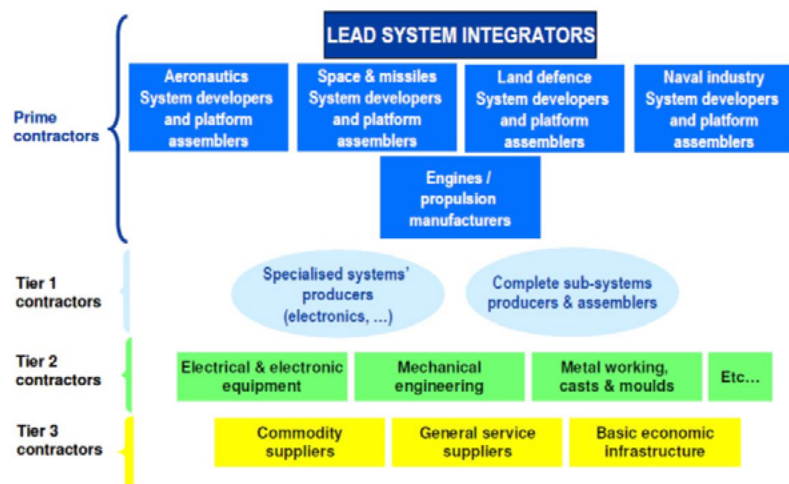
De manière un peu plus détaillée, F. Cauzic *et al.*²⁷ considèrent que les fournisseurs des principaux intégrateurs qui sont des entreprises comme Airbus, Nexter-KMV, Thales ou Naval Group sont divisés en trois catégories. Si le tiers 1 est composé principalement de leurs sous-traitants, les tiers 2 et 3 sont plus variés. En effet, le tiers 2 est composé d'entreprises duales, c'est-à-dire également fournisseurs de matériaux pour le marché civil, qui rentrent dans la composition de produits destinés à l'industrie de défense. Le contrôle de leur provenance et de leur qualité est donc potentiellement compliqué. Le deuxième tiers est

27. François Cauzic, Hélène Colas, Nathalie Leridon, Sofiène Lourim, Elisabeth Waelbroeck-Roch, *A comprehensive analysis of emerging competencies and skill needs for optimal preparation and management of change in the EU defense industry*, Rapport final, Eurostrategies, mai 2009.

aussi composé par des entreprises manipulant les matières premières, les transformant pour les intégrer aux composants des systèmes d'armes. Ainsi, des entreprises comme Eramet Group ou HC Stark sont des fabricants d'alliages ou de pièces d'alliages tandis qu'Umicore ou Arzélis Electronique fabriquent des composants à base de gallium ou de germanium pour l'industrie des semi-conducteurs (également située dans le tiers 2). Enfin, c'est dans le tiers 3 (au mieux) que se situent les entreprises qui produisent les matières premières ou les éléments semi-finis²⁸. Soulignons toutefois que cette présentation reste théorique et schématique et que cela dépend naturellement des secteurs et des matériaux considérés.

Figure 4

Structure hiérarchique de l'industrie de défense dans la chaîne de valeur



Source : F. Cauzic et al., *A comprehensive analysis of emerging competencies and skill needs for optimal preparation and management of change in the EU defense industry*, Rapport final, Eurostrategies, mai 2009

28. Ibid.

Au-delà des problématiques d'approvisionnement, les difficultés auxquelles peut être confrontée l'industrie de défense sont de deux ordres. Premièrement, les principaux intégrateurs et utilisateurs sont majoritairement éloignés de la matière première et ne sont donc pas forcément conscients des difficultés d'approvisionnement ou des tensions sur les prix rencontrées par leurs fournisseurs. En 1981, suite à la première crise du cobalt, l'armée américaine a demandé un audit sur l'impact de l'augmentation du prix de ce métal sur la fabrication d'un moteur d'avion. Il est ressorti de cette étude que le cobalt ne représentait au plus qu'1 % du prix d'un moteur, ce qui a amené à la conclusion que le prix n'était pas un facteur limitant pour l'armée américaine. Toutefois, certains fournisseurs se sont trouvés confrontés à des difficultés financières car la transformation du cobalt représentait leur principale activité²⁹.

Le schéma suivant montre plus en détails les étapes qui séparent un intégrateur de la production primaire de matières premières minérales. Ces étapes sont suffisamment nombreuses pour que les tensions sur les approvisionnements et pour la fabrication de composants ou d'éléments semi-finis soient perdues de vue. Ce souci est lié à la deuxième difficulté, à savoir la dualité croissante des équipements utilisés par l'industrie de défense. Confrontée à la réduction de sa taille de marché, le développement de produits spécifiquement destinés à être intégrés dans un équipement militaire n'est pas assez rentable économiquement et l'industrie de défense se tourne vers des composants civils en provenance de pays non européens. Cela pose non seulement des questions en termes de qualité, mais également en termes de sécurité et particulièrement de sauvegardes de compétences essentielles.

Les États-Unis se sont par exemple étonnés de la présence d'aimants permanents fabriqués en Chine sur l'avion de combat F-35 et des potentiels désagréments pour la sécurité du pays. Ils

29. National Research Council (NRC), *Cobalt Conservation Through Technological Alternatives*, Washington, DC, The National Academies Press, 1983.

ont néanmoins officiellement indiqué que cela ne présentait pas de menaces pour la sécurité nationale tout en insistant sur le coût exorbitant de vérification de potentiels dysfonctionnements sur chaque avion, incluant le démontage et le remontage du matériel. Tout changer aurait donc un impact financier important sur un programme qui en a déjà subi de nombreux autres. Le gouvernement américain a donc enjoint à Lockheed Martin de trouver une solution à cet état de fait³⁰.

Figure 5

Approche top-down de l'industrie de défense



Source : C. C. Pavel, E. Tzimas, *Raw Materials in the defense industry*, Joint Research Center, 2016

L'évolution des chaînes de valeur de l'industrie minière a eu des impacts sur la géopolitique des ressources minérales, mais également sur l'industrie de défense. Cette dernière a également

30. John Schiffman, Andrea Shalal-Esa, « US waived laws to keep F-35 on track with China-made parts », Reuters, 3 janvier 2014.

subi la montée en puissance de l'industrie civile et la rationalisation des coûts financiers des programmes militaires. Ce n'est plus seulement la matière première que l'on paye, mais plutôt sa transformation en un produit utilisable dans un équipement militaire à travers un processus de haute technologie. Si leur aspect civil garantit à leur approvisionnement une certaine sécurité, ils représentent, à l'image des aimants permanents dans le F-35, des failles de sécurité problématiques pour l'industrie de défense.

