

Les défis des métaux « critiques »

Christian Hocquard¹ et Jean Claude Samama².

Introduction

La thématique des métaux mineurs critiques a pris une ampleur tout à fait remarquable ces dernières années, notamment en ce qui concerne l'approvisionnement en métaux rares³ essentiels au développement d'industries innovantes de haute technologie, et tout particulièrement celles associées aux énergies vertes⁴.

Tous les secteurs industriels sont concernés : énergies vertes du photovoltaïque (technologies film mince de type CIGS, de type Cd-Te et de type multifonctions avec germanium) et de l'éolien en mer (avec des générateurs électriques à très haut rendement impliquant plusieurs terres rares), batteries lithium- (cobalt)-ion pour les véhicules hybrides et électriques, allègements (associés à la réduction des consommations de carburants impliquant des aciers au Nb, alliages Al-Li-Ag, Mg), métaux de la catalyse (Pt, Pd, Co, etc.), nouveaux écrans (davantage d'In), géolocalisation GPS (GaN), nouveaux transistors (Si-Ge, Hf, GaAs), etc., jusqu'aux technologies émergentes encore en R&D. Leurs développements, passent tous par de nouveaux matériaux impliquant non seulement l'utilisation d'une gamme accrue de métaux rares, mais aussi le plus souvent des quantités beaucoup plus importantes.

Face à cette demande, l'offre minière et métallurgique apparaît de plus en plus contrainte par de nombreux facteurs techniques, économiques et politiques. Dans ce nouveau contexte, quelles sont les actions possibles à différents niveaux (entreprises, groupement d'entreprises, national, européen) et différents pas de temps (court, moyen et long termes) pour approvisionner le marché, c'est-à-dire satisfaire la demande des industriels manufacturiers sans crise, ni pénurie de matières premières. De rares, certains de ces métaux deviennent ainsi « critiques ».

On peut ainsi se référer à la liste des 14 substances sélectionnées (Fig. 1) par l'Union européenne (UE) en juin 2010 dans son rapport intitulé « *critical raw materials for the EU* »⁵, même si le niveau de criticité est modulable selon les spécificités industrielles des pays. Pour les États-Unis par exemple, qui ont également réalisé une telle étude, le béryllium n'est pas critique dans la mesure où ils

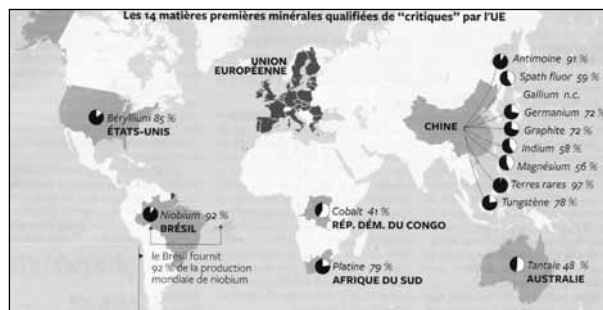


Figure 1. Les 14 substances qualifiées de critiques par l'Union européenne.

contrôlent l'essentiel de la production mondiale. Tant au niveau de la demande que de l'offre, la criticité de certains métaux peut s'estomper ou bien se renforcer avec le temps pour atteindre des niveaux de crise. C'est avant tout une notion dynamique.

Présentation des problèmes

Par opposition aux grands métaux industriels comme le fer, le cuivre, le zinc... pour lesquels les marchés sont importants et les approvisionnements à la fois bien établis et assez transparents, le secteur des métaux critiques est au final moins structuré et homogène, ce qui rend beaucoup plus difficile son analyse.

Pour chaque métal critique, les points de fragilité (*goulets d'étranglement*) se situent généralement à un niveau précis, qui peut se situer aussi bien à l'amont qu'à l'aval de la filière qui le caractérise. Chacun des métaux critiques nécessite donc une analyse fine de toute la filière qui lui est spécifique, depuis la ressource minière jusqu'à l'élaboration des semi-produits⁶ utilisés par les manufacturiers, en incluant les substitutions potentielles, ainsi que la thématique 3R (« *Reduce-Reuse-Recycle* »), et jusqu'aux produits d'investissement gagés sur du métal physique, à finalité purement spéculative⁷.

Les inquiétudes concernant la disponibilité en métaux rares ne sont pas nouvelles. Pour les États-Unis, les jalons sont le « *Strategic Material Act* » de 1939, (premier stockage de 39 substances stratégiques), suivi du « *Defense production Act* » de 1950 (autorisant une aide

1. Géologue, économiste des matières premières minérales au BRGM.

2. Professeur émérite de géologie appliquée et ancien Directeur de l'École Nationale Supérieure de Géologie (ENSG) de Nancy.

