

1/ Les terres rares, un groupe de métaux stratégiques

Contrairement à ce que leur nom indique, les terres rares sont plus présentes sur la croûte terrestre que l'or et l'argent. Entrées dans l'usage commun depuis les années 1970, elles sont aujourd'hui omniprésentes au sein des objets qui symbolisent le progrès technologique.

CONTACT PRESSE

Arthur de Pas
Tél. 02 38 64 46 65
Port. 06 84 27 94 14
presse@brgm.fr

Le groupe des terres rares rassemble 17 éléments métalliques présents en traces dans la plupart des environnements naturels. Bénéficiant de propriétés électroniques, magnétiques, optiques et catalytiques très recherchées dans l'industrie des nouvelles technologies, ces éléments font aujourd'hui partie des métaux dits stratégiques.

Avec des quantités disponibles considérées comme faibles au vu de leur poids économique, la demande ne cesse pourtant de croître, notamment en France, dans l'aéronautique, l'industrie automobile, ou les technologies de l'information.

L'Europe, consciente d'être dépendante pour ses besoins en métaux, développe depuis 2008 une politique européenne des matières premières minérales non énergétiques, autour de 3 piliers :

- assurer un approvisionnement équitable et durable en matières premières sur les marchés mondiaux ;
- favoriser l'approvisionnement durable en matières premières auprès de sources européennes ;
- dynamiser l'efficacité des ressources et promouvoir le recyclage.

PANORAMA DU MARCHÉ DES TERRES RARES

En 2014, la production minière mondiale de terres rares aurait avoisiné les 144 000 tonnes, pour une consommation globale d'environ 120 000 tonnes. Un marché qui a pesé près de 3,4 milliards de dollars cette même année, sur des secteurs d'utilisations variés.

Prenant en compte la complexité, l'opacité de la filière, la rareté de la documentation factuelle et le poids d'un marché noir estimé à 40% de la production officielle chinoise, le BRGM a établi un panorama du marché des terres rares, consultable ici :

www.mineralinfo.fr/page/metaux-strategiques

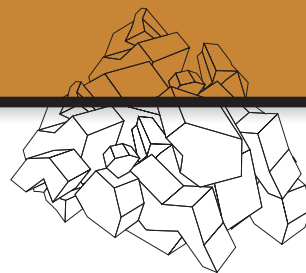
De plus, une fiche de criticité a été établie spécifiquement pour le néodyme (en novembre 2015) et le dysprosium (en août 2016).

Fiches disponibles ici : www.mineralinfo.fr/page/fiches-criticite



Pegmatite à eudialyte (minéral de terres rares), Groenland.
©BRGM - Nicolas Charles

