

 ASSEMBLÉE NATIONALE	<i>République Française</i>	 SENAT
OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES		

Paris, le 8 juillet 2014

ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA SAISINE SUR
« LES ENJEUX STRATÉGIQUES DES TERRES RARES »

Transmise le 24 février 2014 par la Commission des affaires économiques
du Sénat,

Présentée par
M. Patrick HETZEL, député, et Mme Delphine BATAILLE, sénatrice.

SOMMAIRE

	Pages
SAISINE	11
INTRODUCTION.....	13
I. DE L'UTILITÉ ET DE L'UTILISATION DES TERRES RARES.....	15
A. QUE SONT-ELLES ?	15
1. Terres rares légères et terres rares lourdes	15
2. Les terres rares sont souvent contenues dans des minerais.....	16
3. Comment les sépare-t-on ?	17
B. D'OÙ VIENT LEUR SPÉCIFICITÉ ?.....	19
C. QUELLES SONT LEURS APPLICATIONS LES PLUS CONNUES ?	20
1. Les aimants permanents.....	20
2. Les pots catalytiques et les batteries	20
3. Les luminophores.....	21
4. Les applications médicales	21

II. L'ÉCONOMIE DES TERRES RARES ET DES MATÉRIAUX CRITIQUES	23
A. UNE PRODUCTION TRES CONCENTREE, MALGRE UNE EVOLUTION DEPUIS 2010.....	23
1. La position dominante de la Chine	23
a. La Chine produit environ 90 % des terres rares alors qu'elle ne possède que 50 % des réserves mondiales	23
b. La Chine ne se limite plus à la production et à l'exportation, mais met en place de manière assez systématique une véritable filière.....	24
c. Cette évolution a été accélérée par la crise de 2010 qui avait été provoquée par la Chine	25
2. La crise de 2010 a relancé la production et la séparation hors de Chine	26
a. Les États-Unis et l'Australie relancent leur production, grâce à deux sociétés : Molycorp et Lynas	26
b. La multitude de projets de production de terres rares va conduire à l'émergence de seulement quelques autres producteurs	26
c. Le Japon a une véritable politique.....	27
d. En Europe, la situation évolue	28
e. La France est présente dans le domaine de la séparation, grâce à Solvay, qui est belge	28
B. COMMENT POURRAIT ÉVOLUER LE MARCHÉ ?	29
1. Les réserves physiques restent abondantes, sauf pour cinq terres rares, mais la production est freinée par les contraintes environnementales et des difficultés techniques lors de la séparation	29
2. La demande est actuellement croissante	30

3. Le recyclage est déjà une réalité, mais varie selon les terres rares et les produits	31
4. Peut-on trouver des solutions de substitution ?.....	31
5. Peut-on réduire les quantités utilisées de terres rares ?.....	32
6. Peut-on évaluer et maîtriser la spéculation ?	32
7. Peut-on se passer du négoce ?.....	33
C. QUEL EST LE MODÈLE ÉCONOMIQUE SOUS-JACENT ?	33
D. QUELLES SONT LES TECHNIQUES DE FINANCEMENT ?.....	34
III. LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DES TERRES RARES ENTRAÎNENT-ELLES DES RISQUES PARTICULIERS ? COMMENT PEUT-ON LES MAÎTRISER ? COMMENT PEUT-ON LES RÉDUIRE ?	35
A. LEURS EFFETS SUR LA SANTÉ	35
B. LEURS EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT	38
1. Les problèmes liés à l'extraction et à la séparation des minerais	38
2. Quelles précautions peut-on prendre en matière de radioactivité ?.....	39
3. Comment pourrait-on dépolluer les friches industrielles ?	39
IV. LA RECHERCHE ET LA FORMATION EN TERRES RARES : IL EST NÉCESSAIRE D'AGIR...	41
A. UN EFFORT MOINS EFFICACE QUE DANS LE PASSÉ.....	41
B. LA RECHERCHE EST NÉANMOINS VIVANTE....	42
1. Elle découle de l'activité de plusieurs laboratoires...	42
2. L'exemple du laboratoire de Thiais en montre la diversité.....	42

