

Terres rares : enjeux et perspectives

Patrice Christmann, BRGM – Direction de la Stratégie

1. Applications des terres rares, production mondiale et prix

Les propriétés des différentes terres rares ont permis le développement d'une gamme sans cesse diversifiée d'applications, au point d'être indispensables à leur existence même, d'où l'importance stratégique considérable de la filière de production des terres rares (Zajec, 2010). De nombreux secteurs des économies modernes s'effondreraient en cas de rupture des approvisionnements.

Les applications industrielles des terres rares sont résumées dans les tableaux 1 et 2. Les terres rares sont indispensables à de nombreux domaines des économies modernes : aéronautique, automobile (véhicules hybrides et électriques), défense, génération d'énergie (éoliennes, panneaux photovoltaïques), santé (imagerie basée sur la résonance magnétique), technologies de l'information et de la communication. Bien que mises en œuvre en petites quantités dans la plupart de leurs applications, elles sont indispensables à leur existence même, qui en fait des ressources minérales éminemment stratégiques.

Du fait des innovations technologiques qu'elles ont permises, la production mondiale de terres rares a cru, en moyenne, d'environ 4% par an entre 1990 et 2010 (fig. 1), les perspectives de croissance à venir étant beaucoup plus élevées pour certains segments (tableau 2). En même temps la répartition géographique de cette production a fortement évolué, l'événement le plus marqué ayant été le développement rapide de la production chinoise à partir du milieu des années quatre-vingt-dix, stimulée par des coûts salariaux extrêmement bas et des pratiques environnementales très laxistes.

Jusqu'à cette période les Etats-Unis eurent une place importante dans la production mondiale de terres rares, grâce à l'exploitation de la mine de Mountain Pass, située dans le comté de San Bernardino, en Californie. L'exploitation minière s'est arrêtée en 2002 à cause de l'effet conjugué de sérieux problèmes environnementaux et de la chute des prix induite par le développement rapide de l'offre chinoise à bas prix (fig. 1 et 2). Depuis, la Chine détient le quasi-monopole de la production mondiale de terres rares, une situation qui commencera à évoluer progressivement dès 2011 (voir ci-dessous).

Les chiffres relatifs à la production et à la demande sont à considérer avec prudence car il n'existe pas de statistiques ouvertes, réputées fiables, relatives aux différents éléments du groupe des terres rares, production qui en 2010 provenait à 97 % de Chine, selon les statistiques de l'USGS (USGS, 2011). Les statistiques chinoises relatives aux ressources, aux réserves et à la production existent mais sont maintenues confidentielles par le gouvernement chinois (Tse, 2011). La réalité de la production et des exportations chinoises reste imprécise, un flux important d'exportations illégales étant susceptible de s'ajouter aux productions officielles, notamment à partir des nombreuses petites exploitations tout aussi illégales d'argiles ioniques, riches en terres rares lourdes, des provinces du Guangdong, du Jiangxi, et du Sichuan.

Les chiffres relatifs à la demande par grands types d'usage de terres rares, et à son évolution anticipée d'ici 2015, proviennent des présentations de Dudley Kingsnorth, l'un des experts internationaux les plus réputés dans le domaine de l'économie des terres rares. Les chiffres relatifs aux prévisions de production de sociétés minières proviennent des rapports publiés par ces sociétés. Enfin, l'estimation de la production annuelle 2010 d'une sélection d'éléments du groupe des terres rares (cf. tableaux 4 et 5) provient du rapport récemment publié par le Département américain de l'énergie (U.S. Department of Energy (DoE), 2011).

