Zeitschrift: Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales

Herausgeber: Société d'Etudes Economiques et Sociales

Band: 71 (2013)

Heft: 3

Artikel: Approvisionnement en matières premières non énergétiques : les cas de la France

Autor: Vidal, Olivier / Goffé, Bruno / Arndt, Nicholas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-390956

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

APPROVISIONNEMENT EN MATIÈRES PREMIÈRES NON ÉNERGÉTIQUES: LE CAS DE LA FRANCE

OLIVIER VIDAL
ISTerre, Université Grenoble
olivier.vidal@ujf-grenoble.fr

BRUNO GOFFÉ
Europôle Méditerranéen de l'Arbois

NICHOLAS ARNDT
ISTerre, Université Grenoble

> Le regain d'intérêt pour les questions relatives aux matières premières il y a une décennie (après une parenthèse de vingt à trente ans) est du à l'explosion de la demande en métaux de base de la part des pays émergents, mais aussi à la demande de minéraux et de métaux utilisés, comme les terres rares (TR), dans les nouvelles technologies. Dans le second cas, la question est davantage une question de diversité que de quantité, cela jouant sur la question du coût d'exploitation notamment. Ceci posé, les auteurs examinent les atouts de la France et ses faiblesses, celles-ci semblant ressortir d'un manque d'une stratégie claire. Les auteurs tracent les contours d'une gestion et d'un approvisionnement sécurisé en métaux stratégiques.

Mots-clés: terres rares (TR), approvisionnement sécurisé, atouts et faiblesse, stratégie.

INTRODUCTION

Les grandes évolutions industrielles ont toujours été fondées sur la disponibilité d'énergie et de minerais: le charbon et le fer au 19e siècle, le pétrole, l'aluminium, le cuivre au 20e siècle, l'energie «vert», le silicium et les métaux de haute technologie au 21e. Le siècle dernier a été marqué par une augmentation de la consommation en matières premières énergétiques fossiles et en minerais, dont les minerais métalliques pendant la période après-guerre jusqu'à la fin des années 90. Cependant, le prix des métaux de base pendant la même période a diminué, car l'augmentation de la demande a été compensée par une augmentation de la productivité des industries minières et une délocalisation de la production hors des pays à fort PIB. Pendant cette période faste où l'accès à des gisements de grande ampleur et de forte concentration était facile, où les contraintes environnementales étaient plus lâches et le prix des hydrocarbures relativement bas, les politiques publiques de la plupart des pays occidentaux ont été marquées par un désintérêt vis à vis des enjeux liés aux ressources minérales. Ce désintérêt, exprimé notamment par la fin de l'Inventaire Minier National français en 1992, aura eu pour conséquence de placer l'Union Européenne dans une situation de

grande dépendance aux importations de ressources minérales. En France, les 80 mines de Fer encore en activité après-guerre en Meurthe-et-Moselle et dans la Meuse ont été fermées, dont plus de la moitié pendant les années 70-80, et la totalité des grands bassins houillers ont également cessé leur activité. Le désintérêt pour les questions relatives aux matières premières a été également marqué par une diminution du soutien à la recherche publique dans les domaines miniers mais aussi de la métallurgie, et une perte de savoir-faire et de compétences sur ces sujets dans tous les organismes publics de recherche et de formation Français. La mission du BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) a évolué vers les problèmes environnementaux, les Ecoles des mines ne forment plus de mineurs, et les formations universitaires en géologie économique ont disparu.

Le regain d'intérêt pour les ressources minérales est apparu au cours des dix dernières années, qui ont été marquées par une explosion de la demande en métaux de base de la part des pays émergents pour bâtir leur infrastructure, et en métaux rares utilisés dans les nouvelles technologies en plein essor dans les pays développés. Actuellement, la demande en métaux au niveau mondial croit d'environ 5% par an. Cela veut dire que d'ici 2040, autant de métaux devront être produits que depuis le début de l'humanité. Il s'agit là d'un défi considérable posé à l'humanité, qui n'est pas seulement un problème d'accès à la ressource primaire et des enjeux géopolitiques associés, mais également d'impact environnemental lié à l'extraction et à la disponibilité d'énergie nécessaire à cette extraction. Ces cinq dernières années, les pays à fort PIB dont l'industrie est orientée vers les technologies de télécommunication et de l'information, l'électronique et l'informatique, le transport et les énergies vertes ont semble-t-il soudainement réalisés que la myriade de métaux rares qu'ils importaient provenait de sources limitées. Dans ce contexte, les stratégies développées pour assurer un approvisionnement sécurisé de métaux en France reposent sur un renforcement des liens avec les pays producteurs, une diversification des sources et l'optimisation de la gestion des ressources sur tout leur cycle de vie. Un effort de recherche pour substituer les métaux rares et pour inventorier les ressources domestiques est également mené.

