

Métaux et terres rares à l'heure du développement durable. Enjeux et perspectives

B. Mérenne-Schoumaker,
Professeur invité à l'Université de Liège

La géographie s'est toujours intéressée aux ressources naturelles et aux matières premières, faisant de celles-ci un facteur de différenciation et de développement des territoires.

Mais ces ressources sont pour la plupart limitées, car non renouvelables ce qui conduit régulièrement à des pressions sur les marchés. C'est particulièrement le cas depuis les années 2000 avec la montée en puissance des économies des pays émergents. En peu de temps, beaucoup de ressources se sont ainsi retrouvées au cœur de nouveaux enjeux économiques, politiques, sociaux et environnementaux.

Dans le cadre de cet article, nous nous intéresserons plus spécifiquement aux métaux et plus encore aux terres rares qui sont depuis 2009-2010 au cœur de l'actualité.

Toutefois, au préalable, il convient de clarifier quelques termes.

Introduction : Terminologie

Les *ressources naturelles* sont les ressources minérales ou biologiques nécessaires à la vie de l'homme et à ses activités économiques ; on distingue les ressources non renouvelables (matières premières minérales et combustibles fossiles) et les ressources renouvelables (eau, sols, ressources biologiques comme les forêts, les pêcheries maritimes, les espèces animales et végétales).

Les *matières premières* correspondent pour leur part aux produits tirés du sol, du sous-sol ou de la mer, avant toute transformation ; il peut s'agir de produits agricoles, de minerais, de pétrole brut, de bois... Ce sont donc des produits issus des ressources naturelles.

Produits de base renvoient à l'article 56 de la Charte de La Havane de 1948 de la Conférence des Nations Unies pour le Commerce et le Développement (Cnuced) qui définit comme produit de base : « tout produit de l'agriculture, des forêts ou de la pêche, et de tout minéral, que ce produit soit sous sa forme naturelle ou qu'il ait subi la transformation qu'exige communément la vente en quantités importantes sur le marché international ». Le terme ne diffère guère de matières premières.

Commodités (de l'anglais *Commodities*) (P.-N. Giraud, 2003, p. 9) est un terme un peu différent : il est utilisé dans le monde de l'économie pour désigner des produits standardisés aux qualités parfaitement définies et connues des acheteurs ce qui facilite

les transactions. Entre les produits d'une même commodité, il n'y a donc pas de différenciation possible et la compétition entre producteurs ne passe que par les prix; en conséquence, il existe un prix de référence unique, en général mondial. Un produit devient ainsi une commodité quand a disparu par élaborations successives, toute différence qualitative issue de son origine naturelle. C'est le cas par exemple des métaux raffinés (pas les minerais), des produits pétroliers raffinés (pas le pétrole brut), des tourteaux de soja, du sucre raffiné...

Le terme *minerai* (du latin *minera* mine) est donné à toute roche contenant des minéraux utiles en proportion suffisamment intéressante pour justifier l'exploitation et nécessitant une transformation pour être utilisés par l'industrie. On distingue des minerais métalliques (comme le fer, le cuivre ou le plomb) et non métalliques (comme les phosphates ou les diamants).

Le *métal* est un corps conducteur de l'électricité et de la chaleur, en général malléable et ductile, et réfléchissant la lumière (éclat métallique). Au contact d'un acide, un métal donne un sel et au contact de l'oxygène, il donne un oxyde.

Parmi les métaux, on a pris l'habitude récemment de parler de *métaux rares*; il s'agit d'environ 60 métaux répondant aux 4 critères suivants :

- petites productions: quelques tonnes à 200 000 (par exemple, la production annuelle de rhénium est de 50 tonnes, celle du cobalt de 60 000 tonnes alors que celle du cuivre est de 20 millions de tonnes);
- ils ne sont pas extraits dans des mines spécialisées, car majoritairement ce sont des sous-produits de l'industrie minière et métallurgique (par exemple, le gallium est associé à la bauxite - minerai d'aluminium -, l'indium se trouve dans certaines mines de zinc, le molybdène dans le cuivre et le rhénium est un sous-produit du molybdène);
- ce sont des produits à valeur ajoutée élevée;
- leur importance n'est pas liée au chiffre d'affaires qu'ils génèrent, mais à leur rôle crucial dans de nombreuses filières industrielles comme les hautes technologies, les technologies de l'information et de la communication, les énergies renouvelables, le domaine militaire.

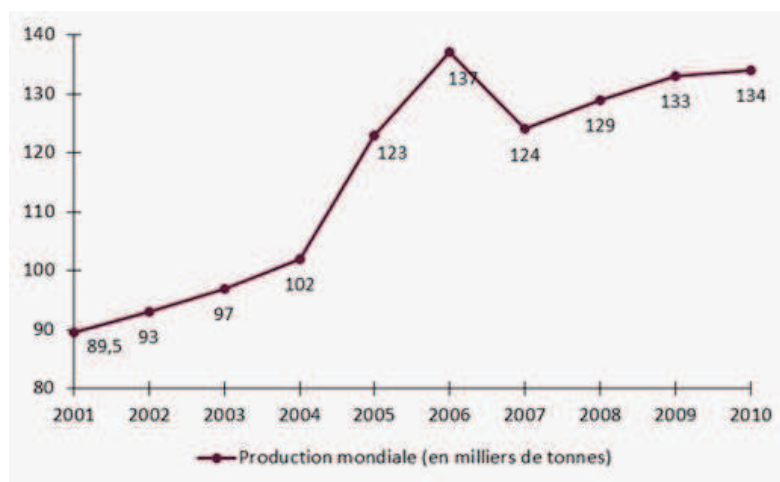
Parmi eux, on trouve le cobalt, l'indium, le gallium, le germanium, le lithium, le magnésium, le niobium, le rhénium, le tantale, le titane, les platinoïdes (platine, palladium, rhodium, ruthénium...)... et les terres rares.

1. Les terres rares

1.1. Présentation

Les terres rares regroupent 17 *métaux*, dont le scandium $_{21}\text{Sc}$, l'yttrium $_{39}\text{Y}$ et les 15 lanthanides; elles ont été découvertes au début du XIX^e siècle dans des oxydes (appelés terres en français) assez rares à l'époque, d'où leur dénomination. En fait, ce ne sont pas des « terres », mais des métaux très réactifs avec les autres éléments, ne se trouvant quasi jamais à l'état pur dans la nature; elles ne sont pas rares géologiquement (les quantités sont plus importantes que le cuivre ou le plomb), mais des points de vue économique et stratégique. Les teneurs en métal sont faibles de l'ordre 50 à quelques centièmes de % et le secteur est en forte croissance depuis 2000 (figure 1).

Figure 1 : Évolution de la production des terres rares depuis 2001

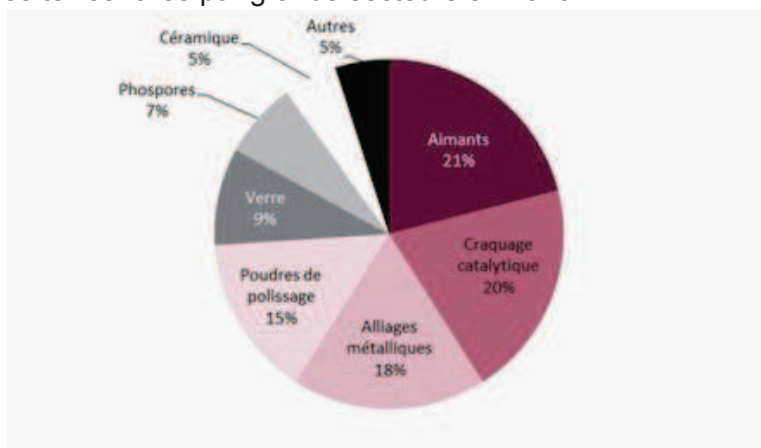


Source : Sia Conseil, 13-12-2011.

La structure microscopique des terres rares (Sia Conseil, 13-12-2011) confère à ce groupe de métaux des propriétés physiques particulièrement intéressantes, notamment aux niveaux optique et magnétique, qui les rendent essentielles pour de nombreuses applications de haute technologie (figure 2). Leurs propriétés magnétiques sont entre autres utilisées dans les aimants permanents de type Néodyme-Fer-Bore, ou NdFeB, qui sont les plus puissants connus aujourd'hui et la clef des moteurs et générateurs des véhicules électriques et des éoliennes de forte puissance. Leurs propriétés optiques sont, quant à elles, utilisées dans les ampoules de nouvelle génération ou lampes fluorescentes.