Tableau 1 - Principales applications industrielles des terres rares

Cérium (Ce)	Dysprosium	Erbium	Europium	Gadolinium	Holmium
Céramiques, catalyse (exemple: filtres anti-particules de l'automobile), polissage du verre (optique), fabrication de verres absorbant les UV	Aimants permanents au néodyme-fer-bore: son addition permet d'augmenter la température d'application des aimants au néodyme, entre dans la composition de certains lasers	Lasers pour applications médicales, utilisé comme pigment rose pour les verres et céramiques	Luminophores pour écrans plats (couleur rouge) et ampoules à basse consommation d'énergie, protection des billets de banque	agent de contraste en imagerie médicale, réfrigération magnétique	Composants d'aimants à très haute intensité magnétique
Lanthane	Lutétium	Néodyme	Praséodyme	Samarium	Terbium
Batteries NiMH (automobiles hybrides), catalyse du craquage des pétroles lourds	Peu d'applications: génération de rayons X, catalyse. La plus rare des terres rares naturelles (le prométhium n'existe que sous forme d'isotope instable), ce qui limite l'usage	Aimants permanents (alliage néodyme-fer-cobalt pour fonctionnement à températures plutôt basses - Point de Curie: 310° C, indispensables à l'automobile électrique et hybride, aux éoliennes de haute performance)	Optique (avec Nd), colorant jaune du verre et des céramiques	Aimants permanents (alliage samarium-cobalt pour fonctionnement à hautes températures, par exemple dans les TGV de dernière génération - Point de Curie: 700 à 800° C)	Luminophores pour écrans plats (couleur verte) et ampoules à basse consommation d'énergie; aimants permanents
Thulium	Ytterbium	Scandium	Yttrium		
Aimants ferritiques pour fours à micro-ondes	Fibre optique (amplification du signal), cellules photovoltaïques, sources de rayons X pour analyseurs portables	Lampes à halogènes, alliage Al-Sc utilisé par l'aéronautique de défense russe, piles à combustible à oxydes solides	Eclairage fluorescent, luminophores pour écrans plats, céramiques, supraconducteurs à haute température, lasers, aciers inoxydables résistant aux hautes températures, piles à combustible à oxydes solides		

Les prix des terres rares connaissent actuellement des hausses spectaculaires (fig. 2) du fait de la forte croissance de la demande, du monopole chinois sur la production des terres rares et des restrictions à l'exportation que la Chine a mis en place (fig. 3), sans qu'il soit possible d'identifier des facteurs qui à court-terme pourraient laisser espérer une détente des prix.

Malgré cette envolée spectaculaire des cours, l'industrie des terres rares demeure un marché de niche, sa valeur totale actuelle mondiale étant de l'ordre de 13 milliards de dollars sur la base d'une valeur moyenne de la tonne d'oxydes de terres rares de 100 000 \$ dollars, atteinte en mars 2011 et d'une production annuelle de 130 000 tonnes. Par comparaison la valeur de l'industrie du cuivre est de l'ordre de 160 milliards de dollars. Cependant, elle est de première importance pour les nombreux domaines industriels qui en aval, dépendent de la disponibilité et du prix des terres rares.

Cette croissance anticipée de la consommation de terres rares (tableau 2), dans un contexte d'offre limitée devrait entraîner le maintien du cours élevé des terres rares.

La production d'aimants permanents de très haute performance a une importance toute particulière pour de nombreux segments de l'économie : à ce jour les aimants permanents au néodyme-fer-bore dopés au dysprosium (NdFeB + Dy) sont les plus puissants actuellement produits à l'échelle industrielle. Ils contiennent, en moyenne, 31% en poids de néodyme et 5.5 % de dysprosium. Du praséodyme peut également entrer dans leur formulation, son adjonction permettant d'élever le champ de températures auxquelles il est possible d'utiliser les aimants NdFeB + Dy (U.S. Department of Energy, DoE 2010). Les éoliennes les plus performantes, notamment celles qui seront installées en mer, sont conçues avec des alternateurs comportant entre 400 et 600 kg d'aimants permanents, soit une masse moyenne de 155 kg de néodyme et de 27,5 kg de praséodyme par MW de puissance installée. Il faudrait de l'ordre de 155 t de néodyme et 27,5 t de praséodyme pour obtenir l'équivalent

de l'énergie d'un seul réacteur nucléaire moderne de 1 000 MW, ce qui pourrait constituer un frein au développement massif de l'utilisation de ce type d'éoliennes, dont l'usage présente par ailleurs des avantages significatifs, notamment pour l'usage en milieu marin grâce à leurs coûts de maintenance réduits du fait de l'absence de boîte de vitesse et de balais.

