

## Les Terres Rares, un enjeu global

**M**algré leur nom, les éléments constituant les terres rares ne sont pas rares. Le plus abondant, le cérium, est plus répandu dans l'écorce terrestre que le cuivre ; le plus rare, le thulium, est 4 fois plus abondant que l'argent. Les teneurs sont, en général, exprimées sous forme d'oxydes.

### MATIÈRES PREMIÈRES

L'ensemble des terres rares représente environ 0,08 % de l'écorce terrestre.

#### Minerais

Deux minerais représentent l'essentiel des réserves mondiales de terres rares :

- la bastnaésite, orthophosphates de terres rares, essentiellement en Chine et aux États-Unis ;
- la monazite, fluorocarbonates de terres rares, essentiellement en Australie, au Brésil, en Chine, en Inde, en Malaisie, en Afrique du Sud, au Sri Lanka, en Thaïlande et aux États-Unis.

#### Gisement et Production

Le principal gisement chinois est celui de Bayan Obo, en Mongolie Intérieure, avec environ 55 % de la production chinoise. Ses réserves sont de 600 millions de tonnes de minerai contenant 34 % de fer, 5 % d'oxydes de terres rares et 0,032 % d'oxyde de thorium.

La production mondiale d'oxydes de terres rares de la Chine s'est élevée à environ 130 000 tonnes en 2010, constituant un quasi-monopole mondial. L'Inde, deuxième producteur « déclaré », n'en aurait extrait que 2 700 tonnes, mais la production de la CEI, des États-Unis et de la plupart des autres producteurs mineurs, qui cumuleraient tout de même un cinquième des réserves mondiales, n'est pas communiquée.

En 2009, les exportations chinoises ont été de 31 310 tonnes d'oxydes de terres rares dont 50 % vers le Japon, 19 % vers les États-Unis, 7 % vers la France, 4 % vers les Pays Bas, 3 % vers l'Allemagne, 3 % vers l'Italie.

#### Réserves estimées

Les réserves mondiales estimées en 2011 sont de 110 millions de tonnes exprimées en oxydes, principalement dans des minerais de bastnaésite et de monazite :

Chine	55
Russie	19
États-Unis	13
Inde	3,1
Australie	1,6
Brésil	0,05
Malaisie	0,03

Source : USGS

Des gisements de terres rares sont connus dans 34 pays.

#### Potentiel de réserve

En juillet 2011, une équipe de scientifiques japonais indique avoir trouvé une nouvelle réserve de terres rares dans les eaux internationales du Pacifique.

**Liste des terres rares** : scandium, yttrium, lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, prométhium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutécium.

### UTILISATIONS

#### Terres rares non séparées

De l'ordre de 75 à 80 % du tonnage extrait est consommé sans séparation des terres rares contenues dans les concentrés marchands. Ces utilisations met-

tent en jeu, en général, leurs propriétés chimiques. Ces propriétés étant très voisines, il n'est pas nécessaire d'effectuer de séparation.

Le mélange des métaux de terres rares, appelé "mischmétal", est obtenu par électrolyse en sel fondu de terres cériques. Un bain de chlorures de terres rares, additionné de chlorures alcalins et alcalino-terreux, est fondu à 800-1 000°C. Le creuset, en acier, sert de cathode, l'anode étant en graphite. La composition du mischmétal dépend du minerai ou du mélange de minerais utilisé. Elle est d'environ 50 % en cérium, 25 % en lanthane, 17 % en néodyme, le reste représentant les diverses autres terres rares.

#### Utilisations

- **Pierres à briquet** : elles sont en ferrocérium, alliage de mischmétal avec 25 à 30 % de fer. Le fort pouvoir réducteur des terres rares est utilisé dans cette application : elles sont pyrophoriques (les fines particules arrachées par abrasion s'enflamment à l'air). Cette application est fortement concurrencée par les briquets à allumage piézo-électrique.
- **Métallurgie** : utilise les terres rares pour désoxyder et désulfurer l'acier car les métaux correspondants sont très réducteurs.
- **Catalyse** : les terres rares jouent un rôle de promoteur dans des zéolithes utilisées comme catalyseur dans le craquage des produits pétroliers. En 2010, la consommation mondiale dans ce secteur est de 18 400 tonnes.

#### Terres rares partiellement séparées : cérium

Toute la difficulté de la séparation des

terres rares entre elles réside dans leur similitude de propriétés chimiques.

Utilisations du cérium

**Polissage du verre optique** : utilise de l'oxyde de cérium plus ou moins pur qui a totalement remplacé l'oxyde de fer. Il est employé pour tous les types de surfaces à polir : verres de lunettes, optique de précision, cristallerie, miroiterie, etc. En 2010, la consommation mondiale dans ce secteur a été de 23 500 tonnes.

**Décoloration du verre** : le verre contient comme principales impuretés colorantes des oxydes de fer, le pouvoir colorant du fer ferreux étant supérieur à celui du fer ferrique. Pour décolorer un verre, la première étape (décoloration chimique) consiste à oxyder les ions  $Fe^{2+}$  par l'oxyde de cérium ( $CeO_2$ ). La teinte jaunâtre résultant de ce premier traitement est éliminée en introduisant un autre oxyde de terre rare, néodyme ou erbium (décoloration physique).

