



## Terres rares : vers la pénurie ?

---

Un précédent article initié par la lecture d'une enquête du magazine Science & Vie de mai 2012, faisait le point sur les 26 éléments déclarés « placés sous surveillance » par ce magazine. « Même si pour la grande majorité de ces éléments, les réserves naturelles se situent entre 20 et 60 ans, les problèmes risquent d'arriver avant : si leur consommation augmente plus vite que prévu ou que des causes géopolitiques viennent en tarir la source. » écrivions-nous. Cela va-t-il être le cas en ce qui concerne les terres rares dont la presse s'était inquiétée après la décision de la Chine de réduire ses exportations ? Ce sujet avait fait le « buzz » en 2010, 2011 et 2012.

### Les terres rares - Utilisations - Besoins

Les terres rares sont un groupe de métaux aux propriétés chimiques voisines comprenant le scandium, l'yttrium et les quinze lanthanides (éléments dont le numéro atomique est compris entre 57 (lanthane) et 71 (lutécium)) ; à savoir : le lanthane, le cérium, le praséodyme, le néodyme, le prométhium (pour mémoire car c'est un produit de désintégration non stable), le samarium, l'euporium, le gadolinium, le terbium, le dysprosium, l'holmium, l'erbium, le thulium, l'ytterbium et le lutécium. Du point de vue de l'économie mondiale, ils font partie des métaux stratégiques. En effet ils entrent dans la composition de la plupart des produits - civils ou militaires - issus de l'industrie high-tech.

Ainsi des objets qui nous sont devenus familiers en contiennent plus ou moins :

- les ampoules à basse consommation (du type fluo-compactes)
- les téléphones portables, les tablettes et autres équipements à écrans tactiles,
- les ordinateurs (notamment pour leurs caméras, écrans et disques durs),
- les écrans LCD et plasma (yttrium + europium pour la couleur rouge, europium pour le bleu et terbium pour le vert),
- les appareils photos et les caméras,
- les batteries (7 % en masse : soit 1 g pour une batterie AAA, 1 à 2 kg pour un véhicule normal ou encore 12 à 15 kg pour un véhicule hybride tel que le modèle Prius de Toyota),

- les éoliennes (les alternateurs des éoliennes off-shore renferment 155 kg de néodyme et 27,5 kg de praséodyme par MW de puissance).

De même les terres rares sont très présentes dans les équipements du domaine militaire :

- les systèmes de guidage des avions ou des missiles (notamment aimants des moteurs des gouvernes),
- les alliages à hautes résistances et hautes températures,
- l'avionique : systèmes de contrôle, navigation, communication, détection...,
- les systèmes de mesures et contre-mesures électroniques,
- les lasers, les transducteurs de sonar,
- les radars de surveillance...

Le rapport USGS (l'équivalent de notre BRGM) ref 1 « The Future of Rare Earth Elements » donne le classement ci-après, suivant l'importance du type d'utilisation en 2009 :

#### **Fabrication d'aimants (26.500 t/a) :**

- Soit : 69 % néodyme, 23 % praséodyme, 5 % dysprosium, 0,2 % terbium et aussi samarium ; terres rares qui ont la particularité d'améliorer la puissance des aimants par unité de poids et de volume.
- Ces aimants dopés aux terres rares sont utilisés là où les gains de poids ou de volume sont des critères importants (disques durs, enceintes acoustiques, alternateurs (éoliennes), moteurs électriques (automobiles, avions...etc).

#### **Catalyse (24.400 t/a) :**

- 18.400 t/a (90 % lanthane et 10 % cérium) en tant que catalyseurs de craquage en pétrochimie.
- 6.000 t/a (90 % cérium, 5 % lanthane, 3 % néodyme, 2 % praséodyme) pour les pots catalytiques.

#### **Alliages métalliques (22.500 t/a) :**

- Accumulateurs de type NiMH (nickel – hydrure métallique) utilisant principalement du lanthane pour protéger l'anode (50 % lanthane, 33 % cérium, 10 % néodyme, praséodyme, samarium).
- Mischmétal pour différentes applications (52 % cérium, 26 % lanthane, 17 % néodyme, 5 % praséodyme) : fonderie (pour désoxyder et désulfurer l'acier ou encore produire la fonte à graphite sphéroïdal), alliages spéciaux (en particulier le ferrocérium des pierres à briquet).