C. DANS QUELS DOMAINES FAUDRAIT-IL DÉVELOPPER LA RECHERCHE ?	43
1. Quels sont les besoins en recherche fondamentale sur les terres rares ?	43
2. Il faudrait susciter des recherches en toxicologie.	43
D. LES MOYENS CONSACRÉS À LA RECHERCHE SONT-ILS SUFFISANTS ? QUELS SONT LES FINANCEMENTS DISPONIBLES EN FRANCE ET EN EUROPE ?	44
1. Des financements insuffisamment visibles au niveau national	44
2. Des financements de l'Union européenne qui sont surtout annoncés.....	45
3. Faudrait-il créer des réseaux et des partenariats nouveaux ?	45
a. Certains réseaux sont déjà en place	45
b. D'autres coopérations pourraient être développées et soutenues.....	47
E. QUEL TYPE DE RECHERCHE FAUT-IL CONSERVER ET DEVELOPPER EN FRANCE ET EN EUROPE ?	47
F. LA MISE EN PLACE DE NOUVELLES FORMATIONS EST-ELLE NÉCESSAIRE POUR SAUVEGARDER ET RETROUVER DES SAVOIR-FAIRE ?	48
1. Un constat alarmant	48
2. La vision de Saft	49
3. Où peut-on se former ?	49

V. LA PROBLÉMATIQUE DES TERRES RARES REJOINT CELLE DES MATIERES PREMIERES STRATEGIQUES ET CRITIQUES	51
A. IL EST NECESSAIRE DE S'INTERESSER A LEUR CARACTERE STRATÉGIQUE ET CRITIQUE	51
1. Des concepts que pourrait reprendre l'étude de l'OPECST	51
a. Qu'entend-on par produit stratégique ?.....	51
b. Qu'entend-on par produit critique ?.....	53
2. Une approche permettant de prendre en compte la classification de l'Union européenne	54
B. QUEL EST LE RISQUE DE PÉNURIE ? QUEL EST LE RISQUE STRATÉGIQUE ?	56
1. Pour les terres rares.....	56
2. Pour les matières premières non agricoles et non énergétiques	57
C. FAUT-IL METTRE EN PLACE DES STOCKS STRATEGIQUES ?.....	58
D. QUE PEUT-ON ATTENDRE DU DÉBAT À L'OMC ?	58
E. L'ORGANISATION DU RECYCLAGE	59
F. LA RECHERCHE DE PRODUITS DE SUBSTITUTION.....	60
G. ECOCONCEPTION, ANALYSE DU CYCLE DE VIE ET ECONOMIE CIRCULAIRE	60
H. LA DÉFINITION D'UNE NOUVELLE POLITIQUE MINIERE	61
1. La relance de la prospection	62

2. La définition d'une nouvelle approche de l'exploitation des mines, tant en France qu'à l'étranger.....	62
a. Peut-on relancer une production minière ?.....	62
b. Dans quelles conditions devrait-on le faire ?	63
3. La sécurisation de la ressource et des procédés grâce à une nouvelle approche de l'action internationale.....	63
a. Comment pourrait-on mieux tirer parti des accords internationaux passé par l'Union européenne ?.....	64
b. Comment pourrait-on développer les coopérations entre les laboratoires de recherche dans l'Union européenne ? Quelles initiatives pourrait-on lancer dans le cadre franco-allemand ?.....	64
c. L'État doit-il développer davantage sa diplomatie économique ?.....	64
4. Le projet du ministère du redressement productif.....	65
CONCLUSION	67
PROGRAMME DE TRAVAIL	69
A. AUDITIONS DES RAPPORTEURS ET AUDITIONS PUBLIQUES	69
B. TABLES RONDES ET VISITES SUR LE TERRAIN	71
C. MISSIONS À L'ÉTRANGER	72
ANNEXE : PERSONNES ENTENDUES PAR LES RAPPORTEURS	73

SAISINE

R É P U B L I Q U E F R A N Ç A I S E



Monsieur Bruno SIDO
Président de l'Office parlementaire des
choix scientifiques et technologiques
Sénateur de la Haute-Marne
CASIER DE LA POSTE

Paris, le 24 février 2014

COMMISSION
DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES

Réf: 644 (QLB)

LE PRÉSIDENT

Monsieur le Président,

Par lettre en date du 4 février, Mme Delphine Bataille m'a fait part de l'intérêt qu'il y aurait à ce que la commission des Affaires économiques saisisse l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques d'une demande d'étude sur les enjeux stratégiques des terres rares.