En cas de tensions trop importantes sur les approvisionnements, l'industrie civile peut choisir de substituer même avec une réduction d'efficacité à court terme, comme le montre l'exemple de l'industrie automobile japonaise à la suite de la première crise des terres rares en 2010. Ce n'est pas le cas dans la défense où l'efficacité ne peut être réduite. Comme le montre l'exemple du cobalt, entre augmentation du prix ou baisse d'efficacité, l'armée choisit de payer.

Figure 6

Matériaux et matières premières composant un char Leclerc



III. LA CHAÎNE DE VALEUR DES MATIÈRES PREMIÈRES CRITIQUES DANS L'INDUSTRIE DE DÉFENSE EN EUROPE, DÉPENDANCES ET CAPACITÉS : CAS CONCRETS

Après un retour sur la notion de criticité puis sur celle de chaîne de valeur, plusieurs cas concrets sont développés ci-dessous afin de décrire la chaîne de valeur de ces matières premières critiques et son positionnement par rapport aux industriels de la défense. En s'intéressant plus particulièrement au cobalt, au lithium et à l'industrie des alliages, cette partie s'attachera à mettre en valeur les forces mais également à pointer du doigt les faiblesses de l'Union européenne.

Les métaux rares sont présents dans les systèmes d'armes sous différentes formes (métalliques, chimiques, composants, poudres...) au côté des métaux précieux comme de base. Ainsi, plus de 32 éléments sont nécessaires à la fabrication d'un Rafale dont 6 d'entre eux (fer, chrome, nickel, molybdène, aluminium, titane) pour les ailes et 12 pour les systèmes optroniques (cadmium, tellure, mercure, germanium, terres rares, aluminium, cuivre, béryllium, indium, tantale, cobalt). Vingt-neuf matériaux stratégiques sont présents dans l'A400 M, 18 dans un char Leclerc, 8 dans un FAMAS (6 pour le seul canon), 22 dans un missile, 16 dans une frégate et 20 dans un sous-marin (dont 9 pour la coque et pour le moteur).

Char Leclerc	
Équipements	Matériaux
Communications	Arséniure et nitrure de gallium, béryllium, argent
Verres et miroirs, lentilles et fenêtres optique	Céramique de quartz
Châssis	Béryllium, alliages légers d'aluminium, aciers très dur
Blindage	Tungstène, composites, titane
Canon et accessoires	Carbone, manganèse, chrome, nickel, molybdène, vanadium
Télémetre laser	Néodyme, yttrium, aluminium, indium
Binoculaires de vision infrarouge	Mercuré, cadmium, tellure
Binoculaires de vision nocturne	Germanium, cuivre, tantale
Outil de mécanique optique (cadre)	Carbone, composites de carbone, béryllium, cuivre

Figure 7

Matériaux et matières premières composant un A400M



A400M	
Équipements	Matériaux
Fuselage	Aluminium, zinc, magnésium, cuivre, zirconium, béryllium, cadmium, germanium, nickel, tantale, tungstène, molybdène
Queue	Composites de carbone, aluminium, magnésium, manganèse, cuivre, titane, vanadium
Trains d'atterrissage	Cuivre, béryllium, aluminium, titane, nickel, chrome, molybdène
Propulsion	Aluminium, magnésium, yttrium, cobalt, nickel, tungstène, chrome, niobium, molybdène, titane
Ailes	Aluminium, magnésium, manganèse, cuivre, titane, vanadium
Capteurs	Arséniure et nitrure de gallium, béryllium, argent, titanate de baryum, lithium, mercure, cadmium, tellure, néodyme, yttrium, aluminium, indium, composites de carbone

LE COBALT, DE LA MINE À L'ALLIAGE

Le cobalt est un métal essentiel à l'industrie de défense sur trois points :

- il est utilisé dans les alliages fabriqués pour les moteurs d'avion (superalliages) et de missiles en raison de sa résistance thermique ;
- il est également l'un des composants essentiels des batteries électriques lithium-ion qui participent au fonctionnement des diverses plates-formes d'armement (navires, satellites...) ;
- enfin, il est utilisé dans la fabrication des aimants Sm-Co, composant essentiel des missiles.

La quantité consommée selon les utilisations est variable, mais va de quelques grammes pour une batterie à une demi-tonne pour un moteur d'avion¹.

En 2018, 54 % du cobalt a été consommé dans les batteries, 16 % dans les superalliages, 11 % dans les carbures et autres métaux durs et coupants, 11 % dans les produits chimiques à base de cobalt (carbonates, nitrates, sulfates, chlorures...), 5 % dans les catalyseurs, 3 % dans les aimants permanents et enfin 3 % pour d'autres usages². Notons que le cobalt est utilisé sous forme métallique pour les superalliages, mais sous forme chimique pour les batteries (sulfates notamment). Pour sa part, l'Union européenne utilise le cobalt pour la fabrication de superalliages (44 %), d'outils d'usinage (31 %), de pigments (17 %), de catalyseurs (5 %), et de batteries (3 %)³. Sur les 120 000 tonnes extraites en 2017, 69 % provenaient de la RDC, 4 % de Chine, 3 % de Russie et de Nouvelle-Calédonie ou encore 1 % de Finlande tandis que sur les 105 000 tonnes de cobalt raffiné produites à partir du minerai, 59,8 % provenaient de Chine, 12 % de Finlande (soit 12 600 tonnes

1. Christophe-Alexandre Paillard, « [Ressources naturelles stratégiques : conséquences pour la France et sa défense](#) », *op. cit.*

2. Darton Commodities Limited, *Cobalt Market Review 2018-2019*, *op. cit.*

3. BIO by Deloitte, [Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials](#), Prepared for the European Commission, DG GROW, 2015.

produits par Freeport Cobalt à la raffinerie de Kokkola), 3,3 % de Norvège (soit 3 500 tonnes produites par Glencore dans sa raffinerie de Nikkelverk), 1,5 % de Belgique (soit 1 600 tonnes produites par Umicore à Olen) et enfin 100 tonnes étaient produites par Eramet à Sandouville⁴. Par ailleurs, l'exploration de certains gisements est en cours en Suède, en Slovaquie et en République tchèque.