#### **Polissage (15.000 t/a) :**

- Soit : 65 % cérium, 32 % lanthane, 3 % de praséodyme.
- Les poudres de cérium polissent mieux que toute autre substance le verre ou le silicium. A noter que le polissage à l'oxyde de cérium est plutôt de type chimique que mécanique.

- Applications : lunettes (2 grammes par verre), optique de précision, appareils photographiques, écrans, miroiterie, cristallerie...en ce qui concerne le verre, cellules photovoltaïques...en ce qui concerne le silicium.

#### **Industrie du verre (12.500 t/a) :**

- Soit : 66 % cérium, 23 % lanthane, 3 % néodyme, 1 % praséodyme.
- L'oxyde de cérium est utilisé pour la décoloration du verre. Absorbant fortement les UV, il est utilisé en particulier pour les verres de lunettes.
- L'oxyde de lanthane accroît l'indice de réfraction et diminue la dispersion de la lumière. Il est naturellement employé en optique de précision (appareils photographiques, microscopes, télescopes...).

#### **Eclairage – écrans (9.000 t/a) :**

- Soit : 69 % yttrium, 11 % cérium, 9 % lanthane, 5 % europium, 5 % terbium, 2 % gadolinium.
- Eclairage : en particulier les lampes fluo-compactes.
- Ecrans : les couleurs de base RVB des écrans LCD ou plasma sont obtenues grâce à l'yttrium, l'europium et le terbium.

#### **Autres utilisations (15.500 t/a) :**

- 7000 t/a (53 % yttrium, 17 % cérium, 12 % lanthane, 12 % néodyme, 6 % praséodyme) pour usages divers. Notamment en électronique (en particulier dans les condensateurs céramiques) ou encore en joaillerie (Y et Ce permettent de stabiliser la zircon (dioxyde de zirconium) cubique pour l'imitation du diamant).
- 8.500 t/a d'oxydes de terres rares (cérium, lanthane, yttrium, néodyme, praséodyme, samarium, gadolinium) sont consommés en Chine comme additifs à des engrais. Pourtant les terres rares n'ont pas de propriétés particulières reconnues en biologie.

Nota : les consommations et pourcentages ci-dessus sont donnés en tonnes par an et en % d'oxyde de terres rares.

En résumé les besoins en terres rares étaient, en 2009, par type d'utilisation :

<b>Type d'utilisation</b>	<b>% en volume</b>	<b>% en valeur</b>	<b>Taux de croissance</b>
Aimants	21	37	10 – 16
Catalyseurs	20	5	4 – 7
Alliages	18	14	15 – 20
Polissage	12	4	6 – 8
Verre	10	2	Négligeable
Eclairage - Ecrans	7	31	7 – 10
Autres	12	7	5 – 9

Ce tableau, issu du rapport USGS ref 1, donne également le % en valeur et le taux de croissance.

A noter que ce rapport de l'USGS ne prend pas en compte le scandium souvent considéré comme terre rare. Ce métal classé stratégique permet de renforcer l'aluminium notamment pour l'industrie aéronautique.

Selon l'article ref 3 de la Société Chimique de France, la consommation dans le monde, en 2009, était de 133 000 tonnes d'oxydes de terres rares avec, pour les principaux consommateurs :