Ces technologies peuvent utiliser plusieurs centaines de kilogrammes de terres rares, mais on en trouve également de très faibles quantités dans une multitude d'autres applications, notamment dans la grande majorité des équipements électriques et électroniques de grande consommation tels que les micros, capteurs, systèmes audio, disques durs et compresseurs. Mais ces minerais ont aussi de nombreuses autres utilisations plus méconnues. Ainsi le craquage catalytique en lit fluide pour le raffinage du pétrole, les alliages métalliques, les poudres de polissage et l'industrie du verre représentent les parts de consommation de terres rares les plus importantes après les aimants, avec en tout 62 % des usages en masse. Les pots catalytiques, les piles à combustible, les supraconducteurs à haute température et les nanotechnologies en sont également de grands consommateurs.

Figure 2 : Consommation des terres rares par grands secteurs en 2010

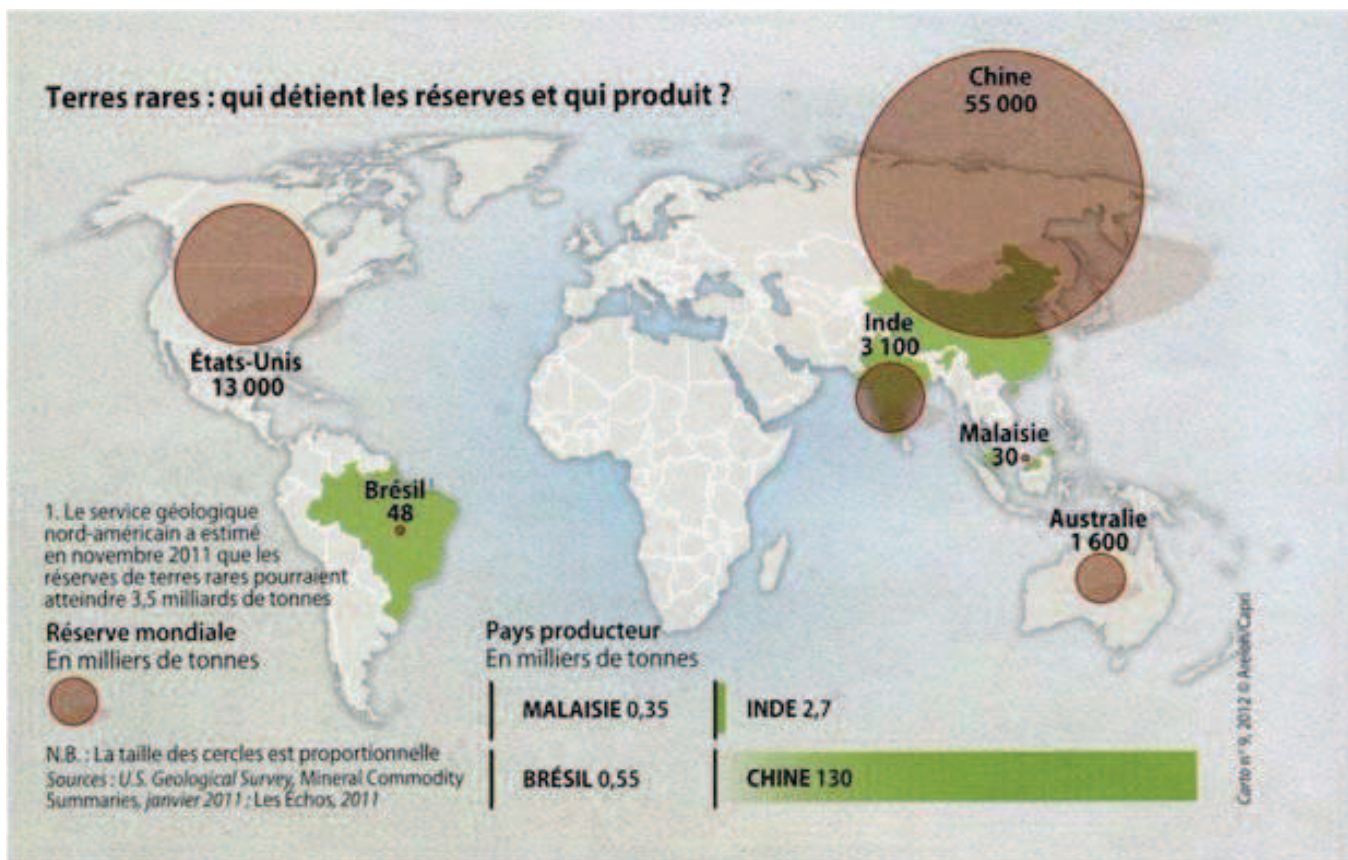


Source : Sia Conseil, *op. cit.*, 13-12-2011.

Les terres rares sont ainsi en quelque sorte des « vitamines » pour les nouvelles technologies permettant d'obtenir des produits à haute efficacité et de taille plus réduite ou plus légers.

Ces terres rares sont *très inégalement réparties* tant en termes de production que de réserves (figure 3). Actuellement, la Chine produit plus de 95 % des terres rares du monde, une situation qui inquiète nombre de gouvernements à l'heure où la demande augmente rapidement (6 % par an).

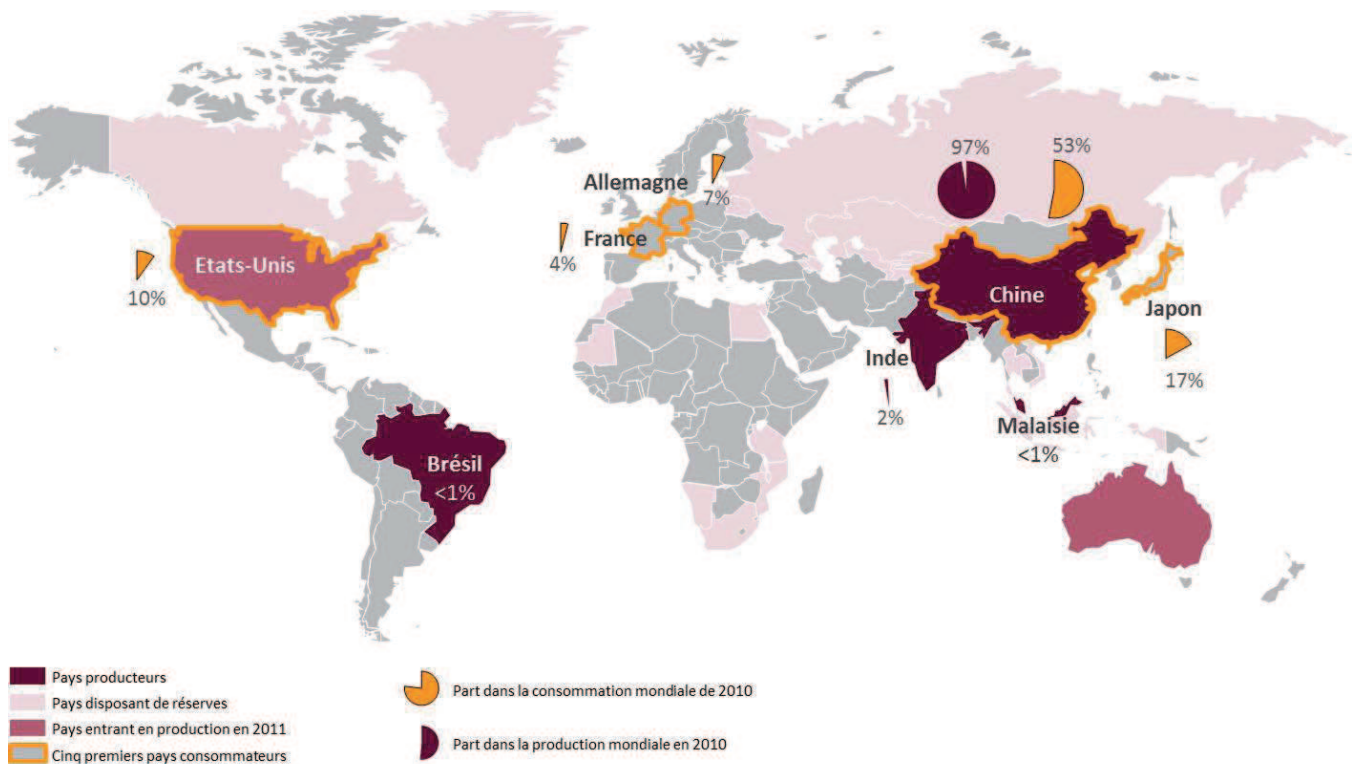
Figure 3 : Répartition de la production et des réserves



Source : Revue Carto, n° 9, Janvier-Février 2012
(disponible sur <http://www.franceculture.fr/blog-globe-2012-02-01-les-terres-rares-en-cartes-et-dans-la-presse-un-marche-strategique>).

La consommation est aussi inégalement distribuée (figure 4).

Figure 4 : Principaux consommateurs de terres rares pour 2009 et 2010



Source : Sia Conseil, *op. cit.*, 13-12-2011.

