

La guerre des terres rares

Régis Poisson

Résumé

Ces quinze dernières années, les terres rares sont devenues indispensables à l'élaboration de produits de hautes technologies critiques en matière d'énergie ou d'application militaire. Au départ, elles constituaient un très faible marché, mais le développement des technologies propres dans les années 1990, à l'initiative des pays développés, a conduit à une explosion de la demande (alliages métalliques pour les batteries, aimants permanents pour les éoliennes, luminophores pour l'éclairage de basse énergie). Leur extraction étant polluante et les Chinois en proposant des concentrés à bas coût, les pays développés se sont retirés de cette activité, la laissant aux Chinois. En 2010, la Chine diminue brutalement ses quotas d'exportation de terres rares, mettant dans une situation délicate l'industrie basée sur celles-ci qui réalise brutalement, mais un peu tard, que la Chine est en position de monopole (elle en fournit 97 %) et qu'il n'y a pas de plan B. La contre-attaque est lancée. Les Américains possédant l'une des plus grandes réserves de terres rares mettent de gros moyens. L'Europe, autour de Rhodia Rare Earth Systems se mobilise dans la recherche de nouveaux approvisionnements et le recyclage des produits en fin de vie. Les Japonais, les plus menacés, se lancent dans le même processus. De son côté, la Chine, qui a en fait mesuré le danger des dégâts environnementaux créés par leur extraction intensive, souhaite elle aussi trouver des approvisionnements extérieurs. Par ailleurs, elle veut profiter de sa croissance interne pour assurer la fourniture des meilleurs produits finis sur son marché et prendre définitivement une position de leader mondial sur les produits... Cet article a pour objet de cerner les causes de cette situation désolante dans laquelle les pays développés (États-Unis, Europe, Japon et Corée) se sont plongés et de faire le point sur la pertinence et la nature de la contre-attaque qui se met en place.

Mots-clés

Terres rares, Chine, technologies propres, traitement des minerais.

Abstract

The rare earths war

These last fifteen years, the rare earths have come to be essential in the manufacturing of the high technology products critical for the energy saving and the military applications. At the beginning, rare earths market was very small. The development of clean technology in the years 1990, at the initiative of the developed countries, led to a burst of the demand (metal alloys for batteries, permanent magnet and phosphors for low energy lighting). Their extraction processes being very polluting, China starting to offer rare earths concentrates at low cost, the developed countries gave up their extraction activity to the profit of the Chinese. In 2010, China reduced brutally its rare earths exportation allocations, leading the rare earths based industry in quite a difficult situation. Developed countries discover brutally, but a bit too late, that China is in position of monopole, supplying 97% of the rare earths, and that there is no alternative plan! The counter-attack is launched. The USA, owning one of the largest rare earths resources, mobilize considerable means for extraction, separation and manufacturing of end products. Europe, with Rhodia Rare Earth Systems (now Solvay), focus on the research of new sources of rare earths and the recycling of end-of-life products. Japan, the most threatened, is going in the same direction. For its part, China has measured the danger of its environmental damages created by this intensive extraction of rare earths. It wishes, as well, find external supply. Furthermore, as long as the internal growth is present, Chinese want to take advantage of this situation to ensure the supply of the best products in their domestic market and through this, to build a definitive leadership on the rare earths products. This article's goal is to better identify the reasons of this depressing situation where developed countries (USA, Europe, Japan and Korea) are immersed and to take stock of the relevance and the nature of the counter-attack which is taking place.

Keywords

Rare earths, China, clean technologies, minerals treatment.

Le 14 mars dernier, *Les Échos* titraient : « Terres rares : l'Europe, les États-Unis et le Japon bataillent contre la Chine ». Les trois partenaires « occidentaux » ont porté plainte à l'Organisation mondiale du commerce (OMC) contre les restrictions de la Chine sur les exportations de ces métaux indispensables aux produits de haute technologie. La veille, nous avons vu aux informations Barack Obama qui s'exprimait avec force sur le sujet.

Selon *Les Échos*, le Japon en consomme 32 000 tonnes, les États-Unis 11 000, l'Europe 11 000, le reste hors Asie 5 000 et la

Chine 72 000, soit au total 131 000 tonnes. La Chine est pratiquement le seul fournisseur.

Comme montré dans la *figure 1*, les quotas d'exportation sont de plus en plus sévères. Le prix moyen des terres rares explose, creusant le désavantage de coût des produits fabriqués hors de Chine [1].

En quelque sorte, non contente d'être un grand fournisseur de produits à base de terres rares, la Chine est pratiquement le seul fournisseur de terres rares et est en position de faire la loi dans le domaine de leurs applications [2]. Ceci pénalise fortement les fabricants

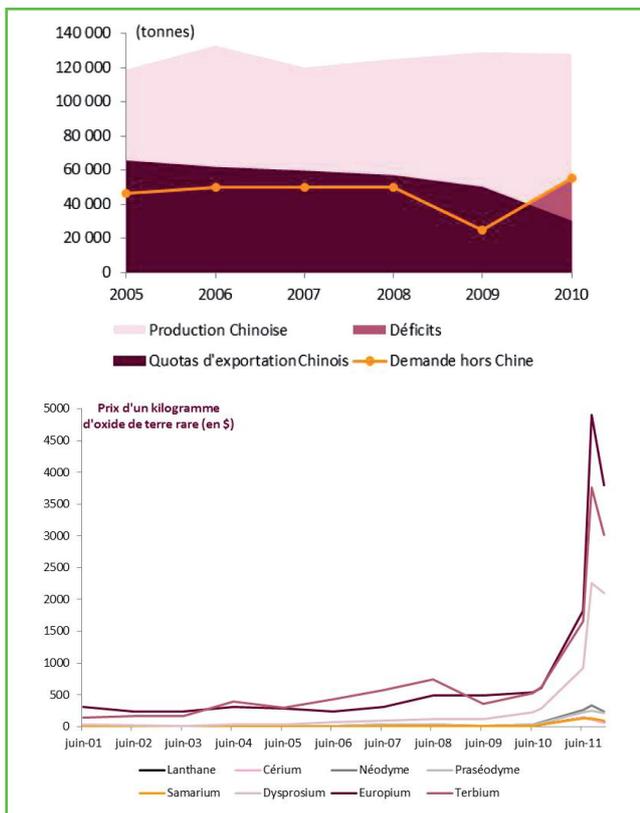


Figure 1 - Évolution des quotats d'exportation chinois et des prix des terres rares [1].

occidentaux de produits de technologie propre, comme les véhicules électriques (aimants NdFeB), les véhicules hybrides (batteries NiMH), les éoliennes (aimants NdFeB) et les ampoules fluorescentes basse énergie (yttrium, europium et terbium), mais aussi de nombreux autres produits contenant des composants à base de terres rares comme ceux utilisés dans les avions à réaction, les équipements militaires, le contrôle de la pollution des moteurs à combustion, l'imagerie médicale, la radiothérapie, et d'autres équipements électriques ou électroniques tels que les condensateurs céramiques, les supraconducteurs, les ordinateurs, les Smartphones, etc. [3-4] (encadré 1).

