TERRES RARES 2022

Les terres rares représentent le groupe des lanthanides (éléments de numéros atomiques compris entre 57 et 71, du lanthane au lutécium) auquel on ajoute, du fait de propriétés chimiques voisines (même colonne de la classification périodique), l'yttrium (Y) et le scandium (Sc). On distingue les terres cériques, légères (lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, samarium, europium et gadolinium) des terres yttriques, plus lourdes (les autres terres rares), l'europium et le gadolinium étant parfois classés comme terres rares lourdes.

Malgré 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 (voir le tableau ci-dessous). Les teneurs sont, en général, exprimées sous forme d'oxydes.

Matières premières

La teneur de l'écorce terrestre en terres rares, notées TR, est d'environ 0,08 %, voir le tableau ci-dessous pour plus de détails.

Le prométhium (Pm), radioactif (période de ^{147}Pm = 2,62 ans), n'existe pas à l'état naturel. Il apparaît comme isotope instable dans les produits de fission de l'uranium.

Les teneurs des minerais en scandium sont toujours très faibles : quelques ppm à quelques dizaines de ppm. Souvent, le thorium et l'uranium, radioactifs, sont associés aux terres rares ce qui entraîne des difficultés d'exploitation et, en particulier en Chine, de nombreuses pollutions.

Minerais et exploitations minières

Les principaux minerais sont la bastnaésite et la monazite.

Bastnaésite : c'est un fluorocarbonate, (TR)FCO_3, à forte teneur en terres cériques et, relativement, en europium. Exploitée en Chine, co-produit d'une mine de fer, à Bayan Obo, en Mongolie Intérieure et aux États-Unis, à Mountain Pass, dans le comté de San Bernardino, en Californie.

- Le gisement de terres rares de Bayan Obo, le plus important au monde, est exploité, à ciel ouvert, par China Northern Rare Earth, filiale du groupe Baogang. Il renferme de la bastnaésite et de la monazite, associées à des oxydes de fer, ainsi qu'à des oxydes de niobium et de thorium. Les réserves sont de 600 millions de t de minerai contenant 34 % de fer, 5 % d'oxydes de terres rares et 0,032 % d'oxyde de thorium.
  Après broyage du minerai, celui-ci subit une première flottation qui permet de récupérer d'une part des oxydes de fer et d'autre part des minéraux silicatés renfermant du fer et du niobium. Le fer contenu est destiné à la production d'acier avec, en 2020, 15,61 millions de t. Le produit résidu de cette première flottation est traité par une deuxième flottation suivie d'une séparation magnétique et gravimétrique à l'aide de tables à secousse pour donner deux types de concentrés l'un de bastnaésite renfermant 68 % d'oxydes de terres rares, l'autre de monazite renfermant 36 % d'oxydes de terres rares. Ces concentrés de terres rares sont expédiés pour être traités à Baotou situé à 150 km de la mine de Bayan Obo, par le groupe China Northern Rare Earth qui produit des terres rares séparées sous forme d'oxydes et de métaux, avec, en 2017, une production autorisée de 59 500 t d'oxydes de terres rares.

D’autres gisements de bastnaésite sont exploités en Chine, à Weishan dans la province de Shandong, à Maoniuping et Dalucao dans la province du Sichuan.

- Le gisement de Mountain Pass, aux États-Unis, est exploité depuis 1952. Jusqu’au début des années 1990, avant le développement de la production chinoise, c’était la principale source mondiale de terres rares. Face à la concurrence chinoise et à des pollutions accidentelles, la production minière a cessé en 2002. Elle a repris de 2011 à octobre 2015 avec environ 4 000 t/an, par la société Molycorp, puis depuis janvier 2018, après la faillite de Molycorp par la société MP Mine Operations détenue à 90 % par des fonds d'investissement (JHL Capital et QVT Financial) et à 10 % par le groupe chinois Leshan Shenghe Rare Earth. Les réserves prouvées et probables sont de 26,6 millions de t de minerai contenant 6,32 % d’oxydes de terres rares exprimés en TR_2O_3. La répartition entre les oxydes de terres rares est de 50,2 % pour le cérium, 32,3 % pour le lanthane, 15,7 % pour le néodyme et praséodyme, 1,8 % pour le samarium, europium et gadolinium.
  Le minerai de 7 à 10 % de teneur initiale en oxydes de terres rares est enrichi à environ 60 %, par flottation. Une purification, réalisée sur place, par lixiviation à l'acide chlorhydrique permet d'éliminer les éléments alcalino-terreux présents (calcium, baryum, strontium) sous forme de chlorures solubles et d'obtenir un concentré à 70 % d'oxydes de terres rares qui est expédié en Chine pour être traité. Une calcination éventuelle donne un concentré renfermant 90 % d'oxydes de TR. En 2022, la production a été de 42 499 t d'oxydes de terres rares. En 2023 devrait débuter la séparation des terres rares avec la production d'oxyde de néodyme-praséodyme.
  La société Neo Performance Materials a repris les autres activités de Molycorp avec l’extraction et la séparation des terres rares, en Chine, à Jiangyin, à partir d’argiles ioniques. Sépare également des terres rares à Sillamäe, en Estonie avec une capacité de production de 2 500 t/an et à Zibo, dans la province de Shandong, en Chine. La production de métaux et alliages est effectuée aux États-Unis, à Tolleson, dans l’Arizona. Par ailleurs produit des aimants permanents Nd-Fe-B et Nd-Pr-Fe-B à Tianjin, en Chine, et à Korat, en Thaïlande, avec sa filiale Magnequench ainsi qu’à Nakatsugawa, au Japon, à travers une joint-venture avec Daido, 35,5 %, Mitsubishi, 34,5 % et Neo, 30,0 %.
- En Australie, en Nouvelle Galle du Sud, la société Australian Strategic Materials (ASM) issue de Alkane Resources développe le projet Dubbo situé à 400 km au nord-ouest de Sydney. Les terres rares présentes dans de la bastnaésite sont associées dans le gisement à du zirconium, du hafnium, du niobium, du tantale et de l'yttrium. Les réserves prouvées et probables sont de 18,9 millions de t de minerai renfermant 1,85 % de ZrO_2, 0,04 % de HfO_2, 0,44 % de Nb_2O_5, 0,029 % de Ta_2O_5, 0,136 % de Y_2O_3 et 0,735 % d'oxydes de TR. La production prévue, pour 2024, est de 16 374 t/an de ZrO_2, 50 t/an de HfO_2, 1 967 t/an de Nb contenu dans du ferroniobium et 6 664 t/an d'oxydes de TR. Les revenus escomptés proviendront à 43 % de Zr, 30 % des TR, 17 % de Nb et 10 % de Hf.