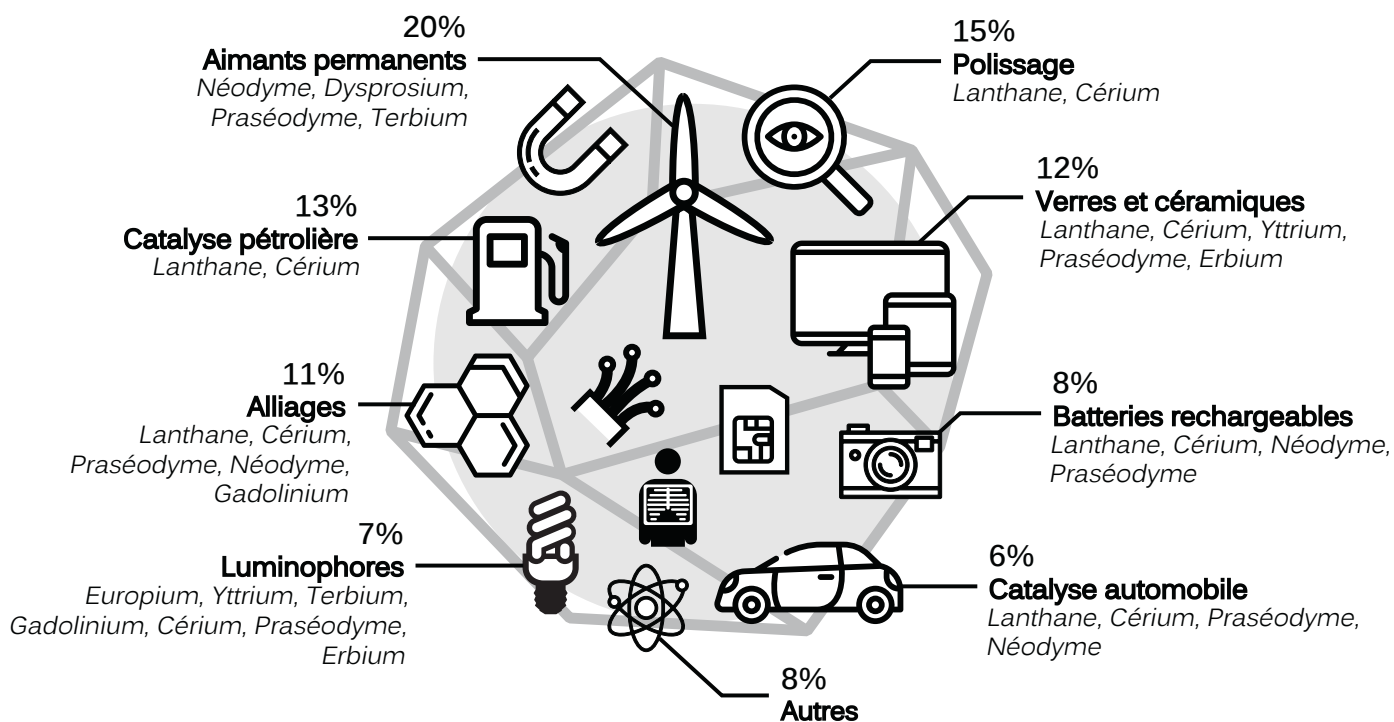
2/ Pourquoi un tel engouement pour les terres rares ?



Depuis notre ordinateur jusqu'à notre véhicule, l'utilisation des terres rares intervient pour la fabrication de nombreux produits technologiques.

Connues et étudiées depuis le début du XIXe siècle, les terres rares sont néanmoins utilisées communément seulement depuis les années 1970. Aujourd'hui, on les retrouve dans la plupart des objets manufacturés. Elles sont notamment utilisées pour la production d'aimants permanents, qui représente plus de 20% de l'utilisation des terres rares en tonnage, et 53% de la valeur totale du marché (cf Panorama 2014 du BRGM).

Outre les aimants permanents, les terres rares sont beaucoup utilisées aujourd'hui comme catalyseurs dans l'industrie pétrolière et automobile (20% en tonnage) et dans certains alliages métalliques (20% aussi en tonnage, près de la moitié pour les batteries). On les retrouve dans les nouvelles technologies (smartphones, tablettes, ordinateurs, téléviseurs...) mais aussi dans d'autres secteurs très stratégiques tels que l'aviation, l'armement et le secteur des énergies renouvelables (moteurs de voitures électriques ou hybrides, batteries d'éoliennes onshore et offshore).



Parmi les 17 terres rares, voici la liste des 15 principales : lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, yttrium, lutétium et ytterbium. Les utilisations sont variées. Les aimants permanents représentent notamment 20% de leur consommation en tonnage et plus de 50% de la valeur totale du marché (cf Panorama 2014). © BRGM



UTILISATION DES TERRES RARES

Jusqu'à 1 tonne de terres rares dans une éolienne

Les aimants permanents sont également utilisés dans le fonctionnement des éoliennes. Pour une puissance d'1 MW fournie par le générateur, il faut jusqu'à 600 kg d'aimants contenant 31% de terres rares. Une éolienne offshore pouvant atteindre 7 MW de puissance nécessite donc à elle seule plus d'une tonne de terres rares. Un développement massif de parcs éoliens en mer pourrait ainsi avoir une influence importante sur la demande.