Tableau 2 - Demande estimée (2010) en terres rares (exprimée en tonnes d'oxyde de terres rares) par grands domaines d'application et grandes zones de consommation. Source des données numériques: Kingsnorth, 2011

Application	Principales terres rares mises en oeuvre	Chine	Japon et Asie du nord-est	États- Unis	Autres (dont UE)	Total de la demande 2010	Parts de marché 2010	Taux de croissance moyen annuel de la demande 2010- 2015	Total de la demande 2015
Catalyse	Cérium (filtres antiparticules), lanthane (craquage des pétroles lourds)	9 000	3 000	9 000	3 500	24 500	20%	3 à 5% par an	28 500
Industrie du verre	Cérium pour la décoloration du verre des écrans vidéo à tube (applications en fin de vie) et la production de verres filtrant les UV, lanthane pour la production de verres pour optiques, europium et praséodyme pour la coloration du verre	7 000	1 500	1 000	1 500	11 000	9%	Négligeable	11 000
Polissage	L'oxyde de cérium est un excellent agent de polissage (verre et production de semi-conducteurs)	10 500	6 000	1 000	1 500	19 000	15%	8 à 10% par an	30 500
Alliages métalliques	Lanthane pour la production de batteries NiMh (véhicules automobiles hybrides), cérium pour la production d'aciers à haute limite d'élasticité	15 500	4 500	100	1 000	22 000	18%	8 à 12% par an	35 000
Aimants permanents	Néodyme et praséodyme pour la fabrication d'aimants permanents performances fonctionnant à température ambiante, samarium pour les aimants permanents utilisés dans les environnements à plus hautes températures	21 000	3 500	500	1 000	26 000	21%	10 à 15% par an	48 000
Luminophores	Le cérium, l'europium, le gadolinium, le lanthane, le terbium et l'yttrium entre en proportions variables dans la fabrication de poudre luminophores pour de multiples usages (ampoules électriques de basse consommation, écrans plats ...)	5 500	2 000	500	500	8 500	7%	6% à 10% par an	13 000
Céramiques	L'yttrium rentre dans la composition de céramiques résistant à l'abrasion. le gadolinium, le lanthane et l'yttrium entre dans la composition de céramiques spéciales pour la production de circuits électroniques (condensateurs)	2 500	2 500	1 500	500	7 000	5%	6 à 8% par an	9 500
Autres	Nombreuses applications	4 000	2 000	500	500	7 000	5%	6 à 8% par an	9 500
Total		75 000	25 000	15 000	10 000	125 000	100%	6 à 10% par an	185 000
Parts de marché		60%	20%	12%	8%	100%			

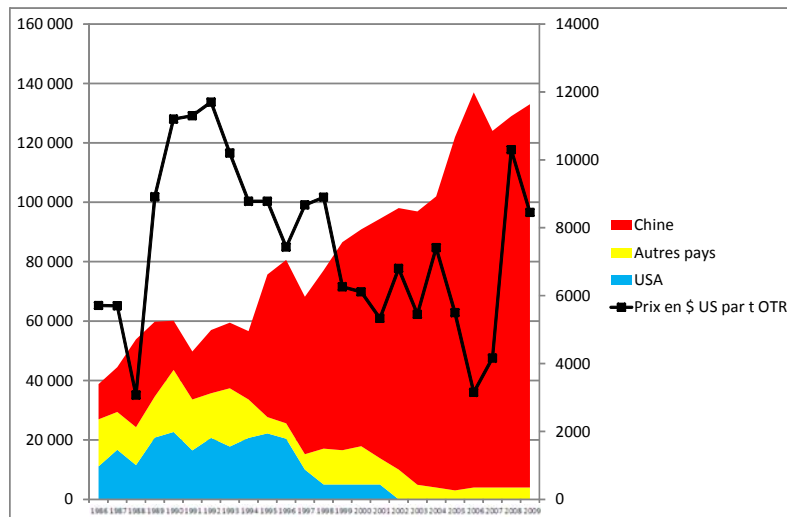


Figure 1 - Evolution de la production mondiale d'oxydes de terres rares (en tonnes, échelle de gauche) et du prix annuel moyen des oxydes de terres rares en \$ US constants par tonne (échelle de droite), valeur 1998 - Source des données: USGS

La production de néodyme peut également générer des quantités importantes de thorium, déchet faiblement radioactif mais à longue durée de vie au sens de la législation française¹. L'essentiel du néodyme vient à ce jour du gisement de Bayan Obo en Chine où la teneur dont le minerai contiendrait, en moyenne 0,032% ThO₂ (Wu et al., 2010). De nombreux autres gisements contiennent des quantités variables d'uranium et de thorium, ce qui peut causer de délicats problèmes de stockage des déchets radioactifs résultant du traitement du minerai.