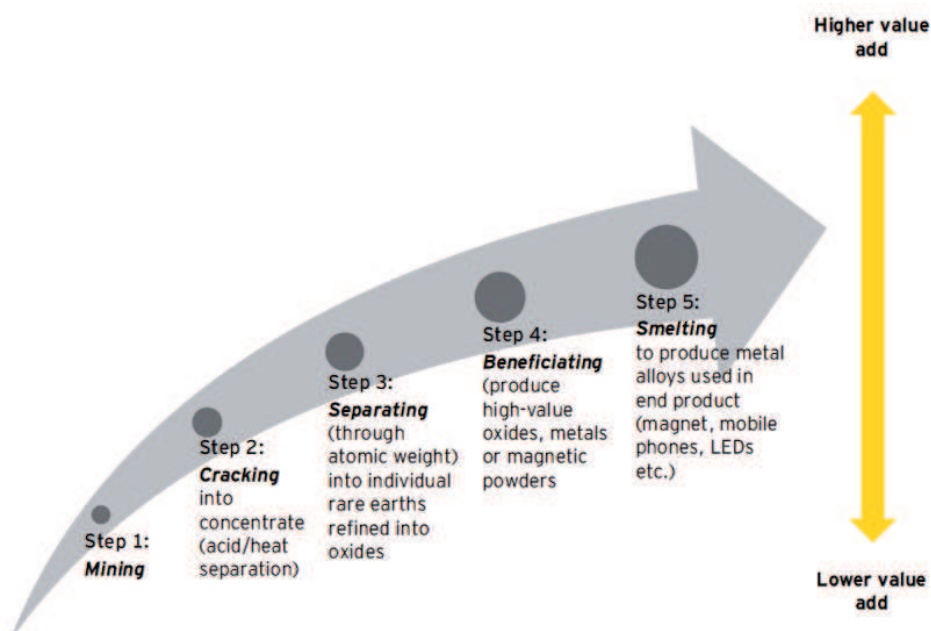
1.2. Cycle de traitement et impacts sur l'environnement

Le cycle de traitement des terres rares comprend *cinq grandes opérations* :

- extraction le plus souvent à ciel ouvert ;
- concentration (enrichissement) par broyage ;
- séparation et purification selon différentes modalités : attaque du minerai par voie humide, solutions traitées par des techniques de précipitation sélective, d'échange d'ions sur résine et principalement d'extraction par solvant ;
- formulation ou transformation en produits haute technologie : oxydes, sels variés ou élaboration de métaux par électrolyse des sels fondus à haute température ou encore par métallo-thermie ;
- mise en forme pour les clients finaux.

Le cycle est donc assez classique et, comme c'est le cas pour la plupart des matières premières minérales, il comprend des opérations se réalisant en des lieux différents et par des *opérateurs différents*, engendrant aussi des *valeurs ajoutées différentes* (figure 5).

Figure 5: Chaîne des valeurs selon les stades de la production



Source : M. Nestour (Ernst and Young), 2011.

Toutefois, les *impacts environnementaux et sociaux* semblent plus importants que dans le cas d'autres métaux notamment sur les lieux d'extraction. Malheureusement, les informations à ce sujet sont très fragmentaires. Pour EcoInfo (2011), chaque tonne d'oxydes de terres rares produit de 1300 à 1600 m³ de déchets d'excavation et pour produire une tonne d'oxydes de terres rares, il est nécessaire d'employer de 6 à 7 tonnes de sulfate d'ammonium et de 1,2 à 1,5 tonne d'acide oxalique ; en outre, l'extraction de certaines terres rares produit des déchets radioactifs et la purification rejette des métaux lourds comme le plomb, le mercure ou le cadmium. Les impacts sur les lieux d'extraction sont donc très importants : destruction de la végétation naturelle et des terres agricoles, dégradation des sols, pollution des eaux (cours d'eau, eaux souterraines), pollution de l'air. Il y existe donc un certain paradoxe entre l'utilisation des terres rares pour des énergies renouvelables considérées comme « propres » et ces procédés d'obtention polluants. Par ailleurs, surtout dans les petites mines où la protection sociale est quasi inexistante, le travail est très pénible et s'opère en continu 24 heures sur 24. Il en résulte des pathologies pulmonaires liées aux poussières de la mine et aux émanations lors de l'extraction chimique des terres rares. Les travailleurs vivent le plus souvent dans un environnement dégradé à la fois en termes de cadre de vie et de destruction des terres agricoles.

1.3. Pourquoi des tensions sur les marchés ?

Ces tensions résultent d'un déséquilibre actuel entre l'offre et la demande, accentué par le quasi-monopole de la Chine.

1.3.1. Un déséquilibre entre l'offre et la demande

D'après l'étude d'Ernst and Young (M. Nestour, 2011), la forte croissance devrait engendrer un déficit sensible entre 2010 et 2013.

Figure 6 : Évolution de l'offre et de la demande en terres rares



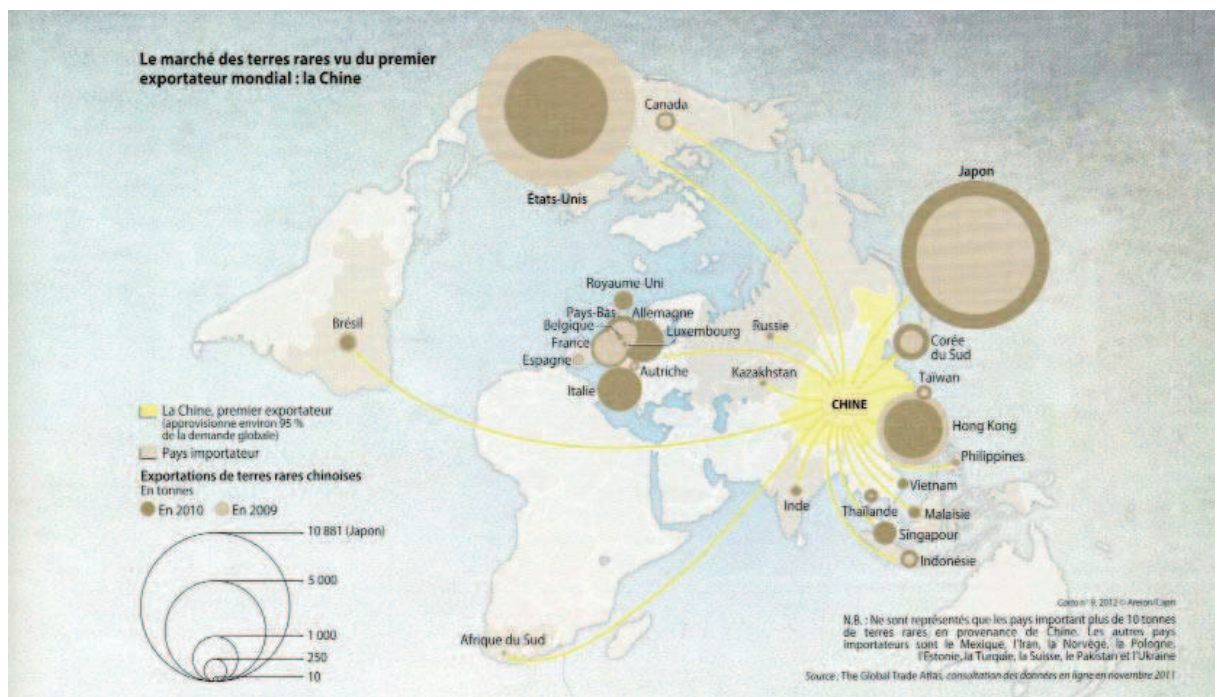
Source : Nestour M. (Ernst and Young), *op. cit.*, 2011.

Mais les valeurs sont approximatives en raison de l'opacité des filières contrôlant l'offre (producteurs miniers, raffineurs et négociants en métaux) et des stockages stratégiques des États.

1.3.2. Un quasi-monopole de la Chine

Comme nous l'avons déjà dit, la Chine détient un quasi-monopole en matière de terres rares : 95 à 97 % de la production et 30 % des réserves ce qui explique son contrôle des exportations (figure 7).

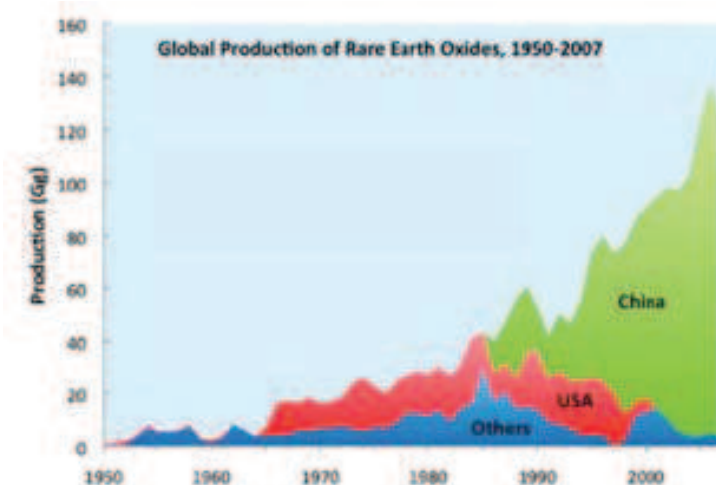
Figure 7 : Les exportations chinoises des terres rares



Source : Carto, n° 9, Janvier-Février 2012, *op. cit.* (disponible sur <http://www.franceculture.fr/blog-globe-2012-02-01-les-terres-rares-en-cartes-et-dans-la-presse-un-marche-strategique>).