3. Les métaux rares sont également appelés métaux mineurs ou « *minor metals* » du « *Minor Metals Trade Association* » (MMTA à Londres), mais on trouve aussi métaux high-tech, métaux verts, petits métaux, métaux exotiques, ou encore métaux technologiques (par opposition aux métaux industriels). On notera aussi la fréquente confusion dans les médias entre « *métaux rares* » et « *terres rares* », une famille de métaux rares comprenant 17 éléments.

4. Ou « *greentechs* » : les métaux high-tech sont en effet engagés dans les thématiques majeures du « *changement climatique* » et de l'« *énergie* » où le défi est tant au niveau des énergies renouvelables, que de minimiser les émissions de GES des énergies fossiles.

5. *Critical Raw Materials for the EU, Report of the ad-hoc Working Group on defining critical raw materials*, 30 July 2010. Voir : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/documents/index_en.htm

6. On distingue, respectivement en amont et en aval de la production métal, les produits précurseurs (éponge de titane, APT pour le tungstène, etc.), et les alliages et semi produits (TiAl6V4 pour le principal alliage de titane, GaAs, GaN, et GaCl2 pour le gallium, ITO pour l'indium, etc.).

7. Exchange Traded Products (ETP).

fédérale à la production minière et métallurgique domestique) et du « *Strategic Stockpiling Act* » de 1979 qui portait sur un stockage exclusivement à finalité militaire.

Les métaux rares constituent une palette riche d'environ cinquante éléments dans laquelle puisent aujourd'hui les métallurgistes pour élaborer de nouveaux matériaux. Bien qu'ayant tous des applications spécifiques, on peut cependant caractériser ce groupe par un ensemble de critères communs : **quantitatif** (petites productions), **technique** (majoritairement des sous-produits de l'industrie minière et métallurgique), **économique** (produits à valeur élevée, principalement en raison d'un haut degré de pureté), **critique** (présence indispensable dans de nombreux produits *high-tech*), **de comportement** (alternances de périodes de marché atones, de crises, voire de pénuries).

Contexte économique

En raison des quantités faibles mises en jeu, même avec des prix élevés, la valeur de la production primaire de chacun des métaux rares reste au final faible : 200 M\$ pour le néodyme, 250 M\$ pour l'indium, 270 M\$ pour le rhénium, 700 M\$ pour le lithium. Seuls quelques-uns comme le cobalt, le platine et le molybdène dépassent le milliard de dollars US. Cette faible importance économique explique non seulement pourquoi les métaux rares ont peu de visibilité, écrasés par le poids des grands métaux industriels, mais aussi pourquoi ils n'intéressent pas les grandes entreprises minières (« majors »), autrement que comme **sous-produits fatals** de leurs usines métallurgiques, voire même des sous-produits de sous-produits⁸. Ceci explique aussi pourquoi les prix des métaux rares sont le plus souvent proches de leurs prix plancher⁹, périodes atones entrecoupées de hausses généralement relativement brutales (crises) quand l'équation offre-demande est déséquilibrée.

Pour certains sous-produits cependant, une surproduction semble inévitable à long terme. La croissance durable de la demande mondiale en métaux industriels d'origine minière s'accompagne d'une baisse généralisée des teneurs des gisements de métaux de base et impose une meilleure récupération des sous-produits, devenant une composante significative de l'économie des projets (cobalt pour les mines de nickel latéritique ou le cuivre de la Copperbelt de Zambie et de République Démocratique du Congo - RDC ; molybdène pour les porphyres cuprifères andins).

Seules de petites sociétés minières spécialisées exploitent les mines où les métaux rares sont des **co-produits** ou des **produits principaux**. Pour survivre aux périodes de faible demande, elles doivent exploiter un gisement exceptionnel de classe mondiale et souvent présenter

une forte intégration verticale (Brush Wellman pour le béryllium, ou Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração - CBMM pour le niobium). Il peut aussi y avoir des productions artisanales temporaires, très élastiques en fonction du prix, comme pour le tantale de la région des grands lacs en RDC.

Des crises de prix à la pénurie

Les crises de prix jalonnent de manière récurrente l'histoire des métaux rares. Les **crises liées à l'offre** correspondent à des interruptions temporaires et conjoncturelles de la production. Elles sont de nature **accidentelle** (ordre technique, climatique ou social), aussi bien qu'**intentionnelle** par assèchement délibéré de l'offre, par des restrictions à l'exportation (mise en place de quotas), ou par un stockage spéculatif (Fig. 2).

Les **crises liées à la demande** sont les plus critiques car de nature **structurelle**, provoquées par la commercialisation massive d'un produit innovant issu de technologies de rupture et majoritairement basées sur de nouveaux matériaux faisant appel à des métaux rares. Ces crises sont plus violentes quand il s'agit de sous-produits, en raison de l'inélasticité de leur production.