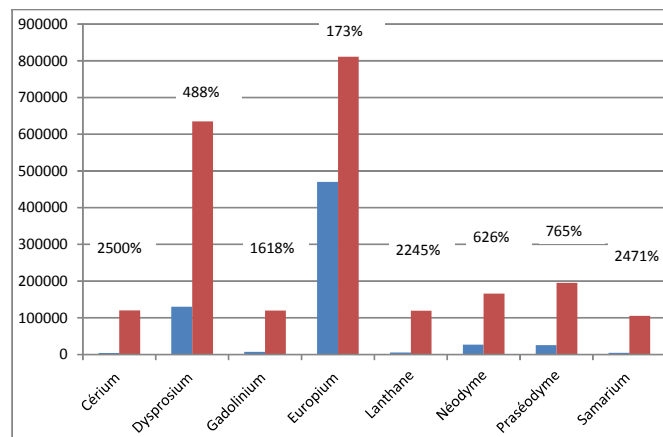


Figure 2 - Evolution du prix d'oxydes de terres rares 99,9% de pureté, prix FOB Chine, entre le 31/03/2010 et le 31/03/2011 - Source des données: Metal Pages

Les véhicules automobiles électriques actuels contiennent entre 1 et 2 kg d'aimants permanents NdFeB + Dy. Ces aimants permanents ont également de nombreuses autres applications dans les domaines des technologies de communication, de la défense, de la santé.

La croissance moyenne annuelle de ce segment d'application des terres rares devrait atteindre 10 à 15 % par an pendant la période de 2010 à 2015 (Kingsnorth, 2011, cf. tableau 2). Prenant une hypothèse médiane de croissance annuelle soit 12,5 %, et les proportions respectives de néodyme et de dysprosium indiquées ci-dessus, il faudrait produire chaque année 2800 t d'oxyde de néodyme et 450 t d'oxyde de dysprosium supplémentaires pour répondre à une telle évolution de la demande. En 2015, il faudrait produire environ 40 350 t d'oxyde de néodyme et 6 500 t d'oxyde de praséodyme pour satisfaire la demande en aimants permanents. L'adjonction de praséodyme et de terbium permet

¹ Voir : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-dechets-de-faible-activite-et.html>

également d'élargir la plage de température de fonctionnement optimal de ces aimants, mais Il n'y a pas suffisamment de données publiques disponibles pour évaluer les besoins futurs liés à l'évolution de la demande en aimants permanents (DoE, 2010).

D'importants travaux de recherche sont en cours dans divers pays industrialisés afin de réduire la dépendance par rapport à l'usage de terres rares pour la production d'aimants permanents de très haute performance. Les pistes privilégiées semblent être la mise en œuvre de terres rares dans des procédés de production des aimants faisant appel aux nanotechnologies ou la mise en œuvre du nitrure de fer, $Fe_{16}N_2$. Le succès de ces développements technologiques modifierait profondément le marché des terres rares, mais probablement pas avant 5 à 10 ans et sous réserve de la démonstration de la faisabilité de développement de ces technologies à l'échelle industrielle.

Un autre segment en forte croissance est celui du polissage, consommateur de cérium. Pour la même période, sa croissance annuelle moyenne devrait être de 8 à 10% ce qui nécessiterait, pour le haut de la fourchette, la production d'environ 30 500 t d'oxyde de cérium en 2015.

Le segment des poudres luminophores est également en forte croissance, grâce au développement rapide du marché des ampoules électriques à basse consommation, ou lampes fluorescentes compactes dont l'intérieur est tapissé d'une poudre luminophore à base de terres rares destinées à générer un spectre lumineux agréable pour les consommateurs. Selon DoE (2010) citant la société minière australienne Lynas, qui va devenir le premier producteur de terres rares séparées et purifiées en dehors de Chine (en partenariat avec la société française Rhodia qui apporte son savoir-faire mondialement reconnu de la métallurgie et de la purification des terres rares) ces poudres luminophores contiendraient en moyenne 8,5 % d'oxyde de lanthane, 11 % d'oxyde de cérium, 4,9 % d'oxyde d'europium, 4,6 % d'oxyde de terbium et 69,2 % d'oxyde yttrium. Kingsnorth estime à 8500 t la demande totale en 2010 d'oxydes de terres rares pour la production de poudres luminophores. Celle-ci pourrait atteindre 13 000 t en 2015, soit environ 1100 t d'oxyde de lanthane, 1400 t d'oxyde de cérium, 640 t d'oxyde d'europium, 600 t d'oxyde de terbium et 9000 t d'oxyde d'yttrium. Face à de telles perspectives de croissance de la demande et au monopole chinois, l'offre sera-t-elle à la hauteur de la demande ?