Comme le montre la figure 8, cette situation ne date cependant que de la mi-1980. En effet, à l'origine, les terres rares étaient produites en Inde et au Brésil, puis jusqu'en 1960 en Australie et Malaisie et depuis 1960 aux USA grâce notamment à la réserve de Mountain Pass en Californie (cette mine fut fermée en 2002 suite aux restrictions environnementales et les bas prix des terres rares à l'époque). En 1986, le dirigeant de la République populaire de Chine, Deng Xiaoping, lance un programme de recherche visant à tirer profit des immenses réserves du pays en terres rares. Pékin entame alors une politique volontariste de développement de la filière. Progressivement, les entreprises chinoises (environ une cinquantaine, principalement étatiques) dont les gisements sont particulièrement riches et faciles à exploiter, les prix très compétitifs et les contraintes environnementales moindres, prennent le contrôle du marché et poussent les compagnies étrangères à abandonner leur production. « Le Moyen-Orient a son pétrole et la Chine ses métaux rares » aurait dit Deng Xiaoping en 1992.

Figure 8 : Les trois grandes périodes des terres rares

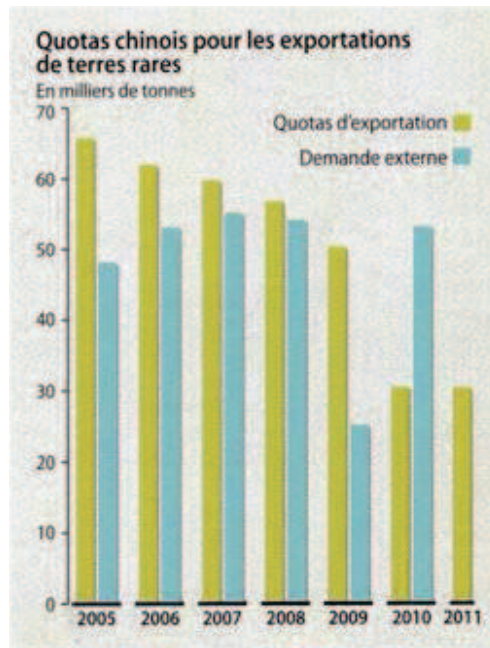


Source : Christian Hocquard (disponible sur <http://www.franceculture.fr/blog-globe-2012-02-01-les-terres-rares-en-cartes-et-dans-la-presse-un-marche-strategique>).

En outre, depuis 2004, la Chine a revu chaque année ses quotas à l'exportation à la baisse et cette diminution a atteint 35 % entre le premier semestre 2011 et 2010 (figure 9); elle a aussi élaboré un *Plan 2009-2015* et ce pour trois raisons (A. Roch, 2010) :

- regrouper les producteurs et mieux contrôler les déchets (d'où fermeture des sites les plus polluants) et la contrebande (20 000 tonnes en 2008);
- se réserver la production pour faire face à la croissance de sa propre demande domestique (60 % de la production mondiale et taux d'accroissement annuel de 20 %);
- bloquer les concurrents et les inciter à se (dé)localiser en Chine.

Figure 9 : Évolution des quotas chinois à l'exportation



Source : Carto, n° 9, Janvier-Février 2012, *op. cit.* (disponible sur <http://www.franceculture.fr/blog-globe-2012-02-01-les-terres-rares-en-cartes-et-dans-la-presse-un-marche-strategique>).

En fait, cette domination de la Chine est le résultat d'une *véritable stratégie* à long terme avec quatre axes majeurs (A. Roch, 2010, *op. cit.*).

1. Réduction drastique des exportations : 75 % en 2000, 25 % en 2009 et, de 2009 à 2015, interdiction d'exportation de 5 éléments (dysprosium, terbium, thulium, lutétium et yttrium) et très forte diminution des autres.
2. Volonté de structurer mondialement la filière par le contrôle de gisements étrangers pour éviter de faire la même erreur que l'OPEP qui n'avait pas su à la suite du deuxième choc pétrolier (1978 -1981) conserver la maîtrise du marché du pétrole. Deux tentatives ont toutefois échoué : le rachat d'Unocal (Californie) dont une filiale, Molycorp Minerals, possède la seule exploitation de terres rares aux USA et l'acquisition de 51 % des parts de Lynas Corporation, possédant un site minier en Australie du sud-ouest. Mais, en 2009, Jiangsu Eastern China Non-Ferrous Metals a acquis 25 % d'Arafura Resources, une autre compagnie australienne dont les opérations vont débiter en 2013 avec une production annuelle de terres rares estimée à 20 000 tonnes.
3. Développer une grande entreprise nationale et les capacités de recherche grâce au fonds souverain chinois, China Investment Corp. autour de la Baotou Steel Rare Earth en Mongolie et du Baotou Research Institute (300 scientifiques dans la séparation des métaux).
4. Création par Baotou Steel Rare Earth d'une réserve stratégique de terres rares, sur 10 sites de stockage, représentant 200 000 tonnes soit plus de 1,5 fois la production mondiale et forcer de la sorte les industriels étrangers à s'installer en Chine.

1.4. Conséquences et nouvelles stratégies

1.4.1. Conséquences

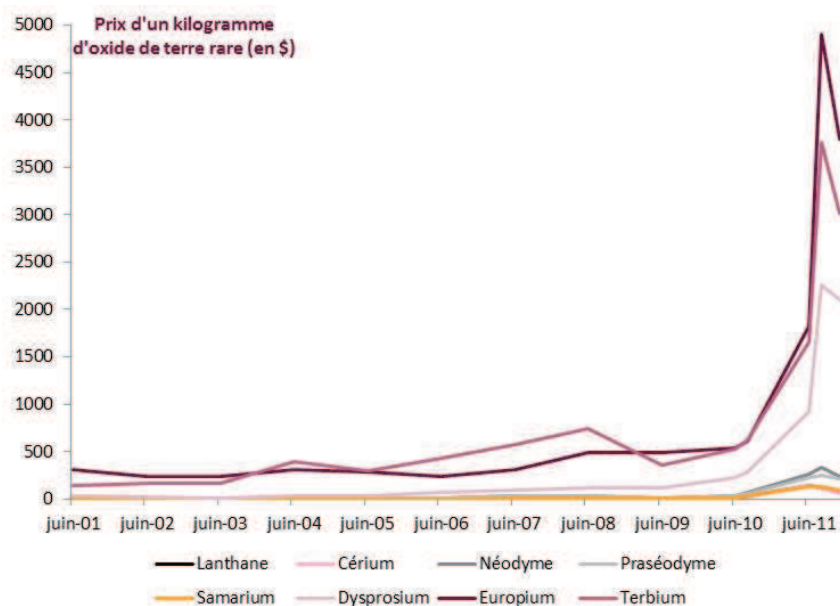
On en relève au moins trois :

- une augmentation très forte des prix et de la spéculation avec toutefois une baisse

récente due au contexte économique (figure 10);