Les crises, plus aiguës que celles des grands métaux classiques cotés au LME, seront d'autant plus violentes qu'elles toucheront des métaux indispensables à des technologies de rupture et que leur source est contrôlée par des pays en situation de position dominante à monopolistique (voir figure 1) : Chine (terres rares, Sb, W...), Brésil (Nb), Afrique du Sud (Pt), ou Russie (Pd).

Depuis plusieurs années, la Chine a introduit des quotas d'exportation qu'elle réduit chaque année un peu plus. Il s'agit de limiter des pollutions générées par l'exploitation, de préserver des ressources domestiques limitées ou d'obtenir davantage de valeur ajoutée en



Figure 2. Exemple de la crise du palladium de fin 2000 et sa substitution par le platine (crise provoquée par la rétention par Norilsk, principal producteur mondial de palladium, conduisant à une envolée du prix et sa rapide substitution par les constructeurs automobiles qui se tournent alors vers le platine).

8. Le rhénium est un sous-produit du molybdène, lui-même un sous-produit du cuivre des porphyres cuprifères ; le hafnium est un sous-produit du zirconium (zircon), lui-même un sous-produit de l'exploitation des sables titanifères à ilménite.
9. Prix plancher = coût de production, plus coûts du stockage, du transport, des assurances et de la commercialisation.

contraignant les industriels étrangers à se délocaliser en Chine pour y avoir accès.

À ces facteurs de crise s'ajoutent des **mécanismes amplificateurs**, comme le comportement des responsables d'achat qui, en cas de hausse des prix, ont tendance à agir en fonction de ce que les autres acheteurs sont susceptibles de faire, risquant de conduire à une bulle spéculative provoquant une pénurie, ou encore les produits financiers spéculatifs gagés sur du métal physique (*Exchange Traded Funds*, ETF). Ces derniers, après avoir connu un grand succès sur les métaux précieux (or, argent, platine, palladium, en particulier de ETF Securities), s'ouvrent maintenant aux métaux rares¹⁰. L'objectif annoncé est un stockage spéculatif visant à raréfier l'offre et provoquer ainsi une hausse des cours. Signe de l'importance nouvelle des métaux rares, le *London Metal Exchange* (LME) a inauguré en février 2010 une cotation avec des contrats à terme sur le molybdène et le cobalt.

Les impacts des crises sont toutefois très différents selon le produit manufacturé considéré. Ils peuvent être très significatifs par exemple pour le catalyseur platine des automobiles diesel (sur une base de 3 grammes de platine à 2 000 US\$/once, il s'agit de presque 200 USD par véhicule). Ils peuvent être à l'opposé insignifiants, avec moins de 1 USD contenu de tantale dans les téléphones portables ou d'indium dans un téléviseur à écran plat. Pour ces industries le seul vrai risque, au final, est celui de la pénurie.

Ainsi, pour nombre de métaux critiques, beaucoup plus que le prix, qui n'a qu'une influence marginale sur le produit fini en raison des faibles quantités contenues par unité, ce sont les ruptures d'approvisionnement qui, en l'absence de stocks, sont les plus préoccupantes. Il s'ensuit que toute politique de sécurisation d'approvisionnement doit impérativement être dynamique et extrêmement réactive pour pouvoir s'adapter en permanence aux besoins et mieux, anticiper les situations de crise.

Mais pour tracer les défis et les contraintes d'une

telle politique de sécurisation des besoins industriels, nous nous appuyons seulement sur trois exemples types, à savoir l'indium, le néodyme (une des 17 terres rares), et le lithium.

Exemples de l'indium, du néodyme et du lithium

Une bonne connaissance des ressources actuelles et potentielles d'une part et des utilisations actuelles et futures (Tabl. 1), d'autre part, est indispensable pour définir les orientations d'une politique de sécurisation des approvisionnements. Le paysage est extrêmement diversifié comme vont le montrer les exemples choisis.

L'Indium (In)

La production d'indium, pour l'essentiel sous-produit de la métallurgie de certains minerais de zinc, a retrouvé une certaine élasticité avec le retraitement de scories anciennes. La Chine contrôle environ 60% de la production mondiale d'indium et a introduit des quotas à l'exportation qui vont en diminuant. Le principal débouché de l'indium, sous forme d'alliage avec l'étain (ITO), est dans la fabrication d'écrans plats où il intervient comme électrode transparente. Cette fabrication génère d'importantes quantités de scraps, ce qui permet un recyclage en boucle fermée qui couvre plus de 50 % de l'offre globale.