1. UN MONDE DE (PETITS) MÉTAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES

Les technologies émergentes impactent la demande mondiale de minéraux et de métaux comme ce fut le cas du tantale pendant les années 1990, lors du développement de la téléphonie mobile. Tout autant que la quantité, c'est la diversité des éléments utilisés par les nouvelles technologies qui augmente: une petite dizaine d'éléments du tableau périodique étaient utilisés dans les années 1980, on en a rajouté une cinquantaine depuis. Des éléments assez rares et produits en quantité homéopathique il y a quelques années comme béryllium, bismuth, cobalt, gallium, germanium, lithium, molybdène, platinoïdes, rhénium, sélénium, tellureet évidement terres rares (TR dans la suite du texte), sont maintenant utilisés dans les voitures électriques ou hybrides, les piles à combustible, les trains à grande vitesse, les avions, les panneaux solaires, les éoliennes, les catalyseurs, les lasers, et tous les appareils électroniques. Ces éléments ont également des applications stratégiques dans le domaine de la défense ou dans les infrastructures technologies de l'information. Au-delà de leur rareté, beaucoup de ces éléments sont des sous-produits de métaux «majeurs» tels que le cuivre, le zinc et l'aluminium, et leur disponibilité est déterminée par la disponibilité des «majeurs» ainsi que de la technologie capable d'isoler ces métaux des minerais de majeurs.

La raison de la diversification de l'utilisation des métaux réside dans leurs propriétés physicochimiques élémentaires et, ou en alliage avec d'autres métaux. Ainsi, par exemple, les terres rares alliées à des métaux de transition augmentent considérablement les performances magnétiques des aimants. Les aimants permanents à néodyme-fer-bore dopés au dysprosium ou terbium, en sont un exemple.
Ces performances accrues permettent d'envisager de nouvelles applications qui sont à l'origine de fortes innovations industrielles. Dans certains cas, ces innovations peuvent être considérées comme un superflu, comme pour leur usage dans les aimants des moteurs électriques des lève-vitres de voiture, mais dans d'autres applications, elles sont essentielles et mettent en jeu le système lui-même. C'est le cas du secteur des technologies de l'énergie renouvelable. Le besoin impérieux de notre transition énergétique vers les énergies renouvelables est indiscutable, mais cela ne sera possible qu'avec des technologies à fort rendement, et qui produiront de l'électricité à un prix concurrentiel par rapport à celle produite en utilisant les énergies fossiles. La technologie des panneaux photovoltaïques basée sur le silicium ne permet pas de réduire ce coût, et certains industriels, dont Saint-Gobain en France, s'orientent par exemple vers des modules à cuivre, indium, gallium, sélénium à meilleur rendement. Une éolienne de 3,5 MW contient en moyenne 600 kg de néodyme et 90 kg de dysprosium dans les aimants du générateur électrique. Or l'indium comme le néodyme et le dysprosium sont encore produits majoritairement en Chine. Dans les deux cas, la dépendance des industries utilisatrices à un seul producteur est préoccupante. Le rapport entre le risque de difficulté d'approvisionnement et l'importance de l'élément considéré pour les industries d'un pays donné permet de définir un critère de criticité. Un élément critique est donc un élément souvent rare et avec une production restreinte à un nombre limité de sources, mais nécessaire pour certaines applications industrielles. Un élément stratégique est quant à lui nécessaire dans le secteur de la défense.

2. DES MONOPOLES DE PRODUCTION

Au cours des décennies passées et jusqu'au début des années 2000, la logique de dérégulation des marchés et de l'ouverture à la concurrence était censée favoriser les conditions nécessaires à l'approvisionnement en réponse à une demande croissante en matières premières au niveau mondial. A ce jeu, et souvent de par l'absence de contraintes globales sur les impacts environnementaux et humains liés à l'exploitations des ressources, certains pays ont obtenu une position de quasi monopole de production. C'est le cas de la Chine pour les TR et d'autres éléments critiques comme les antimoine, gallium, fluorine, germanium, graphite, indium ou tungstène. C'est aussi également le cas de l'Afrique du Sud (platinoïdes), de la République Démocratique du Congo (cobalt, tantale), du Brésil pour le niobium, et des Etats-Unis pour le béryllium.
Le cas des TR est emblématique. Contrairement à ce que leur nom peut laisser penser, les Terres Rares ne sont pas rares, les réserves mondiales étant estimées à 90 millions de tonnes pour une consommation annuelle de 200 mille tonnes à l'horizon 2014, et elles sont assez bien réparties dans le monde. Avant 1965, les TR étaient extraites en Afrique du Sud, Brésil, Inde (10Mt/an), puis de 1965 à 1985, aux USA (50Mt/an). A partir de 1985 avec une production supérieure à 100Mt/an c'est la Chine qui en prend le monopole de production à plus de 95 %, alors que ses réserves sont estimées à 35%. La principale raison est d'ordre