Entre 0,5 et 3,5 kg de terres rares pour fabriquer une voiture

Les aimants permanents jouent un rôle central dans l'industrie automobile car ils interviennent dans un grand nombre de fonctions dont certaines ne peuvent se passer de terres rares pour leur fiabilité et leurs performances (direction et freinage par exemple). Les terres rares sont aussi utilisées dans les batteries et moteurs des véhicules hybrides et électriques, dans une fourchette allant de 1,2 kg à 3,5 kg en fonction des technologies. Enfin, on retrouve des terres rares légères dans les pots d'échappement comme catalyseurs.

4,5 g de terres rares dans chaque ordinateur

Sur les 500 g que pèse un disque dur d'ordinateur, l'aimant permanent en représente 15 g, lui-même étant constitué d'environ 4,5 g de terres rares : 4,2 g de néodyme et 0,3 g de dysprosium (voir illustration ci-dessous).

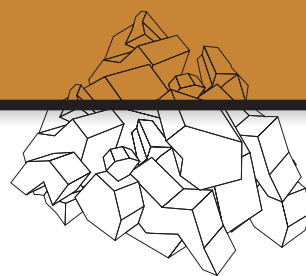


© BRGM - NOUR EDDINE MENAD

Une hausse de la consommation qui va se poursuivre

Progrès continu et omniprésence des nouvelles technologies vont générer une hausse annuelle constante de 4% de la demande globale en terres rares jusqu'à 2020 – principalement tirée par les aimants permanents avec une hausse prévue de 7% par an. Une telle consommation pose la question de l'approvisionnement, en prenant en compte des tensions économiques grandissantes entre les pays, notamment en réaction au quasi-monopole chinois sur ce marché.

Ces dernières années, et pour faire face à leur dépendance, de nouveaux pays miniers ont ainsi consacré une partie de leur activité primaire à l'exploration de terres rares sur leur territoire. C'est le cas des Etats-Unis et de l'Australie, mais aussi de l'Afrique du Sud, de la Suède et du Groenland. Néanmoins, la forte rentabilité des terres rares chinoises ne permet pas à ces pays de réellement s'imposer sur le marché, et le développement de nouveaux gisements est freiné par des prix maintenus bas.



3/ L'origine géologique des terres rares

Gisements profonds ou de surface, terres rares lourdes ou légères, ressource facile d'accès ou difficile à extraire... La géologie nous éclaire sur les principaux gisements mondiaux.

Comme pour l'or, il n'existe pas un mais plusieurs types de gisements de terres rares. À la différence de l'or cependant, on ne trouve jamais de terres rares sous forme métallique dans la nature puisqu'elles sont toujours incluses dans la structure atomique de minéraux particuliers, impliquant l'emploi de techniques de séparation spécifiques, souvent onéreuses et parfois polluantes.

Certains gisements sont issus de processus magmatiques très particuliers, comme les massifs volcaniques de carbonatite, qui représentent la première source mondiale de

terres rares légères (*voir encadré*). C'est le cas de Bayan Obo en Chine, aujourd'hui le plus important gisement de terres rares (60% des réserves mondiales connues).

Cependant, ce sont les terres rares lourdes qui sont les plus recherchées car elles apportent une valeur ajoutée supérieure dans les applications technologiques (*voir encadré*). Leur concentration dans les gisements dépend des processus de formation et constitue un des critères importants de l'exploration. A l'échelle européenne, des sites de ce type ont



GROENLAND, DES TERRES RARES SOUS LA GLACE ?



Le Groenland constitue un enjeu non négligeable pour la communauté européenne en termes de ressources minérales, notamment en terres rares. On y trouve des complexes alcalins (type de roche riche en calcium et potassium), ces gisements étant d'origine magmatique. Deux sites avec un potentiel en terres rares sont en cours d'exploration : Kvanefjeld et Kringlerne (photo). On peut y observer un litage, avec une alternance de lits clairs et sombres. Ces derniers contiennent des minéraux porteurs de terres rares, comme l'eudialyte.