La production minière finlandaise ne suffisant pas à pourvoir à la consommation totale de l'UE, il est possible de tracer la provenance des minerais utilisés et la forme sous laquelle ils sont produits. Ainsi, la raffinerie de Kokkola produit essentiellement de la poudre métallique et des produits chimiques à base de cobalt à partir de minerais et concentrés de cobalt en provenance de la mine de Tenke Fungurumé en RDC et de Russie. Glencore produit des cathodes de cobalt et quelques dizaines de kilos de produits chimiques à Nikkelverk. Les produits de base utilisés proviennent sûrement des mines de Glencore au Canada, en Australie et en RDC. Les usines d'Olen (Umicore) et de Sandouville (Eramet) produisent du chlorure et du carbonate de cobalt⁵. Après les processus d'extraction et de raffinage, le cobalt est transformé et adapté aux besoins. Ainsi, Umicore produit des composants pour batteries tandis qu'Eramet ou Boliden fabriquent des pièces de superalliages. Ces éléments sont ensuite utilisés par des entreprises comme SAFT (batteries) ou Safran (moteurs des avions de chasse). L'Union européenne a également dans ses rangs des entreprises spécialisées dans la récupération et le recyclage des déchets contenant du cobalt. Ainsi, Umicore est un des leaders mondiaux du recyclage des batteries, accompagnée par Accurec et Aurubis (Allemagne) ou encore la SNAM (France). De leur côté, Eramet ou Arcelor Mittal récupèrent et recyclent alliages en fin de vie et chutes de production.

Toutefois, l'industrie du cobalt doit relever plusieurs défis, notamment la montée en puissance de la production en Chine. Cette dernière produit 60 % du cobalt raffiné dans le monde et

4. Darton Commodities Limited, *Cobalt Market Review 2017-2018*, op. cit.

5. *Ibid.*

des entreprises chinoises participent à la production minière mondiale à hauteur de 46 000 tonnes en ayant racheté plusieurs acteurs ou ouvert plusieurs mines, notamment en RDC⁶. La dépendance européenne vis-à-vis des approvisionnements extérieurs pourrait également être réduite à partir d'une meilleure organisation de la filière du recyclage. Ainsi, seuls 32 % du cobalt seraient recyclés mais de manière non fonctionnelle, c'est-à-dire qu'il ne conserve pas ses propriétés intrinsèques dans les applications pour lesquelles il est réutilisé⁷. Un meilleur tri ainsi qu'un meilleur suivi des alliages en plus d'une meilleure collecte des déchets électroniques permettraient peut-être d'obtenir des ressources supplémentaires à moindre coût, même si l'organisation et la valorisation d'une telle filière semble compliquée à mettre en œuvre tant sur le plan économique que technique. Enfin, les projets de gigafactories (terme utilisé pour caractériser les usines de batteries) en Europe pourraient permettre de mettre en valeur certains gisements européens mentionnés plus haut. Il est par ailleurs intéressant de noter la corrélation entre la localisation des gigafactories, de l'industrie automobile européenne et des gisements de cobalt et de lithium explorés à l'heure actuelle, en l'occurrence en Suède et en Europe centrale⁸.

LE LITHIUM, UNE MATIÈRE PREMIÈRE D'AVENIR ?

L'Australie est la principale productrice de lithium puisqu'elle en extrait 51 000 tonnes sur les 85 000 extraites dans le monde en 2018⁹. Le Chili est le deuxième producteur (16 000 tonnes) suivi de la Chine (8 000 tonnes), l'Argentine (6 200 tonnes), le Zimbabwe

6. *Ibid.*

7. European Commission, *Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets*, op. cit.

8. Carole Mathieu, « *L'Alliance européenne des batteries. Peut-on encore éviter la dépendance technologique ?* », Edito Énergie, Institut français des relations internationales (IFRI), février 2018.

9. Notons que l'USGS donne ses estimations en équivalent métal alors que d'autres institutions les donnent en équivalent carbonate (LCO) ou hydroxyde (LOH), produits utilisés dans les batteries. En termes de conversion, cela

(1 600 tonnes), le Portugal (800 tonnes), le Brésil (600 tonnes) et la Namibie (500 tonnes). Les réserves sont estimées à 14 millions de tonnes dont 8 millions au Chili, 2,7 millions en Australie, 2 millions en Argentine et 1 million en Chine. Les ressources sont quant à elles estimées à environ 62 millions de tonnes, sous différentes formes (saumures, roches dures et autres minéraux non encore exploités en raison d'absence de processus efficaces tels que l'hectorite ou la jadarite...) dont 34,5 millions de tonnes sont situées en Amérique latine (Argentine, Bolivie, Brésil, Chili, Mexique), 7,7 millions en Australie, 6,5 millions aux États-Unis, 4,5 millions en Chine et 3,2 millions de tonnes en Europe (Autriche, République tchèque, Portugal, Allemagne et Serbie)¹⁰. Il est important de préciser que le lithium est exploité sous deux formes : les saumures et les roches dures. Les saumures sont extraites dans les lacs salés, les « salars » (majoritairement en Amérique latine). Cela consiste dans la récupération des sels de lithium (les saumures) issus de l'évaporation des lacs salés et représentaient 55 % de la production de lithium en 2015. Les roches dures sont exploitées selon un processus d'extraction minière habituel et sont concentrées en un produit intermédiaire que l'on nomme spodumène (45 % du marché en 2015)¹¹.

Au niveau mondial, 46 % du lithium est utilisé pour la production de batteries, 27 % pour la fabrication de verres et de céramiques, 7 % pour les graisses et lubrifiants, 5 % pour les polymères, 4 % pour l'acier et 11 % pour d'autres usages (pharmaceutiques, électroniques...)¹². Dans le domaine de la défense, le lithium est utilisé sous forme d'alliages, de batteries, dans le

signifie qu'une unité de lithium métal équivaut à 5,323 unités de carbonates de lithium et 0,165 unités d'hydroxydes de lithium.

10. Brian W. Jaskula, *Lithium*, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, février 2019.

11. Roskill, *Lithium: Global Industry, Markets and Outlook to 2025*, Roskill Information Service Ltd, Thirteenth Edition, avril 2016.

12. Clément Bonnet, Samuel Carcanague, Emmanuel Hache, Gondia Sokhna Seck, Marine Simoën, « Critical raw materials and transportation sector electrification: A detailed bottom-up analysis in world transport », Working Paper 2019-3, Institut français du pétrole et des énergies nouvelles (IFPEN) et Institut de relations internationales et stratégiques (IRIS), 2019.

nucléaire ou encore de graisses et lubrifiants. Ces derniers sont notamment utilisés pour le maintien en condition des joints et des roulements à billes présents dans de nombreux usages militaires. Les batteries sont également présentes dans la plupart des équipements, de l'équipement du fantassin au sous-marin nucléaire. Leur consommation déjà croissante est amenée à s'amplifier dans l'avenir. En termes de valeur, les batteries au lithium sont les principaux drivers du marché¹³. Enfin, l'industrie du nucléaire est un secteur très spécifique puisqu'il entre dans la composition des additifs de l'eau des réacteurs nucléaires civils ou encore pour la fabrication d'armes thermonucléaires à travers ses deux isotopes respectivement Li-6 et Li-7¹⁴. Toutefois, en raison de la durée des programmes et de l'importance des stocks constitués, la criticité du lithium n'est pas avérée pour cette dernière utilisation.