Les risques éventuels de la filière, outre les quotas et la montée rapide de la demande chinoise (boom des ventes de téléviseurs LCD en Chine : 40 millions en 2010), se trouvent dans la demande liée à de nouvelles applications : technologie photovoltaïque (film mince à semi-conducteurs CIGS) et écrans OLED, potentiellement fortement consommateurs d'indium. Les besoins estimés dépasseraient les capacités de production actuelles dès 2015, ce qui encourage la recherche de substitutions, tant pour l'ITO des écrans plats, que pour le photovoltaïque CIGS (technologie de remplacement Cd-Te). Ces risques

Secteur industriel	Technologies	Métaux rares
Automobile. Stockage photovoltaïque	Batteries Ni-MH, Li-ion	Li, Co, TR
Automobile	Catalyse (échappement, particules, NOx)	Pt, Pd, Rh, Ce
Automobile, lignes à grande vitesse, éolien	Aimants permanents (moteurs électriques)	Sm, Nd, Dy, Co
Aéronautique, cogénération	Titane composite/alliage Al-Li, aciers UHSS ¹¹ , superalliages	Ti, Li, Te, Nb
Photovoltaïque	Technologies film mince : CdTe, CIGS ¹²	In, Ge, Ga, Se, Te
Éclairage	LED ¹³ à lumière blanche	Ga, In, TR
Nucléaire	Matériaux résistants aux flux de neutrons	Zr, Be, Nb

Tableau 1. Métaux rares. Principales filières associées à l'énergie et aux émissions de GES : catalyse, énergies renouvelables, stockage de l'énergie, superalliages, électronique, nucléaire.

10. ETP sur l'indium avec SMG Specialty Metals Group, sur les terres rares avec Van Eck et Dacha Capital, ETF sur le lithium avec GlobalX Funds.

11. Aciers à ultra haute résistance.

12. Pour cuivre, indium, gallium et sélénium.

13. Light Emitting Diodes.

de tensions justifient la mise en place rapide d'une filière de récupération de l'ITO dans les produits en fin de vie et le développement de la R&D dans des technologies de substitution.

Le néodyme (Nd)

L'utilisation majeure du néodyme est dans la fabrication d'aimants permanents NdFeB (27% Nd), dont la production mondiale est de l'ordre de 45 à 50 000 t/an, principalement en Chine et au Japon, et dont le débouché principal est dans les moteurs électriques (miniaturisation et très haut rendement énergétique). Ils sont appelés à se généraliser, tout particulièrement dans l'industrie automobile (véhicules hybrides et électriques), ainsi que dans l'éolien *offshore*.

Le néodyme présente un risque élevé de déficit de production mondiale à l'horizon 2014, jusqu'à 32% selon les estimations de la Société Lynas. Sur ce fonds de déséquilibre offre/production, la poursuite de la réduction des quotas chinois (après une diminution de 40% pour l'année 2010, et une baisse de 35% annoncée pour le premier semestre 2011) va amplifier les difficultés d'approvisionnement et conduire à une probable situation de crise aiguë à court terme. L'usage de la technologie alternative au samarium-cobalt, outre des prix plus élevés, ne conduirait qu'à déplacer le problème, d'une terre rare à une autre.

La liste des projets miniers de terres rares les plus avancés dans le monde est donnée dans l'article d'Alain Rolat (ce numéro). La mise en production des nouveaux gisements est contrainte par trois facteurs : la valeur du minerai dictée par le *mix* de terres rares lourdes et légères (les premières étant beaucoup plus chères que les secondes), une récupération optimale des différentes terres rares contenues dans le minerai, et surtout un client qui achètera la production sur un contrat à long terme. Pour le néodyme, il conviendrait d'analyser les projets de manière plus spécifique, c'est-à-dire d'estimer les perspectives de production en fonction de l'avancement des projets et de la teneur en néodyme des minerais correspondants.

Le lithium (Li)

La demande en carbonate de lithium devrait croître rapidement avec celle du secteur automobile (batteries lithium-ion), celle des batteries pour téléphones, ordinateurs, et autres appareils portables, les besoins de l'industrie aérospatiale (nouveaux alliages aluminium-lithium), la substitution des batteries NiMH (nickel-hydrure de métal) par les batteries Li-ion, voire le stockage des énergies renouvelables (éolien et photovoltaïque). Le détail des ressources en lithium (minéraux de lithium et sau-

mures de salars) est présenté dans un article séparé de ce même numéro.

Concernant les minéraux, plusieurs juniors d'exploration envisagent d'exploiter les minéraux de lithium pour les transformer ensuite en carbonate de lithium, et ce malgré un coût de production plus élevé et davantage d'émissions de CO₂ que celui issu des salars. L'enjeu est de savoir si ces nouvelles productions seront bien au rendez-vous en 2015, de manière à satisfaire et équilibrer la forte demande attendue associée à la montée en production des véhicules hybrides et électriques. Comme pour les aimants permanents, l'enjeu est de taille.