© BRGM - JOHANN TUDURI



Le Groenland, recouvert à 80% par la calotte glaciaire, est touché de plein fouet par le changement climatique. Cela aura-t-il un impact sur l'accès aux ressources minérales du pays ? Le BRGM a participé en 2013 à une mission sur place pour répondre en particulier à cette question. Verdict : la fonte des glaces s'accélère, mais ne générera pas à court terme un large accès à ces ressources.

© BRGM - JOHANN TUDURI

été identifiés au Groenland (Kvanefjeld par exemple) et en Suède (Norra Kär par exemple).

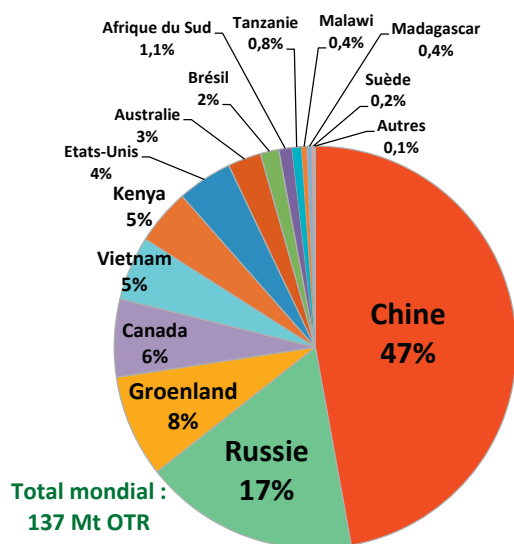
Un type unique de gisement : les argiles ioniques chinoises

Parmi les gisements liés à des processus géologiques de surface, les gisements d'argiles ioniques du sud de la Chine n'ont à l'heure actuelle pas d'équivalent à l'échelle mondiale. Ces gisements sont dus à l'altération importante de granites enrichis en terres rares sous un

climat tropical. Les terres rares lourdes sont ainsi concentrées dans les argiles résiduelles. Leur exploitation est en grande partie artisanale, elle se fait en surface de manière intensive. Ces argiles représentent actuellement 99% de l'offre mondiale en terres rares lourdes. Elles constituent les principaux sites d'extraction clandestins en Chine, où le marché noir représente près de 30% de la production.

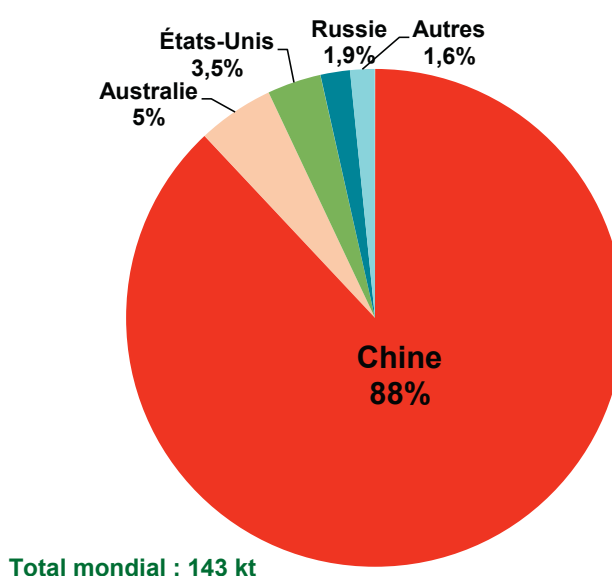
Répartition des ressources en terres rares - hypothèse basse 2015

(sources mixées SNL, TMR, Roskill, 2015)



Répartition de la production minière de terres rares en 2014

(Source : Roskill, 2015)



Les terres rares ne sont pas présentes qu'en Chine, mais la Chine détient quasiment le monopole sur leur exploitation. (chiffres extraits du Panorama 2014 des terres rares – BRGM)