C'est néanmoins dans le domaine des alliages que le lithium a connu une évolution spectaculaire ces dernières années. En effet, étant l'élément métallique le plus léger du tableau de Mendeleïev, le lithium est particulièrement apprécié dans le domaine aéronautique puisqu'il permet de diminuer le poids des équipements et donc la consommation de carburant. L'actuelle génération d'alliages aluminium-lithium est composée en moyenne de 1,35 % de lithium. Également présent dans l'aéronautique civil et le spatial (un Airbus A 350 en contient environ 33 kilogrammes), le lithium est utilisé dans le chasseur Mig-29, dans l'hélicoptère EH 101, dans les têtes de missiles des chasseurs F16 ainsi que dans les pointes des ailes des chasseurs Eurofighter. En 2025, le cabinet spécialisé Roskill estime que la consommation de lithium dans les alliages devrait doubler et atteindre environ 1 100 tonnes¹⁵.

Si la criticité du lithium ne présente pas d'inquiétude sur le plan géologique, ses spécificités de production (saumures et roches dures) et la concentration de l'industrie font craindre

13. Roskill, *Lithium: Global Industry, Markets and Outlook to 2025*, *op. cit.*

14. Nicolas Mazzucchi, « Transition énergétique et numérique : la course mondiale au lithium », *op. cit.*

15. Roskill, *Lithium: Global Industry, Markets and Outlook to 2025*, *op. cit.*

des difficultés du marché à répondre à la demande¹⁶. En effet, le début du XX^e siècle a vu la montée en puissance d'entreprises chinoises telles que Tianqi lithium ou Ganfeng lithium. À travers l'augmentation de la production locale, des prises de participation dans de nombreux projets¹⁷ ainsi que la prise de contrôle d'entreprises et d'actifs miniers, la Chine est devenu un acteur majeur de la filière lithium. À titre d'exemple, le rachat par Tianqi des parts de l'entreprise canadienne Nutrien dans l'exploitant minier SQM au Chili pour 4,1 milliards de dollars permet aux entreprises chinoises de posséder environ 60 % des actifs miniers et de transformation de la filière lithium¹⁸.

Malgré ces inquiétudes, la filière lithium européenne s'organise. En effet, l'Espagne, le Portugal ou encore l'Autriche possèdent des gisements et exploitent cette ressource depuis de nombreuses années pour la fabrication de verres et de céramiques. Si la production reste mineure en comparaison d'autres pays, elle a le mérite d'avoir permis de conserver certaines compétences minières. Les investissements ont été justifiés par la stabilité politique des pays européens, une politique minière avantageuse, mais également par la proximité de l'industrie automobile ainsi qu'un excellent réseau de transport. De la même manière la filière alliage possède des acteurs importants tels que Aleris ou Constellium¹⁹. En termes de réserves et de ressources, les gisements de Cinovec en République tchèque, de Zinnwald en Allemagne et de Jadar en Serbie ont été prospectés et sont maintenant en attente d'un processus de transformation adéquat. Par ailleurs, une étude menée par le Bureau des recherches géologiques et minières à l'échelle européenne

16. Clément Bonnet *et al.*, « Critical raw materials and transportation sector electrification: A detailed bottom-up analysis in world transport », *op. cit.*

17. L'entreprise mexicaine Bacanora a invité l'entreprise Ganfeng à investir un tiers des parts dans son projet de Sonora au Mexique (Amanda Stutt, « [Bacanora and Ganfeng ink Sonora lithium project investment](#) », Mining.com, 14 octobre 2019).

18. Antonio de la Jara, « [Tianqi buys stake in lithium miner SQM from Nutrien for \\$4.1 billion](#) », Reuters, 3 décembre 2018.

19. Roskill, *Lithium: Global Industry, Markets and Outlook to 2025*, *op. cit.*

a permis de mettre en valeur plusieurs types de nouveaux gisements en Irlande, en Finlande ou encore en République tchèque²⁰.

TUNGSTÈNE, TITANE, TANTALE, NIOBIUM, LES MÉTAUX DES SUPERALLIAGES

C'est principalement leur utilisation dans le domaine de l'aéronautique et des superalliages (éléments constitutifs des moteurs d'avion en raison de leur forte résistance à la chaleur et à la corrosion) qui sera observée. En effet, ce secteur qui consomme 48 % de ce type particulier d'alliages sera présenté à travers quatre métaux qui sont le tungstène (aciers à haute résistance cinétique, munitions...), le niobium, le tantale (coefficient de perforation élevé, alliages exigeant chimiquement et thermiquement) et le titane (résistance à la corrosion, à la chaleur, conductivité thermique faible), le cobalt, élément de base des superalliages ayant déjà été présenté plus haut. L'Europe en est d'ailleurs la région la plus consommatrice avec 27 % du marché. Plusieurs autres types d'alliages existent (aluminium, acier...) mais ne seront pas plus évoqués dans cet article. La valeur ajoutée de ce marché est importante puisqu'il nécessite la mise en œuvre de technologies de pointe, tant dans le traitement des métaux que dans la fabrication des alliages. L'Europe compte plusieurs champions internationaux dans le domaine des alliages et notamment : VDM Metals (Allemagne), Aperam (Luxembourg), AMG et Constellium (Pays-Bas) ou encore Eramet (France).

La plupart des alliages utilisés dans l'aéronautique sont à base de nickel, cobalt, fer et titane (on parle d'alliages base cobalt par exemple). Le tungstène, le niobium et le tantale sont utilisés dans les alliages en très petite quantité (entre 0,1 % et 15 %). Le titane est consommé dans des quantités plus importantes, notamment

20. Blandine Gourcerol, « [Quelle place pour l'Europe dans le marché du lithium ?](#) », mineralinfo.fr, 9 juillet 2018.

dans la fabrication d'alliages base-titane (82-95 %). Le fuselage d'un F-22 Raptor contient par exemple 39 % de titane²¹.