Les débuts des terres rares

L'origine des terres rares en France

Les hasards de la vie ont voulu que je commence ma carrière (en 1971) à l'usine des terres rares de La Rochelle et que j'ai assuré la direction des recherches de cette activité jusqu'en 1992.

En 1962, dans le contexte post-gaullien de la mise en place d'un secteur chimique français fort, à l'image de celui de l'Allemagne, des actifs chimiques de Pechiney et de Saint-Gobain ont été regroupés dans une société commune Pechiney-Saint-Gobain. En l'occurrence, cette usine de terres rares provenait de Pechiney. À cette époque, elle était vétuste, basée sur une séparation des terres rares par cristallisation fractionnée, peu rentable, et positionnée sur un marché très étroit. Fort du conseil du Dr H.B.G. Casimir, directeur du laboratoire Philips de Eindhoven et premier président de l'EIRMA (European Industrial Research Management Association), assurant que les terres rares étaient promises à un grand avenir dans le développement futur de l'électronique, le directeur général de l'époque décida de garder cette usine et d'y investir.

En 1971, elle produisait encore les fabrications d'origine telles que les sels de thorium pour les manchons incandescents [5], utilisés principalement dans les lamparas en Asie du sud-est... (sic !), et

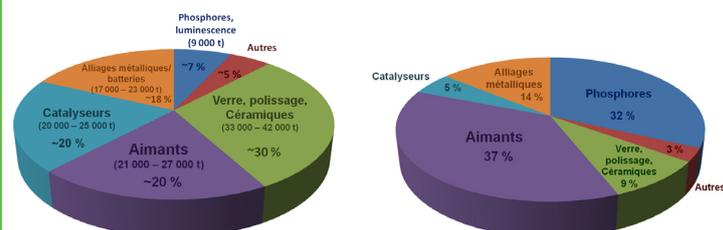
Encadré 1

Terres rares et applications [4]

Les terres rares regroupent quinze éléments de la classification périodique, du numéro atomique 57 à 71, auxquels on a coutume d'ajouter deux autres éléments : le scandium et l'yttrium. On distingue huit terres rares légères (les cériques, LREE) et neuf lourdes (les yttriques, HREE) ; on comprend que le critère de classement n'est pas la masse puisque l'yttrium est un des éléments les plus légers. En fait, la façon dont on peut séparer ces terres rares est partiellement empirique. C'est la logique des chimistes !

Le tableau ci-dessous présente la classification périodique des éléments chimiques, avec les terres rares (REE et HREE) mises en évidence. Les terres rares légères (LREE) sont les éléments de la série de lanthane (La à Lu), et les terres rares lourdes (HREE) sont les éléments de la série de scandium (Sc à Lu).

Leurs principales applications et leur distribution en volume sont données dans la figure ci-dessous en tonnes. On distingue cinq grands secteurs d'applications, dont quatre d'égal volume. La partie droite de la figure donne la distribution en valeur. Les luminophores, le plus petit marché en volume, représentent 30 % du marché en valeur, à peu près équivalent à celui des aimants permanents. Si on rentre plus dans le détail, on comprend que chaque grand secteur contient de nombreux segments, reposant chacun sur des terres rares spécifiques. La valeur du marché des luminophores s'explique par le fait que ces produits sont basés sur des terres rares qui sont plus rares, donc plus chères. C'est le cas de l'europium qui est une terre rare légère, et des terbium, yttrium, gadolinium qui sont des terres rares lourdes. Encore la logique des chimistes !



La différence de prix entre les alliages et les aimants tient en partie à l'utilisation de terres rares lourdes. De toute façon, la rareté relative des produits dépend de la nature du minéral : la bastnaésite est riche en cériques, le xénotime est riche en yttrium.



le « mischmetal » (mélange de plusieurs métaux de terres rares), utilisé pour fabriquer sur place des pierres à briquet destinées au monde entier. S'étaient ajoutés de nouveaux produits en devenant comme les « Cerox » (oxyde de cérium) pour le polissage du verre, l'euporium et l'yttrium pour la télévision en couleur, le néodyme pour les verres.

Fort des développements du CEA dans l'extraction de l'uranium, l'usine venait de passer à l'extraction liquide/liquide pour la séparation des terres rares. Cette activité n'en restait pas moins positionnée sur un marché étroit et perdait de l'argent.

Situation générale à la fin des années 1980

Les marchés s'étaient effectivement développés : luminophores pour les téléviseurs couleur à tubes cathodiques, aimants samarium/cobalt pour les baladeurs (Sony), catalyse de postcombustion des automobiles à essence (cérium et terres rares trivalentes), cracking catalytique des essences (FCC), catalyseurs organométalliques, ampoules fluorescentes trichromatiques mises sur le marché en 1990 (maintenant appelées « à basse consommation d'énergie »), pour ne citer que les principaux. En 1982 apparaissait un aimant révolutionnaire : le néodyme fer/bore (NdFeB).

Au début des années 1980, la production de minerais était de l'ordre de 50 à 60 000 t, dont 25 000 sous forme de monazite (Australie 60 %, Inde 20 %, Brésil 12 %, Malaisie 8 %), 15 000 sous forme de bastnaésite (États-Unis) et 10 à 20 000 en Chine.

Les producteurs d'oxydes purifiés étaient Rhône-Poulenc en France, traitant la monazite australienne et centré sur les applications électroniques et la catalyse, Molycorp Inc. aux États-Unis, traitant son propre minerai et centré sur les cériques pour les poudres de polissage et la catalyse ainsi que sur l'euporium pour les luminophores, et Mitsubishi Chemical Industries au Japon. Pour les métaux et alliages, on trouvait Santoku Corp. et Sumitomo Special Metals au Japon, Godtschmidt et Treibacher en Europe, Research Chemicals aux États-Unis.