LES TERRES RARES LOURDES SONT LES PLUS RECHERCHÉES

La distinction entre terres rares lourdes et légères est sujet à de nombreuses discussions car il n'existe pas de classification officielle. En effet, plus le nombre atomique est élevé et plus l'élément sera lourd, sans pour autant qu'il existe de réelle frontière entre les terres rares légères (comme le néodyme) et lourdes (comme le dysprosium). Les terres rares légères sont généralement de valeur moindre car produites en quantités supérieures (concentrations plus élevées dans de nombreux gisements). À l'inverse, la séparation des terres rares lourdes est plus complexe et coûteuse, et leur utilisation dans les produits génère une forte valeur ajoutée. Elles sont donc considérées comme plus critiques, en particulier celles améliorant les performances des aimants permanents (dysprosium et terbium).

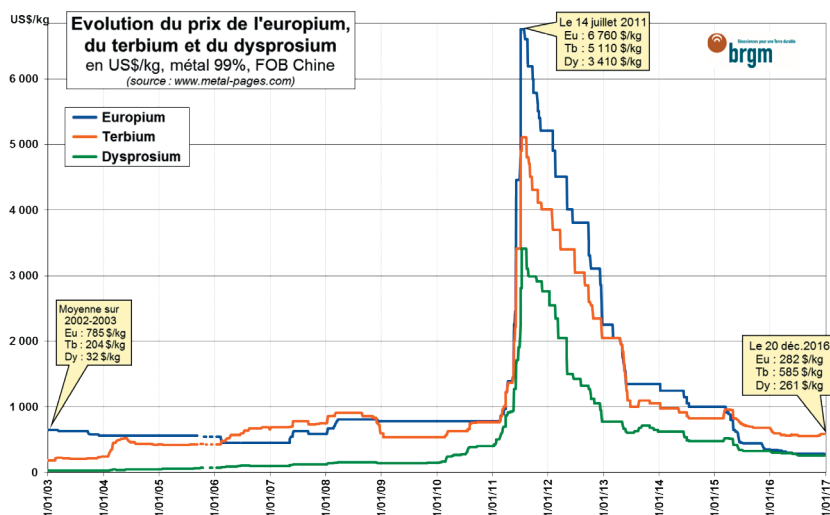


4/ Développer le recyclage pour réduire les tensions

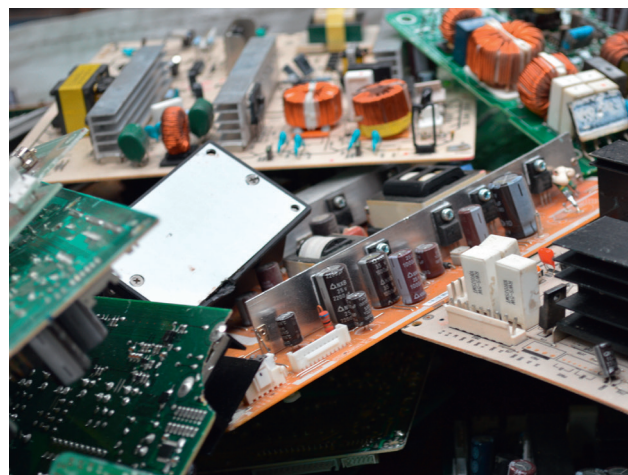
Pour atténuer le monopole chinois et l'impact environnemental des procédés de traitement, le recyclage des terres rares est un des leviers. Des solutions innovantes sont à l'étude au BRGM pour accélérer la voie vers une économie favorisant le recyclage.

En position de quasi-monopole (près de 90% des ressources), la Chine, entrée en 2001 à l'OMC, impose en 2011 des quotas sur les exports, réduisant la disponibilité en terres rares de 40% sur leur marché et l'augmentation soudaine des prix (jusqu'à 100 fois le prix de base). Quelques mois plus tard, la bulle spéculative éclate, la mise en exploitation de nouveaux gisements jugés rentables au moment de la crise est suspendue, et les mines ayant rouvert hors-Chine se trouvent en difficulté (Moutain Pass aux Etats-Unis, Mount Weld en Australie). Cet exemple illustre l'importante volatilité du marché.