Monazite : c’est un orthophosphate de terres rares et de thorium, $(TR,Th)PO_4$. C’est également le principal minerai de thorium. C’est souvent un sous-produit du traitement de l’ilménite (minerai de titane), exploitée dans les sables de plages, en Australie, Inde, Brésil, Malaisie… Le minerai est enrichi, à environ 60 %, par séparation magnétique. Avant l’exploitation du gisement de Mountain Pass, aux États-Unis, c’était la principale source de terres rares et pendant longtemps, jusqu’au développement de la production chinoise, l’Australie a été un important producteur à partir de monazite.

- Le gisement de Mount Weld, en Australie Occidentale, est exploité, depuis 2011, par la société Lynas Corp. Le gisement, avec un diamètre de 3 km, résulte d'une activité volcanique avec l'intrusion de carbonatite. L'exploitation est à ciel ouvert à une profondeur de 51 m. La capacité de production sous forme de concentrés est de 66 000 t/an renfermant 26 500 t/an d'oxydes de terres rares. Le traitement des concentrés est réalisé, depuis 2012, à Gebeng, en Malaisie. En 2021-22, la production a été de 15 970 t d'oxydes de terres rares dont 5 880 t d'oxyde de Nd/Pr. Les réserves prouvées et probables sont de 18,6 millions de t de minerai renfermant 8,2 % d'oxydes de terres rares. Les terres rares contenues sont constituées de 47 % de Ce, 24 % de Nd et Pr, 24 % de La. Les productions réalisées à Gebeng sont sous forme d'oxyde de Nd-Pr, carbonate de La-Ce, oxyde de La-Ce, carbonate de Ce, oxyde de Ce.
- La société Iluka, développe, à Eneabba, en Australie de l'Ouest, la production de monazite avec, en 2021, une production de 57 700 t et le projet de construction d'une raffinerie pour la récupération de terres rares séparées, espéré en 2025. Les réserves prouvées et probables sont de 0,910 million de t renfermant 83,1 % de minéraux denses qui sont composés de 32,9 % d'ilménite, 28,2 % de zircon, 18,6 % de monazite et 1,3 % de xénotime. Les terres rares renferment 45 % de Ce, 22 % de La, 17 % de Nd, 5 % de Pr, 1 % de Dy. La production prévue est de 17 500 t/an d'oxydes de terres rares dont 4 000 t/an de Nd/Pr et 500 t/an de Dy/Tb.

Xénotime : c'est un orthophosphate de terres yttriques, renfermant des teneurs d'environ 55 % d'oxydes de terres rares. C'est, en Malaisie, un sous-produit du traitement de la cassitérite (minerai d'étain). Parmi les terres rares, la part de l'yttrium peut atteindre 60 %.

- En 2018, a commencé l'exploitation pilote de la mine de Browns Range, en Australie Occidentale à la frontière avec le Territoire de Nord. Exploitée par la société Northem Minerals, les réserves prouvées et probables sont de 3,29 millions de t de minerai renfermant 0,678 % d'oxydes de TR dont 0,394 % de Y_2O_3. La répartition de la composition des TR est la suivante : Y : 58,2 %, Dy : 8,8 %, Gd : 5,7 %, Er : 5,3 %, Ce : 4,8 %, Yb : 4,4 %, Nd : 3,1 %, Sm : 2,3 %, La : 1,9 %, Ho : 1,8 %, Tb : 1,3 %, Pr : 0,7 %, Tm : 0,7 %, Lu : 0,6 % et Eu : 0,4 %. Ce gisement est particulièrement riche en dysprosium. Une première phase pilote qui a débuté en 2018 s'est achevée en 2022 avec une production totale de 281 416 kg de carbonate de terres rares renfermant 16 085 kg d'oxyde de dysprosium et 2 140 kg d'oxyde de terbium. En 2021-22, la production a été de 70 307 kg de carbonates de terres rares renfermant 6 335 kg d'oxyde de dysprosium et 2 140 kg d'oxyde de terbium. Les concentrés de xénotime renfermant 20 % d'oxydes de TR sous forme de carbonates de TR ont été expédiés en Chine pour séparation des TR contenues. En pleine production l'exploitation devrait fournir 3 000 t/an d'oxyde de TR, hors oxyde d'yttrium dont 279 t d'oxyde de dysprosium. Les revenus escomptés proviendraient à 56 % de Dy, 22 % de Tb, 14 % de Lu et à 8 % de Nd-Pr.

Loparite : c'est un niobiotitanate de terres rares présent en Russie, dans la péninsule de Kola. Le minerai exploité par Solikamsk Magnesium Works, filiale du groupe Uralkali, renferme de 28 à 30 % d'oxydes de terres rares, de 35 à 38 % de dioxyde de titane, de 7,5 à 8 % d'oxyde de niobium, de 0,5 à 0,8 % d'oxyde de tantale. Les concentrés obtenus titrent environ 32 % de terres rares, surtout cériques. Ils sont traités en partie sur place et en partie exportés à Sillamäe, en Estonie, dans l'usine de Neo Performance Materials pour séparer les terres rares. En 2019, la production a été de

9 472 t de loparite qui ont donné 2 620 t d'oxydes de terres rares, 1 946 t de titane dans de l'éponge de titane et du tétrachlorure, 659 t d'oxyde de niobium et 31,6 t d'oxyde de tantale.

Minerais phosphatés : l'apatite de Kola, en Russie, renferme de l'ordre de 1 % de terres rares qui sont récupérées, à Veliky Novgorod par la société Acrom, lors de la transformation de cette apatite en engrais phosphaté. En 2020, la production a été de 88,8 t d'oxydes de TR.