2. Le cas de la Chine

En 2010, la production mondiale de terres rares (fig. 2) est toujours dominée par la Chine, dont la production est estimée à 133 000 tonnes d'oxydes de terres rares (USGS, 2011), soit 97 % de la production mondiale (fig. 2), alors que ses réserves estimées représentent 49 % des réserves connues (fig. 3).

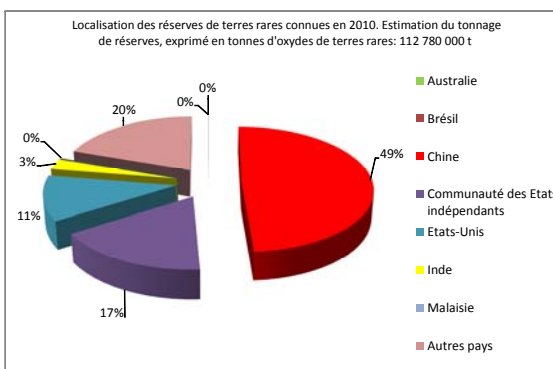
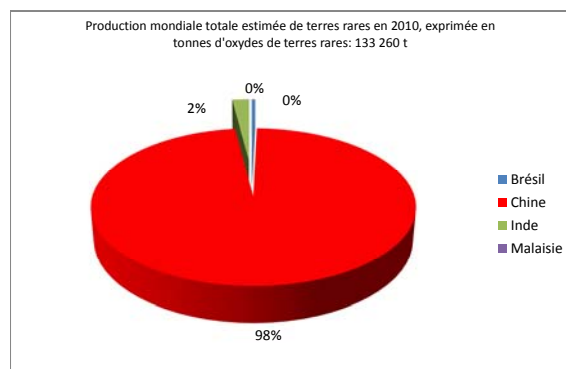


Figure 3 - Production mondiale de terres rares 2010 - source des données : USGS, 2011

Figure 4 - Réserves mondiales de terres rares en 2010- source des données : USGS, 2011

Non seulement la Chine détient le monopole de la production de terres rares, mais elle a également mis en place des pratiques restreignant leur exportation, sous forme de quotas (tableau 3) et de taxes

à l'exportation. Sur une production totale 2010 estimée à 130 000 t d'oxydes de terres rares (USGS, 2011), la Chine a fixé pour cette même année un quota de 30 258 t, en forte baisse par rapport à 2009, ce qui menace les approvisionnements des autres pays consommateurs de terres rares. Kingsnorth (2011) estime à 42 500 t d'oxydes de terres rares (OTR) les besoins du monde occidental, le reste correspondant à l'estimation de la demande interne chinoise. Compte-tenu d'une production hors Chine (Brésil, Inde, Malaisie, Russie) estimée par l'USGS à 3 600 t OTR en 2010, le déficit d'approvisionnement du monde occidental serait déjà supérieur à 8 000 t. Mais cette évaluation ne tient pas compte des exportations illégales en provenance notamment des exploitations clandestines d'argiles ioniques du sud de la Chine, exportations riches en terres rares lourdes, parmi lesquelles le dysprosium, le gadolinium et le terbium sont particulièrement recherchés par le marché.

Cette activité est polluante (technique de lixiviation in situ de formations superficielles), cf. article « The plight of China's rare earth mining » de l'édition anglaise de China Daily, daté du 24/03/11². Elles pourraient, selon différentes sources, représenter 10 à 30 000 t d'oxydes de terres rares par an, une quantité importante eu égard aux quotas officiels d'exportations. Malgré la décision du gouvernement chinois, annoncée en janvier 2011, de créer une zone de 2 500 km² où l'activité minière serait très strictement régulée afin de mettre fin aux activités illégales, la situation ne semble pas réellement évoluer, les exploitations illicites étant stimulées par la hausse très rapide des cours des métaux rares et par l'effet pervers des taxes à l'exportation (15 à 25% selon la terre rare), qui incite les producteurs à exporter illégalement tout ou partie de leur production vers le marché mondial, plus rémunérateur que le marché national.