**Agent antibrunissement des verres** :  $Ce^{IV}$ , à des teneurs de 1 à 2 % d'oxyde, incorporé aux verres subissant des rayonnements ionisants (face avant des tubes télévision, fenêtres de l'industrie nucléaire, fenêtres des installations de stérilisation UV), piège les électrons libérés par le rayonnement et se transforme en  $Ce^{III}$  incolore.

Absorbant fortement le rayonnement UV, l'oxyde de cérium, à des teneurs de 2 à 4 %, est également utilisé dans les verres de lunettes.

**Pigment rouge** ( $Ce_2S_3$ , sulfure de cérium) : pour colorer les matières plastiques, en remplacement des pigments traditionnels, toxiques, à base de sulfure de cadmium.

**Manchons incandescents** : c'est la première utilisation en 1891 de l'oxyde de thorium dopé à l'oxyde de cérium, par Carl Auer von Welsbach (chimiste autrichien) qui a mis au point un manchon incandescent permettant l'éclairage. Cette technique est toujours utilisée dans l'éclairage de camping au gaz.

**Pot catalytique des automobiles** : l'existence des 2 degrés d'oxydation du cérium permet aux oxydes de cérium de jouer soit un rôle d'oxydant ( $CeO_2$ ) soit un rôle de réducteur ( $Ce_2O_3$ ). En 2010, la consommation mondiale dans ce secteur a été de 5 960 tonnes.

**Additif au carburant diesel** : l'ajout au carburant diesel d'un additif (50 g/t) organo-soluble contenant 6 % de cérium, sous forme organométallique, permet d'améliorer la combustion des composés poly-aromatiques cancérogènes et des condensés ou suies émis par les moteurs diesel et ainsi de diminuer la pollution et la fumée noire.

## Terres rares séparées

Leurs utilisations font en général appel aux propriétés physiques des terres rares.

Applications liées aux *propriétés luminophores*

L'euporium est, en particulier, utilisé dans la protection des billets de banque.

**Cathodoluminescence** : dans les téléviseurs couleur, la couleur rouge est exclusivement à base de terres rares, l'euporium trivalent.

Dans les téléviseurs LCD et plasma, la couleur rouge est également obtenue à l'aide de luminophores  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  ou  $(Y_{0,65}Gd_{0,35})BO_3:Eu^{3+}$ . Le bleu est obtenu à l'aide d'euporium II dans une matrice  $BaMgAl_{10}O_{17}$ , le vert par le terbium III dans une matrice  $YGdBO_3$ . En 2010, la consommation mondiale dans ce secteur a été de 7 512 tonnes.

**Radioluminescence** : dans des rayonnements de hautes énergies comme dans la radiographie médicale où les terres rares sont utilisées dans les écrans renforçateurs des rayons X, ce qui a pour effet de réduire considérablement les doses d'irradiation subies par le patient : ce sont le terbium et le thulium sur une base d'yttrium. Le rayonnement X est transformé en rayonnements bleu ou vert pour lesquels les émulsions photographiques sont nettement plus sensibles.

**Photostockage** : l'euporium, dans une matrice de carbonate de strontium et d'oxyde métallique, permet à la poudre ainsi fabriquée d'émettre une lumière visible pendant plus de 10 heures après une irradiation de 10 minutes. Mélangée à de l'encre, de la peinture, des plastiques, elle remplace le prométhium, radioactif.

**Fluorescence** : dans les lampes à décharge fluorescente. Le revêtement luminophore des lampes fluocompactes contient, en masse, 69,2 %

d'oxyde d'yttrium, 11 % d'oxyde de cérium, 8,5 % d'oxyde de lanthane, 4,9 % d'oxyde d'euporium, 4,6 % d'oxyde de terbium. En 2010, la consommation mondiale dans la fabrication de lampes fluocompactes a été de 3 779 tonnes.

Applications liées aux *propriétés magnétiques*

Les terres rares ont des propriétés magnétiques exceptionnelles, malheureusement en dessous de la température ambiante. La formation d'alliages samarium-cobalt, tels que  $SmCo_5$  ou  $Sm_2Co_{17}$ , à performances magnétiques remarquables, a permis la miniaturisation des aimants et leur utilisation dans les moteurs pas à pas ou dans les écouteurs miniatures des baladeurs. La production mondiale des aimants Sm-Co est de 300 t/an. La production est assurée, à 60 %, en Chine.

Les aimants néodyme-fer-bore ( $Nd_2Fe_{14}B$ ), dopés au dysprosium, sont actuellement les plus performants disponibles industriellement. Ils sont utilisés à plus basse température que les aimants samarium-cobalt. Les actuels véhicules automobiles en contiennent de 1 à 2 kg. Les mêmes aimants sont utilisés pour positionner les têtes de lecture des disques durs. Les éoliennes en mer renferment 155 kg de néodyme et 27,5 kg de praséodyme par MW de puissance. En 2010, la consommation mondiale dans ce secteur a été de 31 100 tonnes. La production est assurée, à 75 %, par la Chine.