Argiles : appelées minerais ioniques, certaines argiles exploitées dans le Sud-Est de la Chine, à Ganzhou, Xunwu, Longnan, dans la province de Jiangxi, Caowu dans la province de Guangdong, Hezhou dans celle du Guangxi, Jianghua dans celle du Hunan, renferment de 0,05 à 0,33 % d'oxydes de terres rares sous forme d'ions adsorbés qui sont récupérés par lixiviation in situ à l'aide de solutions de sulfate d'ammonium. Souvent exploitées de façon artisanale, elles sont la principale source de la production chinoise illégale. Après purification de la solution, les terres rares sont précipitées à l'aide d'acide oxalique sous forme d'oxalates. Elles renferment très peu de cérium, des teneurs élevées en europium et des teneurs très variables en yttrium. C'est la principale source mondiale de terres yttriques avec environ 95 % de la production mondiale. Les réserves de la province de Jiangxi sont estimées à 15,6 millions de t d'oxydes de terres rares dont 2,13 millions de t de terres yttriques.

Lujavrite : c'est une variété de syénite néphélinique, silicoaluminate ne renfermant pas de quartz, qui a été enrichie en divers éléments dont des terres rares. Cette roche est présente dans le gisement de Kvanefjeld, au sud du Groenland, dont l'exploitation est en cours de préparation. La mine est propriété de Energy Transition Minerals ex-Greenland Minerals, joint venture pilotée par le groupe chinois Shenghe Resources. Les réserves prouvées et probables sont de 108 millions de t de minerai renfermant 2 600 ppm de Zn, 362 ppm de U_3O_8 et 14 300 ppm d'oxydes de terres rares. La production prévue est de 12 420 t/an de fluorure de calcium, 6 060 t/an de concentré de zinc, 454 t/an de U_3O_8, 19 000 t/an d'oxyde de La et Ce ainsi que 4 300 t/an d'oxyde de Nd, 1 400 t/an d'oxyde de Pr, 30 t/an d'oxyde de Eu, 45 t/an d'oxyde de Tb, 270 t/an d'oxyde de Dy. Les concentrés de terres rares produits, renfermant 20 à 25 % d'oxyde de TR, doivent être traités en Chine pour séparer les terres rares. Les terres rares devraient représenter 80 % des revenus du projet.

Teneurs en oxydes des principaux concentrés et prix des oxydes

Oxydes de TR, Sc, Th et U	Formule	Teneur de l'écorce terrestre, en ppm	Concentrés miniers (teneurs* en %)			Concentrés chimiques (teneurs* en %)				Prix des oxydes, en $/kg, 99,5 % de pureté, en juin 2020
			Monazite	Bastnaésite	Loparite		Bayan Obo (Chine)	Mountain Pass (États-Unis)	Mount Weld (Australie)	
Total oxyde de TR	-	150	~ 60	60-70	~ 32		100	100	100	
Lanthane	La_2O_3	18	24	32	28	La_2O_3	23,0	33,4	23,88	3,45[1]
Cérium	CeO_2	46	46	49	57	CeO_2	50,0	49,1	47,55	1,70[4]
Praséodyme	Pr_6O_{11}	5,5	5	4	4	Pr_6O_{11}	6,2	4,3	5,16	41,30
Néodyme	Nd_2O_3	24	17	13,5	9	Nd_2O_3	18,5	11,5	18,13	42,41
Samarium	Sm_2O_3	6,5	2,5	0,5	0,9	Sm_2O_3	0,8	0,79	2,44	1,78[1]
Europium	Eu_2O_3	0,5	0,05	0,1	0,1	Eu_2O_3	0,2	0,13	0,53	30,00[3]

Gadolinium	Gd_2O_3	6,4	1,5	0,3	0,2	Gd_2O_3	0,7	0,21	1,09	25,73
Terbium	Tb_4O_7	0,9	0,04	0,01	0,07	Tb_4O_7	0,1		0,09	642[2]
Dysprosium	Dy_2O_3	5	0,7	0,03	0,09	Dy_2O_3	0,1		0,25	272
Holmium	Ho_2O_3	1,2	0,05	0,01	0,03	Ho_2O_3	-		0,03	58,23
Erbium	Er_2O_3	4	0,2	0,01	0,07	Er_2O_3	-		0,06	22,30
Thulium	Tm_2O_3	0,4	0,01	0,02	0,07	Tm_2O_3	-		0,01	
Ytterbium	Yb_2O_3	2,7	0,1	0,01	0,3	Yb_2O_3	-		0,03	14,81[2]
Lutécium	Lu_2O_3	0,8	0,04	0,01	0,05	Lu_2O_3	-		0	618[2]
Scandium	Sc_2O_3	16				Sc_2O_3				977[2]
Yttrium	Y_2O_3	28	2,4	0,1	0,15	Y_2O_3	-	0,12	0,76	2,90[3]
Thorium	ThO_2	10	6,7	0,35	0,65	ThO_2	0,032	-	-	-
Uranium	U_3O_8	4	0,3	< 0,05		U_3O_8				

Source pour le prix des oxydes au départ de Chine : ISE

1 : oxyde à 99,9 %, 2 : oxyde à 99,99 %, 3 : oxyde à 99,999 %, 4 : oxyde à 99 %

* par tradition, les teneurs des terres rares sont exprimées en % du total de la teneur en oxyde de terres rares, les teneurs en thorium et uranium sont exprimées en % par rapport au minerai.

Productions minières

[fc-chart id="production-mine-terres-rares"]

en tonnes d'oxydes de terres rares, sur un total de 300 000 t.

Chine	210 000 t	Vietnam	4 300 t
États-Unis	43 000 t	Inde	2 900 t
Australie	18 000 t	Russie	2 600 t
Birmanie	12 000 t	Madagascar	960 t
Thaïlande	7 100	Brésil	80 t

Source : USGS

- Le principal gisement chinois de terres rares est celui de Bayan Obo, en Mongolie Intérieure, avec environ 55 % de la production chinoise. 35 % de la production provient de la province du Sichuan et 10 % de l'extraction dans les argiles ioniques. En 2021, les quotas de production sont de 148 850 t pour les terres légères et de 19 150 t pour les terres lourdes, provenant des minerais ioniques. De 1987 à 2010, la production chinoise a été de 1,6 million de t d'oxydes de terres rares. En 2016, la production chinoise illégale, réalisée principalement dans le sud du pays, est estimée entre 45 000 et 95 000 t et n'est pas prise en compte dans le tableau ci-dessus, depuis celle-ci a diminué environ de moitié. La production chinoise évaluée par l'USGS correspond à celle des quotas alloués.
  Les principales sociétés chinoises sont China Northern Rare Earth qui exploite le gisement de bastnaésite et de monazite de Bayan Obo, China Rare Earth Group et Shenghe Resources qui exploite des gisements de bastnaésite dans le Sichuan et des argiles dans le Jiangxi. Par ailleurs Shenghe Resources possède des participations dans la mine de Mountain Pass aux États-Unis et dans le projet de Kvanefjeld, au sud du Groenland.
- Aux États-Unis, la production provient du gisement de Mountain Pass (voir ci-dessus).
- En Birmanie, la production de terres rares lourdes issues de minerais ioniques est effectué au nord du pays, principalement dans l'État de Kachin, à la frontière chinoise dans des régions

contrôlées par des groupes armés. En 2020, les concentrés de terres rares provenant de Birmanie ont représenté 74 % des importations chinoises.