Le niobium représente un cas inédit. En effet, il est extrait à 95 % au Brésil et à 5 % au Canada (113 000 tonnes), raffiné à 90 % au Brésil et à 10 % au Canada (50 400 tonnes)²². Toutefois, la Chine a pris en 2011 une participation dans 15 % de la mine brésilienne exploitée par CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração)²³ et en 2015, l'entreprise China Molybdenum a racheté la totalité des parts de la seconde mine brésilienne²⁴. Quatre-vingt-quatre pour cent du niobium est consommé pour la fabrication d'acier, 8 % pour les superalliages et 8 % pour les produits chimiques. La production minière en Europe est marginale. La France produit chaque année 55 tonnes de concentré d'étain, de tantale et de niobium qui ne sont pas raffinés en Europe²⁵. L'entreprise estonienne NMP Silmet est un des principaux producteurs européens de composés niobium à destination des aciéristes que sont Arcelor Mittal ou encore Eramet. Ce dernier détient d'ailleurs, à travers la société Maboumine, le permis de recherche minière du gisement polymétallique de Mabounié au Gabon qui recèle des ressources importantes en niobium, terres rares, tantale et uranium.

Le tantale est un co-produit du lithium et de l'étain dont 1 800 tonnes sont produites tous les ans, 31 % au Rwanda, 19 % en RDC, 14 % au Brésil et 6 % en Chine. Cette dernière détenait la moitié des capacités de concentration en 2014 (OCDE). Vingt-deux pour cent du tantale sont utilisés pour la fabrication de superalliages et 33 % pour celle de condensateurs. L'UE importe

21. Christophe-Alexandre Paillard, « [Ressources naturelles stratégiques : conséquences pour la France et sa défense](#) », *op. cit.*

22. European Commission, [Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets](#), *op. cit.*

23. Yves Jegourel, « La sécurisation des approvisionnements en métaux stratégiques : entre économie et géopolitique », *Revue internationale et stratégique*, vol. 84, n° 4, 2011, p. 61-67.

24. « [Le niobium, ce métal méconnu et rarissime dont ne pourra pas se passer l'industrie du futur](#) », Atlantico.fr, 25 mai 2016.

25. « [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, le niobium : éléments de criticité](#) », mineralinfos.fr, août 2016.

environ 60 tonnes de concentrés de tantale par an, principalement pour la fabrication de superalliages ; 81 % proviennent du Nigeria, 14 % du Rwanda et 5 % de Chine²⁶. Toutefois, elle en importe également sous forme de sels, d'oxydes ou d'alliages. En raison de ses caractéristiques géologiques et de sa provenance (Rwanda, RDC), la chaîne d'approvisionnement du tantale est techniquement complexe et opaque. En effet, le tantale est encore considéré comme un minerai de guerre²⁷ et de ce fait difficilement traçable²⁸.

Enfin, près de 82 000 tonnes de tungstène ont été produites en 2014, dont 2 175 en Europe (Autriche, Portugal et Espagne). La Chine (84 %) et la Russie (4 %) sont les principaux producteurs mondiaux. L'Europe consomme environ 18 500 tonnes de tungstène par an, toutefois, 8 000 tonnes proviennent du recyclage de chutes de production et sont donc des sources internes. Ainsi, la consommation de tungstène primaire provient à 50 % de Russie, 17 % du Portugal, 15 % de l'Espagne, 8 % de l'Autriche et 3 % du Viêt-Nam. Cinquante-cinq pour cent du tungstène est utilisé pour les outils de coupe, 23 % pour les aciers rapides, 2,5 % dans les superalliages et 14 % dans les munitions²⁹. Plusieurs entreprises sont présentes à différents stades de la production, Eurotungstène (Umicore, Belgique), Plansee Tungsten Alloys (Plansee, Autriche) ou encore Wolfram Bergbau & Hütten (Allemagne) pour la métallurgie, Eratseel (Eramet) et Technogenia pour les produits intermédiaires. Si, en dix ans, la part de la Chine dans la production est passée de 71,4 % à

26. « [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, le tantale : éléments de criticité](#) », mineralinfos.fr, août 2015.

27. Le terme « minerais de conflit » ou « minerais de sang » désigne un groupe de 4 métaux, l'étain, le tungstène, le tantale et l'or. Depuis la fin des années 1990, l'extraction de ces minerais, notamment dans la région des grands lacs, a contribué au financement des guerres civiles et à de nombreuses violations des droits de l'homme. À consulter sur <http://www.mineralinfo.fr/eco-mine/lunion-europeenne-compte-encadrer-commerce-minerais-conflits>.

28. MSP-REFRAM, *Toward a strong and sustainable European refractory metals supply chain*, Final report, juin 2017.

29. European Commission, [Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets](#), *op. cit.*

83,5 %³⁰, elle domine de façon quasi monopolistique la production du paratungstate d'ammonium (APT), produit de base pour la production de composé de tungstène métal. En plus de sa production minière, la Chine importe une certaine quantité de minerai de tungstène (9 000 tonnes en 2009) pour le transformer en APT, ce dont le think tank américain RAND Corporation s'est inquiété en 2013³¹.

La spécificité du titane réside dans le fait que sur une consommation de 6,2 millions de tonnes en 2015, seules 200 000 tonnes intéressent le secteur de la défense. En effet, la majorité du titane est utilisé sous forme de dioxyde de titane (TiO₂) notamment dans l'industrie des pigments et des pneumatiques. Ces 200 000 tonnes produites sous forme métallique, dont 180 000 tonnes d'éponge de titane (97-99,7 %), sont essentielles dans les secteurs aéronautiques et militaires pour la production d'avions (fuselage) et de blindage. Si la production globale de titane est principalement assurée par l'Afrique du Sud et l'Australie (16 %), la Chine (15 %) et le Canada (11 %), la production métallurgique est, quant à elle, assurée par la Chine (35 %), le Japon (24 %), la Russie (22 %), les États-Unis (10 %), le Kazakhstan (5 %) et l'Ukraine (4 %)³². Cette forme d'organisation de la chaîne de valeur montre l'importance de la Russie. À l'image de la Chine et du cobalt, la Russie n'extrait pas de titane de son territoire mais est un maillon important de la métallurgie, notamment de production d'éponges. Ainsi, l'étude du CEIS en 2014 montrait que 50 % des lingots et éponges consommés en Europe provenaient de Russie qui importe 80 % du rutil et de l'ilménite d'Ukraine³³. Entre 2006 et 2008, le

30. « [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, le tungstène : éléments de criticité](#) », mineralinfos.fr, avril 2015.

31. Richard Silbergliitt, James T. Bartis, Brian G. Chow, David L. An, Kyle Brady, *Critical Materials Present danger to US Manufacturing*, RAND Corporation, 2013.

32. « [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, le titane : éléments de criticité](#) », mineralinfos.fr, septembre 2017.