économique: le gisement de TR de Bayan Obo a été exploité initialement pour le fer, les TR ont été un bonus avec un coût d'extraction du minerai gratuit. D'autres raisons sont d'ordre environnemental et social: les techniques d'exploitation utilisées n'ont, pendant longtemps, pas pris en compte les coûts sociaux, sanitaires et environnementaux de l'extraction. Ces techniques, bon marché et ne nécessitant pas investissements lourds ont été extrêmement polluantes et elles ne seraient pas envisageables dans les pays développés. La pollution est aggravée par l'abondance des actinides (thorium, l'uranium et le radium) qui sont naturellement associés aux TR. Ces éléments, non traités, se retrouvent dans les déchets miniers, les eaux et l'environnement. Les déchets miniers s'apparentent aux déchets radioactifs qui dans les pays occidentaux sont soumis à une réglementation contraignante dont le respect augmente les coûts d'extraction. C'est une des raisons qui ont poussé ces pays à limiter leur production.

Par ailleurs, la Chine, comme le Japon et la Corée du sud, a une réelle stratégie minière, avec le développement de grands projets industriels que l'Europe pratique peu. Sa prise de participation dans les mines «hors Chine» a d'ailleurs explosé ces dernières années. Comme le Japon et la Corée, elle anticipe ainsi ses besoins à venir, qui s'accroissent avec son développement, notamment dans le domaine des technologies de l'énergie non carbonées. La Chine est à ce titre le premier marché utilisant les TR, avant le Japon, et elle pourrait rapidement devenir un importateur de TR. Dès 2005, la Chine a annoncé que les conséquences environnementales de sa production devaient être traitées. En 2010, les Chinois ont annoncé que les problèmes environnementaux étaient tels qu'ils diminuaient leurs production et exportations. On imagine aisément que d'autres raisons stratégiques et politiques ont également motivé cette décision. Mais quelles qu'en soient les causes, cette diminution d'exportations a été un signal d'alarme et en quelques années, des centaines de projets miniers de TR ont vu le jour hors Chine. Tous n'iront pas à terme car la forte volatilité des prix rend l'investissement risqué, mais cela confirme que les TR (au moins les légères) ne sont pas rares et que les monopoles de production ne sont pas une fatalité géologique, et les sources d'approvisionnement mondiales devraient se diversifier fortement dans les cinq prochaines années.

3. VERS UNE MEILLEURE GESTION ET UN APPROVISIONNEMENT SÉCURISÉ EN MÉTAUX: STRATÉGIES EUROPÉENNE ET FRANÇAISE

Une innovation industrielle découplée de la réalité des conditions d'approvisionnement en matières premières et d'énergie est vouée à l'échec. Ce concept simple a pourtant été oublié jusqu'au début des années 2000. L'explosion du prix des MP, les tensions géopolitiques, les crises énergétiques et environnementales, ont alors poussé les politiques et les industriels à adopter depuis une stratégie visant à sécuriser ces approvisionnements.

En Europe, la Commission Européenne a inscrit la problématique des matières premières non énergétiques à son agenda à travers l'initiative matière première (Décret, 2011) et pour le prochain programme cadre horizon 2020 dans le Partenariat pour l'innovation. En France, le comité pour les métaux stratégiques (COMES) (European Commission, 2008) créé en 2011 par le ministère chargé de l'industrie, réunit les acteurs concernés par la problématique des métaux stratégiques: Etat, organismes de recherche directement concernés (Ademe, BRGM) et industriels. Il s'agit d'un organe d'analyse et de dialogue ayant pour mission d'assister l'Etat dans l'élaboration et la mise en œuvre de la politique de gestion des

métaux stratégiques, en vue de renforcer la sécurité d'approvisionnement nécessaire à la compétitivité durable de l'économie française.