- En Australie, la société Lynas Corp. exploite le gisement de Mount Weld avec, en 2021, une production de 15 970 t d'oxydes de terres rares.
- A Madagascar, un gisement d'argiles ionique commence à être exploité, dans le nord du pays, à Ampasindava. La société exploitante, Tantalus Rare Earth, est détenue par ISR Capital.
- En Inde, la production, à partir de monazite, est assurée par Indian Rare Earths Lts (IREL) qui exploite des sables côtiers à Chatrapur, dans l'État de Odisha, avec une capacité de production de 11 200 t/an de chlorures de TR qui sont séparées à Aluva, dans l'État du Kerala pour donner du cérium et du lanthane sous forme de carbonates et du Ne-Pr, Sm, Gd et Y sous forme d'oxalates. En 2016-17, la production a été de 2 265 t de chlorures de TR.
- En Russie, Solikamsk Magnesium Works, filiale du groupe Uralkali, exploite dans la péninsule de Kola un gisement de loparite avec en 2019 une production de 2 620 t d'oxydes de terres rares. L'exploitation, par Acrom, des apatites de la péninsule de Kola donne également des terres rares avec une production, en 2020, de 88,8 t.
- Au Brésil, la production est assurée par la Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineraçao (CBMM) qui exploite le gisement de niobium d'Araxá dans le Minas Gerais et coproduit des terres rares.
- Dans l'ouest du Burundi, l'exploitation de la mine de Gakara, est étudiée par Rainbow Rare Earths. La production prévue, à plein régime, serait de 6 000 t/an de concentrés. Les oxydes de TR sont présents, sous forme de bastnaésite et de monazite, dans des veines de minerai de quelques cm à quelques dizaines de cm d'épaisseur sur quelques dizaines de m de longueur. Ces veines sont disséminées dans des roches moins denses. Le minerai renferme de 47 à 67 % d'oxydes TR et après broyage et traitement gravimétrique par tables à secousses réalisé à Kabezi, le concentré obtenu sera exporté. Les oxydes de TR présents sont, en volume, à 48 % de Ce, 31 % de La, 15 % de Nd, 4 % de Pr et 2 % d'autres TR. Les revenus escomptés sont à 58 % par les oxydes de Nd, 22 % ceux de Pr, 8 % ceux de La, 6 % ceux de Ce et 6 % ceux des autres TR. Les ressources sont évaluées à 1,2 million de t renfermant 2,8 % d'oxydes de terres rares.

Commerce international : en 2022, pour les composés de métaux de terres rares.

Principaux pays exportateurs sur un total de 168 117 t de produits :

En tonnes de produits

États-Unis	75 903	France	4 319
Chine	39 589	Inde	4 226
Malaisie	22 510	Vietnam	3 879
Japon	4 742	Estonie	2 393
Russie	4 645	Taipei chinois	1 453

Source : ITC

Les exportations des États-Unis sont destinées à 98 % à la Chine. Elles correspondent principalement à l'exportation des concentrés provenant de la mine de Mountain Pass.

Principaux pays importateurs :

En tonnes de produits

Chine	44 714	Allemagne	6 026
États-Unis	16 499	Philippines	5 280
Japon	12 762	Vietnam	4 791
Taipei chinois	6 951	Estonie	4 711
France	6 533	Corée du Sud	3 221

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent à 53 % de Birmanie, 18 % des États-Unis, 16 % de Malaisie, 8 % du Vietnam.

Production par élément en 2015, sur un total de 170 000 t. Répartition par élément :

Ce	La	Nd	Y	Pr	Sm	Dy	Autres
32 %	27 %	19 %	9 %	6 %	2 %	2 %	3 %

Évolution de la production mondiale : en tonnes.

en tonnes d'oxydes

	1985	1990	1994	1998	2000	2005	2010	2013	2016	2020
États-Unis	13 428	22 700	20 700	5 000	5 000	0	0	4 000	0	38 000
Chine (officielle)	8 500	16 500	23 000	60 000	73 000	119 000	120 000	93 800	105 000	140 000
Australie	10 304	6 050	0	0	0	0	0	2 000	16 000	17 000
Russie	–	8 500	6 000	2 000	2 000	–	–	2 400	3 800	2 700

Source : USGS

Production d'yttrium : en 2013, dans le monde : 7 100 t d'oxyde :

en tonnes d'oxydes

Chine	7 000 t	Brésil	15 t
Inde	56 t	États-Unis	5 t
Australie	15 t	Malaisie	2 t

Source : USGS

Production de scandium : dans le monde, de 10 à 15 t/an d'oxyde comme co-produit, principalement en :

- Chine, par la sidérurgie et les métallurgies du titane, de l'étain et du tungstène.
- Kazakhstan et Ukraine, lors de la production d'uranium.
- Russie, lors du traitement des apatites destinées à l'industrie des engrais.

Réserves de terres rares : en 2022, dans le monde : 130 millions de t exprimées en oxydes, principalement dans des minerais de bastnaésite et de monazite :

en milliers de t d'oxydes

Chine	44 000	Inde	6 900
Vietnam	22 000	Australie	4 200
Brésil	21 000	États-Unis	2 300
Russie	21 000	Groenland	1 500

Source : USGS

Des gisements de terres rares sont connus dans 34 pays.

Réserves d'yttrium : en 2013, dans le monde : 540 000 t exprimées en oxyde.

en tonnes d'oxydes

Chine	220 000 t	Inde	72 000 t
États-Unis	120 000 t	Malaisie	13 000 t
Australie	100 000 t	Brésil	2 200 t

Source : USGS

Terres rares non séparées : production et utilisations

De l'ordre de 75 à 80 % du tonnage des terres rares est consommé sans séparation des terres rares contenues dans les concentrés marchands. Ces utilisations mettent, en général, en jeu les propriétés chimiques des terres rares. Ces propriétés étant très voisines, il n'est pas nécessaire de séparer les terres rares.