Le gouvernement chinois a une politique de recherche et une politique industrielle ambitieuse, basée sur une vision stratégique à long-terme de ses facteurs de compétitivité. La Chine est particulièrement en pointe dans le domaine de la recherche liée aux terres rares (Hurst, 2010), essentiellement à travers les programmes nationaux 863 (Programme national de recherche et développement en hautes technologies) et 973 (Recherche de base). Son effort est intense et continu depuis environ 20 ans et fait de la communauté scientifique chinoise un acteur de recherche de premier plan au niveau mondial, aussi bien dans le domaine de la chimie séparative que des matériaux innovants à base de terres rares.

La politique de quotas de la Chine semble indiquer qu'après avoir inondé le marché de terres rares bon marché, ce qui a tué la majeure partie des producteurs en dehors de la Chine, le gouvernement chinois se soucie de la sécurité à long-terme de ses propres approvisionnements. Elle a engagé une vaste restructuration de son industrie productrice de terres rares notamment afin de réduire les impacts environnementaux considérables de leur exploitation (Chen, 2011 ; Parry et al., 2011 ; Xu et al. 2009 ; Zang, 2011). Ce plan de restructuration de l'industrie chinoise des terres rares viserait tout particulièrement les exploitations illégales des gisements argiles ioniques du sud de la Chine (région du Jiangxi), gisements qui sont à ce jour la principale source mondiale de terres rares lourdes (Zang, 2011). Elles pourraient également affecter l'industrie des terres rares de Baotou, où s'accumulent d'importantes quantités de déchets à faible et moyenne radioactivité, et à longue durée de vie (Wu et al., 2010). Des normes beaucoup plus sévères relatives aux émissions maximales autorisées dans l'industrie chinoise des terres rares, édictées par le Ministère de la Protection environnementale, entreront en vigueur le 1^{er} octobre 2011. Elles pourraient entraîner une profonde restructuration de cette industrie, notamment en éliminant les petits opérateurs, particulièrement polluants (China Daily, édition du 6 mars 2011)³.

² Disponible ici : http://usa.chinadaily.com.cn/china/2011-03/24/content_12225592.htm

³ Disponible en ligne : Zang J. - 2011 - The plight of China's rare earth mining - China Daily (quotidien chinois daté du 24/03/2011, Beijing, Chine) - Disponible en ligne : http://www.chinadaily.com.cn/china/2011-03/24/content_12224049.htm

Tableau 3 - Quotas annuels d'exportations chinoises d'oxydes de terres rares - Source des données: Ministère du Commerce Chinois

Année	Quota*	% Variation	Demande externe à la Chine	Excédent ou déficit
	Exportations d'OTR			
2005	65 609 t		48 000 t	17 609 t
2006	61 821 t	-6%	53 000 t	8 821 t
2007	59 643 t	-4%	55 000 t	4 643 t
2008	56 939 t	-5%	54 000 t	2 939 t
2009	50 145 t	-12%	25 000 t	25 145 t
2010	30 258 t	-40%	53 000 t	-22 742 t

Du fait des restructurations en cours et de la croissance rapide de sa propre économie, la Chine pourrait, selon certains analystes devenir importatrice de terres rares dès 2015, notamment en prenant des participations, voire le contrôle, de projets en cours de développement à l'étranger.

3. De nombreuses inconnues conditionnent l'équilibre offre-demande en terres rares des années à venir

De nombreux facteurs vont conditionner la situation du marché des années à venir, avec de nombreuses questions demeurant aujourd'hui sans réponse, dans un domaine stratégique pour les économies du monde occidental, dont l'économie française.

Du côté de l'offre :

- quel sera le calendrier et le volume de production des gisements de terre rares du monde occidental ? Si le démarrage de la production de Mount Weld⁴ (Lynas, Australie) et le redémarrage de l'exploitation de Mountain Pass⁵ (Molycorp, USA) est acquis, qu'en sera-t-il du rythme effectif de mise en production des autres projets miniers en cours de développement (cf. tableau 4, prévisions de mise en production jusqu'en 2015 inclus) ?
- quelle sera l'évolution des prix des terres rares ?

⁴ L'exploitation minière a commencé en mai 2008, le minerai produit étant stocké en attendant le démarrage de l'usine de production de concentré, prévu en avril 2011.