3.1. La stratégie française. Atouts et faiblesse

A l'heure actuelle, les seules ressources exploitées en France sont l'or de Guyane et le nickel de Nouvelle-Calédonie, et cette situation entraine une forte vulnérabilité aux aléas des marchés et à l'importation de matières premières et de composants. Les composants électroniques embarqués dans l'industrie automobile et l'électroménager, les semi-conducteurs AsGa (arséniure de gallium), InGaAs (arséniure de gallium indium) ou InAs (arséniure d'indium), sont produits en Asie puis envoyés en France pour assemblage. Tout problème d'approvisionnement peut entrainer un arrêt brutal de la production en métropole, comme cela fut le cas suite au tsunami au Japon en mars 2010. Il en va de même de l'approvisionnement en ressources minérales comme le titane ou certaines terres rares. Les Français ont été parmi les premiers à se préoccuper de la situation de monopole chinois concernant la production de métaux jugés aujourd'hui comme critiques, cas notamment des TR. Rhodia, en tant que chimiste français se préoccupant de son approvisionnement, a passé différents contrats avec des pays étrangers pour sécuriser l'approvisionnement et réduire sa dépendance aux exportations chinoises. Ces solutions permettent de sécuriser les approvisionnements à court terme, mais elles ne réduisent pas la dépendance à l'importation. Cela aurait pu être le cas si un opérateur français avait pu exploiter le gisement de TR découvert au Malawi par le BRGM il y à quelques années, ce qui n'a pas été le cas.

3.1.1. Ressources primaires

Le dernier inventaire minier français date des années 80, avec les technologies et les besoins de l'époque. Ces besoins ne concernaient pas les ressources en éléments pour les hautes technologies. On connaît donc assez mal nos ressources et encore moins nos réserves. Le constat est d'ailleurs identique dans le reste de l'Europe, où les exploitations importantes encore en activité sont rares et ne concernent que quelques métaux de base. Dans l'inventaire mondial des ressources en TR publié par l'USGS en 2007 ou la revue des ressources mondiales de Kanazawa et Kamitani en 2006 (Kanazawa et Kamitani, 2006), l'Europe n'y figurait pas, non pas par absence de TR sur son territoire, mais par absence de données. L'investissement au niveau européen dans l'exploitation correspond à 3% de l'investissement mondial (alors qu'elle en consomme 20%). Ce chiffre est identique pour la production relative. En France, le BRGM a été récemment chargé de mettre à jour l'inventaire minier, et la société Variscan, fondée en 2010 vient d'obtenir un titre minier d'exploration pour étudier des sites avec de bons potentiels en zinc, plomb, cuivre, or, tungstène, étain, ainsi que des métaux stratégiques associés comme l'indium ou le germanium. La société Variscan espère à terme créer une société d'exploitation minière de quelques centaines de personnes qui susciterait deux mille emplois induits. Mais elle a du attendre près de deux ans avant d'obtenir les autorisations administratives d'exploration. Cette lenteur administrative semble moins prégnante chez nos voisins européens. L'Allemagne, par exemple, a un projet d'exploitation d'un gisement de 38'000 tonnes de terres rares dans a région de Delitzsch. Mais c'est en-dehors de l'Europe que les Allemands et les Français cherchent à diversifier leurs approvisionnements face au monopole chinois. En alliance avec le chimiste français Rhodia, l'allemand Tantalus

pourrait devenir l'un des premiers fournisseurs mondiaux de ces métaux stratégiques grâce à un gisement découvert à Madagascar, qui pourrait «devenir l'un des plus grands hors de Chine». Les deux groupes ont annoncé en 2012 la signature d'une lettre d'intention réservant à Rhodia une exclusivité sur les métaux qui pourront être extraits de ce gisement situé dans la région d'Ampasindava, dans le nord-ouest de Madagascar. Rhodia a également engagé un partenariat avec l'australien Lynas auquel il apporte un soutien technologique pour la construction d'une unité d'extraction de terres rares en Malaisie actuellement opérationnelle.