À l'époque, donc avant que Deng Xiaoping se dévoile au printemps 1992 en lançant « *Le Moyen-Orient a le pétrole... La Chine a les terres rares* », on était loin d'avoir compris que les Chinois avaient une stratégie dans le domaine des terres rares et qu'elle était en fait en place depuis dix ans... Pourtant, à la fin des années 1980, les prix très faibles des terres rares chinoises commençaient à mettre à mal l'industrie américaine, qui dominait jusqu'alors le marché grâce à l'exploitation de la mine californienne de Molycorp Inc. (Mountain Pass), une des plus grandes réserves mondiales.

Comment en est-on arrivé là ? Quel a été le jeu des acteurs ?

Donc nos grands guerriers vainqueurs du monde avec un passif de 50 millions de morts lors de leur dernière échauffourée, récemment concentrés sur le bien-être de leurs citoyens et le sauvetage de la planète, n'ont pas pris au sérieux les problèmes géopolitiques des terres rares. Ils s'agacent maintenant d'avoir été pris au piège par ce pays communiste si longtemps affaibli par ses problèmes politiques et qui veut établir sa suprématie dans notre monde libéral et démocratique.

L'Europe

L'acteur est Rhône-Poulenc, leader mondial des terres rares séparées (50 % de parts de marché !) avec une usine à La Rochelle qui exporte 90 % de sa production. Le groupe a continuellement conforté sa position sur les marchés en construisant un atelier dans l'usine de Freeport Texas (1980), puis en mettant en place des joint ventures au Japon avec Sumitomo Metal Mining (Nippon Rare



Terres rares issues de la mine de Baotou (Mongolie, Chine) : praséodyme, lanthane, cérium et néodyme.

Earths, 1986) et avec Santoku (Anan Kasei, 1993) pour produire localement, et enfin en rachetant Research Chemicals à Phoenix aux États-Unis (1987) pour produire des métaux.

Dès 1980, Rhône-Poulenc avait vu poindre des concentrés de terres rares venant du sud de la Chine et provenant d'argiles substituées aux terres rares (lourdes). L'image que l'on en avait était que chaque « ferme » chinoise se faisait un revenu secondaire en lixiviant ses argiles ; les coopératives venaient récupérer ces lixiviats et les traitaient.

On n'avait pas imaginé par contre que les Chinois sauraient les séparer comme nous par un procédé d'extraction liquide/liquide. Tragique méprise car dès 1987, on découvre qu'ils ont un atelier de séparation, moins sophistiqué que le nôtre mais selon le même type de procédé, et des mélangeurs/décanteurs semblables aux nôtres. Par ailleurs, chacun sait que les diagrammes de McCabe et Thiele pour dimensionner l'extraction liquide/liquide font partie des bases du génie chimique !

1992 est une année clef. Le minerai de monazite riche en thorium produit inévitablement des déchets radioactifs de faible radioactivité. Ces déchets sont cependant envoyés au site de la Manche de l'Andra. Le site étant plein, l'agence ouvre un nouveau, mais considère qu'elle ne peut plus y intégrer les déchets de Rhône-Poulenc (!), qui se retrouve donc avec ses déchets sur les bras le temps de trouver une solution. Un signalement est fait par le maire de La Rochelle compte tenu de la proximité de l'usine des lieux d'habitation et de l'émotion des écologistes locaux et un débat réunit toutes les parties prenantes au Sénat [6].

On est en plein paradoxe. La France, qui a fait le choix du nucléaire, a des déchets radioactifs émis par plusieurs sites et se pose mille questions à propos du stockage de déchets non nucléaires de faible radioactivité (très inférieure aux 370 Bq/g, limite supérieure des déchets radifères admis sur les sites de l'Andra). Pire, une des applications des terres rares concerne les écrans renforceurs de rayons X. Grâce à cette innovation, il est possible de diminuer d'un facteur 4 les radiations émises au cours de chaque radiographie à l'hôpital ou ailleurs. L'économie d'irradiation au plan mondial est sans commune mesure avec le peu de radioactivité émise par ces déchets.

Il aurait fallu se battre, mais deux autres facteurs sont intervenus. Du point de vue de la direction de Rhône-Poulenc, à la veille d'une privatisation (qui aura lieu en 1993), plus concentrée sur la création future d'Aventis que sur la chimie, l'aspect stratégique et géopolitique de cette petite activité non intégrée en aval lui échappe complètement. Elle fera bien pire à la création de Rhodia. D'autre part, celui que l'on sait maintenant être « le diable » est arrivé avec la proposition alléchante de vendre des concentrés de terres rares à un prix bien inférieur au coût de revient de l'usine. L'atelier minerais est fermé en 1994.

Une tentative en 1992 de développer en Australie une usine de 6 000 t/an jointe à une usine de gallium avait avorté pour des raisons

de coût et de traitement de la radioactivité... Pour conforter son approvisionnement, Rhône-Poulenc met en place des joint ventures successivement à Baotou (Mongolie intérieure) : Rhodia Rare Earth Co. (1997), et à Liyang (Chine, province du Jiangsu) : Rhodia Founder Rare Earth New Material Co. (2000).

Rhodia est très implanté en Chine grâce à ses joint ventures qui fabriquent sur place des produits transformés pour les acteurs locaux. Bien que ces joint ventures ne soient pas des WFOE (« wholly foreign owned enterprise », type d'entreprise de la République Populaire de Chine destiné aux entrepreneurs ou investisseurs étrangers), Rhodia est l'une des deux sociétés étrangères installées dans le pays à disposer des quotas les plus importants. Cependant en 2010, l'annonce abrupte de la réduction des quotas de 40 % par rapport à 2009 a été un choc. Du fait de l'importance de cette rupture, le groupe a dû privilégier les livraisons à ses clients stratégiques, notamment dans l'automobile dont les pots catalytiques ne peuvent fonctionner sans cérium, ou pour les ampoules à basse consommation qui utilisent le terbium pour assurer un bon équilibre chromatique. Il a eu la possibilité d'optimiser sa chaîne de production en transformant une plus grande partie des terres rares en Chine, profitant ainsi du fait que les produits transformés échappent aux quotas et peuvent être exportés librement. Somme toute, le choc a été assez bien absorbé.