33. Matthieu Anquez, *Approvisionnements stratégiques : le titane russe utilisé par l'industrie aérospatiale française repose sur des gisements ukrainiens*, Compagnie européenne d'intelligence stratégique (CEIS), 6 mai 2014.

constructeur français Dassault Aviation a été confronté à la multiplication par dix des prix de l'éponge de titane. L'augmentation de la demande chinoise et de l'industrie aéronautique ainsi que des capacités de raffinage mondiales limitées ont contribué à cette explosion problématique³⁴. C'est pour cela que la France a décidé de monter une filière « Titane » à travers la création d'une *joint-venture* entre UKATMP (Kazakhstan) et Eramet, UKAD qui fabrique des pièces forgées et des alliages de titane grâce aux éponges et aux lingots produits au Kazakhstan. Par ailleurs, l'entreprise Ecotitanium possédée à 43,5 % par UKAD, à 41,5 % par l'ADEME et à 15,2 % par le Crédit agricole, procède à la fabrication de lingots à partir de chutes de production, participant par là même à la construction d'une filière quasi intégrée en France³⁵.

Les différents cas de figures présentés dans cette sous-partie présentent chacun un aspect bien spécifique des besoins de l'industrie de défense en matière première minérale. Dans le cas du cobalt, la filière est intégrée verticalement au niveau européen, mais des tensions se font sentir sur les approvisionnements en raison de la montée en puissance de la Chine sur la chaîne de valeur de ce métal, mais également en raison de tensions toujours plus importantes en RDC. Enfin, les métaux présentés pour l'industrie des alliages représentent chacun une caractéristique géopolitique et géoéconomique intéressante, que ce soit la situation monopolistique du Brésil sur la production de niobium, le statut de « minerai de guerre » du tantale, la prépondérance de la Chine pour la production de paratungstate d'ammonium ou encore le rôle de la Russie pour la production d'éponges de titane. Alors que des investissements sont consentis par des entreprises australiennes en Espagne et au Portugal, on peut néanmoins regretter que le lithium ne soit pas transformé sur place mais bien transporté en Chine.

34. Jacques Blanc, *Rapport d'information sur la sécurisation des approvisionnements stratégiques de la France*, op. cit.

35. « [Recyclage du Titane, la France en pointe](#) », mineralinfo.fr, 1^{er} mars 2015.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

C. Bonnet *et al.* ont écrit que « la criticité n'est ni universelle, ni intemporelle, ni binaire. Elle varie en fonction des intérêts économiques (commerciaux, technologiques, financiers) et politiques (sécurité, défense, politique étrangère) d'un État dont elle est nécessairement le reflet¹ », résumant ainsi en quelques mots l'entière problématique autour de la notion de criticité, mais également son aspect géopolitique. La réflexion que nous avons menée sur cette notion, les différentes définitions qui ont été avancées et les métaux présentés ont permis de donner corps à cette affirmation. Si l'on considère l'industrie de défense en particulier, il n'y a que des métaux stratégiques, mais également considérés comme critiques au niveau global. Tous les calculs n'ayant ni la même finalité, ni les mêmes méthodes de mesures, il n'est pas surprenant de ne pas retrouver les mêmes métaux sur chaque liste, malgré de nombreuses similitudes. Il serait intéressant de comparer les différents calculs ou encore de proposer un travail spécifique sur certains petits métaux des systèmes électroniques tels le gallium, le germanium ou l'indium.

La notion de criticité est également intimement liée à celle de chaîne de valeur puisque la criticité ne concerne pas seulement liée à la ressource en soi, mais également à la maîtrise des différentes technologies de transformation et d'utilisation présentes tout au long du cycle de vie. Si la question de l'épuisement des ressources ne se pose pas encore, la compétition pour l'accès aux mines, aux raffineries ou aux technologies restera un enjeu majeur pour les prochaines années.

Nous avons montré que l'Union européenne était au fil des ans devenue de plus en plus dépendante des approvisionnements

1. Clément Bonnet, Samuel Carcanague, Emmanuel Hache, Gondia Sokhna Seck, Marine Simoën, « Vers une géopolitique de l'énergie plus complexe ? Une analyse prospective tridimensionnelle de la transition énergétique », Policy Research Working Paper, Institut français du pétrole et des énergies nouvelles (IFPEN) et Institut de relations internationales et stratégiques (IRIS), janvier 2019.

étrangers pour ses matières premières minérales. Cette dernière avait été jugée suffisamment préoccupante pour faire l'objet d'une stratégie (l'initiative pour les matières premières critiques) et de la publication de nombreuses études ou documents. Toutefois, 11 ans après le lancement de la stratégie européenne, nous pouvons constater que peu de choses ont changé concernant les matières premières minérales. En effet, la situation de dépendance s'est aggravée et il est toujours très compliqué d'ouvrir des mines en Europe. Les exemples de la mine de Salau en Ariège et de l'annulation du projet « Montagnes d'or en Guyane » en témoignent². Alors que l'UE semblait pourtant avoir conservé des capacités de transformation importantes, comme cela a été vu à travers les cas du cobalt, du lithium, du tungstène ou encore du titane, ces usines continuent de fermer. En 2016, les activités de raffinage du gallium en Hongrie et en Allemagne ont été arrêtées, non pas parce qu'elles n'étaient pas rentables, mais parce que les prix pratiqués par les industriels chinois étaient plus bas. En France, les installations de production de gallium ont fermé en 2003 et 2006, même s'il existe encore quelques producteurs de composants³. De la même manière, les activités de raffinage du germanium en Finlande ont stoppé en 2016 en raison de la provenance de ces minerais, extraits en RDC⁴. Pourtant, ces éléments sont essentiels dans la technologie de l'optique ou dans la fabrication de composants pour les semi-conducteurs spécifiquement destinés à l'industrie de défense.

L'impératif stratégique de maîtrise de capacités technologiques se heurte là directement à l'impératif économique. La

2. « [Le projet "Montagne d'or" en Guyane est "incompatible" avec les exigences environnementales du gouvernement](#) », *Le Monde* avec AFP et Reuters, 23 mai 2019 ; Laurent Boffet, « [Ariège : la réouverture de la mine de Salau devant la justice](#) », France 3 Régions, Occitanie, Ariège, Foix, 11 juin 2019.

3. European Commission, *Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets*, op. cit. ; « [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, le gallium : éléments de criticité](#) », mineralinfos.fr, août 2016.