Les difficultés françaises en matière d'exploitation à terre pourraient être compensées par un atout exceptionnel: ses territoires outre-mer, répartis dans presque tous les océans, et qui constituent un potentiel de ressources minérales considérable. Des pans entiers de ce territoire maritime sont encore inexplorés, et la France n'a pas encore établi une cartographie exhaustive de ses ressources dans sa ZEE (Zone d'Exclusion Economique: les 200 milles nautiques autour des côtes). Les pouvoirs publics ont décidé de notifier internationalement les limites maritimes qui ne l'auraient pas encore été. Depuis 2003, le programme EXTRAPLAC (EXTension RAisonnée du PLAteau Continental) coordonné par le secrétariat général de la Mer – associant l'IFREMER, le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine), l'IFP (Institut Français du Pétrole), l'Institut Paul-Emile Victor et plusieurs ministères – constitue les dossiers de demandes d'extension de souveraineté française et dépose les demandes auprès des Nations Unies. Si toutes les zones d'extension sollicitées lui étaient accordées, la superficie cumulée de la ZEE Française serait augmentée d'un million de km^2, la portant à 13 millions de km^2, ce qui en ferait le premier domaine sous-marin du monde. Dans le Pacifique, le programme d'exploration des ZEE françaises mené par l'IFREMER en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française a permis de mieux connaitre le potentiel de ces espaces maritimes. La ZEE autour de la Nouvelle Calédonie semble contenir des encroûtements ferro-manganésifères, cobaltifères parfois enrichis en argent et en or. La Polynésie offre également un potentiel pour les minéralisations d'encroûtements manganésifères enrichis en cobalt et en platine. Un seul site sur fond marin pourrait fournir jusqu'à 25 % des besoins mondiaux annuels de cobalt. Certaines minéralisations hydrothermales (sulfures hydrothermaux) sont concentrées en cuivre, zinc, argent, cobalt et plomb, mais aussi en métaux «critiques», dont le cadmium, le sélénium et le germanium. La France bénéficierait également dans les eaux internationales autour de Wallis et Futuna de réserves de terres rares. Plusieurs campagnes d'exploration ont été menées depuis 2010, qui ont associées différents acteurs français tels l'IFREMER, ERAMET, AREVA, TECHNIP, et le BRGM. A terme, il est envisagé de demander un titre minier, alors qu'actuellement seule une autorisation d'exploration préalable a été accordée.

La France a également acquis un permis d'exploration des grands fonds marins dans les eaux internationales au niveau de la ride medio-Atlantique au Nord des Açores. Les moyens alloués sont néanmoins limités par rapport aux sommes consacrées par la Chine et la Russie pour ces ressources stratégiques.

3.1.2. Recyclage et substitution

Pour beaucoup de pays développés comme la France, le recyclage et la substitution apparaissent être la solution pour pallier l'absence de ressources minière sur leur territoire.

Certains équipements en fin de vie comme les lampes basse consommation, écrans LCD, pots catalytiques, aimants de nouvelle génération, matériels électroniques et informatiques constituent un gisement important de métaux critiques potentiellement exploitable. Un effort considérable de recherche est fait pour résoudre les verrous qui bloquent les filières de recyclage. Les difficultés sont à la fois logistiques pour la récupération des déchets (création de filières et de comportement vertueux), techniques pour la séparation et la préparation des déchets (démontage ou broyage et séparation physique), analytiques pour la caractérisation chimique du contenu de ces déchets et enfin métallurgiques pour la séparation des métaux. Un exemple en est celui des lampes à basse consommation qui contiennent une poudre de TR. Jusqu'à présent, seul le verre était recyclé par absence de procédé de traitement. Depuis des technologies ont été mises au point, notamment par Rhodia, qui, en 2012, a démarré sur les sites de Saint-Fons et de La Rochelle une filière de récupération de TR issues des lampes à basse consommation. Rhodia et Umicore ont également développé une filière de recyclage des TR contenues dans les batteries rechargeables Ni-MH. Umicore sépare le nickel et le fer mélangés aux TR, et le concentré de TR est envoyé sur le site de La Rochelle pour être traité.

Pour autant, le recyclage des matières premières reste globalement insuffisant. Il est élevé (supérieur à 50%) pour les métaux de base, mais il reste proche de zéro pour les éléments des hautes technologies comme les TR ou le lithium. Le rapport du programme des Nations Unies pour l'environnement sur le recyclage des métaux paru en 2011[1] souligne d'ailleurs que «le passage à une économie verte suppose une progression spectaculaire des faibles taux actuels de recyclage des métaux». D'après cette étude, moins d'un tiers des quelque 60 métaux étudiés ont un taux de recyclage en fin de vie supérieur à 50 % et 34 éléments, dont beaucoup jouent un rôle crucial dans les technologies propres, comme les batteries de voitures hybrides ou les aimants d'éoliennes, ont un taux inférieur à 1 %. Les auteurs de ce rapport estiment que «malgré des efforts importants dans un certain nombre de pays et de régions, les taux de recyclage de métaux restent désespérément faibles et la «société du recyclage» ne semble qu'un lointain espoir». En outre, le recyclage ne peut remplacer totalement le besoin en matière première primaire dans une économie basée sur la croissance. Ainsi, pour maintenir durant les 17 prochaines années le taux de croissance de 6%/an de consommation de TR observé depuis 10 ans, il faudrait multiplier par deux la production de terre rare d'origine primaire si le taux de recyclage dépassait 90%. Avec le taux actuel de 1%, il faudrait le quadrupler.