Chine	72 000	Europe	13 000
Japon	32 000	Etats-Unis	11 000

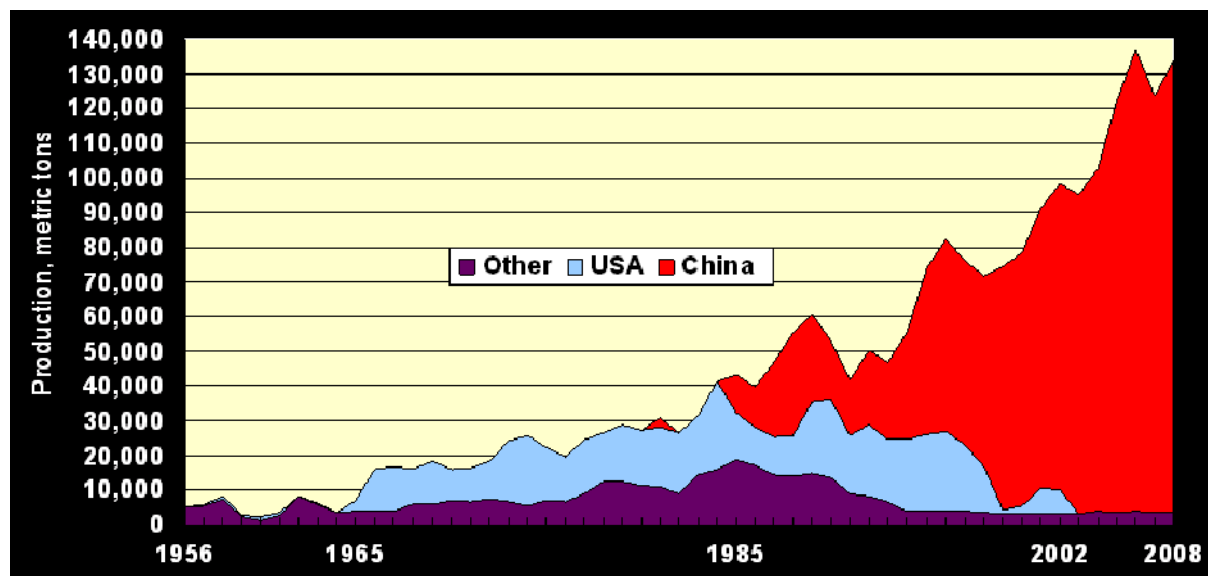
Selon ref 3, 75 % du tonnage des terres rares est consommé sans séparation des terres rares contenues dans les concentrés marchands, leurs propriétés chimiques étant très voisines. C'est le cas du mischmétal (mélange de métaux de terres rares) qui est obtenu par électrolyse en sel fondu. Cependant depuis au moins 2007, l'augmentation de la demande en néodyme a rendu économiquement intéressante l'extraction du néodyme et des lanthanides lourds. Aussi, le mischmétal bon marché peut ne contenir que La-Ce-Pr ou même La-Ce.

Lorsque l'on fait appel aux propriétés physiques des terres rares, il est le plus souvent nécessaire de les séparer individuellement. La société Rhodia, rachetée en 2011 par Solvay, est le n°1 mondial des terres rares séparées. Elle utilise un procédé de séparation continu par extraction à l'aide de solvants. Une de ses cinq usines de séparation de terres rares se trouve en France, à La Rochelle. Certains de nos anciens l'ont connue. En difficulté début 2009, elle a repris des couleurs à la faveur de l'augmentation des prix des terres rares. Elle récupère aussi maintenant les terres rares contenues dans les lampes fluorescentes usagées collectées par la société Récyclum (3650 tonnes en 2010). 4 000 tonnes de lampes sont susceptibles de donner 15 t d'yttrium, 1 t de terbium et 1 t d'europium. A comparer avec les 3 779 tonnes de terres rares utilisées en 2010 dans le monde pour la fabrication de lampes fluo-compactes.

## Le monopole de la Chine

Tant pour des raisons de faibles coûts d'extraction que pour le peu de contraintes environnementales, la production de terres rares s'est concentrée en Chine.

Les courbes ci-dessous de la production mondiale de 1956 à 2008 (USGS confer ref 1) montrent comment depuis les années 1980 la part de production mondiale de la Chine est passée de 0 % à plus de 95 %.



Tout irait bien dans le meilleur des mondes si les pays industrialisés n'avaient pas pris conscience que la Chine avait de fait un quasi-monopole dans la production de terres rares ; et si, début septembre 2009, la Chine n'avait pas déclaré vouloir réduire ses quotas d'exportation à 35 000 tonnes par an dès 2010.