4. « [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, le germanium : éléments de criticité](#) », mineralinfos.fr, novembre 2015 ; European Commission, *Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets*, op. cit.

vision stratégique est-elle donc contradictoire avec la vision économique ? L'exemple du F-35, des aimants permanents et des terres rares mettent en valeur cette dualité. Si pour ces raisons économiques, il y a des raisons de ne pas fabriquer aimants permanents et terres rares aux États-Unis, cela peut mettre en péril la sécurité nationale. Par ailleurs, la perte industrielle s'accompagne d'une perte de compétences. Si l'on reprend l'exemple des terres rares, Valérie Bailey Grosso estimait en 2013 que la reconstruction d'une chaîne de valeur intégrée aux États-Unis prendrait au moins 15 ans et coûterait plusieurs centaines de millions de dollars⁵. Les coûts d'entrée sur la chaîne de valeur sont donc chers, mais stratégiques. Plusieurs exemples démontrent la nécessité de soutenir les filières technologiques des matériaux dans l'industrie de défense. Ainsi, les États-Unis ont exempté d'impôts les acteurs de la filière des semi-conducteurs et encouragent ceux-ci à mener des stratégies de recherche avec le Japon⁶. Comme le font remarquer V. Briani *et al.*, le développement d'un nouveau type de semi-conducteurs par ces derniers leur permettrait de regagner une grande influence dans ce domaine⁷.

Au-delà de ces constatations et à travers les exemples de métaux présentés dans cette étude, certaines initiatives européennes pour préserver voire exploiter le potentiel européen sont couronnées de succès, que ce soit pour le développement de la chaîne de valeur du lithium à la préservation des capacités de transformation du cobalt en passant par la création de la filière française de titane. L'UE montre qu'elle est capable de mettre en valeur ses gisements et son travail géologique (lithium), qu'elle est capable non seulement de préserver une filière essentielle pour son industrie aéronautique mais aussi de la renforcer en privilégiant le rachat des

5. Valérie Bailey Grosso, *Rare earths elements in national defense: background, oversight issues and options for Congress*, op. cit.

6. Daniel J. Radack, Brian S. Cohen, Robert F. Leheny, Vashisht Sharma, Marko M.G. Slusarczuk, *Semiconductor Industrial Base Focus Study*, Final Report, Institute for Defense Analyses (IDA), décembre 2016.

7. Valerio Briani, Alessandro Marrone, Christian Mölling, Tomas Valasek, *The development of a European Defense technological and industrial base (EDTIB)*, Parlement européen, juin 2013.

activités de raffinage et de précurseurs de batteries de la raffinerie de Kokkola (Finlande) par l'entreprise belge Umicore (cobalt)⁸, ou encore qu'elle est capable de mettre en valeur l'exploitation de la ressource secondaire (chutes de production, produits en fin de vie) pour alimenter son industrie de pointe (titane).

Cette dernière initiative mérite d'être étudiée, approfondie et répétée à plus grande échelle. Le recyclage est une des priorités de la stratégie européenne concernant les matières premières critiques. À ce titre, la mine urbaine est en train de devenir une ressource stratégique⁹. En effet, elle est composée de tous les déchets que nous rejetons potentiellement dans l'environnement et notamment de nombreux produits contenant des métaux de toutes sortes. J. Huisman *et al.* estiment par exemple que les déchets en fin de vie générés en 2015 contenaient environ 690 000 tonnes de cuivre, 165 tonnes d'argent et 2 700 tonnes de cobalt. Toutefois, seuls 1/3 du cuivre, 2/3 de l'argent et 1/5 du cobalt ont été effectivement collectés pour des taux de recyclage estimés à 55 % pour le cuivre et l'argent ainsi qu'à 10 % pour le cobalt¹⁰. La récupération des déchets générés pendant le processus de production (on parle de chutes de production) comme c'est le cas pour le titane, est encouragée depuis un certain nombre d'années pour plusieurs métaux dont le tungstène et le cobalt. Ainsi, 68 % des chutes de production issues de la manipulation du cobalt sont recyclées¹¹ et 8 000 tonnes de tungstène consommées en Europe proviennent de la ressource secondaire. Toutefois, le recyclage fait face à plusieurs obstacles dont certains peuvent être surmontés. Comme cela a été

8. Umicore, « [Umicore fait l'acquisition d'activités de raffinage de cobalt et de précurseurs pour cathodes en Finlande](#) », 23 mai 2019.

9. Raphaël Danino-Perraud, « [La mine urbaine, une ressource stratégique pour l'Union européenne](#) », *Revue internationale et stratégique*, n° 113, mars 2019.

10. Jacob Huisman, Pascal Leroy, François Tertre, Maria Söderman, Perrine Chancerel, Daniel Cassard, Amund N. Lovik, Patrick Wäger, Duncan Kushnir, Vera Susanne Rotter, Paul Mährlitz, Lucia Herreras, Johanna Emmerich, Anders Hallberg, Hina Habib, Michelle Wagner, Sarah Downes, *Prospecting Secondary Raw Materials in the Urban Mine and mining wastes (ProSUM)*, Final Report, Bruxelles, Belgique, décembre 2017.

11. Kim Shedd, *The Material flow of cobalt in the United States*, United States Geological Survey, 1993.

mis en valeur, la différence entre déchets générés, taux de collecte et taux de recyclage est importante. C'est également le cas pour les chutes de production, puisqu'on estime qu'environ 50 % des chutes de production récupérées ne sont pas recyclées de manière fonctionnelle (c'est-à-dire recyclées sans garder les propriétés intrinsèques du cobalt)¹². De plus, le recyclage des produits en fin de vie présente des difficultés de collecte (seuls 5 à 10 % des petits électroniques sont collectés¹³) et des difficultés techniques dues à la dispersion, aux très petites quantités de métaux présentes dans un produit ainsi qu'à la complexité des alliages composant les matériaux. Ces problèmes expliquent en partie les difficultés de la filière recyclage européenne confrontée à un manque de rentabilité, mais des solutions assez simples peuvent être mises en œuvre à moindre coût.

L'amélioration du taux de collecte peut être obtenue à travers la multiplication des points de collecte ainsi qu'à des incitations, notamment des facilités d'achat d'un nouveau smartphone si le précédent est rapporté. Il n'y a pas de recettes miracles, mais de nombreuses initiatives sont menées en Europe et les taux s'améliorent lentement comme c'est le cas pour les gros électroménagers¹⁴. Cela permettra accessoirement de réduire l'exportation illégale de déchets électroniques dont deux tiers de la collecte sont exportés hors des frontières de l'UE¹⁵. Les processus technologiques de récupération des métaux peuvent également être améliorés à travers une collaboration entre organismes de collecte, institutions, organismes de recherche et entreprises à travers les projets européens lancés sous les programmes EIP Raw

12. *Ibid.*

13. Darton Commodities Limited, *Cobalt Market Review 2018-2019*, *op. cit.*

14. Alice Deprouw, Marion Jover, Sarah Chouvinc, Alexandra Pensec, Erwann Fangeat, *Synthèse annuelle du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques*, Deloitte Développement durable et Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), 2018.