Le Japon

Le Japon (et la Corée que nous ne traiterons pas ici) a été un contributeur majeur dans le développement des applications à base de terres rares pour l'électronique et, comme on le verra plus loin, dans les alliages de terres rares et leurs applications : batteries au lithium et aimants permanents pour voitures (Toyota).

En dehors des terres rares séparées venant de Rhodia et de leur propre raffinage, les Japonais ont fait le choix de s'appuyer, pour leurs approvisionnements en matières premières, sur les terres rares produites en Chine. De ce fait, le Japon est presque totalement dépendant de la Chine, notamment pour les alliages métalliques. Depuis quelques années, les Chinois en usent et en abusent. Lors de l'incident créé par le chalutier chinois le 7 septembre 2011, au large des îles Diaoyu contrôlées par le Japon, les Japonais ont dû faire marche arrière sous la pression des industriels nippons [7].

Le Japon est toujours le leader, au moins sur le plan technologique, dans le domaine des alliages avec Shin-Etsu Chemical, Showa Denko et Santoku Corp., et dans celui des aimants avec Hitachi et Shin-Etsu.

Sous la pression des Chinois, les Japonais sont contraints, pour minimiser les restrictions sur les exportations, de réaliser une part de leur production en Chine car les restrictions sur les quotas ne portent pas sur les produits manufacturés en Chine [8-10].

Shin-Etsu, qui pèse encore 40 % du marché mondial des alliages à base de terres rares, a dû construire une usine d'alliages en Chine à Fujian (3 000 t, démarrage en 2012). Il garde cependant sur son territoire la fabrication des produits de haute performance et dispose par ailleurs d'une filiale de production d'aimants en Thaïlande.

Showa Denko a annoncé en juin 2011 qu'il allait déplacer une partie de sa production d'alliages en Chine (utilisés dans les véhicules hybrides), ce qu'il avait jusque là pu éviter en important des mélanges de fer et de terres rares non soumis aux quotas. Mais les Chinois ont clos cette échappatoire !

Hitachi, le plus grand producteur mondial d'aimants permanents (avec la marque NEOMAX[®], au départ créée par Sumitomo), avait les mêmes soucis de non-divulgaration de son savoir-faire en matière d'aimants permanents. Il ne fabriquait les aimants destinés aux véhicules hybrides et électriques qu'au Japon. Apparemment, il va s'associer en 2012 avec une société minière pour construire une usine d'aimants au sud de la Chine, près d'une source de néodyme. Comme dans le cas de Showa Denko, 20 % de la production sont transférés sur l'autre rive de la mer de Chine [11].

Les États-Unis

L'acteur est Molycorp avec sa mine de Mountain Pass, l'une des plus grandes réserves de terre rares au monde. Après avoir dominé la production mondiale au niveau de 20 000 t/an, Molycorp a commencé à souffrir à la fin des années 1980, du fait de la concurrence chinoise à bas coût de production. Là aussi, l'exploitation pose des problèmes environnementaux. En 1995, l'extraction de minerai est arrêtée et Molycorp vit sur ses stocks ; la mine sera finalement fermée en 2002.

Les alliages et les aimants

L'une des premières applications des terres rares a été le « mischmetal », un métal comprenant un mélange de terres rares légères obtenu par réduction électrolytique des chlorures à l'image de la métallurgie de l'aluminium (d'où la présence au départ de cette usine à Pechiney).

Les propriétés magnétiques des alliages de terres rares ont été découvertes dans les alliages à base de samarium et de cobalt dans les années 1960 [12] au cours de recherches sur des moteurs à aimants permanents miniaturisés pour la NASA. Ceci constituait un saut de puissance considérable par rapport aux meilleures ferrites.

Le vrai développement industriel du SmCo trouve son apogée dans les baladeurs lancés en 1979 par Sony. Les NdFeB sont inventés en 1982 indépendamment par General Motors Corp. (Magnequench[®]) et Sumitomo Special Metals Co. (NEOMAX[®]). Ces alliages possèdent un fort champ coercitif (on double la puissance par rapport au SmCo !). Ils sont basés sur des produits plus abondants, donc moins chers, et ouvrent des domaines d'applications non accessibles au SmCo. Le temps de résoudre certains problèmes inhérents à la présence du fer (notamment la corrosion) et cet aimant ouvre la voie à de nombreuses applications dans les moteurs à aimants permanents.

Rhône-Poulenc, qui avait abandonné sa production de mischmetal au milieu des années 1980, se lance dans l'aventure en achetant en 1987 une société américaine, Research Chemicals (créée en 1966 par Nuclear Corporation of America – Nucor), spécialisée dans la préparation des alliages mère par calciothermie et produisant couramment du SmCo [13].

Le groupe comprend assez vite qu'il ne possède pas le savoir-faire des métallurgistes et qu'il n'a pas accès aux marchés : une collaboration est établie avec Santoku en 1993. Rhône-Poulenc quitte finalement cette activité et revend en 1999 ses parts à Santoku qui devient propriétaire de Research Chemicals, confortant ainsi sa position d'acteur mondial dans le domaine des métaux.

General Motors, qui de son côté avait besoin de ces alliages magnétiques pour ses véhicules, monte en 1986 une nouvelle division, « Magnequench », pour produire des alliages NdFeB et les aimants à liants correspondants. En 1995, alors que le dumping chinois achève de fragiliser la rentabilité du site de Mountain Pass (Molycorp), par ailleurs confronté à des problèmes environnementaux, deux firmes chinoises, alliées pour l'occasion à un investisseur américain, font une offre sur Magnequench. Le gouvernement des États-Unis résiste mais finit par donner son accord en 1997, à condition que les Chinois acceptent de conserver la firme sur le sol américain durant cinq ans. À l'expiration du délai en 2002, les employés sont licenciés et l'entreprise est littéralement démontée et déménagée à Tianjin, en Chine ! D'autres producteurs, allemands et japonais entre autres, ferment alors leurs usines américaines pour la même destination [14].

En moins d'une décennie, le marché des alliages et des aimants permanents a vécu un déplacement complet de leadership. Alors qu'en 1998, 90 % de la production mondiale des aimants se trouvaient aux États-Unis, en Europe et au Japon, les alliages et les



© Hitachi Metals.

Aimant permanent NEOMAX®.

aimants aux terres rares sont aujourd'hui vendus pour une faible part par quelques Européens, mais essentiellement par la Chine et le Japon. Ces derniers possèdent les technologies de pointe mais s'approvisionnent en matières premières exclusivement en Chine !