Vous avez en effet, en 2011, organisé une audition publique sur ce thème mais la commission des Affaires économiques que j'ai consulté partage l'intérêt de notre collègue et souhaite vous saisir sur ce sujet tant une analyse approfondie des enjeux géostratégiques et économiques des terres rares pourraient contribuer à conforter la compétitivité de l'économie française.

En vous remerciant de l'attention que vous voudrez bien porter à cette demande, je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Daniel Raoul".

Daniel RAOUL
Président

INTRODUCTION

L'OPECST a été saisi le 24 février 2014 par M. Daniel Raoul, président de la Commission des affaires économiques du Sénat, d'une demande d'étude sur les enjeux stratégiques des terres rares, « *tant une analyse approfondie des enjeux stratégiques et économiques des terres rares pourrait contribuer à conforter la compétitivité de l'économie française* ».

L'Office a désigné deux parlementaires, le 16 avril 2014, pour procéder à cette étude : M. Patrick Hetzel, député, et Mme Delphine Bataille, sénatrice.

Les deux rapporteurs ont alors engagé une série d'auditions afin de réaliser la présente étude de faisabilité. Ils ont ainsi entendu des virologues, des géologues, des universitaires, des spécialistes des matériaux stratégiques, des représentants du CEA, des industriels, des chimistes, le secrétaire général du COMES, mais aussi des journalistes et des auteurs de livres sur les métaux et terres rares.

Ils ont aussi procédé à la composition du comité de pilotage qui les assistera.

Ces auditions ont permis d'actualiser les conclusions de l'audition publique de l'OPECST organisée par MM. Claude Birraux et Christian Kert, députés, le 8 mars 2011.

Elles ont aussi contribué à éclairer les travaux menés depuis 2010 sur les terres rares et les matériaux stratégiques par le Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies (2010), par le *General Accounting Office* des États-Unis(2010) et par le Commissariat général à la stratégie et à la prospective (2013).

Les rapporteurs ont également pris connaissance de la lettre d'information de l'intelligence économique des ministères économiques et financiers, du bulletin scientifique de l'ambassade de France à Berlin, de nombreux articles de M. Didier Julienne, d'une conférence au Collège de

France de Mme Anne de Guibert (2014) et d'études de M. Christian Hocquart (2014).

Il en résulte un certain nombre d'axes de recherche :

1) Quelles sont les caractéristiques et les utilisations des terres rares ?

2) Quel est leur économie ? Où sont-elles produites ? Par qui, à quel coût et dans quelles conditions ? Y a-t-il un risque de pénurie ?

3) La production et l'utilisation des terres rares entraînent-elles des risques particuliers ? Comment peut-on les maîtriser ? Comment peut-on les réduire ?

4) Quel est l'état de la recherche et de la formation dans le domaine des terres rares ?

5) Étant donné que la problématique des terres rares rejoint celle des matières premières stratégiques ou critiques, ne faudrait-il pas étendre l'étude de l'OPEST ?

Dans cette étude de faisabilité, les rapporteurs aborderont ces sujets en mettant en évidence les questions qui mériteraient d'être étudiées de manière plus approfondie, soit lors d'auditions publiques, soit lors de missions, en veillant à disposer d'éléments comparatifs internationaux.

I. DE L'UTILITÉ ET DE L'UTILISATION DES TERRES RARES

Que sont les terres rares ? D'où vient leur spécificité ? À quoi servent-elles ?

A. QUE SONT-ELLES ?

Les terres rares ont d'abord été découvertes au XVIII^{ème} siècle, en Suède, en terrain granitique. En France, Louis-Nicolas Vauquelin s'y était intéressé dans le Limousin. Il a fallu les identifier, les chimistes ne sachant pas combien il y en avait. La théorie quantique a permis de répondre à cette question.

Il en résulte qu'il y a dans la classification périodique dix-sept éléments qui sont appelés terres rares. Il s'agit du scandium, de l'yttrium, du lanthane, du cérium, du praséodyme, du néodyme, du prométhium, du samarium, de l'euporium, du gadolinium, du terbium, du dysprosium, de l'holmium, de l'erbium, du thulium, de l'ytterbium, du lutétium.

Leur nom est lié à l'île suédoise d'Ytterby, qui a permis de nommer l'yttrium, le terbium, l'erbium et l'ytterbium.

Globalement, les terres rares représentent une famille très homogène et ont des propriétés communes. Certaines sont néanmoins spécifiques. Il convient de distinguer ainsi les terres rares légères et les terres rares lourdes.

