



Devenir recycleur : la stratégie d'un groupe producteur de produits minéraux stratégiques

Par Alain ROLLAT *

En 2011, le monde développé découvrait sa dépendance à des éléments indispensables à de nombreuses applications de haute technologie, les terres rares. En imposant une politique de quotas à l'exportation, la Chine (le principal pays producteur) provoquait une hausse spectaculaire du prix des terres rares. Face à cette situation dangereuse pour tout un secteur de l'industrie, notamment de l'économie verte, l'Europe et les États-Unis réagirent en prenant différentes initiatives dans le but de limiter leur dépendance aux exportations chinoises, notamment en prônant le recyclage des composants contenant des terres rares.

Solvay a lancé, dès 2007, un vaste programme de recherche et développement dans le domaine du recyclage des terres rares. Ce programme s'est traduit en 2012 par la création sur ses sites de Saint-Fons (Rhône) et de La Rochelle d'unités de recyclage des terres rares contenues dans les lampes à économie d'énergie et dans les batteries nickel-métal-hydrure usagées, ainsi que dans les chutes de production des fabricants d'aimants permanents.

La disponibilité en terres rares, une question stratégique pour le monde développé

En 2011, les médias des pays développés découvraient que des éléments chimiques jusque-là inconnus du grand public étaient indispensables à notre économie, et plus précisément à l'industrie des hautes technologies. En quelques mois, plusieurs dizaines d'articles et de reportages consacrés aux terres rares mêlant données technico-scientifiques (souvent approximatives) et considérations géostratégiques (parfois sommaires) ont été diffusés en Europe et aux États-Unis.

La raison de cet emballement médiatique est aujourd'hui connue : d'une part, la Chine, qui concentre 95 % de la production des matières premières en terres rares venait d'imposer une réduction très importante de ses quotas d'exportation, créant de ce fait une crise dans la disponibilité de ces éléments et, d'autre part, Pékin, qui conteste la souveraineté du Japon sur les îles Senkaku, décidait, en décembre 2010, d'utiliser l'arme économique et imposait un embargo total sur l'exportation des terres rares à destination de ce pays (qui en est un des principaux consommateurs). L'envolée des prix qui s'en est ensuivie a été spectaculaire (voir la Figure 1 de la page suivante).

Des secteurs entiers de l'industrie des hautes technologies (énergies renouvelables, communications, microélectronique), mais aussi de l'industrie traditionnelle (automobile, industrie pétrolière) se découvraient dépendants des terres rares. Ce que, jusque-là, de nombreux responsables achats des grands groupes industriels mondiaux considéraient être des composants indispensables à leur activité (aimants, condensateurs, catalyseurs...) se révélaient être des matériaux à base d'éléments dont les noms n'étaient que de vagues souvenirs de leur cours de chimie (néodyme, dysprosium, lanthane, cérium...), dont la production était un quasi-monopole chinois. La production des composants eux-mêmes pouvait être réalisée hors de Chine, mais cela ne garantissait en rien la sécurisation des approvisionnements : cette production dépendait de l'approvisionnement en matières premières ou en produits intermédiaires chinois.

Le recyclage : une réponse partielle, mais essentielle à la pénurie de terres rares

La réaction à cette situation inquiétante n'a pas tardé : les dirigeants des groupes industriels concernés et les responsables politiques des pays développés ont lancé des initiatives visant à pallier cette dépendance (voir, par