En 2009, il ne reste pratiquement rien de ce secteur dont le centre de décision est américain. D'une manière générale, comme le montre le graphique devenu célèbre (figure 2), la Chine est pratiquement le seul fournisseur de terres rares et fait la loi dans le monde entier.

La contre-attaque

Du Japon

Les Japonais ont vécu avec cette forte dépendance aux Chinois jusqu'à ces deux dernières années. La conjonction des prix en hausse, des quotas en baisse et des incitations fortes à produire en Chine leur a fait prendre conscience de la situation dramatique à laquelle ils étaient confrontés. L'appui des autres partenaires occidentaux les ont convaincus qu'il fallait se libérer de l'emprise chinoise. Comme eux, ils se sont impliqués dans des projets miniers apparaissant de par le monde. Un accord préliminaire a été récemment signé avec Lynas pour un approvisionnement partiel [15].

Le Japon et le Viêtnam ont convenu officiellement de coopérer en matière d'exploration, d'exploitation minière et d'extraction de terres rares en commençant par le projet Dong Pao. Cet accord formalise celui annoncé par Toyota Tsuho Corp. où une joint venture entre Sojitz Corp. et la compagnie minière d'État Lavreco produirait

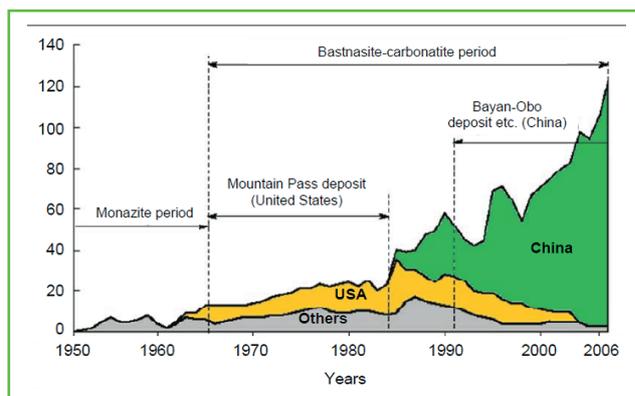


Figure 2 - La production mondiale de terres rares entre 1950 et 2006 [d'après Angerer G. et al., *Rohstoffe für Zukunftstechnologien*, 2009, Fraunhofer ISI, Karlsruhe].

plus de 20 % des besoins en terres rares du Japon (3 000 t/an en 2013 et 7 000 t en 2014 [16]).

Le Japon et l'Inde se sont mis d'accord fin 2011 sur la promotion au niveau privé d'un développement en commun dans le domaine des terres rares indispensables pour les automobiles et les technologies de l'information, avec en premier lieu le site d'Orissa [17].

Par ailleurs, Hitachi a mis au point un procédé permettant de récupérer les métaux de terres rares provenant des disques durs, prévoyant de récupérer 10 % de leurs besoins par cette voie dès 2013.

Enfin en décembre 2011, les Japonais ont annoncé la perspective d'un accord pour créer une joint venture avec Molycorp pour la production d'alliages et d'aimants sur le sol américain (aux dernières nouvelles, ceci s'est soldé par un simple accord commercial).

Des États-Unis

Les abandons successifs de positions industrielles en matière de terres rares et notamment la perte de Magnequench® sont devenus un sujet politique qui a enflé régulièrement ces dernières années. En période pré-électorale, on comprend mieux l'intervention de Barack Obama.

Mais en fait, la contre-attaque est bien avancée, à travers la société Molycorp Inc. :

- Le 4 avril 2011, elle devient propriétaire à 90 % de AS Silmet, une société estonienne, producteur notable de métaux rares (700 t) et de métaux de terres rares (3 000 t) en Europe, qui possède une usine à Sillamae.
- Le 15 avril 2011, Molycorp fait l'acquisition de Santoku America Inc. (SAI) et de son site (l'ex Research Chemicals !) situé en Arizona – il s'agit de la filiale américaine de Santoku, l'un des premiers producteurs d'alliages et de métaux de haute pureté en terres rares hors de Chine. Ceci lui permet d'accélérer le plan de déploiement d'une chaîne d'approvisionnement entièrement intégrée « de la mine aux aimants ».
- Le 8 mars 2012, Molycorp signe un accord définitif avec Neo Material Technologies Inc., selon lequel elle se porte acquéreur de cette société pour 1,3 milliard de dollars. Cette transaction, qui devrait arriver à son terme fin 2012, crée une réelle synergie entre les deux entreprises, l'une disposant d'une des réserves en terres rares les plus importantes au monde, et l'autre possédant une plateforme de préparation d'aimants selon la technologie brevetée Magnequench® (celle perdue en 2002 !). Par ailleurs, Neo Materials dispose d'une capacité de séparation en Chine. Ceci crée l'une des sociétés de terres rares les plus avancées sur le plan technologique et intégrée verticalement.

- Molycorp s'engage dans une série d'initiatives « historiques » :
 - Modernisation et expansion de la mine et de l'usine de traitement des terres rares à Mountain Pass. Cette initiative, connue sous le nom de projet Phoenix, consiste en deux phases d'expansion : production annuelle de 19 050 t d'oxydes de terres rares à la fin du 3^e trimestre 2012, puis capacité de production annuelle portée à 40 000 t fin 2012.
 - Mise en place de la meilleure chaîne de fabrication intégrée au monde « de la mine aux aimants ».
 - Développement des applications innovantes des terres rares (R & D).
 - Développement des technologies pour un recyclage efficace des terres rares.
- Par ailleurs, en toute discrétion, la société américaine OM Group a acheté mi-2011 le producteur allemand d'aimants permanents Vacuumschmelze [18] !

De l'Europe

En dehors de la France, différents États, notamment le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Allemagne, se sont inquiétés de la situation vis-à-vis de la Chine.

Le **Royaume-Uni** a une industrie faiblement dépendante des terres rares, mais compte cependant deux fabricants d'aimants permanents : OeMag International Co., fabricant d'aimants et d'électroaimants, et Less Common Metals, producteur d'alliages SmCo et NdFeB (racheté par Great Western Minerals), qui a annoncé une forte extension de sa production. Le parlement britannique s'est ému de la problématique générale des terres rares dès janvier 2011 [19].

Aux **Pays-Bas**, Philips est fortement impacté et s'est joint au concert de protestations, mais aussi Walker Magnetics pour les aimants de levage [20].