Pour ces métaux, comme pour tous les autres métaux critiques, bien des voies sont invoquées pour résoudre les défis de sécurisation des approvisionnements ; la première d'entre elles est le recyclage.

Recyclage et substitution

Recyclage

Sous le terme « recyclage », nous considérons la thématique 3R (recyclage, réutilisation, économie d'usage). Les filières de recyclage pour des métaux comme le plomb, le cuivre, le fer ou l'aluminium, qu'elles soient alimentées par des scraps neufs (déchets d'usage) ou vieux (équipements en fin de vie) sont bien établies, mais elles ne peuvent servir de modèles pour nombre de métaux rares.

Pour ces métaux, jusqu'à présent le recyclage porte le plus souvent sur le recyclage des chutes neuves de fabrication. Le recyclage des métaux rares contenus dans les produits en fin de vie se limite à ceux ayant une très forte valeur comme les métaux précieux (or, argent, platine, palladium) et le cobalt. Pour ces produits en fin de vie, la durée de vie des équipements conditionne la disponibilité de vieux scraps. Ainsi, le néodyme des aimants permanents est immobilisé pour 3 à 5 ans dans les disques durs des ordinateurs. Il ne sera récupérable qu'après 10 ans pour les aimants permanents des moteurs électriques de nouvelle génération et plus de 20 ans pour les aimants des éoliennes *offshore*. En d'autres termes, un gisement de néodyme secondaire, à la fois significatif et alimenté par un flux annuel conséquent, ne sera pas constitué au plus tôt avant 15 ans.

Au-delà du seul néodyme, encore faut-il que la filière de recyclage des vieux scraps soit techniquement et économiquement viable. Chaque substance et chaque type de scrap impose souvent la mise au point de procédés spécifiques et les risques liés au lancement d'une filière de recyclage peuvent nécessiter une R&D avec financement

public, comme en témoigne le programme Valoplus de l'ANR qui concerne, entre autres, Rhodia et le BRGM et porte sur le recyclage des terres rares (yttrium, terbium, et europium) utilisées sous forme de poudres comme luminophores dans les lampes à économie d'énergie.

Les scraps neufs étant les seuls disponibles à très court terme pour le recyclage, il peut être intéressant pour un industriel, si les chutes métalliques de fabrication sont abondantes, d'organiser leur tri pour les faire recycler en boucle fermée via un *tooling* (c'est le cas des fabricants de dalles de téléviseurs où l'indium est récupéré directement sous forme de l'alliage ITO).

Ainsi, non seulement la constitution d'un gisement secondaire significatif de métaux rares prend du temps, mais les filières de recyclage dédiées sont soumises à des contraintes multiples liées aux fortes variations de prix, aux substitutions (exemple de la filière batterie), à l'exode des scraps, et aux contraintes environnementales (recyclage propre et gestion des réglementations européennes sur les DEEE¹⁴ : RoHS et REACH¹⁵).

Essentiel d'un point de vue environnemental¹⁶, le recyclage est complexe et ne pourra représenter, du point de vue quantitatif, qu'un appoint, variable selon le métal, pour la satisfaction de la demande et la sécurisation indispensable des approvisionnements pour les années à venir.

Réductions d'usage

Celles-ci sont le fruit des innovations incrémentales, comme en témoignent, par exemple, les poudres dont l'augmentation régulière de capacitance conduit à une diminution, également régulière, de la taille des condensateurs. La considérable augmentation de la production mondiale de téléphones et d'ordinateurs portables est ainsi compensée par la diminution des quantités de tantale par unité produite.

Substitution

La substitution d'un métal ou d'un alliage par un autre n'est pas seulement dictée par le prix de la matière première. Le choix d'un métal, ou le plus souvent d'un alliage sophistiqué issu d'un laboratoire nécessite des adaptations lors du passage à l'échelon industriel, car il peut être d'usage restreint (avec des métaux lourds), altérer la qualité finale, présenter des difficultés d'assemblage avec les autres matériaux, ou des risques d'approvisionnement (terres rares, etc.). De plus, le choix des métaux est encore réduit par la prise en compte des contraintes environnementales et sociétales à travers des réglementations contraignantes. Elles obligent non seulement à substituer les matériaux dangereux par d'autres consi-

dérés comme sans danger, mais aussi à évaluer les conséquences positives ou négatives de ces substitutions.

Le Japon se propose de réduire d'un tiers sa consommation de terres rares, estimée à 30 000 t par an, soit la quasi-totalité du quota d'exportation de la Chine pour 2010. Dans ce cadre, les sociétés japonaises dont Hitachi Metals et Asahi Glass vont investir 1,3 milliards d'USD en R&D d'ici à mars 2012, avec une aide gouvernementale très substantielle.