⁵ Redémarrage de l'exploitation minière en décembre 2010

Tableau 1 – Estimation de la production minière annuelle d'oxydes de terres rares en 2015, hors Chine – Sources des données : rapports des sociétés minières, DoE (2010) Kingsnorth

Estimation de la production annuelle supplémentaire en 2015 - Toutes les données sont exprimées en tonnes d'oxyde de terre rare													
		Gisement >	Steenkampskraal	Zandkopsdrift	Dubbo Zirconia Project	Mount Weld	Nolans Bore	Chhatrapur, Orissa	Mountain Pass	Bear Lodge	Dong Pao	Total	Total
		Opérateur >	Great Western Minerals Group Ltd.	Frontier Rare Earths Ltd.	Alkane Resources	Lynas Corp.	Arafura Resources						
	Production 2010 estimée	Pays >>>>	Afrique du Sud	Afrique du Sud	Australie	Australie	Australie	Inde	USA	USA	Vietnam	Production additionnelle 2015	Production totale estimée 2015
		Date de démarrage	2 013	2 015	2 013	2 011	2 014	2 011	2 013	2 015	2 013		
Lanthane	33887		650	5 093	248	2 635	3 929	264	6 476	3 130	674	23 098	56 985
Cérium	49935		1 398	8 889	482	4 711	9 500	548	9 322	4 725	974	40 549	90 484
Praséodyme	6292		150	926	58	519	1 143	60	813	406	71	4 146	10 438
Néodyme	21307		500	3 148	190	1 804	4 286	214	2 236	1 188	227	13 794	35 101
Samarium	2666		75	463	29	260	500	52	145	232	21	1 777	4 443
Europium	592		3	93	-	65	71	4	29	58	5	327	919
Gadolinium	2257		46	278	29	156	214	54	29	116	12	934	3 191
Terbium	252		3	-	-	13	-	12	-	29	1	58	310
Dysprosium	1377		21	185	29	65	71	82	-	29	2	485	1 862
Yttrium	8750		150	833	204	221	286	562	-	87	11	2 354	11 104
Total (rythme annuel de production anticipé, en t d'oxyde)	127 315		3 000	20 000	1 300	10 500	20 000	2 002	19 050	10 000	2 001	87 853	215 168
Ressource (en t OTR)	---	---	29 067	944 568	651 480	1 417 014	854 660	???	2 072 966	547 713	644 700	---	---

(2011)

- leur envolée actuelle reflète-t-elle l'apparition d'une bulle spéculative ?
- quelle sera la stratégie de la Chine ? Va-t-elle chercher, et par quels moyens, de conserver son monopole ? La constitution de stocks stratégiques pourrait-elle anticiper une stratégie ultérieure de dumping afin d'éliminer les nouveaux entrants occidentaux ? Des tensions sociales pourraient-elles menacer sa capacité de production ? La Chine dispose à la fois de gigantesques réserves de change, d'un volume de réserves de terres rares, d'une politique industrielle, de ressources techniques et humaines de haut niveau qui lui ouvrent un vaste champ stratégique ;
- la Chine pourra-t-elle fortement accroître sa production si ses préoccupations environnementales sont réelles ?

Du côté de la demande:

- comment va évaluer la demande, sachant que les pays occidentaux ont perçu les risques auxquels ils se trouvent confrontés vu leur extrême dépendance par rapport aux importations de terres rares chinoises ? En février 2011, le gouvernement japonais a annoncé un plan de 33 Mds yen (271 M€ au cours d'avril 2011) pour réduire son exposition aux risques de rupture des approvisionnements en provenance de Chine. Ce plan comporte une aide à la diversification des approvisionnements, par des partenariats stratégiques avec le Brésil, l'Inde, le Kazakhstan, la Russie et le Viet-Nam ainsi qu'un appui à la recherche de substituts à l'usage des terres rares, par exemple pour la fabrication des aimants permanents, et au recyclage,
- l'impact des substitutions : d'importants travaux de recherche sont en cours dans différents pays occidentaux par exemple pour réduire la consommation des terres rares nécessaires à la production des aimants permanents au néodyme-praséodyme-fer-bore par la mise en œuvre de processus nanotechnologiques ou par substitution totale grâce à l'emploi du nitrure de fer. Ce sont des domaines importants de recherche qui, en cas de faisabilité de leur industrialisation, n'apporteront probablement pas de solution avant 5 à 10 ans,
- enfin, le recyclage de certaines des terres rares devrait progresser au cours des prochaines années, une partie de l'approvisionnement futur en terres rares se trouvant dans nos déchets. En France, par exemple, le recyclage des terres rares (europium, terbium, yttrium ...) contenues dans les poudres luminophores des néons et des ampoules basse consommation a fait l'objet de plusieurs projets de recherche : projet VALOPLUS de l'Agence Nationale de la Recherche piloté par Rhodia et associant le BRGM, VEOLIA et le Laboratoire Environnement et Minéralurgie de Nancy pour définir des techniques innovantes de séparation physique des poudres luminophores issues du démantèlement de lampes à économie d'énergie (LEE). En aval, la séparation des terres rares et leur purification, puis la fabrication de nouvelles poudres luminophores fait l'objet du projet ColeopTerre de Rhodia, qui développe également le recyclage des poudres de polissage à cérium et yttrium.