L'**Allemagne**, très fortement impactée, notamment à travers Siemens, a réagi très vite fin 2010 et a sonné l'alarme en Europe [21-22]. Elle a plusieurs directions d'actions :

- L'industrie allemande, soucieuse de son approvisionnement futur, a annoncé le 31 janvier 2012 *via* la BDI (Union fédérale des industries allemandes), la création d'une entreprise baptisée « Alliance » pour la sécurisation des matières premières. Les fondateurs sont douze grandes entreprises allemandes, parmi lesquelles des géants de la chimie (BASF, Bayer, Wacker Chemie), de l'automobile (BMW, Daimler), de la sidérurgie (ThyssenKrupp, Stahl-Holding-Saar) ou encore Bosch. Le but de l'initiative est de repérer très en amont les projets d'exploration à l'étude dans le monde, d'y participer, d'évaluer les gisements, et éventuellement d'offrir aux entreprises membres des participations à leur exploitation.

Il s'agit pour les membres de s'assurer un approvisionnement suffisant en matières premières et notamment en terres rares, ces composants indispensables à de nombreux segments de l'industrie, notamment high-tech. L'initiative s'inscrit dans le plan du gouvernement, qui a fait du sujet une de ses priorités. L'« Alliance » est ouverte à d'autres acteurs, qu'ils soient issus de l'industrie ou de la finance. Elle est dirigée par Dierk Paskert, qui vient d'E.ON Energy [23-24].

- Une nouvelle société a été formée, Seltenerden Storkwitz AG (appartenant au groupe Deutsche Rohstoff AG), pour relancer l'exploitation de la mine de Storkwitz en Allemagne de l'est [25].

- Action sur sa « zone d'influence » (Europe de l'est et Asie centrale) :
 - La chancelière Angela Merkel a signé l'an dernier des contrats avec la Mongolie, qui possède des gisements gigantesques, et la Russie ;

- Un accord a été signé en février dernier avec le Kazakhstan, qui confère le droit aux sociétés allemandes de rechercher et d'exploiter des mines contenant des terres rares et d'autres matières premières en échange d'investissements technologiques ou autres [26].

- Conscient de sa dépendance, le géant de l'électronique Siemens investit dès 2012 six millions d'euros dans les universités allemandes

pour faire avancer la recherche sur ces métaux précieux [27]. Quatre axes de travail seront menés à l'Université technique d'Aix-la-Chapelle et au Centre de recherche de Jülich :

- évaluation fiable de gisements alternatifs par rapport à la Chine,
- développement de procédés durables de production et d'extraction des terres rares,
- analyse du cycle de vie pour la production des terres rares,
- méthodes efficaces pour le recyclage des terres rares.

Autres pistes de minerais en Europe

En premier lieu, on trouve Tasman Metals Ltd [28] qui est en train de développer sa mine Norra Karr en Suède. Ce gisement se caractérise par une forte concentration en éléments lourds (50 % sur les 300 000 t d'oxydes de terres rares disponibles). Tasman travaille aussi sur ses autres projets de gisements de terres rares lourdes : Olserum en Suède et Korsnäs en Finlande. C'est l'occasion de se rappeler que la Suède est la terre d'origine des terres rares (voir encadré 2).

Greenland Minerals and Energy Ltd développe le projet Kvanefjeld [29], gisement géant multieléments considéré comme la plus grande réserve mondiale de terres rares. Stans Energy Corp. [30] a acquis auprès du gouvernement du Kirgizstan, à la bourse de Centre Asie, le site Kutessey II ainsi que les droits d'exploitation. Ce site constitue une réserve de terres rares estimée à 46 500 t d'oxydes de terres rares riches en terres rares lourdes.

Rhodia-Solvay (France/Belgique)

Rhodia, comme on l'a vu plus haut, n'est pas sujet au même chantage que les Japonais. Par ailleurs, le groupe avait anticipé la menace endémique des Chinois et s'était mobilisé très tôt.

- Le 12 décembre 2011, Rhodia Rare Earth Systems (membre du groupe Solvay) et China Rare Metals and Rare Earth Co. (filiale de Chinalco) annoncent la signature d'une lettre d'intention qui établit les bases d'une alliance stratégique dans le domaine des terres rares. Cet accord porte non seulement sur l'approvisionnement en

Encadré 2

Les terres rares : une invention suédoise ?

La Suède est reconnue comme la maison maternelle des éléments terres rares car nombre d'entre eux ont été découverts dans une carrière du village de Ytterby, près de Stockholm. Cérium, erbium, holmium, lanthane, scandium, terbium, thulium, ytterbium, yttrium furent nommés par les chimistes suédois et finlandais qui les séparèrent pour la première fois. La bastnaésite, ce minerai à base de terre rare si important aujourd'hui, trouve son origine dans le village suédois de Bastnäs, où un gisement cérique fut exploité pour la première fois à la fin des années 1800 (maintenant le projet Tasman !).

Sur le plan géologique, Ytterby est sur une roche métamorphique (« pegmatite dike »). Carl Axel Arrhenius, géologue amateur en quête de minéraux, fit de fréquentes visites sur ce site. En 1787, il trouva une roche exceptionnellement lourde dans une des décharges. Comprenant l'importance de sa découverte, il envoya des échantillons à plusieurs chimistes. Le professeur Johan Gadolin, de l'Université d'Åbo (à présent en Finlande), démontra que ce minéral de composition $Y_2FeBe_2Si_2O_{10}$ était nouveau et contenait un nouvel alcalino-terreux, que l'on nomma gadolinite en son honneur.

D'autres minéraux exotiques se trouvaient sur ce site. Après la découverte de la gadolinite, il fallut presque cinquante ans avant que le premier élément soit isolé. Pour honorer la localité, la plupart des éléments découverts dans cette mine reçurent des noms inspirés de lieux voisins :

1843 Terbium, découvert par Carl Gustaf Mosander.

1843 Yttrium, découvert par Carl Gustaf Mosander.

1878 Ytterbium, découvert par Jean-Charles Galissard de Marignac (vient d'Ytterby).

1879 Erbium, découvert par Per Teodor Cleve.

1879 Holmium, découvert par Per Teodor Cleve (Stockholm en latin).

1879 Scandium, découvert par Lars Fredrik Nilsson (vient de Scandinavie).

1879 Thulium, découvert par Per Teodor Cleve (latin pour les pays nordiques).

1880 Gadolinium, découvert par Jean-Charles Galissard de Marignac (vient de gadolinite).

terres rares, mais également sur le développement technologique et les marchés, en capitalisant sur les avantages compétitifs de chacune des entreprises dans la chaîne de valeur. Ceci vient conforter la position de Rhodia qui a déjà deux joint ventures avec des producteurs de terres rares. La nomination d'un ressortissant chinois à la tête de l'activité terres rares va aussi dans ce sens.