Les terres rares non séparées se trouvent sous forme d'oxydes, d'hydroxydes, de carbonates, de fluorures, de chlorures ou de nitrates, les teneurs des différentes terres rares étant celles du minerai. Les différents sels sont obtenus par attaque acide, ou à l'aide d'hydroxyde de sodium, des concentrés marchands, l'oxyde étant obtenu ensuite, par calcination.

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 800-1000°C. Le creuset, en acier, sert de cathode, l'anode est 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 divers autres lanthanides (voir tableau).

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 : les terres rares 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 métaux de terres rares pour désoxyder et désulfurer l'acier (les métaux de terres rares sont très réducteurs). Ils permettent également, sous forme d'ajout de mischmétal ou de son siliciure, à des teneurs de 0,1 à 0,2 %, la sphéroïsation du graphite dans la fonte nodulaire. Un tiers des terres rares produites en Chine est utilisé dans ces applications.

Catalyse : les terres rares jouent un rôle de promoteur dans des zéolithes utilisées comme catalyseur dans le craquage des produits pétroliers.

Terres rares partiellement séparées – cérium

Toute la difficulté de la séparation, entre-elles, des terres rares réside dans leur similitude de propriétés chimiques. Des terres rares ne possèdent qu'un nombre d'oxydation (III). Quelques unes peuvent présenter deux nombres d'oxydation différents III et IV pour Ce, Pr, Tb ou II et III pour Eu, Sm et Yb. Pour le cérium et l'europium, cela est exploité pour leur récupération, à partir d'un mélange de terres rares en solution.

Le cérium est oxydé de Ce^{III} en Ce^{IV} à l'air à chaud, ou en solution, à l'aide de peroxyde d'hydrogène à pH 4, puis précipité sélectivement en oxyde de cérium hydraté ($CeO_2,2H_2O$).

L'europium est réduit de Eu^{III} en Eu^{II} par un amalgame de zinc ou par électrolyse puis est précipité sélectivement sous forme de sulfate.

Jusqu'en 1981, la société américaine Molycorp ne retirait du minerai de bastnaésite de Mountain Pass que ces deux terres rares. De 1981 à 2002, elle a récupéré également Sm et Gd. Le procédé utilisé consistait à oxyder le cérium du concentré de bastnaésite par calcination (à l'air), à 650°C, pendant 3 h, puis à dissoudre sélectivement, à l'aide de HCl, les terres rares trivalentes (toutes sauf le cérium après son oxydation). Le résidu, après calcination, qui contenait environ 70 % de CeO_2 était utilisé directement. A partir de la solution de chlorures de terres rares, après extraction par solvant, à l'aide d'acide di(2-éthylhexyl) phosphorique (HDEHP ou D2 EHPA ou DEPA), l'oxyde d'europium très pur était obtenu.

Utilisations du cérium :

Industries du verre et des céramiques :

- Polissage du verre optique : utilise de l'oxyde de cérium plus ou moins pur. Il a totalement remplacé l'oxyde de fer et est employé pour tous les types de surfaces à polir : verres de lunettes (2 g par verre), optique de précision, cristallerie, miroiterie, face avant des téléviseurs. Le polissage des écrans (téléviseurs, ordinateurs, smartphones, tablettes…) représente le principal marché. Après une mise en forme des pièces à l'aide de meules diamantées, celles-ci sont doucies par un abrasif (carbure de silicium ou diamant) en suspension aqueuse puis, le dépoli restant est éliminé par polissage à l'aide de poudre d'oxyde de cérium également en suspension aqueuse.
- Décoloration du verre : le verre contient comme principale impureté colorante des oxydes de fer. Le pouvoir colorant de FeO étant supérieur à celui de Fe_2O_3, pour décolorer un verre, la première étape (décoloration chimique) consiste à oxyder les ions Fe^{2+}. Parmi les divers oxydants utilisés, l'oxyde de cérium (CeO_2), qui absorbe peu les rayonnements dans le spectre visible, est le plus employé. La quantité d'oxyde de cérium introduit correspond, en masse, à 2 à 3 fois celle de fer. La teinte jaunâtre résultant de ce premier traitement est éliminée en introduisant un colorant (autre oxyde de terre rare) absorbant fortement cette couleur (décoloration physique) : oxyde de néodyme (teneur égale à celle du fer) ou oxyde d'erbium.
- 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. La formation de centres colorés (liés à la présence d'électrons interstitiels), à l'origine du brunissement, est ainsi évitée.
- Absorbant fortement le rayonnement UV, l'oxyde de cérium, à des teneurs de 2 à 4 %, est également utilisé dans les verres de lunettes.
- Émaux et céramiques : CeO_2 est utilisé comme opacifiant des émaux, en concurrence avec TiO_2.
- 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. Rhodia, devenu Solvay, avait lancé la production de tels pigments. La sulfuration avait lieu aux Roches-Roussillon (38) et la finition du pigment à Clamecy (58). La capacité de production

était de 500 t/an. Fin 2016, cette activité a été vendue au groupe chinois Baotou Hongbo Te Technology et transférée en Chine.

Manchons incandescents : c'est la première utilisation des terres rares, en 1891, par Carl Auer von Welsbach (chimiste autrichien) qui a mis au point un manchon incandescent permettant l'éclairage (par candoluminescence) par le gaz de ville. Cette technique est toujours utilisée dans l'éclairage de camping, au gaz. Le manchon de coton ou de soie artificielle est trempé dans une solution aqueuse de nitrates de thorium et de cérium, puis séché. Lors du premier chauffage, la fibre brûle et les nitrates sont transformés en oxydes. La composition est de 99 % de ThO_2 et 1 % de CeO_2. A la mort de von Welsbach, en 1929, environ 5 milliards de manchons avaient été produits, dans le monde. Actuellement, la fabrication et la commercialisation de manchons incandescents renfermant du thorium sont interdites en France. Le thorium est remplacé par de l'oxyde d'yttrium ou de zirconium avec toutefois une efficacité moindre.

La monazite, minerai de terres rares et de thorium a été d'abord traitée pour récupérer le thorium (et, en partie, le cérium) destiné aux manchons à gaz. Le résidu, les terres rares, était valorisé en métallurgie ou pour la fabrication des pierres à briquet (voir ci-dessus).