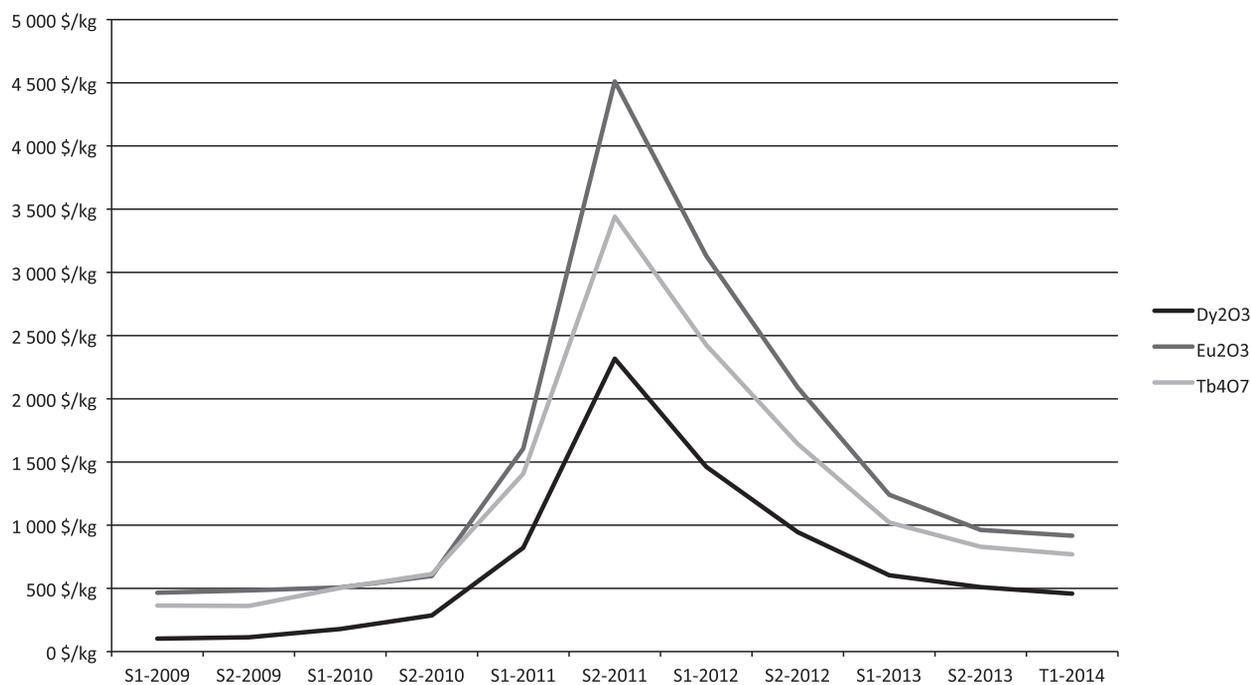


Figure 1 : Évolution des prix de l'euprotium, du terbium et du dysprosium entre janvier 2009 et mars 2014.

exemple, la création du COMES, au niveau français : http://www.dgcis.gouv.fr/files/files/directions_services/sec-teurs-professionnels/industrie/chimie/metaux-strategiques/comes.pdf.

Ces initiatives peuvent être classées en quatre catégories :

- ✓ la diminution de la teneur en terres rares dans les matériaux en contenant (ou dans les procédés utilisant des terres rares). Tant que les prix des terres rares les plus abondantes (le lanthane et le cérium) sont restés relativement bas, l'optimisation du rendement de l'utilisation de ces éléments n'a pas été la première préoccupation des utilisateurs de ces matériaux. Et dès lors que des études ont été lancées, des améliorations significatives ont pu être apportées à des applications comme la catalyse pétrolière ou les poudres de polissage. Par contre, pour les terres rares les plus critiques (néodyme, dysprosium, terbium), l'optimisation des teneurs en terres rares des produits concernés avait déjà fait l'objet d'études approfondies. Et, dans ce cas, la diminution de la quantité de terres rares nécessite des modifications fondamentales des procédés ou des produits en question. Les premiers résultats de projets lancés il y a plusieurs années commencent à se traduire industriellement (par exemple, la diminution du taux de dysprosium dans les aimants permanents). Mais ce domaine reste un thème important des laboratoires spécialisés dans les applications concernées ;
- ✓ la substitution aux terres rares d'autres éléments ayant des propriétés similaires. Les terres rares sont utilisées pour différentes propriétés : magnétiques,

électroniques, optiques, catalytiques, structurales. Les propriétés spécifiques les plus fondamentales (magnétiques, électroniques et optiques) sont liées à leur structure électronique unique (présence d'orbitales 4f). Cette spécificité rend extrêmement difficile leur substitution dans les applications utilisant ces propriétés. Il ne suffit pas de remplacer l'élément terre rare par un autre élément chimique pour retrouver la même propriété : il faut repenser complètement l'application, et la substitution des terres rares implique en réalité l'émergence d'une nouvelle technologie basée sur un principe scientifique différent. Un bon exemple de ce type d'évolution est le remplacement (qui est en cours) des lampes à économie d'énergie (lampes compactes) par les LED (*Light Emitting Diodes*). Il est évident que de telles ruptures technologiques nécessitent des efforts de recherche très lourds et ne peuvent donc être envisagées que sur le long terme ;