L'argumentation justifiant cette décision portait sur la volonté de préserver ses ressources et l'environnement. D'une part, les réserves de terres rares du pays auraient chuté de 37 % entre 1996 et 2003 et qu'elles pourraient être épuisées d'ici quinze à vingt ans si le rythme de production actuel se maintient. D'autre part, les Chinois commencent à se préoccuper des risques environnementaux. En effet, l'extraction et le raffinage des terres rares entraînent le rejet de nombreux éléments toxiques: métaux lourds, acide sulfurique ainsi que des éléments radioactifs (uranium et thorium). Par exemple, la radioactivité mesurée dans les villages proches de l'exploitation de terres rares de Baotou en Mongolie intérieure est de 32 fois la normale (elle est de 14 fois la normale à Tchernobyl) cf ref 7.

Mais tout le monde s'accorde à dire qu'en premier lieu, ces mesures visent surtout à satisfaire sa demande interne, en forte croissance. De 2006 à 2010, la Chine a réduit ses quotas d'exportation de 5 % à 10 % par an, et sa production a été limitée afin de ne pas épuiser trop vite ses réserves.

De plus, en octobre 2009, un rapport interne du « Ministry of Industry and Information Technology » chinois, portant sur l'évolution stratégique jusqu'à 2015 pour le développement des terres rares, a fait état de la volonté de la Chine d'interdire l'exportation de 5 éléments (dysprosium, terbium, thulium, lutécium et yttrium) et de réduire les volumes exportables des autres. Deux éléments, le terbium et le dysprosium, devaient même être bannis d'exportation avant 2011. Et dès 2012, la Chine aurait souhaité réserver la totalité de sa production pour son industrie propre. Même si les Chinois ont déclaré que ce n'était qu'un document de travail, ce rapport a commencé à vraiment inquiéter les Occidentaux.

Ces inquiétudes ont encore augmenté lorsque, en septembre 2010, à l'occasion d'une crise diplomatique, les Chinois ont montré qu'ils pouvaient mettre à exécution la menace de l'arrêt des exportations vis-à-vis d'un pays tiers, en l'occurrence cette fois-là, le Japon.

## Les réactions

Déjà, quelques temps auparavant la sonnette d'alarme avait été tirée par les gouvernements des différents grands pays industriels. Mais là, les velléités annoncées des Chinois ont constitué comme un électrochoc. De nombreuses études ont été lancées comme le rapport USGS ref 1 ou encore le rapport du Sénat français ref 2. Et la presse s'est enflammée en produisant des articles alarmistes à propos des terres rares mais aussi relativement à d'autres métaux stratégiques.

Après une plainte déposée par l'Union Européenne, les États-Unis et le Mexique en fin 2009, l'OMC (Organisation Mondiale du Commerce) condamne le 5 juillet 2011 la Chine à mettre un terme aux restrictions imposées à l'exportation de plusieurs minerais.

Le 13 mars 2012, une nouvelle plainte est déposée par les États-Unis, l'Union européenne et le Japon devant l'OMC du fait des restrictions imposées par la Chine à l'exportation des 17 terres rares, du tungstène et du molybdène.

Peu importe les réactions étrangères, la Chine, privilégiant ses intérêts, a continué de réduire ses exportations d'oxydes de terres rares. Entraînant la critique de certains qui ont considéré que les terres rares étaient devenues pour les Chinois une belle arme de compétition massive et de dissuasion. Ce qui n'est sans doute pas faux et qui s'explique tout à fait logiquement lorsque l'on regarde le tableau ci-après qui résume l'historique des terres rares en Chine.

Type d'activité relative aux terres rares en Chine	Période / Début de l'activité	Indice de valeur du kg de terres rares correspondant
Prospection	Avant 1970	-
Mine et extraction des TR	1970	\$
Terres rares séparées (72 %)	1980	\$\$
Métaux – Composés	1990	\$\$\$\$
Produits semi-finis (aimants, catalyseurs et autres produits prêts à l'emploi)	1995	\$\$\$\$\$\$
Produits finis (écrans, lampes, téléphones, moteurs électriques, éoliennes...)	2000	\$\$\$\$\$\$\$\$

Ce tableau qui reprend des informations d'une présentation du DOE américain ref 4 montre que la valeur du kilogramme de terres rares augmente de façon importante suivant le niveau d'élaboration du produit dans lequel il se trouve. Ainsi le kilogramme de terres rares contenu

dans un produit fini vaut huit fois plus que le kilogramme contenu dans le minerai. Et en plus - le document ref 4 ne l'évoque pas clairement - la fabrication du produit fini va générer de nombreuses autres activités économiques complémentaires. La Chine réalise ainsi un joli coup double : elle s'assure le contrôle de ces ressources stratégiques tout en poussant les entreprises étrangères à établir leurs activités manufacturières en Chine.