Les substitutions peuvent aussi impacter une filière recyclage. C'est le cas par exemple des batteries Ni-Hydrure Métallique, où des unités de traitement, à peine constituées, sont déjà fragilisées par le développement des batteries Li-ion, où le lithium n'est jusqu'ici pas recyclé (Fig. 3).

Vu les limites de l'approvisionnement à partir des filières de recyclage, le recours à des ressources primaires, c'est-à-dire des ressources minières, s'avère donc absolument indispensable mais fait surgir deux ensembles de défis.

Les deux défis majeurs du recours aux ressources minières

Dans l'optique de la sécurisation des approvisionnements, on identifie deux enjeux : à l'amont, le défi de sécurisation de la filière minière et à l'aval celui de la maîtrise de la filière métallurgique incluant l'élaboration des semi-produits.

Sécurisation de la filière minière

La *première voie*, celle de la *prospection*, impose des délais longs, difficilement compatibles avec les perspectives de crises identifiées pour les trois métaux considérés précédemment. En effet, de tels projets lancés aujourd'hui ne permettraient pas d'alimenter le marché

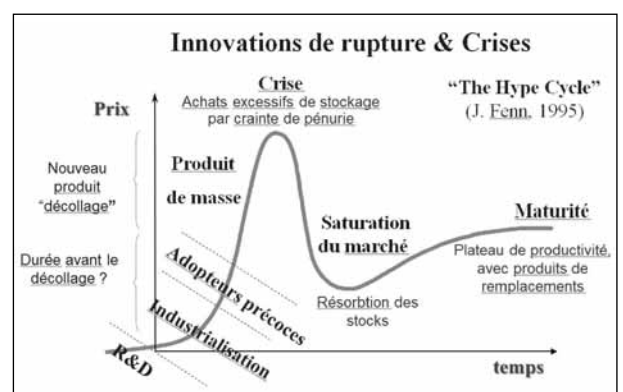


Figure 3. Chaîne de substitution dans les batteries et contraintes d'une filière de recyclage.

14. Déchets d'équipements électroniques et électroniques.

15. Directives RoHS "Restrictions on Hazardous Substances" et REACH "Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals".

16. Le recyclage non seulement recycle le gisement domestique de « matières secondaires », mais permet de réaliser de substantiels gains d'énergie par rapport à la ressource primaire.

en produits semi-finis avant au minimum 10 à 15 ans, en admettant que ces prospections conduisent à la découverte de gisements économiquement exploitables. L'idée de relancer des prospections sur le territoire national se heurte de plus à des obstacles administratifs, environnementaux et sociaux qui retarderaient encore plus ou même inhiberaient le projet.

Par ailleurs, l'anticipation d'une offre minière tendue et d'une hausse des prix de certains métaux critiques, terres rares et lithium surtout, a déjà provoqué un rapide afflux de nombreuses petites sociétés d'exploration (« juniors ») en quête de nouveaux gisements de ces différents métaux, partout dans le monde où la géologie était favorable. Très rapidement, on s'est d'ailleurs aperçu que les gisements de lithium, tantale, terres rares ne manquaient finalement pas. Pas moins de 165 sociétés travaillent actuellement sur 251 projets dans le monde. Les restrictions d'exportation de la Chine apparaissent donc comme une opportunité pour les sociétés junior, extrêmement réactives.

En outre, certains projets sont localisés dans des pays considérés comme à risques géopolitiques et de gouvernance élevés (cf. Transparency International, Fraser Institute) de sorte que la diversification géographique des sources d'approvisionnement doit être pondérée (lithium de Bolivie et d'Afghanistan, platine du Zimbabwe, etc.)

Par ailleurs, pour différentes raisons, les grandes sociétés minières (« majors ») sont systématiquement absentes de l'exploitation des gisements de métaux rares en tant que produits principaux. La principale raison est qu'une exploitation minière de ces métaux rares représente un chiffre d'affaires trop faible. Les sociétés minières qui exploitent des métaux rares en production primaire sont donc des sociétés moyennes (« mid-size ») qui exploitent un gisement de classe mondiale, c'est-à-dire de qualité exceptionnelle tant par sa taille que par sa teneur, ce qui permet d'asseoir un contrôle *de facto* sur les productions et la formation des prix. C'est tout particulièrement le cas du niobium, du lithium, de l'antimoine et des terres rares.

En résumé, chercher et trouver des gisements de métaux rares est certes nécessaire mais représente une solution de long terme, alors que les défis identifiés pour certains métaux critiques sont d'abord à court terme.