La substitution d'un élément rare ou cher par un plus abondant ou moins cher est un défi permanent de la recherche et de l'industrie. C'est une démarche très dépendante des technologies et des comportements qui peuvent changer rapidement. Un des exemples des plus frappants est celui du japon qui a su rapidement substituer, lors de la crise avec la Chine, des terres rares des batteries Li-ions par d'autres éléments plus courants. Un autre exemple est celui du remplacement de l'acier trop cher par le béton dans les tours d'éoliennes. Ces substitutions peuvent se faire rapidement mais elles risquent, comme dans le second cas, de propager les contraintes de coûts ou environnementales sur les autres matières premières, avec d'autres conséquences comme les émissions de CO2 auxquelles il faudra remédier.

---

1 http://www.unep.org/resourcepanel/metals_recycling

4. VERS UNE VISION LONG-TERME: RÔLE DE LA RECHERCHE

Les enjeux liés aux matières premières (MP dans la suite du texte) touchent nos industries, notre qualité de vie, la défense et ils conditionnent l'extension du passage aux énergies renouvelables. Dans le domaine des énergies marines renouvelables, les industries françaises sont en pointe avec ALSTOM qui est le premier fournisseur mondial d'équipements et de services hydroélectriques, AREVA Wind, EDF Energies Nouvelles ou encore DCNS avec son implication dans les hydroliennes, les houlomotrices, et l'énergie thermique des océans. Les industriels sont unanimes sur le rôle et le besoin de recherche. Cela dit, les mêmes industriels affirment également que l'industrie a une capacité réduite à mener cette recherche pour des raisons de coût, et ils sollicitent des subventions publiques. Mais comment mobiliser l'argent public en diminution pour des thèmes industriels, et surtout, comment mobiliser une communauté scientifique qui est largement maintenue en dehors du débat? En effet, les discussions sur les MP au niveau Français se font principalement au travers du ministère de l'industrie, qui est également en charge du COMES. Au niveau Européen, c'est la DG Industry qui est en charge des problèmes liés aux MP. Dans les deux cas, la vision des enjeux est celle des industriels, et la vision à long-terme de la recherche académique est peu présente. Alors que le COMES a été créé en 2011, la recherche française sur les questions de matières premières reste restreinte à l'innovation technologique de court terme, à l'analyse de dépendance des industries françaises, ou à des activités d'évaluation des ressources à travers le BRGM et l'Ifremer. Il n'existe toujours pas de programme de recherche ambitieux et fédérateur profitant du potentiel existant des chercheurs académiques, qui restent de fait très peu mobilisés sur ces questions. Ce manque apparent d'ambition est surprenant au regard des politiques actives de soutien de la recherche dans nos pays voisins, en particulier en Allemagne, Finlande, Suède et Grande Bretagne. Le ministère de la recherche allemand a ainsi mis en place un programme intégré de 200M€ sur 5 ans sur les matières premières. Cinq Etats européens se sont engagés en 2013 à financer un appel à projet commun organisé par ERA-MIN[2], un réseau (eranet) de la commission européenne visant à contribuer à la coordination européenne de la recherche publique sur les matières premières (voir ci-dessous). Bien qu'ERA-MIN soit piloté par un organisme de recherche fondamentale français, le CNRS, la France n'a pas participé au financement de son appel à projet commun, par refus de son Agence Nationale de la Recherche (ANR). Les autres faiblesses françaises sont la dispersion des acteurs de la recherche, le manque de lien entre recherche et formation, ainsi que la faiblesse des relations entre industrie et recherche publique. Elles devront être surmontées si la France veut réduire sa dépendance à l'importation des matières premières et être compétitive, y compris au sein de l'UE.

Pour autant, la recherche publique française, même si elle a été jusqu'à présent très peu sollicitée, s'est emparée du sujet «matières premières». La prospective de l'INSU du CNRS en 2008 mentionnait les besoins d'une recherche sur les matières premières primaires et les enjeux environnementaux associés à l'exploitation. L'alliance ANCRE, chargée des questions de l'énergie souligne également les besoins de recherche sur le cycle des matières premières. Le CNRS, organisme de recherche fondamentale, est le coordinateur du premier réseau européen (eranet) en charge de la mise en place de projets de recherche Européens