Alors que le pays exportait jusqu'à 75 % de sa production de terres rares au début des années 2000, en 2009 le chiffre n'était déjà plus que de 25 %. La consommation intérieure de 19 000 tonnes en 2 000 est passée à 83 000 tonnes en 2011.

L'Occident qui s'était habitué à profiter de matières premières bon marché au cours des dernières décennies se devait de réagir devant ce rationnement et l'envol des cours qui s'en est suivi.

## Les alternatives

A défaut de pouvoir se passer des terres rares, ou de pouvoir en réduire nettement et immédiatement sa consommation, ou encore de pouvoir recycler à coûts compétitifs et en volumes suffisants, les seules alternatives restantes étaient de reprendre la production de mines existantes et de développer de nouveaux gisements.

En effet, contrairement à leur appellation, les terres rares ne le sont pas (voir ref 7). Au rythme actuel de production, le document ref 4 indique que les réserves mondiales connues à ce jour permettraient 700 ans d'exploitation. Avec une augmentation annuelle de 10 % des besoins, ces réserves permettent encore 70 ans d'exploitation. Et si les réserves de la Chine constituaient 75 % des réserves mondiales en terres rares dans les années 1970, le document ref 4 indique que ses réserves n'en constituent plus que 31 %. En effet de nombreux gisements sont apparus entre-temps. Et il en apparaît encore : le 13 mai 2013, le journal La Tribune annonçait même que la France pourrait devenir un gros producteur de terres rares grâce à la découverte, en 2010 par une équipe de l'Université de Tokyo, de dépôts offshore dans la Zone Economique Exclusive de la Polynésie Française.

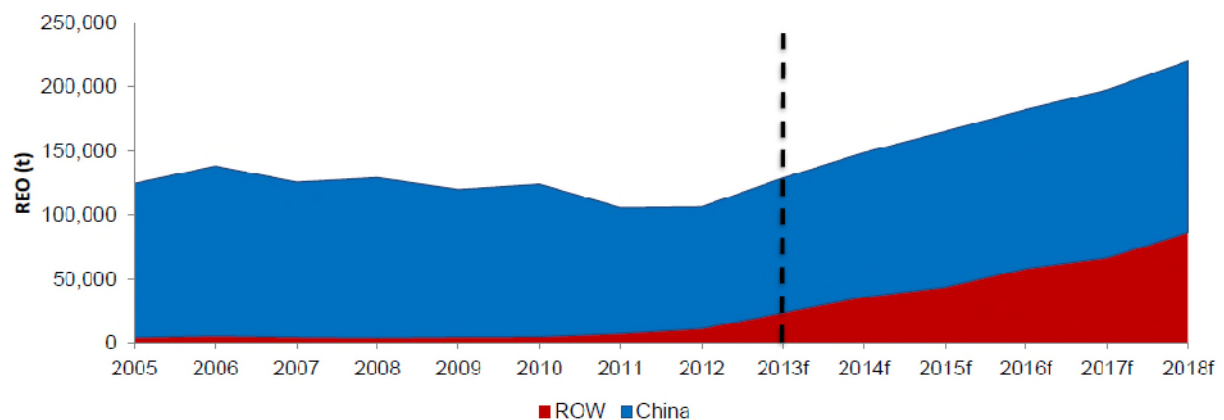
A fin 2012, plus de 200 projets d'exploration ou d'exploitation relatifs aux terres rares étaient recensés à travers le monde. Mais la mise en exploitation d'un nouveau gisement prend beaucoup de temps : 10 ans en moyenne aux Etats Unis d'après ref 1. Aussi ce document prédisait-il des difficultés d'approvisionnement et des prix élevés pendant quelques années et une bonne probabilité de sortie de crise en 2015 – 2016.