- de vives tensions géopolitiques d'abord entre la Chine et le Japon puis mise sur pied par l'UE avec les USA et le Mexique d'un groupe spécial de règlement des différends au sein de l'Organisation mondiale du commerce (OMC); au début du mois de juillet 2011, l'OMC a jugé non conforme les restrictions appliquées par la Chine sur 9 matières premières, mais cette décision n'eut guère d'effet, car la Chine a fixé ces quotas pour 2012 au même niveau qu'en 2011 (30 000 tonnes) et, en 2011, ses exportations de terres rares avaient à peine atteint la moitié de ces quotas. D'où les trois nouvelles plaintes déposées à l'OMC le 13 mars 2012 par les États-Unis, le Japon et l'Union européenne; un mois plus tard, le 8 avril 2012, on apprend de Xinhua, l'agence de presse officielle chinoise, la création d'une association regroupant 155 membres dont les géants Aluminum Corporation of China et China Minmetals Corporation et où tous les maillons de la chaîne industrielle, allant de l'exploitation minière au fendage en passant par la fonderie, sont représentés; l'un des objectifs affichés est de négocier avec les industriels consommateurs de terres rares. « *L'association s'efforcera de former un mécanisme de prix raisonnable et de créer une situation gagnant-gagnant pour les opérateurs et les consommateurs grâce à ses efforts de coordination* », a indiqué Gan Yong, membre de l'Académie de l'ingénierie de Chine et président de la Société chinoise des terres rares, ajoutant néanmoins que « *de nombreux pays dans le monde possèdent des réserves de terres rares [et qu'] il ne faut donc pas compter seulement sur la Chine pour l'approvisionnement* »;
- des concurrences accrues entre les firmes d'autant plus que seulement, une dizaine d'entreprises dominent le marché (R. Harry, 2011); leurs chiffres d'affaires ont littéralement explosé en moins d'une année suite aux différents événements survenus sur le secteur. Conscientes du poids économique et de l'importance stratégique des différents métaux, ces entreprises entendent aujourd'hui peser de tout leur poids sur les décisions économiques et politiques prises sur le marché des matières premières; parmi ces firmes, le géant australien Lynas Corporation, son allié américain Molycorp Minerals, une demi-douzaine d'entreprises chinoises spécialisées dans la production (Lee Shing Holdings, Wellfire Shanghai, Yixing Xinwei Leeshing Rare Earth Co., Yixing Xinwei Leeshing Refractory Materials Co...) et quatre compagnies canadiennes (Great Western Minerals Group – Rare Elements Resources – Avalon Rare Metals – Neo Material Technologies).

Figure 10: Évolution des prix de quelques oxydes de terres rares



Source: Sia Conseil,
19-01-2012.

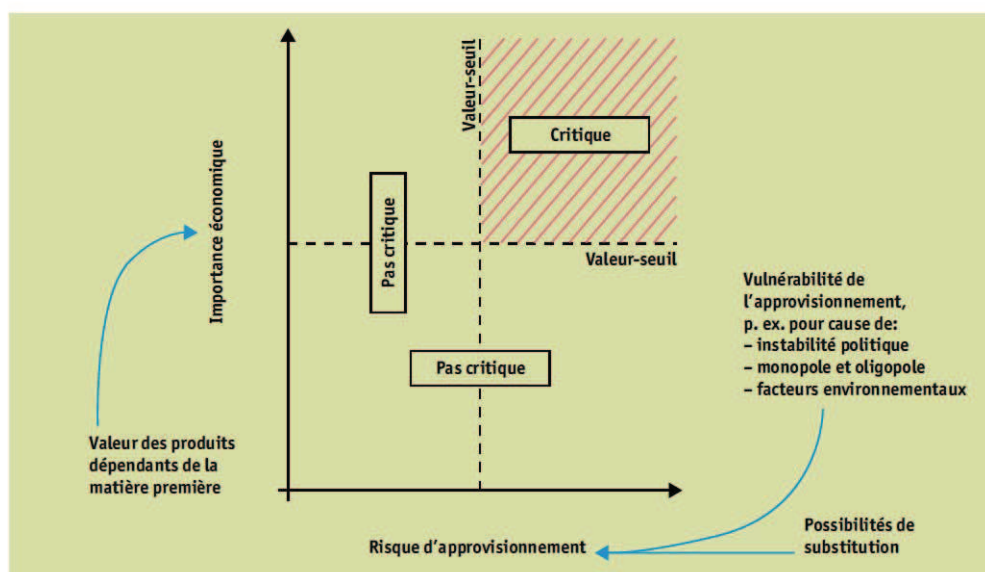
1.4.2. Nouvelles stratégies

Par ailleurs, de *nouvelles stratégies* émergent (A. Roch, *op. cit.*, 2010) :

- relance de l'exploration-production avec des aides et assouplissement des contraintes environnementales notamment aux États-Unis et en Australie ou encore au Brésil et au Canada ; ainsi la mine Mountain Pass, de Molycorp, située dans le désert des Mojaves (Californie) fermée en 2002 pourrait rouvrir en 2012 et la compagnie Lynas, qui détient un gisement à Mount Weld (Australie occidentale) va pouvoir développer ce projet minier grâce à un contrat d'approvisionnement à long terme avec Rhodia ;
- constitution de stocks stratégiques (surtout au Japon et en Corée du Sud) ;
- efforts accrus de RD des entreprises pour réduire les quantités de terres rares utilisées, voire de les substituer intégralement ;
- valorisation des déchets notamment au Japon ;
- constitution d'alliances entre producteurs chinois et transformateurs occidentaux sur le modèle déjà ancien (1990) de Rhône-Poulenc, devenu Rhodia (Rhodia Silcea concernant les terres rares) et de Baotou Luxi : ainsi, en 2009, OSRAM, filiale de Siemens spécialisée dans l'éclairage et China Rare Earth Holdings Ltd ont créé une *joint venture* en Chine ; un protocole d'entente a aussi été signé entre Toshiba Corporation, Tokyo et la Mongolie.

La Commission européenne avait lancé, pour sa part, en 2008 l'initiative « matières premières » dans le but de définir les matières premières minérales non énergétiques essentielles et mettre en œuvre une stratégie commerciale, RD et environnementale. Un rapport sur les *matières premières « critiques »* a été publié en juin 2010 ; il identifie 14 produits critiques sur un total de 41 analysés. Sont considérés comme matière première critique, celles dont l'importance économique est forte et le risque d'approvisionnement élevé (figure 11). Ces 14 matières premières sont l'antimoine, le béryllium, le cobalt, la fluorine, le gallium, le germanium, le graphite, l'indium, le magnésium, le niobium, le platine, les terres rares, le tantale et le tungstène. Comme on peut le voir sur la figure 12, beaucoup de ces matières se retrouvent en Chine.

Figure 11 : Matrice d'évaluation des matières premières critiques



Source : Gandenberger C. *et al.*, 2010, p. 13.

Figure 12 : Concentration de la production des matières premières critiques



Source : Commission européenne (disponible sur http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/tajani/hot-topics/raw-materials/index_fr.htm).

Ajoutons que la Commission européenne a adopté le 2 février 2011 une nouvelle stratégie qui présente des mesures ciblées pour garantir et améliorer l'accès de l'UE aux matières premières. Cette stratégie poursuit et renforce les actions entreprises précédemment et repose sur trois piliers :

- garantir un accès équitable et durable aux matières premières sur les marchés mondiaux ;
- favoriser un approvisionnement durable au sein de l'UE ;
- promouvoir le recyclage et l'utilisation efficace des ressources.

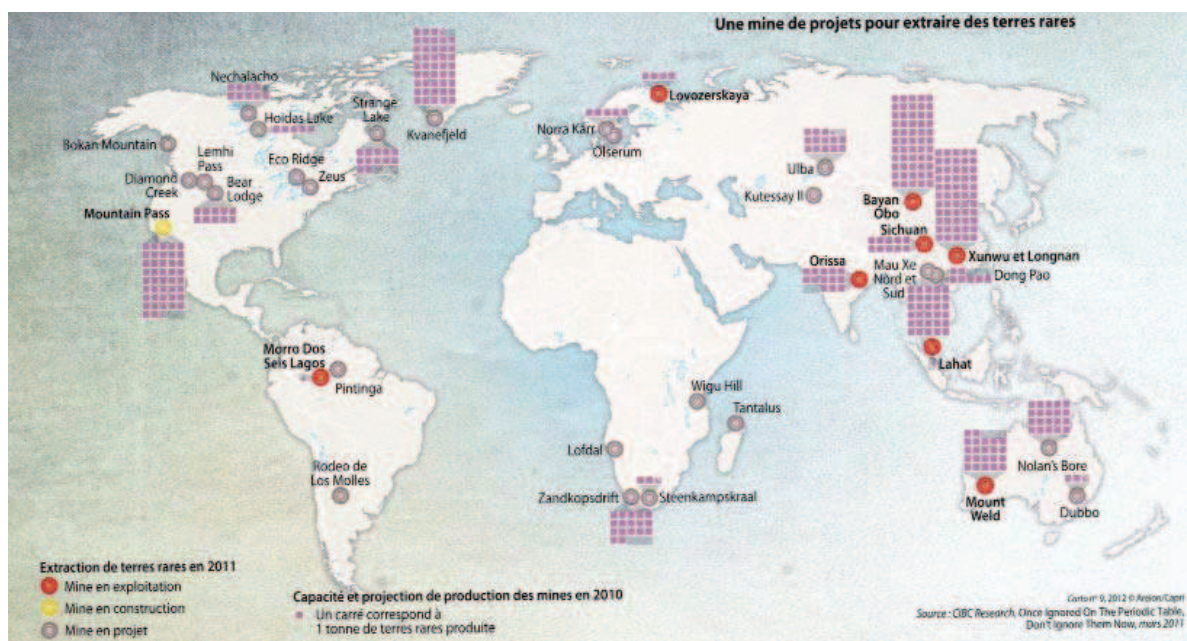
Cette nouvelle stratégie couvre également des aspects importants tels que la stabilité et la transparence des prix des produits de base.