Les terres rares sont contenues dans des minerais. Elles doivent donc être séparées, ce qui pose de nombreuses difficultés.

1. Terres rares légères et terres rares lourdes

Dans les deux cas, ce sont des lanthanides. Le scandium et l'yttrium, qui leur sont assimilées, ne sont pas vraiment des terres rares.

Dans la classification périodique de Mendeleiev, les terres rares légères sont les lanthanides avant l'euporium. La plus abondante est le cérium (il y en a presque autant que du cuivre). Les terres rares lourdes sont les moins abondantes ; leurs gisements sont plus petits et plus rares. Leur prix est donc plus élevé.

Cette distinction est considérée comme fondamentale, même si l'on trouve toujours des terres rares lourdes dans les gisements de terres rares légères et réciproquement.

M. Christian Hocquard estime ainsi qu'« *il est indispensable de distinguer les terres rares légères (cérium et lanthane principalement) et les terres rares lourdes (en particulier terbium, europium et dysprosium)* ».

M. Roland Masse, toxicologue, illustre leurs différences : « *les terres rares lourdes se fixent plus dans l'os, alors que les terres rares légères se fixent dans le foie, cette particularité étant associée quantitativement au diamètre ionique* ».

Les gisements de terres légères sont très nombreux, parfois très importants (comme ceux associés à des massifs de carbonatites). Ils sont répartis dans un grand nombre de pays. À l'opposé, les gisements de terres lourdes sont rares et de petite taille.

Les terres lourdes sont donc un enjeu très important, de même que le néodyme, une terre rare intermédiaire qui doit être considérée de manière spécifique en raison de la demande croissante d'aimants permanents de type néodyme-bore-fer.

2. Les terres rares sont souvent contenues dans des minerais

Il faut donc les séparer. Leur séparation, tardive, a résulté du projet Manhattan.

Comme l'indique M. Christian Hocquard, on distingue parmi ces minerais la monazite, le thorium, les carbonatites, les minerais ioniques et les monazites hydrothermales.

↳ La monazite

Ce minerai, qui a été exploité à La Rochelle par Rhodia, est un minéral de phosphate de terres rares ayant une forte radioactivité.

La monazite est associée aux minéraux de titane et le zircon dans les gisements de sables de plage exploités dans de nombreux pays. Seuls deux pays extraient des terres rares à partir de la monazite : l'Inde et le Brésil. Mais il s'agit de petites quantités.

↳ Le thorium

Pour le moment, le thorium n'a pas d'utilisation. Des projets de centrales au thorium existent, mais restent en l'état. Les Indiens étaient les plus avancés pour un tel projet.

↳ Les carbonatites

Ce sont des massifs rocheux de gros tonnages mais à terres rares légères et à teneur faible.

↳ Les minerais ioniques

Ce sont les minerais terres rares lourdes du sud de la Chine. Il s'agit de granites décomposés en argiles latéritiques enrichies en terres rares résiduelles qui peuvent être libérées par une simple attaque acide.

↳ Les monazites hydrothermales

Ce sont des gisements intéressants car ces monazites hydrothermales ne sont pas radioactives. On connaît un tel gisement en Afrique du Sud dont la production pourrait démarrer à court terme.

3. Comment les sépare-t-on ?

L'hydrométallurgie est l'une des techniques les plus intéressantes. La pyrométallurgie en est une autre, tandis que de procédés de chimie fine, extractive, séparative, peuvent être utilisés.

L'hydrométallurgie consiste à dissoudre les matériaux à traiter dans un milieu aqueux acide, puis à en extraire les éléments recherchés en utilisant des solvants. Il faut trouver un élément peu présent parmi beaucoup d'autres très largement majoritaires. La métallurgie classique à haute température le fait, mais pas très sélectivement. L'hydrométallurgie est donc intéressante, sous réserve de faire attention, car l'extraction, comme le recyclage, peut être très polluante. Il faut donc des procédés dès le début responsables et permettant de minimiser l'impact sur l'environnement.

De manière plus précise, on utilise de l'eau chargée. Le minerai ou le broyat de matériaux à recycler est dissous dans l'acide ; on fait alors des opérations de chimie séparative. On utilise des solvants organiques chargés d'extraire ce que l'on cherche ou d'autres opérations de séparation, comme la précipitation ou l'extraction par les résines échangeuses d'ions. Ces techniques sont très sélectives.