- ✓ le développement de projets miniers basés sur des gisements de terres rares hors de Chine. Si la Chine représente plus de 95 % de la production des matières premières de terres rares, elle ne possède que 30 % des ressources connues de ces éléments. Dès le milieu des années 2000, de nombreux projets miniers visant à développer des gisements de terres rares hors de Chine ont vu le jour. Mais le développement d'un gisement prend plus de dix ans (entre les premières explorations géologiques et la mise en production d'une nouvelle mine). En 2014, seuls deux de ces projets sont en production effective : Mount Weld (en Australie) et Mountain Pass (aux États-Unis). Toutefois, la nature des minerais de ces



gisements ne permet pas de répondre à l'ensemble des besoins en terres rares, notamment les besoins en terres rares lourdes. D'autres projets miniers sont basés sur des minéraux contenant les terres rares les plus critiques (néodyme, terbium, dysprosium), mais les délais de mise au point de procédés adaptés à des minerais non conventionnels et la lourdeur des investissements nécessaires repoussent la mise en production de ces gisements aux années 2017-2018 ;

- ✓ le recyclage des produits à base de terres rares. Les produits contenant des terres rares sont très largement présents dans les pays développés et se retrouvent bien souvent dans nos décharges. La valeur de ces produits alliée à la nécessité sociétale de réduire les déchets conduit naturellement à la mise en place de circuits de recyclage. Néanmoins, en raison de la technicité de ces matériaux, leur recyclage pose des questions scientifiques et technologiques complexes qui ne peuvent être résolues sans un effort de recherche important. Un recyclage des terres rares qui fait partie intégrante de la stratégie de Solvay.

Dès 2005, la Chine a mis en place des quotas d'exportation concernant les terres rares. À partir de 2005 jusqu'en 2008, on a assisté à la diminution régulière de ces quotas, qui sont passés de 66 530 tonnes en 2005 à 47 480 tonnes en 2008. Ainsi, les premiers signes de difficultés d'approvisionnement en terres rares ont été perceptibles dès 2007.

Présent en Chine et hors de Chine, notamment en France, Solvay produit des formulations à base de terres rares, en particulier pour les applications de catalyse de postcombustion automobile, de luminescence et de polissage. Dès 2007, face à ce risque de pénurie d'approvisionnement en matières premières pour ses usines non chinoises, Solvay lança un vaste programme de recherche et développement dans le domaine du recyclage des terres rares.

Les matières issues du recyclage ont été dès lors considérées comme un gisement particulier auquel il devait être possible d'appliquer les technologies classiques de traitement des minerais. Le but était d'obtenir un concentré de terres rares présentant des caractéristiques similaires à celles des concentrés issus des matières premières primaires afin que les deux types de matière puissent être traités conjointement.

Si l'obtention d'un concentré contenant les matières à valoriser est la première étape de tout processus de recyclage, dans le cas précis des terres rares, l'étape critique est leur séparation (ou raffinage). En effet, toutes les applications utilisant des terres rares nécessitent des puretés élevées (allant de 99 % à 99,999 %, selon les applications). Or, les minerais contiennent toutes les terres rares, en mélange, et leur intégration aux applications finales nécessite de séparer lesdites terres. Cette séparation est particulièrement délicate en raison de la similitude chimique des différentes terres rares (elle peut être

comparée au raffinage pétrolier). Elle est réalisée par extraction liquide-liquide dans des équipements appelés batteries de mélangeurs-décanteurs (équivalant aux colonnes de distillation dans le raffinage).

Le recyclage des matériaux contenant des terres rares va également nécessiter une étape de séparation par extraction liquide-liquide afin de pouvoir en « régénérer » les propriétés recherchées. Cette étape est un des freins principaux au recyclage des terres rares en raison, d'une part, des investissements élevés correspondant à la construction d'unités de séparation et, d'autre part, des compétences très spécifiques nécessaires pour définir et maîtriser cette technologie.

Solvay possède à La Rochelle une unité de ce type, qui est unique au monde. Son existence étant en soi un avantage stratégique, Solvay a décidé, en 2007, de lancer son projet de recyclage des terres rares.

Mais avantage stratégique ne signifie pas nécessairement projet rentable. La rentabilité de ce projet dépendait essentiellement de deux critères :

- ✓ l'existence d'un gisement suffisamment important en quantité (et dont la valeur intrinsèque n'était pas basée sur des prix purement spéculatifs),
- ✓ et la mise au point de procédés de traitement économiques.