La recherche de gisements exploitables en Europe a laissé apparaître quelques rares sites dans les pays nordiques (Suède notamment). Pour ce qui est de la France, le potentiel minier est très faible (gîtes à monazites du Massif armoricain). Par ailleurs, seulement 1% des terres rares est recyclé. En cause : les quantités récupérées sont souvent très faibles, présentent des impuretés, et la rentabilité des procédés n'est pas encore au rendez-vous par rapport à des extractions très bon marché dans certains pays. Accroître le recyclage des terres rares fait donc partie des solutions étudiées par le BRGM. Exemples.



L'évolution des cours, par exemple pour le dysprosium, reflète bien la flambée des prix de 2011 suite aux spéculations de la Chine. © BRGM



L'innovation est nécessaire pour recycler les terres rares des ordinateurs. Il faut en effet séparer les composants, isoler les aimants permanents présents dans les disques durs, et retirer enfin les terres rares avec des procédés proches de l'industrie minière extractive. Des outils utilisés pour broyer une roche peuvent en effet être adaptés pour broyer des déchets électroniques. © BRGM



Mieux extraire les terres rares des disques durs

Lancé en 2013 sur financement de l'Agence nationale de la recherche, le projet Extrade (extrade.brgm.fr) est consacré au recyclage des aimants permanents et terres rares contenus dans les disques durs d'ordinateurs, les hauts-parleurs et les petits moteurs électriques, ces gisements secondaires étant de plus en plus importants.

Un nouveau procédé de récupération à grande échelle des aimants présents au sein des disques durs a tout d'abord été mis au point, par tri mécanique. Après le broyage des aimants, l'extraction des terres rares a ensuite été rendue possible par dissolution grâce à un acide faible, et par concentration grâce à des biomatériaux.

Les déchets miniers, une source potentielle de terres rares

Le projet européen Enviree (www.enviree.eu) vise à démontrer la viabilité économique de nouvelles méthodes d'extraction et de traitement de terres rares provenant des déchets miniers, ces « stériles » non traités car jugés trop peu concentrés en minéraux d'intérêt. Deux cas d'étude ont été choisis, l'un provenant d'une mine d'or suédoise qui produit des résidus porteurs de terres rares, et l'autre provenant d'un ancien site minier au Portugal. Après avoir caractérisé ces stériles, il s'agit d'adapter des techniques classiques de minéralurgie utilisées dans l'industrie minière.

Broyer les minéraux et concentrer ceux qui sont porteurs de terres rares, tels sont les objectifs du pilote de flottation qui a été opéré avec succès dans la Halle expérimentale du BRGM. Mise en solution, concentration et purification des terres rares sont les phases ultérieures du procédé.

Le projet s'achèvera par un bilan technico-économique, premier pas vers une étude de faisabilité plus poussée et un éventuel développement industriel du recyclage de ces stériles.

Au-delà des enjeux propres à la filière des terres rares, ce projet est l'occasion de valoriser les éléments contenus dans des déchets miniers. Cela permettra peut-être de pouvoir lancer des processus de récupération, de recyclage et de nettoyage des anciens sites miniers, de manière économiquement viable.

DES FLUX ET STOCKS DE TERRES RARES BIEN IDENTIFIÉS EN EUROPE

Lancé en 2011 et achevé en 2015, le projet ASTER (Analyse systémique des terres rares), soutenu par l'ANR et coordonné par le BRGM, a dressé un portrait des flux et stocks de terres rares en Europe à l'horizon 2020. Il a ainsi permis d'identifier l'importance relative de certaines terres rares en fonction de leur usage, et de distinguer les parts des importations et du recyclage dans l'approvisionnement. ASTER a permis également d'établir une carte inédite du potentiel en terres rares de l'Europe et du Groenland.



Un pilote de flottation a été élaboré avec succès dans la Halle expérimentale du BRGM, afin de recycler les terres rares contenues dans les déchets miniers. ©BRGM