Bibliographie

Chen, Zhanheng - 2011 - Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry - Journal of rare earths, Vol. 29, No. 1, Jan. 2011, p. 1, The Chinese Society of Rare Earths (CSRE, Beijing, China), disponible en ligne: <http://www.re-journal.com/en/download.asp?ID=2638>)

Drew L. J., Meng Q., Sun W. - 1990 - The Bayan Obo iron-rare-earth-niobium deposits, Inner Mongolia, China - Lithos, 26

Dudley J. Kingsnorth - 2011 - Meeting the Challenges of Supply this Decade - Presentation to the Environmental and Energy Study Institute, Washington, DC, USA - Industrial Minerals Company of Australia (IMCOA), disponible en ligne: http://files.eesi.org/kingsnorth_031111.pdf

Hurst C. - 2010 - China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?, Institute for the Analysis of Global Security (IAGS, Washington D.C., USA) - disponible en ligne: www.iags.org

Parry S., Douglas E. - 2011 - In China, the true cost of Britain's clean, green wind power experiment: Pollution on a disastrous scale - Daily Mail (quotidien britannique daté du 29/01/2011) - Disponible en ligne: <http://www.dailymail.co.uk/home/moslive/article-1350811/In-China-true-cost-Britains-clean-green-wind-power-experiment-Pollution-disastrous-scale.html>

Tse, Pui-Kwan - 2011 - China's rare-earth industry: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011, 1042, 11 p., United States Geological Survey - Reston., Virginia - USA (Disponible en ligne: http://files.eesi.org/usgs_china_030011.pdf)

U.S. Department of Energy - 2010 - Critical minerals strategy - U.S. Department of Energy (DoE, Washington, DC, USA) - Disponible en ligne: <http://www.energy.gov/criticalmaterialsstrategy>

USGS - 2011 - Mineral Commodity Summaries 2011 - United States Geological Survey - Reston., Virginia - USA (Disponible en ligne: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2011/mcs2011.pdf>)

Wu Q., Liu H., Ma C., Zhao S., Zhu X., Xiong S., Wang H. - 2010 - The use and management of NORM residues in processing Bayan Obo ores in China - Presentation to the 6th International Symposium on Naturally Occuring Radioactive Materials _ Marakkech, Morocco - Available online: <http://qu-wifan.eu-norm.org/index.pdf>

Xu T., Peng H. - 2009 - Formation cause, composition analysis and comprehensive utilization of rare earth solid wastes - Journal of rare earths, Vol. 27, No. 6, Dec. 2009, p. 1096, The Chinese Society of Rare Earths (CSRE, Beijing, China), Disponible en ligne: http://www.re-journal.com/I3T_Lib/download.asp?url=/Download/2009276/2009CEDA61855E1738GIBG40.pdf

Zajec O. - 2010 - Un camouflet pour la logique économique à courte vue: comment la Chine a gagné la bataille des métaux stratégiques - Le Monde Diplomatique (Paris, France) - Disponible en ligne: <http://www.monde-diplomatique.fr/2010/11/ZAJEC/19832>

Zang J. - 2011 - The plight of China's rare earth mining - China Dayly (quotidien chinois daté du 24/03/2011, Beijing, Chine) - Disponible en ligne: http://www.chinadaily.com.cn/china/2011-03/24/content_12224049.htm