---

2 http://www.era-min-eu.org/

financés par l'argent public sur tout le cycle de vie des MP. Ce réseau, appelé ERA-MIN, a également organisé la réflexion des enjeux technologiques et scientifiques qui devraient faire l'objet d'une recherche spécifique pour les 15 prochaines années, et il a produit une feuille de route. Dans chacun des cas, la nécessité d'une recherche coordonnée sur les trois grands axes suivants est mise en avant: i) L'accès à la ressource primaire, ii) l'utilisation de la ressource secondaire issue du recyclage des métaux après leur usage ou perdus lors des procédés de fabrication, et iii) les questions transverses de la connaissance des réserves et des flux et des besoins en matières qui doivent être réévalués en fonction de l'évolution des technologies et de la société, la substitution d'un métal rare par un autre plus abondant et la réduction des quantités de matière grâce à de nouveaux procédés plus efficients, tels que les nano-technologies ou les technologies bio- et géo-mimétiques. L'observation, la mesure et la réduction des impacts environnementaux sont aussi au cœur de ces questions. En particulier, si une exploration des territoires marins et continentaux apparait indispensable, l'exploitation et le traitement de la matière première ne pourront s'y faire que si la maitrise des impacts environnementaux et sociétaux aux niveaux exigés par leur population y est acquise. C'est une des raisons pour laquelle la recherche sur les enjeux liés aux matières premières doit impliquer une communauté large et diversifiée de géologues, d'ingénieurs, de biologistes, mathématiciens, chimistes, mais aussi de sociologues, d'économistes et de juristes, et ne doit pas être exclusivement focalisée sur le progrès technologique. Il reste encore beaucoup d'efforts à faire pour (re)constituer une véritable communauté de recherche autour de la thématique des ressources minérales, en France et plus largement en Europe. Il reste également des efforts à faire pour donner les moyens à cette communauté de s'exprimer et de travailler. Cette nécessité commence à être soutenue par des actions concrètes au sein des organismes de recherche français, mais la dynamique engagée doit s'accentuer pour être à la mesure des enjeux.

4.1. Métaux et énergie, même combat

La France a déjà connue une crise des matières premières au XVIIeme et XVIIIeme siècles, quand la demande croissante en bois de l'industrie navale et de l'industrie verrière ont créé une pénurie. L'augmentation du prix du bois et les difficultés d'approvisionnement n'ont pourtant pas été à l'origine d'un déclin économique ni d'une baisse de développement technologique, car la crise du bois a été surmontée grâce à l'utilisation d'énergie fossile, qui a permis d'extraire plus de métaux et d'entrer dans l'ère industrielle. Cette mutation a été suivie par la substitution du travail humain par celui de la machine dans les pays développés. Le défi auquel l'humanité est confrontée aujourd'hui est similaire: comment passer de l'énergie fossile à l'énergie renouvelable, qui permettra un nouveau développement de nos sociétés tout en préservant notre qualité de vie?

L'industrie minière et la métallurgie sont de très grandes consommatrices d'énergie: 22% de l'énergie totale consommée en 2009 par l'industrie mondiale, selon les données d'International Energy Outlook (US Department of Energy, 2010) ont été consommés par la production de fer et d'acier (15%), de minéraux industriels tels que le ciment, les phosphates et la potasse (6%) et de métaux non-ferreux (3%). Aujourd'hui, l'extraction et le raffinage des ressources métalliques demandent 8 à 10% de l'énergie primaire mondiale, et cette consommation d'énergie ne pourra qu'augmenter avec l'épuisement des gisements à forte