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). Pour fonctionner efficacement, la teneur en dioxygène au niveau du catalyseur de post-combustion doit rester dans les proportions stœchiométriques des réactions de combustion des composés imbrûlés (CO et hydrocarbures). L'oxyde de cérium joue un rôle de régulateur de la teneur en dioxygène. En présence d'un excès de dioxygène, l'oxyde de cérium stocke l'oxygène ($Ce_2O_3 + 1/2O_2 = 2CeO_2$), inversement, quand le dioxygène est en défaut, CeO_2 le restitue. Le support du catalyseur (100 à 3000 ppm de Pd, Rh ou Pt) est en alumine avec environ 20 % en masse d'oxyde de cérium. Les qualités réfractaires des oxydes de cérium sont également appréciées dans cette application. Les catalyseurs 3 voies assurent, à 90 %, la conversion de CO en CO_2 et des hydrocarbures imbrûlés, en CO_2 et H_2O.

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 polyaromatiques (cancérigènes) condensés (suies, 300 000 t/an en Europe) émis par les moteurs diesel et ainsi de diminuer la pollution et la fumée noire émise. L'élimination des fumées noires est possible par combustion à 600°C mais cette température n'est pas atteinte par les gaz d'échappement d'un moteur froid et les particules bouchent les filtres destinés à les éliminer. L'ajout de cérium permet d'abaisser la température de combustion de 600 à 200°C et ainsi, de brûler les particules sitôt leur formation. Les autobus d'Athènes, ville dont l'atmosphère est particulièrement polluée, sont équipés pour consommer ce carburant diesel.

Chimie analytique : dosages par oxydo-réduction à l'aide du couple Ce^{4+}/Ce^{3+} (E° = 1,61 V).

Terres rares séparées

Procédé Rhône-Poulenc de séparation

Solvay, utilise un procédé de séparation continu par extraction liquide-liquide à l'aide de solvants.

Le lanthane (à 99,995 % de pureté) est extrait, puis le cérium (à 99,5 %), le didyme (alliage Nd-Pr séparé ensuite en Pr à 98 % et Nd à 95 %), le samarium/europium (séparé ensuite en Sm à 98 % et

Eu à 99,99 %), le gadolinium/terbium (séparé ensuite en Gd à 99,99 % et Tb à 99,9 %), et l'ensemble des autres terres rares, l'yttrium étant obtenu, en fin d'extraction, à 99,99 %.

Lors des diverses extractions, réalisées en milieu nitrique, de nombreux types de solvants sont employés : acide di(2-ethylhexyl)phosphorique, tri(n-butyl)phosphate, sels d'ammonium quaternaire, acides carboxyliques… Dans l'usine de La Rochelle, plus de 1 100 étages de mélangeurs-décanteurs sont utilisés.

Les terres rares séparées sont livrées sous forme d'oxyde ou de sels, les puretés étant, en général, exprimées en masse par rapport aux autres terres rares, sans tenir compte des autres impuretés éventuellement présentes.

Les métaux et particulièrement le néodyme, l'yttrium et le terbium, sont préparés par calciothermie, à plus de 1 000°C, à partir du fluorure dans le cas du néodyme selon la réaction :

$$2NdF_3 + 3\ Ca = 2Nd + 3CaF_2$$

Le samarium est préparé par réduction de l'oxyde par le lanthane ou le mischmétal, le métal, qui possède une tension de vapeur élevée, étant séparé par distillation sous vide.

Ces opérations métallurgiques sont réalisées principalement en Chine.

Jusqu'en 1994, Rhodia importait de la monazite d'Australie qui renfermait de l'uranium et du thorium. La monazite, après broyage, était attaquée par de la soude à 60 % en masse, à 180°C, en autoclave, pendant environ 3 heures. Le phosphate trisodique (Na_3PO_4) formé, soluble, était éliminé à l'aide d'eau chaude et les hydroxydes de terres rares et de thorium, après filtration et lavage, étaient mis en solution dans de l'acide nitrique. Une première séparation terres rares/thorium-uranium/impuretés était effectuée par des batteries d'extraction liquide-liquide. Du nitrate de thorium (à 99,9 %) et du nitrate d'uranium étaient produits lors de cette 1ère séparation. L'uranium était vendu et le thorium stocké, avec en 2016, un stock de 7 000 t de thorium sous forme de nitrate (10 000 t) et d'hydroxyde brut (21 700 t). Les effluents, radioactifs, étaient traités et les résidus stockés. Ces déchets, faiblement radioactifs, étaient stockés sur les sites de l'ANDRA (voir le chapitre uranium). Devant les difficultés rencontrées pour stocker ces déchets, Rhodia devenu Solvay a modifié son approvisionnement. La bastnaésite, est prétraitée sur les lieux d'extraction (Bayan Oba, en Chine) et la monazite australienne est prétraitée, en Malaisie, avant extraction des terres rares à La Rochelle (17).

Utilisations des terres rares séparées

Elles font, en général, appel aux propriétés physiques des terres rares.

Applications liées aux propriétés optiques

Les propriétés remarquables des terres rares dans ce domaine sont liées à leur configuration électronique. Les niveaux électroniques 5p et 5s, saturés, font écran au niveau 4f, comme une cage de Faraday, ce qui explique la quasi-insensibilité du niveau 4f aux effets du champ cristallin. En conséquence, les transitions électroniques, f–>f, se produisent entre niveaux discrets, comme dans l'ion libre (l'élargissement des niveaux par effet du champ cristallin disparaît), et les absorptions ou émissions de lumière sont quasi monochromatiques.

Les terres rares sont utilisées comme luminophores, substances qui, sous l'effet d'une excitation extérieure, émettent de la lumière (phénomène de luminescence). On peut considérer qu'il existe

toujours une terre rare qui réponde à un problème de luminescence donné et, en particulier, tout le spectre visible peut être couvert. L'europium est, en particulier, utilisé dans la protection des billets de banque.

Catholuminescence : dans les téléviseurs LCD et plasma, les couleurs sont obtenues à l'aide de terres rares. Pour la couleur rouge, de l'europium trivalent, qui émet à 612 nm, est dilué dans une matrice d'oxyde ou oxysulfure d'yttrium (Y_2O_2S), qui n'a pas de propriété de luminescence propre ou de borate d'yttrium et gadolinium ($(Y_{0,65}Gd_{0,35})BO_3$. Le bleu est obtenu à l'aide d'europium II dans une matrice d'aluminate $BaMgAl_{10}O_{17}$, le vert par le terbium III dans une matrice $YGdBO_3$.