1.5. Quelles perspectives ?

1.5.1. Ouvrir de nouveaux gisements hors Chine

Il existe actuellement de nombreux projets d'ouverture ou de réouverture de mines (figure 13), mais il faut de 7 à 15 ans entre l'exploration et la production. Pour M. Nestour (2011, *op. cit.*, p. 23), les 19 projets d'exploration assez avancés répartis dans 8 pays (Afrique du Sud, Australie, Canada, Grèce, Kirgizstan, Malawi, Suède et USA) ne devraient pas être opérationnels avant 2015 ; en outre, les partenariats (compagnie d'exploitation minière, banques...) sont souvent difficiles à mettre en place, car beaucoup de projets ne recèlent qu'un nombre restreint de sortes de terres rares, les quantités varient en fonction des mines et le potentiel de production est complexe à évaluer.

Figure 13 : Les principaux projets de mines pour extraire les terres rares



Source : Carte n°9, Janvier-Février 2012, *op. cit.*

Exploiter les ressources des fonds sous-marins de l'océan Pacifique est une autre proposition émanant du Japon. En effet, des chercheurs japonais viennent de mettre en évidence de grandes réserves à plus de 5 000 m (1 000 x les réserves terrestres ; une zone d'1 km² autour d'un des sites pourrait satisfaire 1/5 de la consommation annuelle mondiale !) (Kato Y. *et al.*, 2011). Mais info ou intox ? De plus, l'extraction offshore est compliquée et, entre la découverte et l'exploitation, il y a souvent 10 ans.

Tout porte ainsi à croire que les capacités nouvelles jusqu'en 2015 ne peuvent venir que de producteurs existants (Russie, Inde, Vietnam, Thaïlande, Brésil et Kazakhstan) ; on les estime à 50 000 tonnes auxquelles on peut ajouter des capacités additionnelles de la Chine (27 500 tonnes) (M. Nestour, 2011, *op.cit.*, p. 15).

1.5.2. Recycler davantage

Moins de 1 % des terres rares sont actuellement recyclées. À cette situation, deux raisons principales : les quantités sont souvent très faibles comme pour les lumino-phores ou sous forme d'alliages pour les micros moteurs électriques ; pour les produits à fort contenu en terres rares (gros moteurs électriques à aimants permanents des éoliennes), les quantités ne sont pas encore suffisantes pour générer une réelle industrie du recyclage.

Mais, en raison de l'augmentation des prix, les progrès sont rapides : ainsi l'indium (In) recyclé devance aujourd'hui l'indium produit (2g d'indium sont nécessaires à la fabrication de chaque ordinateur portable) ; au Japon, un nouveau procédé permet depuis 2010 de recycler jusqu'à 80 % du néodyme, contenu dans des aimants utilisés dans des moteurs de voitures hybrides et dans des disques durs...

1.5.3. Limiter le recours aux terres rares

C'est une solution assez difficile, car il n'y a pas (ou peu) de substituts en dehors d'autres terres rares (néodyme-praséodyme) et quand ils existent, les performances

sont moindres. Par exemple, remplacer les aimants permanents au néodyme par des aimants ferrites est possible, mais la qualité et les rendements sont beaucoup plus réduits ; il en est de même lors du recours à des aimants au samarium-cobalt et, en outre, cela oblige un *redesign* de nombreuses technologies, par exemple construire des éoliennes dépourvues d'engrenages. Si on pourra remplacer les batteries nickel-hydrure métalliques (NiMH) qui contiennent du lanthane par des batteries lithium-ion (Li-ion), il n'y a pas actuellement de substitut pour le terbium (utilisé dans les tubes cathodiques) (EcolInfo, *op.cit.*, 2011).

2. Ressources minières et développement durable

Sur base du cas des terres rares et d'un élargissement de notre analyse aux ressources minières en général, tentons à présent de poser la question de la durabilité du modèle actuel d'exploitation des matières premières minérales. À cette fin, nous analyserons d'abord quelques traits majeurs de ces ressources avant de nous interroger sur les enjeux d'un développement durable.

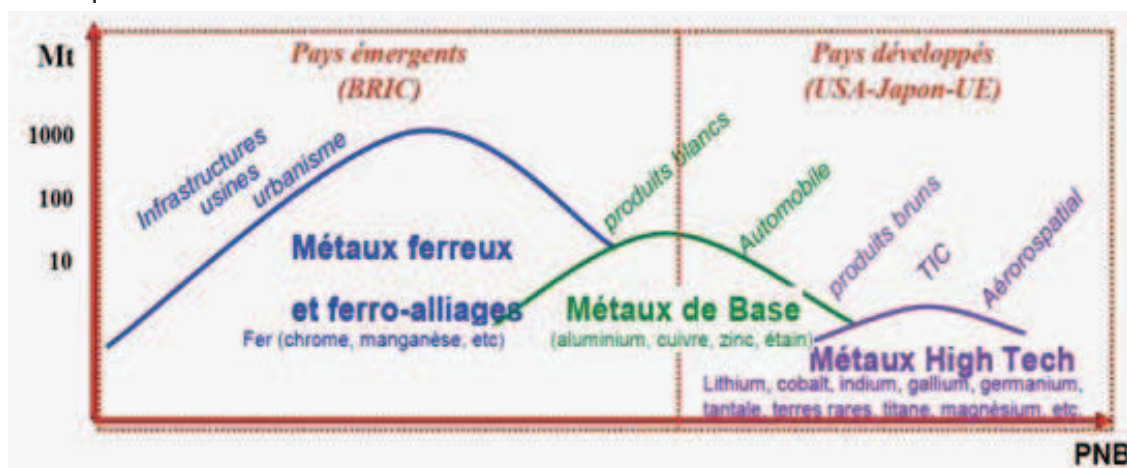
2.1. Les ressources minières : traits principaux

2.1.1. Une demande en hausse et en mutation

Le recours accru à ces ressources est lié au développement économique ; ainsi la demande en hausse récente s'explique par la croissance des pays émergents ; toutefois, les pays de l'OCDE (un cinquième de la population) consomment encore les trois-quarts des ressources.

En outre, il existe un lien entre stade de développement et nature des métaux consommés, les pays émergents ne consommant pas les mêmes métaux que les pays développés à l'exception de la Chine qui consomme tous les métaux (figure 14).

Figure 14 : Des métaux consommés différents selon les stades de développement économique

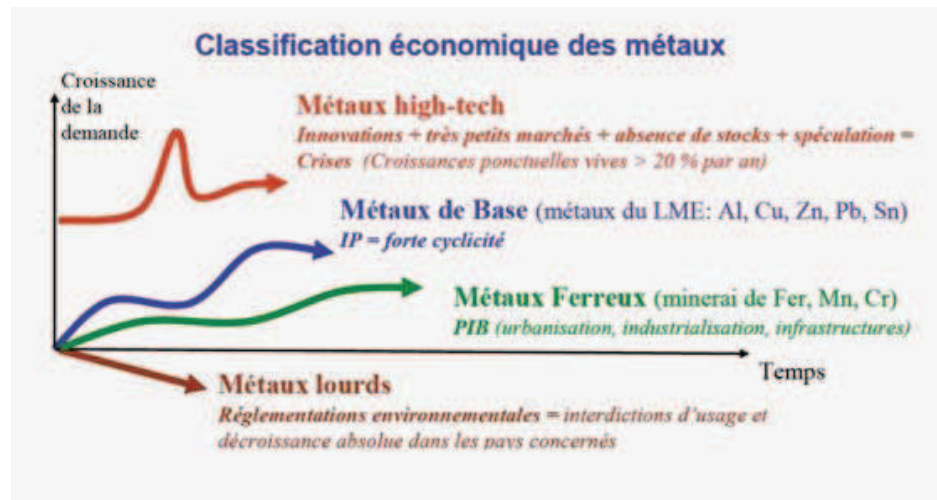


Source : Hocquart G., 2009.

Par ailleurs, en 20 à 30 ans, le nombre de métaux utilisés a triplé : 10 en 1980, 15 en 1990 et plus de 50 aujourd'hui. Mais on observe des croissances différentes selon les grands groupes de métaux reposant sur une classification économique. Les mé-

taux lourds décroissent tandis les métaux ferreux croissent légèrement ; les métaux de base qui sont cotés au London Metal Exchange (LME) présentent en général une forte cyclicité tandis que les métaux high-tech sont sujets à des croissances ponctuelles (figure 15).