• Par ailleurs, Rhodia œuvre dans trois directions [31] :

- *La diversification de ses approvisionnements* : il y a deux ans, le groupe a engagé un partenariat avec l'Australien Lynas auquel il apporte un soutien technologique pour la construction d'une unité d'extraction de terres rares en Malaisie qui commencera à fonctionner à la fin 2012 ; il en sera un important client. Il établit un plan de diversification pour les dix prochaines années et étudie des opportunités dans différentes régions du globe, comme Orissa en Inde et Arafura en Australie qui sont des projets bien avancés, et bien d'autres dont ceux de Great Western Mineral Group Ltd (Steenkampskraal, Hoida lake, etc.) [4, 32].

- *L'optimisation de l'utilisation des terres rares* : la réduction des pertes de production, en recyclant les chutes de production des usines, permet d'optimiser l'utilisation des terres rares. Ainsi, une nouvelle unité industrielle a été démarrée en novembre 2010 sur le site de La Rochelle ; elle permet de recycler 97 % des terres rares contenues dans les chutes de production de l'usine. De la sorte, plus de 99,8 % des terres rares qui pénètrent aujourd'hui sur le site sont désormais utilisés pour faire des produits marchands. Optimiser l'usage des terres rares et leurs performances peut également être réalisé en travaillant sur de nouveaux produits, permettant d'avoir le même résultat avec moins de terres rares. Dans ce cadre, le groupe a développé un procédé innovant pour produire de nouvelles poudres luminophores utilisées dans la fabrication des écrans LCD et des lampes à basse consommation. Ces produits sont actuellement en phase de qualification industrielle chez ses clients.

- *Le recyclage que la hausse des prix rend économiquement viable* : en avril 2012, a démarré sur les sites de Saint-Fons et de La Rochelle une filière de récupération de terres rares issues des lampes à basse consommation hors d'usage qui produira dans un premier temps environ quelques centaines de tonnes d'oxydes de terres rares. Rhodia et Umicore ont développé un procédé de recyclage des terres rares contenues dans les batteries rechargeables NiMH – ces batteries en contiennent environ 7 %. Umicore, sur son site belge d'Hoboken, séparera le nickel et le fer mélangés aux terres rares par son procédé ultra-haute température. Le concentré de terres rares sera ensuite envoyé sur le site de La Rochelle pour être affiné et reformulé. Ce procédé est en cours de démarrage cette année. Le groupe travaille sur d'autres pistes comme le recyclage des aimants.

La Communauté européenne

Fin 2011, la Commission européenne a lancé un programme de recherche ERA-MIN appliqué aux métaux stratégiques et notamment aux terres rares [33-34]. Son but est de structurer dans ce domaine des recherches actuellement très fragmentées et d'assurer ainsi leur représentativité dans les plus hautes instances européennes traitant de la recherche et de l'innovation. Coordonné par le CNRS, il comprend actuellement onze partenaires de neuf pays : Allemagne (BMBF, Jülich), Espagne (CDTI), Finlande (Tekes), France (CNRS), Hongrie (MBFH), Pays-Bas (M2i), Pologne (NCBiR), Portugal (FCT), Suède (VINNOVA, SGU).

Structuré autour de trois thématiques principales – les questions transverses (intelligence minérale, perceptions et acceptabilités sociales, formation), les ressources primaires (milieux continentaux et marins, impacts environnementaux) et les ressources secondaires (recyclage) et substitution –, ERA-MIN est un lieu d'échange et de partage d'informations entre les communautés scientifiques et techniques, la plate-forme européenne existante ETP-SMR et les principaux donneurs d'ordres publics, économiques et industriels



Quelques applications des terres rares : voiture électrique (© LSDSL), ampoule fluorescente basse consommation, Smartphone et ordinateur (© Fotolia/Stokkete).

impliqués, et ce dans le plus grand nombre de pays européens. C'est aussi une cellule de réflexion pour établir une prospective et une structure de référence afin d'aider les gouvernements des États membres à adapter leurs politiques et stratégies nationales, en phase avec la vision européenne. Enfin, ERA-MIN souhaite être un levier pour favoriser la coordination inter-gouvernementale et les financements publics-privés. Ajoutons que ce programme développera et formalisera les partenariats nécessaires avec les pays en dehors de l'Union européenne, comme la Russie, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud et l'Afrique.

Conclusion et questions

Les États-Unis semblent effectivement avoir pris les choses en main, ce qui est en cohérence avec le souci récent de réindustrialiser leur pays. Ils sont bien partis pour établir une filière de la mine aux produits.

Le Japon, leader dans les métaux et alliages pour les aimants permanents, les piles NiMH et les disques durs, est par contre à la peine. Il est totalement dépendant de la Chine, elle-même productrice, pour son approvisionnement. C'est une décision importante de savoir si le monde occidental veut être solidaire ou non, et cela n'a pas l'air d'être tout à fait le cas...

En Europe, en dehors de Rhodia Rare Earth Systems, leader mondial des terres rares séparées, il existe des industriels fabriquant des produits à base de terres rares : lampes à basse énergie (Philips, Sylvania, Osram), aimants (OeMag, Less Common Metals et Vacuumschmelze, le plus important mais sous contrôle américain !), catalyseurs pour automobiles (Johnson Matthey, Umicore et BASF), équipements électroniques pour le médical, aérodéfense et sécurité, automobile et télécommunications (Siemens).

Tout ce monde industriel est globalement dépendant de la Chine en matière d'approvisionnement en terres rares et partage le même souci de se libérer de cette menace. Les pays et principalement l'Allemagne et la France bougent. Mais existe-t-il une stratégie et une volonté commune de se coordonner dans la maîtrise opérationnelle des matières premières ? La démarche nous apparaît comme n'étant pas vraiment coordonnée au niveau européen, et notamment entre la France et l'Allemagne. Comment l'« Alliance » [21] créée par l'Allemagne, qui est une société opérationnelle, s'articule-t-elle avec l'usine à gaz ERA-MIN centrée sur la R & D, mise en place par la Commission européenne et où la France semble en première ligne [33-34] ?