15. Jacob Huisman, Federico Magalini, Juha Hintsa, Fabio Ruini, *Countering WEEE illegal trade (CWIT), Summary report, Market assessment, Legal Analysis, Crime Analysis, and recommendation roadmap*, Countering WEEE Illegal Trade (CWIT) Consortium, 30 août 2015.

materials et H2020. Ces travaux ont déjà mené à des résultats très intéressants sur les terres rares ou le cobalt et ne demandent qu'à être mis en place à une échelle industrielle.

Cependant, pour atteindre cet objectif, un soutien sera nécessaire. Le souvenir de l'échec de Solvay, obligée en 2015 de fermer sa chaîne de recyclage des terres rares dans les ampoules lumineuses en raison de l'écroulement des prix, reste vivace chez les industriels¹⁶. En effet, le prix actuel des métaux ne permet pas à la filière d'être compétitive. Ce soutien devra sûrement être économique à travers des incitations financières à la filière (mesures fiscales, prêts préférentiels, recherche et développement e.g.), mais principalement politique. Le recyclage est certes un enjeu stratégique dans le sens où il peut permettre à l'industrie de défense européenne de diminuer sa dépendance, tant en termes de matériels qu'en termes de technologie, mais sera également un enjeu environnemental et à ce titre, doit être saisi par le politique. L'Union européenne peut et doit légiférer sur les bienfaits environnementaux du recyclage en favorisant les entreprises responsables et les modèles qui fonctionnent au sein de ses membres. Cela n'est pas le cas aujourd'hui. Exception faite des métaux de base¹⁷, recycler coûte toujours plus cher que d'extraire car les coûts environnementaux ne sont pas pris en compte. En effet, la quantité d'énergie et d'eau nécessaire à l'extraction et au raffinage des métaux n'est prise en compte que sous forme de prix. La pollution des sols, de l'eau ou la destruction des écosystèmes n'est pas considérée car il n'existe pour l'instant pas de méthode de comptage. Alors que la principale source d'énergie de la Chine est le charbon, énergie la plus polluante en termes de rejets de CO₂, l'empreinte carbone de la production chinoise doit être mesurée et quantifiée économiquement. Des mesures de taxation des émissions de gaz

16. Myrtille Delamarche, « [Solvay arrête le recyclage des terres rares](#) », *Usine nouvelle*, 4 février 2016.

17. Dans le cas de l'aluminium, du cuivre ou encore du fer, il permet d'économiser respectivement 95 %, 85 % et 74 % de l'énergie qui aurait été utilisée si la même quantité avait été extraite. Pour plus de détails, voir Jirang Cui et Eric Forssberg, « Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review », *Journal of Hazardous Materials*, mai 2003, p. 243-263.

à effet de serre pourraient être prises par l'UE à travers les différents traités de libre-échange dont elles devraient se servir comme levier, non pas seulement pour favoriser le libre commerce mais également pour le respect de l'environnement.

La Chine est actuellement leader dans le recyclage des batteries car elle possède une filière entièrement intégrée, de l'extraction des métaux au recyclage, en passant par la fabrication des batteries. En plus de cela, elle possède la masse critique nécessaire pour rendre le recyclage rentable et n'est pas pénalisée par les normes environnementales. Pour cette dernière assertion, l'attention de plus en plus prononcée des autorités chinoises sur ces sujets augure peut-être d'une évolution prochaine. L'intégration des filières et un soutien étatique sont donc nécessaires pour sauvegarder et pérenniser les capacités européennes dans le domaine des minerais critiques et de l'industrie de défense. La maîtrise d'un segment ne suffira peut-être plus à s'assurer de la sécurisation d'une chaîne d'approvisionnement. Cela nécessite d'avoir une vision stratégique associant court terme et long terme. Si l'on peut estimer que produisant à bas coût mais détruisant son environnement, la Chine met en danger son territoire et sa population, on peut également analyser sur le long terme qu'à travers un dumping environnemental, les entreprises chinoises posséderont les brevets stratégiques pour l'industrie de défense européenne, comme c'est déjà en grande partie le cas pour les terres rares¹⁸. C'est pour cela que l'UE doit dépasser une vision à court terme pour adopter une vision stratégique à plus long terme, en adéquation avec les impératifs économiques, géopolitiques et environnementaux qui ne manqueront pas de se produire dans les prochaines années. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, elle n'est pas dépourvue de moyens, cependant, elle devra développer des nouveaux moyens de comptabilité et de calcul de la criticité, de nouvelles méthodologies de calculs d'impacts pour appuyer une politique plus ferme et plus affirmée, en adéquation avec ses intérêts stratégiques.

18. Guillaume Pitron, *La Guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique*, op. cit.

LA CRITICITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES STRATÉGIQUES POUR L'INDUSTRIE DE DÉFENSE

Raphaël Danino-Perraud

En 2017, la Commission européenne a publié sa troisième liste de métaux dits « critiques », dans le cadre de l'Initiative sur les matières premières critiques lancée en novembre 2008. Ce travail a confirmé la dépendance extérieure des pays européens vis-à-vis de ces métaux, puisqu'ils importent la plupart d'entre eux. Cette liste est constituée de 27 métaux dont 9 ont des applications militaires. Produire des armes sophistiquées ou développer de nouvelles technologies est impossible sans eux. Les métaux rares sont en train de devenir d'une importance capitale dans le champ des technologies militaires. En effet, la quantité de cobalt, terres rares ou germanium utilisée dans la fabrication d'avions de combat, de missiles ou d'instruments optiques a augmenté, tout comme l'inquiétude sur leurs approvisionnements. Afin de produire des composants sophistiqués et de haute pureté, les minerais doivent être raffinés puis transformés. Ces processus, qui nécessitent parfois une technologie de pointe, ne sont ni bien connus ni bien pris en compte, mais sont pourtant vitaux pour l'industrie de défense européenne et sa souveraineté stratégique. L'objectif de cette étude est d'explicitier le concept de criticité pour comprendre les problématiques rencontrées par différentes matières premières à chaque stade de leur production et consommation, puis d'analyser l'appréhension de ces enjeux par les différents acteurs de la chaîne de valeur de l'industrie minière et de l'industrie de défense.

ÉTUDE – n° 72