Radioluminescence : dans le domaine des rayonnements de hautes énergies (rayons X, gamma, particules alpha, bêta, neutrons…), dans un but de radiographie ou de dosimétrie. En particulier, en radiographie médicale, les terres rares sont utilisées dans les écrans renforçateurs de rayons X, à la place du tungstate de calcium ($CaWO_4$), ce qui a permis de réduire considérablement, pour les patients, les doses d'irradiation. Le film photosensible est, en sandwich, entre 2 écrans luminescents, dans lesquels sont dispersés des luminophores à base de terres rares (Tb^{3+} dans Gd_2O_2S, Tm^{3+} dans LaOBr, Nb^{3+} ou Tm^{3+} dans $YTaO_4$). Le rayonnement X est transformé en rayonnements bleu ou vert pour lesquels les émulsions photographiques sont nettement plus sensibles.

Photostockage : l'europium, 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 : les lampes fluorescentes, renferment, en fonctionnement, de la vapeur de mercure à basse pression qui permet d'exciter le revêtement luminophore qui contient pour les lampes fluo-compactes, en masse, 69,2 % d'oxyde d'yttrium, 11 % d'oxyde de cérium, 8,5 % d'oxyde de lanthane, 4,9 % d'oxyde d'europium, 4,6 % d'oxyde de terbium. Les lampes trichromatiques utilisées dans l'éclairage familial font intervenir :

- pour le bleu, à 450 nm : la transition 4f–>5d de Eu^{2+} dans $BaMgAl_{10}O_{17}$.
- pour le vert, à 540 nm : des transferts d'énergie de Ce^{3+} à Tb^{3+} dans $(Ce,Tb)MgAl_{11}O_{19}$.
- pour le rouge, à 610 nm : la transition f–>f de Eu^{3+} dans Y_2O_3.

Dans le cas des lampes à vapeur de mercure à haute pression, qui n'émettent pas dans le rouge, un dépôt interne de luminophore Eu^{3+} dans du vanadate d'yttrium (YVO_4), est excité par la partie UV du spectre de décharge du mercure (entre 220 et 310 nm) et émet dans le rouge à 620 et 700 nm. Les grains de luminophore ont environ 5 µm de diamètre.
Dans ce domaine d'application, les lampes fluorescentes sont supplantées par les LED.

Lasers : dans ce cas, les centres actifs sont forcés à émettre dans une seule direction. Dans les lasers YAG, qui émettent principalement à 1,064 µm, Nd^{3+} est utilisé dans un grenat d'yttrium ($Y_3Al_5O_{12}$). Nd^{3+} est également utilisé dans un verre (laser Nd-verre).

Applications liées au propriétés magnétiques

Les terres rares ont des propriétés magnétiques exceptionnelles, malheureusement, en dessous de la température ambiante. Le point de Curie le plus élevé est celui du gadolinium, à 20°C. A la température ambiante, les terres rares sont paramagnétiques ou diamagnétiques.

- La formation d'alliages samarium-cobalt, tels que $SmCo_5$ ou Sm_2Co_{17}, à point de Curie supérieur à 700°C, et 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. En 2014, la production mondiale d'aimants Sm-Co était de 1 300 t. Le principal producteur, avec 20 % de la production mondiale, est la société chinoise Ningbo NingGang.
- Les aimants néodyme-fer-bore ($Nd_2Fe_{14}B$), dopés au dysprosium, sont actuellement les plus performants disponibles industriellement qui avec un point de Curie à 310°C, sont utilisés à plus basse température que les aimants samarium-cobalt. Ils contiennent, en masse, 31 % de néodyme et 5,5 % de dysprosium. Les actuels véhicules automobiles en contiennent de 1 à 2 kg. Ils sont également utilisés pour positionner les têtes de lecture des disques durs. Les éoliennes off-shore renferment 155 kg de néodyme, 27,5 kg de praséodyme et de 2,8 à 24 kg de dysprosium par MW de puissance. La production est assurée, à 75 %, en Chine, avec, en 2021, une production mondiale de 190 000 t. Neo Performance Materials, avec sa filiale Magnequench, à côté d'une production classique d'aimants Nd-Fe-B et Nd-Pr-Fe-B, a développé une production de matériaux amorphe et nanocristallin par solidification rapide en projetant l'alliage en fusion sur une roue tournant à grande vitesse et permettant d'évacuer très rapidement la chaleur. Les particules obtenues ont une épaisseur de 35 µm sur une largeur de 1 à 3 mm.
- L'enregistrement magnétooptique, à l'aide d'alliages amorphes (Gd,Tb)-(Co,Fe), permet des densités d'enregistrement très élevées (20 Mbits/cm^2).

Autres applications

Elles concernent les domaines suivants :

- **Métallurgie** : l'yttrium métal est employé pour améliorer la tenue aux chocs thermiques des aciers pour pipeline.
- **Céramiques** : l'oxyde d'yttrium, à des teneurs supérieures à 7 %, est utilisé pour stabiliser, à haute température, la forme cubique de la zircone (ZrO_2). La zircone 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 des céramiques.
  Des sondes à oxygène, destinées à la mesure de la teneur en dioxygène des gaz émis par les moteurs à explosions afin d'ajuster celle-ci pour la combustion dans les pots catalytiques de CO et des hydrocarbures imbrûlés, sont en zircone plus ou moins dopée (de 1 à 10 % atomique) en oxyde d'yttrium. La stabilisation de la zircone par des ions trivalents à la place d'ions tétravalents entraîne la création de lacunes en oxygène qui confèrent au matériau une conductibilité ionique qui varie avec la pression partielle en dioxygène.
- **Verres** : les oxydes de terres rares peuvent colorer les verres : violet, avec 2 à 6 % d'oxyde de néodyme ; vert clair, avec 2 à 6 % d'oxyde de praséodyme ; rose pale, avec 2 à 5 % d'oxyde d'erbium ; jaune clair à orange, avec CeO_2 (1 à 3 %) associé à TiO_2 (2 à 6 %). 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 télescopes, des objectifs photographiques…

- **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 d'hydroxyde de potassium à 8,7 mol/L et d'une électrode négative en alliage de base $LaNi_5$ avec Ni substitué partiellement par Mn, Al ou Co et La par diverses autres terres rares. Les réactions mises en jeu sur les électrodes sont les suivantes :

  – à l'électrode positive : $Ni(OH)_2 + OH^- = NiOOH + H_2O + e^-$ avec E° = + 0,49 V

  – à l'électrode négative : $M + H_2O + e^- = MH + H_2O$ avec E° = – 0,80 V

  Dans une batterie la teneur en terres rares (Ce, La, Nd et Pr) est de 7 % en masse. Dans un véhicule hybride, le poids de terres rares est de 12 à 15 kg dans les batteries, dans une batterie AAA (LR3) de 1 g, dans une batterie d'outil professionnel, 60 g.
- **Catalyse** : la catalyse pour le craquage des pétroles lourds utilise principalement le lanthane pour activer et stabiliser les zéolithes employées.