La **deuxième voie** est celle du **contrat d'achat à long terme** de produits miniers avec, en particulier pour les métaux rares, le contrat *off-take*, qui permet de s'assurer la production future de la mine (par un enlèvement des produits miniers) en contribuant de manière précoce au financement de la construction de la mine. Cette option

s'applique aux projets miniers avancés d'une société junior disposant d'une faisabilité positive, c'est à dire prêts à être mis en production et disposant d'un client pour acheter la production minière. C'est en effet l'aval manufacturier qui conditionne la viabilité économique des projets miniers de métaux rares. Il est donc impossible pour une junior d'ouvrir une mine sans avoir sécurisé préalablement un contrat d'achat à long terme avec un trader, un transformateur ou un industriel manufacturier. Ce financement a pour contrepartie un **droit à enlèvement** de tout ou partie de la production (stratégies « *off-take* » ou « *take or pay* »).

On peut considérer que le délai avant la mise en production est de l'ordre de 5 ans. C'est une voie efficace, mais elle nécessite une veille parfaite pour saisir les opportunités, une bonne réactivité et la disponibilité de capitaux. C'est la voie choisie par Rhodia qui a réalisé un *off-take* avec l'Australien Lynas, qui va ainsi pouvoir développer son gisement de Mount Weld. On peut aussi noter la récente acquisition par un consortium de sidérurgistes japonais de 10% de CBMM qui contrôle la production mondiale de niobium pour 1,3 milliard de \$, et le financement d'une nouvelle expansion de la production pour 700 M\$.

L'acquisition de gisement encore en terre (reconnu mais non encore exploité) est une voie qui permet aussi de raccourcir les délais. Des partenariats public-privé avec contribution de l'État au financement ou en garantie du financement existent en Corée du sud et au Japon.

Le contrat *off-take* est ainsi une solution intéressante pour la sécurisation et la diversification des sources d'approvisionnement, mais avec un objectif de moyen terme.

La **troisième voie** est celle de l'**acquisition de sociétés minières**. Une acquisition permet de contrôler une production déjà existante. Le problème majeur est qu'il y a peu ou pas de sociétés minières productrices disponibles à l'achat dans le secteur des métaux rares critiques. Cette voie est, à court terme, idéale, mais elle bute sur la rareté des cibles et leur prix d'acquisition.

Sécurisation de la filière aval (métallurgie et élaboration des semi-produits)

Ce serait une erreur de n'envisager l'approvisionnement d'une industrie qu'en terme de ressource primaire, car c'est toute la filière de la mine jusqu'au produit semi-fini qui doit être sécurisée. On arrive ainsi à la notion essentielle de **filière intégrée** de la mine aux produits, à l'instar du programme américain sur les terres rares intitulées « *mine to magnet* ».

L'exemple des terres rares est à cet égard parfaitement démonstratif. Rhodia, qui contrôle une production minière et effectue une première séparation en

Chine, réalise en France une purification avancée et l'élaboration de luminophores et de catalyseurs via des formulations complexes (« compounds»). La réduction régulière et rapide des quotas d'exportation de la Chine a poussé Rhodia à se tourner vers Lynas (voir plus haut). Mais si l'entreprise Rhodia a ainsi sécurisé *pro parte* ses approvisionnements, ce n'est pas le cas de la sécurisation pour la France et l'Europe de la filière aimant permanents à base de néodyme. Au-delà de la seule production minière, c'est donc l'ensemble de la filière, incluant impérativement l'aval métallurgique qu'il est également indispensable de sécuriser.

Stockages stratégiques

C'est bien évidemment un outil de sécurisation des approvisionnements. Mais si le concept est simple, les choix qu'il implique et leur mise en œuvre sont complexes et délicats. On peut distinguer deux types de stockages qui sont complémentaires : le stockage de précaution pour parer à des interruptions temporaires (stock de soutien aux industries en cas de prix excessifs), et le stockage stratégique pour faire face à une rupture durable des approvisionnements.

Les questions qui se posent sont multiples :

- Stock de soutien ou stock stratégique ?
- Quels métaux stocker ?
- Sous quelle forme ? (produits intermédiaires, métal, autres « compounds ») ?
- En quelle quantité ? (en mois de consommation) ?
- Avec quel financement ?
- Et surtout, avec quelle gestion dynamique ?

Le tableau 2 illustre les choix de stockage stratégiques opérés par certains pays.

En France, un dispositif de stockage de précaution des matières minérales stratégiques a été créé en 1974. La Caisse Française des Matières Premières a été dissoute par le décret du 26 décembre 1996, au profit d'un recentrage des activités de l'Observatoire des matières premières (OMP) autour de la surveillance et de la sécurité d'approvisionnement. Aux États-Unis, la liquida-

tion totale progressive du stock stratégique gérée par le « *Defense Logistics Agency - Defense National Stockpile Center* » (DLA-SNSC) a été interrompue en 2008, et un nouveau programme de sécurité des matériaux stratégiques a été proposé.