De fait, l'alerte a été chaude. L'affolement des industriels et l'emballement médiatique avaient généré stockages massifs et spéculation. Ce qui a entraîné l'envol des prix en 2011. Ainsi selon ref 5, entre 2009 et 2011, le prix moyen de l'oxyde de cérium a été multiplié par vingt-cinq, celui du dysprosium par douze. Un niveau de prix insupportable pour les consommateurs. Depuis les prix se sont dégonflés sous l'effet de la chute de la demande

induite par ces prix. En 2011, selon Le Monde du 24 août 2012, sur le quota d'exportation fixé à 30 184 tonnes par le ministère du commerce chinois, seules 18 600 tonnes ont été réellement exportées.

Au deuxième trimestre 2013, le prix de l'oxyde de cérium avait été divisé par trois depuis le sommet de 2011, coûtant cependant plus du double de son prix de 2009. Le recul a été moins marqué pour le dysprosium, toujours cinq fois plus cher qu'en 2009, et dont le coût n'a été divisé que par deux par rapport à 2011.

Le graphique ci-après extrait du document ref 6 donne les prévisions de production de terres rares jusqu'en 2018.



Selon ce document, en 2013, le reste du monde (ROW = Rest Of World) produira déjà 24 000 tonnes d'oxydes de terres rares et en 2018 il devrait couvrir environ 40 % des besoins (mais seulement 30 % des besoins en terres rares lourdes (terbium et au-delà)).

Ce n'est pas pour autant que l'ombre de la Chine cessera de planer sur le marché des terres rares : non seulement elle restera encore longtemps le plus gros producteur mondial mais encore, elle commence à regarder au-delà de ses frontières. Ainsi la Chine cherche à se placer au Groenland fréquemment présenté comme le prochain eldorado des terres rares. Et en septembre, selon un article du China Daily, la Chine chercherait à acheter 10 000 tonnes de terres rares à l'étranger pour garnir ses stocks stratégiques. La guerre économique continue... Et les besoins propres de la Chine sont immenses : ref 7 indique par exemple que la mise en service du parc éolien chinois planifié nécessiterait plus de néodyme que les réserves chinoises n'en disposent. Les plans de transition énergétique dans le monde faisant une bonne part à l'éolien pourraient en pâtir...

## En conclusion

Cette crise n'était qu'une péripétie. Les terres rares sont relativement abondantes sur terre. Cependant les besoins sont en constante augmentation, et de plus les chercheurs trouvent



de nouvelles applications qui de facto créent de nouveaux besoins. Si nos besoins augmentaient de plus de 10 % par an, ce qui n'est pas impossible, le manque de terres rares pourrait arriver avant les 70 ans évoqués ci-dessus.

Deux facteurs permettront sans doute de retarder cette échéance :

- 1- l'augmentation des coûts qui freinera sûrement la demande et qui encouragera le recyclage et la promotion de substituts,
- 2- l'exploitation des réserves à découvrir ou qui aujourd'hui ne sont pas économiquement exploitables.

ARA-SGN

COMMISSION ENERGIES ET ENVIRONNEMENT

Novembre 2014

Sources :

Internet, en particulier le site Wikipédia ref 7 et les documents suivants :

Ref 1 : Rapport USGS "Open-File Report 2011–1189" de 2011 « The Future of Rare Earth Elements » disponible sur le site <http://www.usgs.gov>.

Ref 2 : Rapport d'information n° 349 du sénat enregistré le 10 mars 2011, sur la sécurité des approvisionnements stratégiques de la France.

Ref 3 : Société Chimique de France – Lien direct de l'article sur internet : <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/mine../tera/textera.htm> . Cet article détaille mieux que les autres références les propriétés et les applications des terres rares.

Ref 4 : Présentation de l'US Department Of Energy à l'American Geophysical Union le 1er mai 2012.

Ref 5 : Article de l'Usine Nouvelle du 13 septembre 2013 « Le marché des terres rares n'est pas encore équilibré ».

Ref 6 : Ecomine avril 2013. Revue mensuelle publiée sous l'égide du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Consultable sur le site <http://www.mineralinfo.fr/>.

Ref 7 : L'article Wikipédia [http://fr.wikipedia.org/wiki/Terre\\_rare](http://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_rare) donne énormément d'informations sur le sujet (relative abondance dans la croûte terrestre, historique, minerais, utilisations, géographie économique, conséquences environnementales et même configurations électroniques...) avec plus de 30 références.