teneur et facilement accessibles. Or il n'existe à l'heure actuelle qu'un seul projet visant à utiliser une autre source d'énergie que le pétrole dans l'industrie minière: le producteur de matériaux semi-conducteurs Soitec qui participe à la construction du premier site pilote d'Amérique du sud de production d'énergie solaire pour l'exploitation d'une mine de cuivre au Chili qui entrera en fonction en 2013-2014. En absence de recherches actives sur cette question, la transition énergétique sera à l'origine d'une sur-consommation d'énergie fossile (pétrole, gaz, charbon) pour produire les métaux de base et high-tech utilisés dans les équipements producteurs et accumulateurs d'énergie renouvelable. De plus, une bonne partie de la production minière et métallurgique est destinée à la production de la vaste gamme de substances minérales utilisées pour la production de l'énergie, ou pour aider à réduire la consommation de carburant. Le problème de la ressource énergétique et celui des matières premières métalliques sont donc indissociables et doivent être abordés de manière globale.
La transition énergétique telle qu'elle est envisagée actuellement n'est pas seulement consommatrice de métaux high-tech, elle est aussi extrêmement gourmande en métaux de base. Un paradoxe des analyses de criticité actuelles est d'identifier les petits métaux comme les plus critiques, alors qu'ils dépendent de la technologie employée, et donc présentent un fort potentiel de substitution. A l'inverse, les métaux de base ne sont pas substituables. Les éoliennes de dernière génération utilisent des aimants permanents contenant plusieurs centaines de kg de TR (néodyme et dysprosium) qui sont tous deux des éléments critiques. Mais ces éléments ne sont pas absolument nécessaires pour faire fonctionner une éolienne. Il s'agit d'un choix technologique, qui présente certes de nombreux avantages, mais les éoliennes de génération antérieure utilisaient une technologie sans aimant permanent. A l'inverse, il n'existe à l'heure actuelle aucune solution de masse pour substituer l'acier des infrastructures de bâtiment ou les pieds d'éolienne, et pourtant le Fe n'est pas considéré comme un métal critique car il ne présente pas de risque d'approvisionnement actuellement. Les volumes à extraire sont pourtant colossaux et les coûts énergétiques et environnementaux de cette extraction de masse le sont également.
Une Analyse du Cycle de Vie menée par VESTAS (Frydental, 2006)[3] a indiqué que l'énergie cumulée de production (énergie grise) de ses éoliennes V90-3.0 MW était de 8'098'391 kWh (on-shore) et 4'304'221 kWh (off-shore), pour une production annuelle d'électricité de 14'230'000 kWh/an et 7'890'000 kWh/an, respectivement. D'après ces estimations, la balance énergétique serait atteinte en sept mois. D'autres études suggèrent que l'énergie grise est beaucoup plus importante (voir Crawford, 2009 et les références de cet article) et, ou que la balance serait atteinte sur des temps beaucoup plus longs. Le but ici n'est pas d'amener des éléments à la controverse, mais force est de constater qu'il est extrêmement difficile d'avoir une idée précise du coût environnemental et énergétique de la reconversion énergétique en l'état actuel des connaissances (cela est d'autant plus vrai qu'il n'existe aucune étude à ce jour qui prend en compte l'impact des métaux high-tech comme les TR). Or cette estimation est absolument nécessaire, car la technologie utilisée doit anticiper la raréfaction de toutes les matières premières: les métaux high-tech bien sûr, mais également les métaux de base *et* les ressources énergétiques. C'est à ces questions que doit répondre la recherche, en y associant les aspects environnementaux et sociaux du développement technologique.

---

[3] http://www.vestas.com/Files/Filer/EN/Sustainability/LCA/LCA_V90_june_2006.pdf

CONCLUSION

En réponse au risque de difficulté d'approvisionnement en métaux les plus critiques, les industriels et les décideurs cherchent à diversifier les sources et encouragent les recherches de nouveaux gisements (plus loin, plus profond, en mer). Des stratégies basées sur l'amélioration du recyclage et de l'efficacité de la ressource, de la substitution des éléments rares par de moins rares sont également développées. L'effort d'exploration est nécessaire, mais la découverte de nouvelles ressources ne doit pas soutenir le développement des technologies non efficaces. Le recyclage est nécessaire, mais les métaux de nos grosses infrastructures en cours de construction (bâtiments, éoliennes, ouvrages d'art, etc...) ne seront pas recyclables avant des dizaines d'années. En attendant, il est tout aussi important d'utiliser la bonne ressource et c'est cela qui qui doit être le moteur de l'innovation industrielle, pour éviter de développer les technologies les moins durables et les plus coûteuses d'un point de vue environnemental. L'intermède des hydrocarbures fossiles se terminera possiblement au cours de ce siècle, lorsqu'ils ne pourront plus être exploités de façon rentable, ou lorsque la deuxième loi de la thermodynamique s'imposera, c'est-à-dire quand les formes d'énergie compactes comme le charbon et le pétrole auront été converties en chaleur. Il faudra alors avoir produit les équipements qui permettront d'assurer l'utilisation d'énergie renouvelable, et d'actionner les machines nécessaires au maintien de ces installations, à l'extraction et au recyclage des métaux, qui seront toujours nécessaires pour préserver notre qualité de vie et notre environnement. Cela nécessite d'adopter de manière urgente une vision macroscopique du cycle des matières premières, qui doit intégrer la consommation des autres ressources (eau, énergie) nécessaires à leur production, ainsi que l'impact environnemental, incluant les émissions de gaz à effet de serre et la biodiversité. Cela nécessite également d'intégrer pleinement la société civile et le monde de la recherche aux choix industriels.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Crawford, R.H. (2009) Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 2653–2660

Décret n° 2011-100 du 24 janvier 2011 portant création du Comité pour les métaux stratégiques: http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=?cidTexte=JORFTEXT000023474859&dateTexte=&oldAction=rechJO&categorieLien=id

European Commission - 2008 - The raw materials initiative — meeting our critical needs for growth and jobs in Europe - COM(2008)699 http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:EN:PDF

Kanazawa, Y. and Kamitani, M. (2006) Rare earth minerals and resources in the world. Journal of Alloys and Compounds 408–412, 1339–1343

US Department of Energy, Edition 2010, http://www.iadb.org/intal/intalcdi/pe/2010/05499.pdf