Autres applications

**Métallurgie** : l'yttrium métal est employé pour améliorer la tenue aux chocs thermiques des aciers pour oléoducs.

**Céramiques** : l'oxyde d'yttrium, à des teneurs supérieures à 7 %, est utilisé pour stabiliser, à haute température, la forme cubique de la zirconite ( $ZrO_2$ ). La zirconite cubique, qui possède des propriétés de réfraction de la lumière proches de celles du diamant, est utilisée, comme imitation du diamant, en joaillerie. L'oxyde d'erbium est utilisé comme pigment rose pour les céramiques.

**Verres** : les couleurs obtenues en y incorporant des terres rares vont du violet (2 à 6 % d'oxyde de néodyme) au rose pâle (2 à 5 % d'oxyde d'erbium) en pas-

sant par le vert clair (2 à 6 % d'oxyde de praséodyme) et le jaune clair à orange (1- 3 % de CeO<sub>2</sub> associé à 2-6 % de TiO<sub>2</sub>).

L'oxyde de lanthane, à des teneurs comprises entre 5 et 40 %, accroît l'indice de réfraction et diminue la dispersion de la lumière. Les verres au lanthane sont universellement employés, en optique de précision, pour réaliser des lentilles de microscopes, de lunettes astronomiques, des objectifs photographiques...

*Sondes à oxygène*, destinées à la mesure de la teneur en dioxygène des gaz émis par les moteurs à explosions afin d'ajuster la combustion de CO et des hydrocarbures imbrûlés dans les pots catalytiques ; elles sont en zircon plus ou moins dopée (de 1 à 10 % atomique) en oxyde d'yttrium.

*Batteries Ni-M-H* : ces batteries, qui remplacent les batteries Ni-Cd contenant du cadmium toxique, sont constituées d'une électrode positive en hydroxyde-oxyhydroxyde de nickel, d'un électrolyte, la potasse à 8,7 mol./L, et d'une électrode négative en alliage de base LaNi<sub>5</sub> et diverses autres terres rares. En 2010, la consommation mondiale dans ce secteur a été de 27 300 tonnes.

## Situation française

Pas de production minière.

Production de terres rares séparées par Rhodia (n°1 mondial), depuis 1950, à La Rochelle. De plus Rhodia exploite quatre autres usines dans le monde, trois en Asie et une aux États-Unis.

Rhodia produit l'ensemble des terres rares avec en particulier la production de luminophores pour lampes fluocompactes et écrans de télévision, d'additifs pour carburant diesel afin de régénérer les filtres à particules (trois millions de véhicules équipés dans le monde), de pots catalytiques automobiles (plus du tiers des pots utilisés dans le monde), de poudre pour polissage d'écrans LCD, de condensateurs en céramique pour applications électroniques.

## Consommation

Par secteurs d'utilisation, dans le monde, en 2010 : en tonnes et en % de valeur de chiffre d'affaires.

Application	Chine	États-Unis	Monde	% en valeur
Catalyse	9 000	9 000	24 500	5 %
Additifs du verre	7 000	1 000	11 000	2 %
Polissage	10 500	1 000	19 000	4 %
Alliages métalliques	15 500	1 100	22 000	14 %
Aimants	21 000	500	26 000	37 %
Luminophores	5 500	500	8 500	31 %
Céramiques	2 500	1 500	7 000	4 %
Autres	4 000	500	7 000	3 %
Total	75 000	15 000	125 000	100 %

## Géostratégie des Terres rares

La Chine assure un quasi monopole de la production de terres rares dans le monde. De plus, elle consomme plus de 50 % de sa propre production. Les autres pays consommateurs de terres rares sont le Japon, les États-Unis, l'Europe.

Pour faire face au monopole de la Chine, certains États reprennent leurs activités d'extraction, malgré les conséquences environnementales et les coûts élevés de leur production.

Comment les terres rares, incontournables dans le domaine de l'industrie innovante et de haute technologie, redéfinissent-ils les enjeux industriels et politiques mondiaux ?

Pour asseoir son contrôle sur ces minéraux stratégiques, Pékin met en œuvre une politique industrielle de long terme, amplement critiquée par le capitalisme occidental, et s'emploie à bousculer le grand jeu géopolitique mondial.

Pékin instaure des quotas sévères depuis 2005, et réduit ses exportations de 5 à 10 % par an. En quelques décennies seulement, la Chine a pris le contrôle de l'industrie des terres rares.

En limitant les exportations de métaux rares, elle incite les plus gros consommateurs à prendre les devants. Toutefois, la stratégie générale reste le jeu d'alliances entre producteurs chinois et transformateurs occidentaux. Aujourd'hui, la problématique de restriction des terres rares inquiète au niveau des industries de la défense. La montée en puissance militaire de la Chine a mis en lumière l'erreur stratégique commise par les occidentaux.

*Nota : Cet article de l'équipe de rédaction s'appuie sur les données extraites de documents de la Société Chimique de France et de WIKIPEDIA.*