À partir de ces deux critères, l'analyse des potentialités de recyclage s'est faite en considérant trois types de gisements potentiels :

Le recyclage des matières issues de la production de l'usine de La Rochelle

L'usine de La Rochelle a accumulé des matières issues des unités de production, dont les compositions en terres rares, mais également en impuretés, reflètent l'évolution des procédés et des productions au fil des années. Le procédé de recyclage mis au point devait donc être suffisamment flexible pour accepter des produits de qualités variables tout en répondant aux critères de rentabilité définis initialement. Finalement, en 2010, l'usine de La Rochelle a commencé le recyclage de ces matières, ce qui lui a permis de toujours répondre aux commandes de ses clients, y compris en 2011 lorsque l'approvisionnement des matières premières en provenance de Chine a été particulièrement tendu. Ce recyclage se poursuit en 2014 et une extension de l'unité existante est en cours d'étude au moment où ces lignes sont écrites.

Le recyclage des déchets de production des clients de Solvay

En 2011, lorsque les prix des terres rares se sont envolés, de nombreux utilisateurs industriels se sont tournés vers Solvay pour lui demander d'étudier la possibilité de recycler leurs déchets de fabrication. Dans ce cas, et pour reprendre le premier des critères d'évaluation de la rentabilité potentielle d'un projet de recyclage, le gisement existe, certes, mais sa valeur intrinsèque justifie-t-elle la



Photo © Solvay Rare Earth Systems

Photo 1 : Usine Solvay de La Rochelle - Une batterie de séparation de terres rares.

mise en place du recyclage ? Lorsque les utilisateurs basaient leur évaluation économique sur les prix de 2011 (notamment pour des terres rares, telles que le lanthane et le cérium), il s'est rapidement avéré que la rentabilité de ces projets était trop dépendante de facteurs purement spéculatifs pour qu'ils puissent s'inscrire dans un cadre de développement durable. Par contre, lorsque ces projets étaient basés sur des gisements contenant des terres rares critiques en quantités significatives, leur rentabilité a été vérifiée. Et dans le cas des déchets de fabrication de métaux et d'aimants (par exemple), des circuits de recyclage s'inscrivant dans le cadre d'une économie circulaire ont été mis en place.

Le recyclage des terres rares contenues dans des produits en fin de vie

L'existence d'un gisement suffisamment important en quantité a été définie comme un prérequis permettant d'envisager un projet de recyclage. Mais, par ailleurs, ce gisement doit contenir des terres rares dont la valeur intrinsèque justifie la mise en place d'un procédé physico-chimique de traitement. Dans le cas des produits en fin de vie, ces deux critères impliquent l'existence de circuits de recyclage générant des matières dans lesquelles

les terres rares ont été concentrées et/ou dont les prix sont élevés. Trois circuits de recyclage existant dans les pays développés concernent des déchets contenant des terres rares :

Les déchets d'équipements électriques et électroniques (D3E)

Au titre de ce gisement, les terres rares sont présentes essentiellement sous deux formes :

- ✓ les aimants permanents (que l'on trouve dans la plupart des moteurs électriques, mais aussi dans les haut-parleurs et dans certains autres composants). La valeur des terres rares contenues dans les aimants permanents (praséodyme, néodyme et dysprosium) est suffisamment attractive pour que de nombreux industriels et laboratoires de recherche se soient penchés sur leur récupération. Actuellement, les procédés de traitement de ces aimants existent et leur recyclage sera effectif dès que les recycleurs auront mis en place des technologies de démantèlement permettant de les récupérer sous une forme suffisamment concentrée.
- ✓ les batteries dites nickel-métal-hydrure, qui sont, avec les batteries à base de lithium, une des deux