Figure 15: Croissance différentielle des groupes de métaux

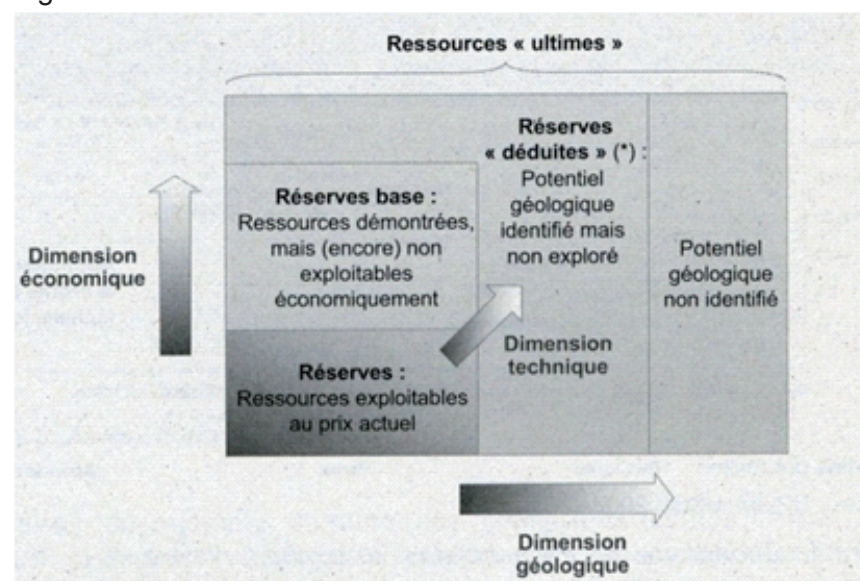


Source : Hocquart G., *op. cit.*, 2009.

2.1.2. Des réserves limitées

Il ne faut pas confondre ressources et réserves (P. Bihoux et B. de Guillebon, 2010, p. 27). Une réserve est une ressource identifiée et explorée que l'on peut effectivement extraire (légalement et techniquement) au prix actuel du marché ; les ressources potentielles sont identifiées, mais non explorées et les quantités sont estimées à partir de projections géologiques. Quant à la réserve de base, c'est également une ressource identifiée et explorée, mais encore non exploitable économiquement, à la technique et au prix actuel. La notion de réserve est donc complexe et recouvre à la fois des notions géologiques, techniques et économiques (figure 16).

Figure 16: Réserves et ressources



Source : P. Bihoux et B. de Guillebon, 2010, p. 27.

Pour augmenter les réserves, il existe trois leviers (*Ibidem*, p. 28) :

- trouver de nouvelles ressources par l'exploration ou l'amélioration de la connaissance géologique (conditions de formation des filons par exemple) ; d'où les enjeux autour des ressources arctiques ou *offshore* par exemple ;
- améliorer les techniques de production qui permettent par exemple d'extraire une plus grande quantité de métal du minerai, d'économiser l'énergie, d'exploiter des minerais de concentration plus faible... ;
- faire varier les conditions économiques en augmentant les prix sur le marché de la ressource.

Les réserves varient toutefois fortement d'un métal à l'autre, en moyenne de 30 à 60 ans sur base des consommations actuelles, d'où l'importance du pic de production. En général, il y a eu peu de découvertes majeures depuis dix ans, car les investissements en exploration ont été faibles.

Actuellement, les plus fortes potentialités seraient dans l'Antarctique et dans les nodules sous-marins. Mais au final, le stock est et restera limité.

2.1.3. Des ressources inégalement réparties

Si les réserves des grands métaux sont relativement bien réparties, il n'en est pas de même pour les métaux rares où, comme nous l'avons déjà dit pour les terres rares et les matières premières critiques de l'UE, la Chine occupe une place dominante (voir figure 12).

2.1.4. Des coûts en hausse et des prix qui fluctuent

Le secteur minier est un secteur à forte intensité capitalistique (rapport entre investissement initial et chiffre d'affaires annuel), 3 à 4 fois plus élevée que dans l'industrie manufacturière en raison de la forte automatisation, de l'importance des infrastructures d'accompagnement et des investissements en dépollution.

La hausse des coûts y est liée à plusieurs facteurs : des coûts d'exploration plus en plus élevés (car les gisements d'accès aisé ont souvent déjà été découverts), la situation moins favorable des nouveaux gisements (accès, teneur...), la croissance des coûts énergétiques et l'arrivée de nouvelles normes environnementales et sociales.

Les prix fluctuent beaucoup, car l'offre est assez inélastique tant à la hausse qu'à la baisse de la demande et la spéculation est favorisée par cette fluctuation des prix. Le prix des métaux de base et des métaux ferreux fluctue avec la conjoncture qui influence beaucoup la demande. Pour les métaux rares, les prix sont sujets à des crises ponctuelles, car la production est faible, les stocks quasi inexistantes et le marché opaque.

En général, les métaux de base font l'objet de contrats à termes qui sont échangés dans les bourses (comme le London Metal Exchange - LME - qui est la plus importante) et les métaux ferreux de contrats à durée déterminée entre vendeurs et acheteurs. Les métaux rares sont par contre vendus de gré à gré par quelques négociants spécialisés.

2.1.5. De forts impacts environnementaux

Ces impacts sont liés à la combinaison de *cinq facteurs* :

- les fortes consommations énergétiques pour extraire, transporter et surtout raffiner (8 à 10 % de l'énergie primaire mondiale) ;

- d'importantes émissions de CO₂ (environ 5 % des émissions anthropiques);
- l'utilisation massive de produits chimiques soit pour l'extraction, soit pour le traitement du minerai ce qui conduit à des pollutions à très long terme après la fin de l'exploitation;
- l'impact des exploitations sur les écosystèmes locaux: déforestation, perturbation du cycle de l'eau, volumes de déchets...;
- la pollution généralisée des écosystèmes par les rejets de certains métaux nocifs, en production, en utilisation et en fin de vie.

2.2. Enjeux d'un développement durable

2.2.1. Préserver les ressources

Les ressources minières sont constituées d'un stock encore sous terre (les réserves) et d'un stock en circulation. C'est l'ensemble de ces stocks qu'il convient d'économiser.

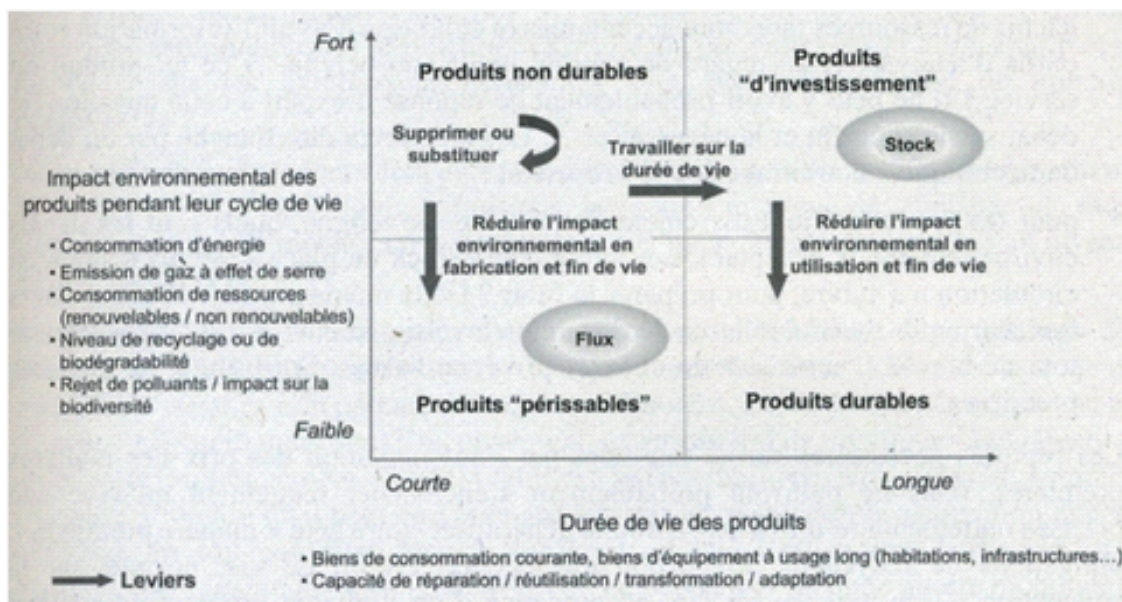
Pour P. Bihoux et B. de Guillebon (2010, *op.cit.*, pp. 43-52), *trois pistes* doivent être explorées.

1. Développer le recyclage (et entrer dans une économie circulaire, c'est-à-dire une économie qui consiste à faire des déchets des uns les ressources des autres et concevoir ensemble le cycle de production et le cycle de vie des produits). Comme nous l'avons déjà dit pour les terres rares, des progrès sont possibles, mais le recyclage présente aussi des limites :
 - physiques et technologiques : irréversibilité de certaines transformations, nombreux alliages et produits complexes, usage dispersif de plusieurs métaux, d'où fréquente dégradation de l'usage des matières recyclées ;
 - économiques (prix de revient, surconsommation d'énergie...);
 - sociétales (consommateurs finaux pas toujours enclins à recycler).
2. Remplacer des éléments rares par des éléments plus abondants en privilégiant les technologies qui économisent les ressources rares dont les métaux rares.
3. Réduire les besoins en ressources en développant une économie durable économisant les matières premières minérales et l'énergie.