On peut aussi imaginer un stockage alimenté en priorité par les productions domestiques, tout particulièrement par le recyclage. Ce stockage se ferait sur la base d'achat, à des prix planchers garantis sur une longue durée, de certains produits issus du recyclage. Avec comme objectif d'inciter à la création de filières de recyclage à haut risque.

Au niveau des industriels consommateurs, le stockage est mal perçu, surtout en période où les liquidités sont précieuses. La gestion en flux tendus a évidemment comme corollaire que les acheteurs de ces entreprises procèdent à des achats compulsifs en cas de tensions sur une substance critique lorsqu'ils auront une crainte de pénurie. La gestion des stocks est trop souvent comptable, avec leur liquidation systématique en fin d'année pour améliorer l'esthétique du bilan. Il peut être utile de réaliser un tableau de bord pour mesurer et contrôler la performance des achats, en suivant les quantités et l'écart de valorisation des stocks

Conclusion

La **sécurité d'approvisionnement** en métaux critiques relève de trois grandes voies :

- **Le recyclage s.l.** : part très variable selon le métal critique ; impact à moyen et long termes.
- **La ressource minière** : effets à long terme de l'exploration minière au regard de défis à court terme ; contrats *off-take*, moyen le plus accessible à moyen terme ; acquisition, moyen le plus court pour assurer un approvisionnement, mais processus limité et coûteux.
- **Les stocks stratégiques** : effets positifs à très court terme ; gestion dynamique délicate.

Ces solutions sont complémentaires en s'inscrivant chacune avec un pas de temps différent. Pour les trois métaux critiques visés, c'est l'importance des délais de mise en place des outils de la sécurisation qui est cruciale, car plusieurs crises potentielles sont déjà bien

Pays	Objectif de consommation	Achats 2009					
		Co	Ferro-vanadium	Mo	In	Ga	Li
Japon (Jogmec)	42 j	130 t	131 t (V contenu)	60 t (Mo contenu)	1 t (pour total de 60-80 t)		0,5 t
Corée du Sud (PPS ¹⁷)	Passage de 40 j à 60 en 2012		200 t		5 t de Korea Zinc		80 t
Chine (SRB ¹⁸)	Soutien producteurs affectés par crise				30 t de Huludao Zinc		

Tableau 2. Stockages stratégiques opérés par certains pays à fin 2010.

17. Public Procurement Service.

18. Strategic Reserve Bureau.

GÉNÉRALITÉS

identifiées à court terme.

L'**anticipation** va faire la différence dans un monde industriel en concurrence vis-à-vis des métaux critiques (Fig. 5). Elle implique un système de veille amont sur les ressources primaires, en prise directe avec les projets et les acteurs, et un système de veille aval sur les applications : nouveaux usages, recyclage/substitution.

Une telle stratégie est indispensable pour raccourcir les délais et saisir les opportunités.

Enfin, pour être **efficace**, une politique de sécurisation des besoins industriels et de réduction des vulnérabilités doit être réactive, avec décision décentralisée, disposer de moyens financiers importants (de l'ordre de la centaine de million à plusieurs milliards de USD selon les choix effectués) et rapidement mobilisables, et accepter la prise de risque.

Ces réflexions sur la sécurisation des approvisionnements en métaux rares « critiques » sont présentées avec une logique globale et dynamique. Elles nous

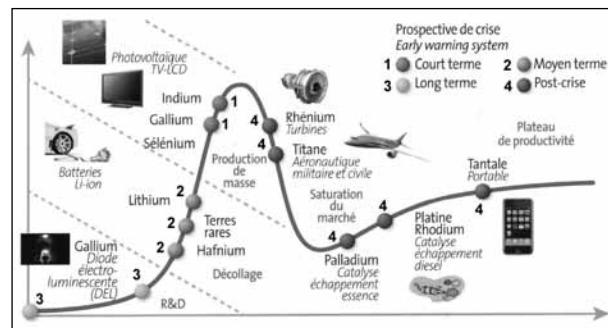


Figure 5. Principales technologies innovantes et métaux rares associés (C. Hocquard, BRGM) Pour chaque substance, un baromètre, dont le curseur se déplace sur différents niveaux d'intensité de crise, correspond à un système avancé d'alerte de type « early warnings ».

paraissent applicables tant au niveau national que supranational, et s'inscrivent dans le cadre des réflexions déjà engagées tant en France qu'au niveau européen.

Un pays qui aura sécurisé ses approvisionnements aura acquis un avantage compétitif vis à vis de ceux qui ne l'auront pas anticipé.