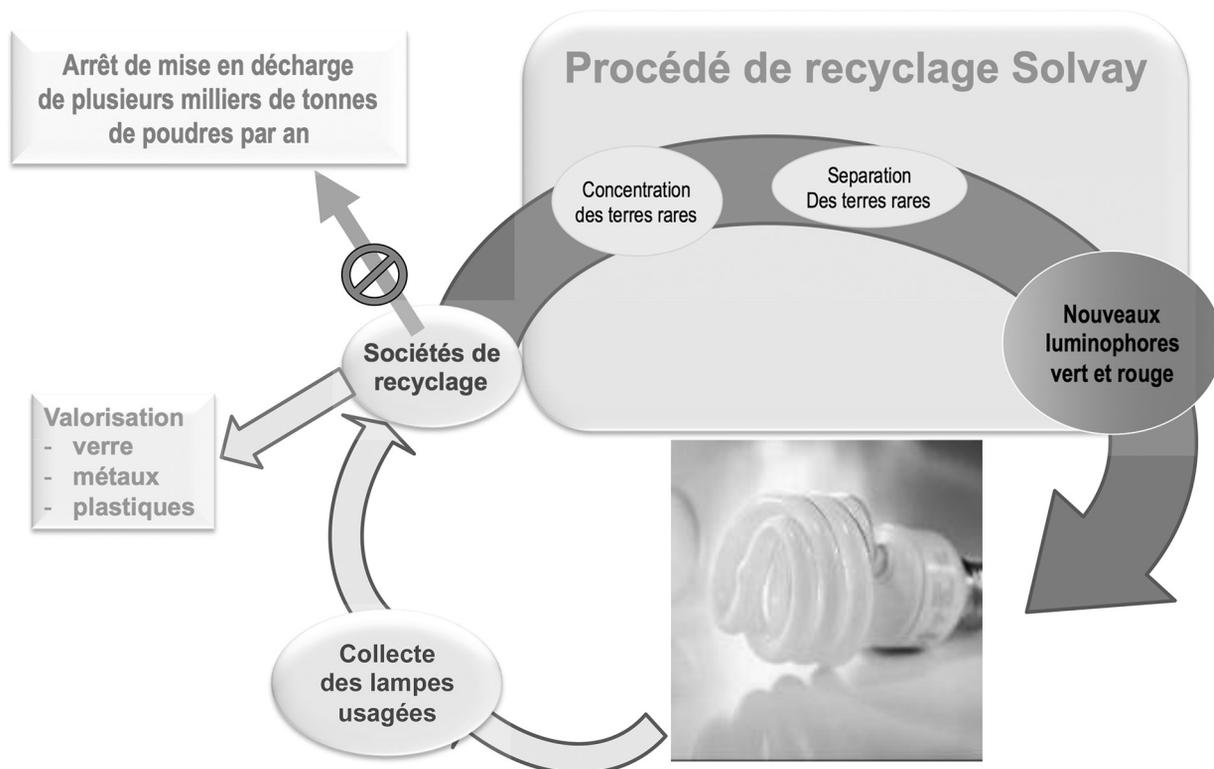


Photo © Solvay Rare Earth Systems

Figure 2 : Boucle de recyclage des terres rares contenues dans les lampes à économie d'énergie.

technologies de batteries rechargeables. Ces batteries sont déjà recyclées pour en récupérer le nickel. Récemment, Umicore a mis au point un procédé qui permet (en plus de la récupération du nickel) d'obtenir un concentré de terres rares, qui est ensuite valorisé par Solvay dans son usine de La Rochelle.

Les véhicules hors d'usage (VHU)

Dans ces déchets, comme pour les D3E, les terres rares se retrouvent essentiellement sous la forme d'aimants permanents. Et, là encore (comme pour les D3E), le recyclage effectif des terres rares contenues dans ces aimants dépend de la mise en place, chez les recycleurs, de technologies de démantèlement sélectif permettant d'isoler les aimants à un niveau de concentration suffisamment élevé.

Les lampes à économie d'énergie (lampes compactes et tubes fluorescents)

Ce gisement répond parfaitement aux critères de rentabilité précités. En effet, les poudres luminescentes à l'origine de l'émission lumineuse contiennent des terres rares chères (europium et terbium) et, lors du traitement par les sociétés de recyclage, ces poudres sont isolées. En 2012, Solvay a mis en place une unité de recyclage des terres rares contenues dans les lampes à économie d'énergie.

Après une récupération des poudres luminescentes (qui jusqu'alors étaient mises en décharge), une première étape de traitement a été réalisée sur le site industriel de Saint-Fons (près de Lyon). Le concentré de terres rares issu de cette étape est envoyé sur le site de La Rochelle, où ce mélange est traité pour obtenir par séparation des terres rares pures (lanthane, cérium, europium, terbium et yttrium) qui, après transformation en luminophores verts et rouges, sont réintroduites dans de nouvelles lampes.

Conclusion

L'existence en Europe de circuits de recyclage performants peut être l'occasion pour des groupes industriels de pointe de mettre leur savoir-faire au service de l'économie circulaire en assurant une valorisation optimale des déchets. Ainsi, la combinaison d'une compétence technique originale avec un outil industriel unique a permis à Solvay de transformer un risque en opportunité.

De telles opportunités existent. Il est de la responsabilité des pouvoirs publics de les encourager - et de celle des industriels concernés de savoir les saisir.

Note

* Docteur ingénieur en Chimie de l'Université de Strasbourg et diplômé de l'Institut d'Administration des Entreprises de l'Université de Poitiers.