Contrairement à ce que l'on croit souvent, la dématérialisation de l'économie ne réduit pas la consommation des matières premières et de l'énergie, car les TIC sont gourmandes en petits métaux et en électricité ; ainsi, chaque Français consomme par jour 700 g de métaux et chaque euro de valeur ajoutée consomme 10 g de métaux sans compter le bilan imports et exports...

Les enjeux d'une économie durable sont donc de passer d'une consommation de produits non durables, à impact environnemental fort et durée de vie courte à des produits durables à impact fondamental faible et durée de vie longue (figure 17).

Figure 17 : Les enjeux de la production et de la consommation durables



Source : P. Bihoux et B. de Guillebon, 2010, *op. cit.*, p. 53.

À cette fin, il existe *quatre leviers* (*Ibidem*, pp. 52-54) :

- intégrer l'exigence de durabilité dès la conception (produits réutilisables, réparables, récupérables et recyclables) ;
- pour les produits périssables, limiter l'impact environnemental en fabrication et en fin de vie ;
- pour les produits d'investissement, limiter l'impact environnemental en fabrication, en utilisation et en fin de vie ;
- pour les produits non durables, en substituer d'autres ou les supprimer.

Il faut donc rendre le réparable, le réutilisable et le recyclable économiquement, socialement et techniquement viables ce qui impose des arbitrages sociétaux nécessaires avec des prolongements réglementaires (taxes, obligation de recyclage, gestion des déchets, normes à la conception...).

2.2.2. Changer de perspective

Comme le soulignent bien P. Bihoux et B. de Guillebon (2010, *op.cit*, pp. 57-61), trois changements sont nécessaires et portent sur trois approches.

- *Approche temporelle* : la raréfaction des ressources semble lointaine, mais c'est oublier que les nouveaux gisements engendrent des coûts financiers et environnementaux de plus en plus importants ; le stock est de toute manière fini, et un problème de disponibilité de ressources va se poser. Peu importe la date, l'essentiel est de pouvoir y faire face en changeant dès à présent nos pratiques (préservation du patrimoine, partage équitable de ressources limitées, fiscalité adaptée...);
- *Approche technologique* : plus de technologies signifient souvent aujourd'hui plus de matières premières ; les solutions technologiques (comme le recyclage) ne pourront pas à elles seules résoudre les problèmes ; en outre, l'amélioration de l'efficacité des ressources peut générer une augmentation du niveau de besoin qui dépasse les économies réalisées (c'est l'effet rebond que l'on a pu par exemple observer dans le cas des voitures, la mise sur le marché de voitures plus sobres entraînant une augmentation du nombre de km parcourus). Il faut donc mener une réflexion sur le « juste » besoin, sur le « mieux » plutôt que le « plus ». Mais, de

- nombreuses pistes d'économie des matières premières sont en opposition avec notre vision de la croissance ; il faut, dès lors, une véritable rupture sociétale ;
- *Approche de la manière de suivre les progrès et de les communiquer* : les responsables doivent gagner en maturité pour faire accepter la réalité en faisant la part des aspects positifs et négatifs de tout produit, de toute mesure.

Conclusion

Avec l'émergence des nouvelles technologies, on observe une consommation croissante de métaux rares et en particulier des terres rares. Celle-ci a engendré un déséquilibre croissant de l'offre et la demande, déséquilibre accentué par le rôle des acteurs et notamment de la Chine. Les métaux rares sont ainsi devenus des enjeux politiques et stratégiques.

En outre, les impacts environnementaux de ces exploitations sont de plus en plus dénoncés ce qui introduit de nouvelles contraintes pour les entreprises.

De manière plus générale, les ressources minières correspondent à un stock limité dans le sous-sol et en circulation qu'il convient de gérer avec parcimonie et de préserver. Les contraintes dépassent donc l'augmentation des prix...

Devant la complexité de la problématique, il n'y a pas de solution miracle, mais quelques pistes qui toutes indiquent l'impérieuse nécessité d'une modification profonde des comportements collectifs et individuels, car le modèle de développement actuel n'est pas durable.

Bibliographie

ALBRECHT J. *et al.*, « Terres rares : l'inquiétant monopole chinois », *Problèmes économiques*, La Documentation française, n° 3019, 2011, pp. 20-24.

BIHOUX P. et de GUILLEBON B., *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi*, Les Ulis, EDP Sciences, 2010.

BIRRAUX C. et KERT C., *Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares*, Rapport n° 782 déposé au Sénat français le 23 août 2011 (<http://www.senat.fr/rap/r10-782/r10-782.html>).

Commission européenne, *Relever les défis posés par les marchés des produits de base et les matières premières*, Bruxelles, 2-02-2011 (http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/communication_fr.pdf).

EcolInfo, *Les lanthanides ou terres rares*, 2011 (<http://www.ecoinfo.cnrs.fr/spip.php?rubrique57>).

GANDENBERGER C. *et al.*, « Les matières premières critiques selon l'UE », *La vie économique*, 83, 2010, n°11, pp.12-15 (<http://www.dievolkswirtschaft.ch/fr/editions/201011/pdf/Gandenberger.pdf>).

GIRAUD P.-N., *Géopolitique des ressources minières*, Paris, Economica, 1983.

GIRAUD P.-N., *Économie industrielle des commodités*, Polycopié du cours, Université de Paris Dauphine, mars 2003 (<http://www.cerna.ensmp.fr/Documents/Enseignement/CoursCommodites/PNG-Dauphine.pdf>).

HARRY R., *Terres rares. Un enjeu stratégique*, Différents articles de 2011 (<http://blogs.ege.fr/terres-rares/>).

HEINZ M., « Terres rares et enjeux économiques mondiaux », *Bulletin de veille des Ambassades* (BE Adit, 16 mars 2011) (<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/66180.htm>).

HOCQUART G., *L'âge des métaux rares*, BRGM, 3 décembre 2009, Présentation PowerPoint (<http://www.mineralinfo.org/Lettres/L2009/CHmrare.pdf>).

KAHN S. et BRICKEL L., *Les terres rares en cartes et dans la presse : un marché stratégique*, Janvier 2012 (en collaboration avec la Revue Carto) (<http://www.franceculture.fr/blog-globe-2012-02-01-les-terres-rares-en-cartes-et-dans-la-presse-un-marche-strategique>).

KATO Y. *et al.*, « Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements », *Nature Geoscience*, 4, 2011, pp. 535–539 (<http://www.nature.com/ngeo/journal/v4/n8/full/ngeo1185.html>).

MICHEL G. et CHEVALIER B. « Terres rares : la propriété industrielle, un élément stratégique pour la compétitivité européenne », *Géoéconomie*, 2011, pp. 87-97.

NESTOUR M., *Technology mineral. The rare earths race is on!* Ernst and Young, april 2011
([http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/The-rare-earths-race-is-on_April-2011/\\$File/The-rare-earths-race-is-on_April-2011.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/The-rare-earths-race-is-on_April-2011/$File/The-rare-earths-race-is-on_April-2011.pdf)).

NIQUET V., « La Chine et l'arme des terres rares », *Revue internationale et stratégique*, 84, 2011, 105-113.

PIRARD E., *Ressources dans le rouge pour les technologies vertes*, Conférence donnée dans le cadre du Printemps des Sciences, Université de Liège, 15 février 2012, Présentation PowerPoint (<http://hdl.handle.net/2268/112012>).

ROCHA., « Terres rares, rareté relative et implications géoéconomiques », *affaires-stratégiques. info*, 2 août 2010 (<http://www.affaires-strategiques.info/spip.php?article3750>).

Sia Conseil, *Les Terres Rares, des métaux hors du commun aux enjeux géopolitiques croissants*, 13-12-2011
(<http://energie.sia-conseil.com/20111213-les-terres-rares-des-metaux-hors-du-commun-aux-enjeux-geopolitiques-croissants/>).

Sia Conseil, *Terres rares : face à la flambée des prix, la sécurisation de la filière est-elle requise ?*, 19-01-2012
(<http://energie.sia-conseil.com/20120119-terres-rares-face-a-la-flambee-des-prix-la-securisation-de-la-filiere-est-elle-requise/>).

Différents articles de presse

Revue Carto, n° 9, Janvier-Février 2012, pp. 41-44.

Site Actu-Environnement.com
(<http://www.actu-environnement.com/>).

Site du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec (Partim Métaux rares ou de haute technologie)
(<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/mines/industrie/metaux/index.jsp>).