Il existe, comme on l'a vu, des réserves potentielles de terres rares considérables en Europe (incluant le Groenland). Le projet ERA-MIN prend-il en compte un développement coordonné de ces réserves ? Ceci dit, nous ne connaissons pas tous les méandres de la politique et leurs faces cachées...

L'Europe consomme 11 000 t/an de terres rares incluses dans des produits manufacturés et qui se retrouvent dans les équipements en fin de vie. En attendant que les gisements européens (ou autres) soient opérationnels, est-elle prête à se mobiliser dans un processus de recyclage ?

Les pays européens, qui sont à la recherche de développement de nouvelles filières créatrices d'emplois, seraient peut-être bien inspirés de s'entendre un minimum et de se mobiliser dans une filière terres rares de la mine aux produits comme les États-Unis sont en train de le faire ? Certains, dont l'Öko Institute [4] et David Weber [35] encouragent cette attitude. Existe-t-il, entre Européens, une volonté commune de créer cette filière ?

Les politiques ont-ils pris la mesure des défis ? On doute de leur capacité à avoir des politiques industrielles, quand on sait qu'en France, par exemple, ils ont découvert ces problèmes à l'occasion de l'incident diplomatique créé par le chalutier chinois [7] !

Quant aux Chinois, on peut être surpris par leur comportement. Ils ont la main sur les matières premières et sont eux-mêmes des producteurs très importants, notamment en alliages et aimants. Pourquoi cette subite raideur sur les exportations qui crée une augmentation des prix et donne ainsi un sens aux projets alternatifs ? En première analyse, ils tuent la poule aux œufs d'or. Dans *La sale guerre des terres rares*, documentaire de Guillaume Pitron diffusé en septembre dernier sur France 5, ils se sont clairement exprimés sur le sujet : ils ne veulent plus continuer à prendre en charge tous les problèmes environnementaux ; ils souhaitent sous-traiter à l'extérieur une partie de l'extraction des terres rares et trouver des partenaires occidentaux pour développer ensemble la production de produits finis dont la Chine a besoin dans le cadre de sa croissance. Par ailleurs, tant que la croissance interne est là, elle veut en profiter pour prendre définitivement une position de leader mondial sur les produits...

Références

- [1] <http://energie.sia-conseil.com/20120119-terres-rares-face-a-la-flambees-des-prix-la-securisation-de-la-filiere-est-elle-requise>
- [2] <http://blog.nema.org/blogs/currents/archive/2011/07/15/china-reduces-quotas-for-rare-earth-exports-again.aspx>
- [3] <http://tasmanmetals.com/s/PrincipalUses.asp>
- [4] www.oeko.de/oekodoc/1112/2011-003-en.pdf
- [5] http://fr.wikipedia.org/wiki/Manchon_%C3%A0_incandescence
- [6] www.senat.fr/opecest/rapport/rapport_t2_dechets_radioactifs_1992.pdf
- [7] www.lepoint.fr/monde/malgre-un-grave-incident-diplomatique-le-japon-reste-cordial-avec-la-chine-17-09-2010-1237808_24.php

- [8] www.reuters.com/article/2011/08/12/us-rareearth-japan-idUSTRE77B3TH20110812
- [9] <http://proedgewire.com/rare-earth-intel/weekly-review-the-many-facets-of-japanese-ree-strategy>
- [10] www.nistep.go.jp/achievements/eng/stfc/stt038e/qr38pdf/STTqr3803.pdf
- [11] <http://proedgewire.com/rare-earth-tv/japanese-rare-earth-users-plan-chinese-operations>
- [12] <http://webu2.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/Almeida-these.pdf>
- [13] www.molycorp.com/about-us/our-facilities/molycorp-tolleson/history
- [14] www.monde-diplomatique.fr/2010/11/ZAJEC/19832#nb12
- [15] www.isnare.com/?aid=660348&ca=World+Affairs
- [16] www.thanhniennews.com/2010/pages/20111101-japan-vietnam-sign-rare-earth-nuclear-cooperation-agreement.aspx
- [17] www.reuters.com/article/2010/10/27/us-india-rareearths-interview-idUSTRE69Q1V320101027
- [18] www.reuters.com/article/2011/07/05/us-vacuumschmelze-omgroup-idUSTRE7641WY20110705
- [19] www.parliament.uk/pagefiles/504/postpn368rare_earth_metals.pdf
- [20] www.brailon.com/images/Lifting_Neo_En_V2.pdf
- [21] www.spiegel.de/international/business/0,1518,725606,00.html
- [22] www.gresea.be/spip.php?page=imprimer_articulo&id_article=85
- [23] www.lesechos.fr/entreprises-secteurs/industrie-lourde/actu/0201871173094-terres-rares-l-alliance-des-industriels-allemands-282091.php
- [24] www.dw.de/german-industry-sets-up-alliance-to-secure-raw-materials/a-15703849
- [25] <http://rareearthinvestingnews.com/5885/germany-to-develop-rare-earth-deposit>
- [26] www.mining.com/2012/02/10/germany-and-kazakhstan-ink-4-billion-rare-earths-deal
- [27] www.industrie.com/it/terres-rares-vers-une-production-plus-durable.12385
- [28] <http://tasmanmetals.com/s/Home.asp>
- [29] www.ggg.gl/rare-earth-elements/rare-earth-elements-at-kvanefield
- [30] <http://stansenergy.com>
- [31] Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares, Compte rendu de l'audition publique du 8 mars 2011 et de la présentation des conclusions le 21 juin 2011, *Rapport de l'OPECST N° 782* de MM. Claude Birraux, député, et Christian Kert, député, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
- [32] www.gwmg.ca/html/projects/exploration/Steenkampskraal/index.cfm
- [33] www2.cnrs.fr/presse/communiqu/2344.htm
- [34] www.bulletins-electroniques.com/actualites/68642.htm
- [35] www.terresrares.fr/topic/index.html



Régis Poisson, retraité, a consacré sa carrière à la R & D et à l'innovation dans l'industrie chimique. Membre de l'EIRMA (à titre individuel), il dirige la société de conseil en innovation AETV-Balard*.

* Courriel : Regis.poisson@aetv-balard.com
www.aetv-balard.com

e dif
les éditions d'île de france

102 avenue Georges Clemenceau - 94700 MAISONS ALFORT

Tél. : 01 43 53 64 00 - Fax : 01 43 53 48 00

edition@edif.fr - www.edif.fr