Le scandium est principalement utilisé, à des teneurs de 0,1 à 0,5 %, dans des alliages d'aluminium destinés à des applications dans l'industrie aérospatiale et le sport. A des teneurs pouvant atteindre 2 % il a été utilisé, en Russie, pour la production des Mig 21 et 29. Il est également employé dans des lampes halogènes sous forme d'iodure de scandium afin d'obtenir une lumière proche de celle d'une source naturelle.

Recyclage

En 2015, il est estimé à 1 % de la consommation, principalement à partir de chutes de fabrication.

En Chine, 80 % des capacité de recyclage sont installées à Ganzhou, dans la province du Jiangxi. La production est de 15 000 t/an, à 90 % d'oxyde de Nd et Pr et à 10 % d'oxydes de Tb et Dy.

En France, la société Ecosystem a récupéré, en 2019, 5 176 t de lampes soit plus de 50 millions d'unités en vue du recyclage des matériaux contenu (88 % de verre, 5 % de métal, 4 % de plastique, 3 % de poudre luminophore, 0,005 % de mercure). 4 000 t de lampes sont susceptibles de donner 15 t d'yttrium, 1 t de terbium et 1 t d'europium. Entre 2012 et 2016, Solvay, a récupéré à Saint-Fons (69) la poudre luminescente de ces lampes, éliminé les résidus de verre et le mercure, et produit un concentré de terre rare renfermant du lanthane, du cérium, du terbium, de l'yttrium, de l'europium et du gadolinium puis séparé ces différentes terres rares à La Rochelle (17). Cette activité a été abandonnée par Solvay fin 2016.

Les groupes Umicore et Solvay, se sont associés pour recycler les batteries Ni-M-H. Les batteries seront traitées par Umicore à Hoboken afin de séparer le nickel des terres rares et le concentré de terres rares obtenu serait traité par Solvay à La Rochelle pour séparer les terres rares.

Situation française

En 2022.

Production : pas de production minière.

Production de terres rares séparées, par Solvay, depuis 1948, à La Rochelle (17), à l'origine pour donner des pierres à briquet. La capacité de production est de 6 000 t/an.

Solvay exploite 4 autres usines dans le monde, 2 en Chine avec les joint-ventures, Baotou Solvay Rare Earth Co. et Liyang Solvay Rare Earth New Materials Co., une au Japon, Anan Kasei, en association avec Santoku et une aux États-Unis.
Solvay produit l'ensemble des terres rares avec en particulier la production de luminophores pour lampes fluocompactes et écrans, d'additif pour carburant diesel afin de régénérer les filtres à particules, avec 3 millions de véhicules équipés dans la monde, de produits pour les pots catalytiques automobiles, de poudre pour polissage d'écrans LCD, de condensateurs céramiques pour applications électroniques.
Dans l'usine de La Rochelle, Solvay a recyclé des terres rares, de 2012 à 2016, à partir de lampes fluorescentes usées.

Commerce extérieur :

Ferrocérium et autres alliages pyrophoriques :

- Exportations : 0,589 t vers l'Allemagne à 29 %, l'Italie à 17 %, la Pologne à 10 %.
- Importations : 317 t à 97 % d'Espagne.

Métaux de terres rares :

- Exportations : 6,442 t vers l'Allemagne à 44 %, la Serbie à 39 %, la Belgique à 9 %.
- Importations : 18 t de Chine à 75 %, d'Autriche à 14 %, d'Australie à 10 %.

Composés de terres rares :

- Exportations : 64 t vers les États-Unis à 59 %, la Chine à 5 %.
- Importations : 69 t des États-Unis à 54 %, de Malaisie à 25 %, de Chine à 6 %.

Utilisations

Consommations : dans le monde, en 2020 : 167 000 t exprimées en oxydes, à 83 % en Chine, 12 % au Japon, 2 % aux États-Unis.

Consommation, par terre rare, en 2018, sur un total de 165 000 t. Répartition en volume et en valeur :

	Ce	La	Nd	Pr	Y	Dy	Eu, Sm, Gd, Tb
en volume	35 %	30 %	18 %	6 %	7 %	1 %	3 %
en valeur	4 %	6 %	49 %	20 %	1 %	13 %	7 %

Source : Argus

En volume, en 2017, les deux principales terres rares consommées, Ce et La, représentent 84 000 t alors que les autres terres rares représentent 53 000 t.

Par secteurs d'utilisation, dans le monde, en 2017 et répartition, en 2018, en volume et valeur :

Application	Consommation	% en volume	% en valeur
Aimants	51 000 t	20 %	73 %
Catalyse	30 000 t	19 %	4 %
Batteries	2 000 t	11 %	6 %
Alliages métalliques	31 000 t	7 %	5 %
Polissage	22 000 t	26 %	7 %

Additifs du verre	9 500 t		
Céramiques	8 500 t	6 %	4 %
Luminophores	3 000 t	4 %	4 %
Autres	10 500 t	7 %	5 %
Total	167 500 t		

Sources : Argus et Alkane Resources

Par élément chimique :

Secteurs d'utilisation, par terre rare, en 2012 : en % d'une application donnée par terre rare.

	Lanthane	Cérium	Praséodyme	Néodyme	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dyspros
Aimants			73 %	89 %	97 %		35 %	24 %	98 %
Batterie	26 %	3 %							
Alliages métalliques	10 %	19 %		2 %			28 %		
Catalyseur		13 %							
Automobile		5 %							
Catalyseur raffinage pétrolier	44 %								
Polissage du verre	2 %	35 %							
Céramiques et additif du verre	6 %	13 %	7 %	5 %					
Luminophores	2 %	4 %				96 %	23 %	71 %	

Source : Panorama 2014, BRGM