On pourrait ainsi broyer un million de téléphones portables, puis faire de la chimie séparative.

Ces opérations peuvent être faites en laboratoire, mais aussi en usine. La Chine dispose ainsi d'unités hydro-métallurgiques. Les volumes d'eau nécessaires peuvent être très importants et atteindre des millions de litres par heure dans le domaine minier (contre seulement des milliers de litres par heure pour le recyclage).

L'approche purement hydro-métallurgique est utilisée dans l'aval du cycle nucléaire pour les produits de fission, où l'on trouve des terres rares.

La pyrométallurgie constitue souvent une approche concurrente ou complémentaire : On peut ainsi d'abord faire fondre en conditions réductrices des téléphones portables et récupérer les métaux les plus intéressants dans une phase cuivre en fusion.

On peut aussi utiliser la chimie fine, extractive, séparative, ce qui est le cas pour la monazite, qui contient des terres rares.

B. D'OU VIENT LEUR SPECIFICITE ?

La spécificité des terres rares tient essentiellement aux électrons f qui leur confèrent deux propriétés essentielles : optiques et magnétiques. On trouve autant de terres rares ayant des propriétés optiques que de terres rares ayant des propriétés magnétiques. L'une d'entre elles, le néodyme, a les deux propriétés. Les propriétés du néodyme bore sont très intéressantes.

Il y a deux catégories de terres rares, selon qu'elles aient ou non des électrons f. Si toutes ont les mêmes propriétés chimiques, celles-ci sont plus importantes quand elles en ont.

En matière optique, les électrons 4f, que seules les terres rares possèdent, sont les seuls qui permettent d'ajuster finement les longueurs d'onde d'émission, et donc la couleur souhaitée, notamment pour les lasers et les télévisions. L'euporium donne le rouge de la télévision couleur. Le néodyme, l'infrarouge pour les lasers de puissance. L'erbium donne le vert utilisé dans les télécommunications. L'yttrium, dopé à l'euporium sert pour les écrans de télévision. Les luminophores posent toutefois le problème de faire les matériaux nécessaires à leur production.

Leurs propriétés magnétiques, qui dépendent de caractéristiques quantiques, sont exceptionnelles : les électrons f n'étant pas engagés dans des liaisons chimiques, sont libres pour participer au magnétisme.

Elles permettent de fabriquer des alliages magnétiques qui sont ferromagnétiques. C'est notamment le cas du gadolinium. Ainsi que l'indique M. Paul Caro, ce fut une révélation, car on pensait que le ferromagnétique dépendait uniquement du fer. Cela a permis d'arriver à des alliages très efficaces qui jouent un rôle très important dans les technologies avancées, utilisées notamment pour les éoliennes, où l'on retrouve les alliages faits au néodyme dopés au dysprosium (qui a une grande valeur). Le Japon est très fort pour faire ces alliages et les mettre en œuvre.

Les 14 terres rares ayant ces électrons f sont difficiles à séparer, car leur nombre d'électrons f a également un impact sur leurs propriétés physiques, ce qui a un impact sur leur intérêt industriel.

C. QUELLES SONT LEURS APPLICATIONS LES PLUS CONNUES ?

De manière générale, les terres rares sont utilisées dans la fabrication des aimants, dans les télévisions en couleur, les pots catalytiques, les batteries des téléphones portables, les alliages magnétiques, les ampoules basse consommation. Elles ont de nombreuses applications médicales.

1. Les aimants permanents

Ces aimants permanents, faits à base de terres rares, et notamment de néodyme et de samarium, sont utilisés de plus en plus : il y en a 70 dans une voiture, et 600 kg dans une éolienne. Ils sont d'autant plus efficaces que les terres rares sont alliées avec des métaux de transition. Elles servent alors pour fabriquer les générateurs des grosses éoliennes offshore et les moteurs électriques utilisés dans les véhicules électriques et hybrides. Elles sont utilisées pour l'enregistrement magnétique haute densité et pour les disques durs, les téléphones portables et les haut-parleurs.

Les aimants permanents au néodyme permettent de réduire la masse des moteurs et des générateurs d'environ 40 %, ce qui permet de construire des éoliennes atteignant 6 à 8 MW, comme celles de Vestas, Alstom, GE ou Siemens. L'un de leurs avantages est de supprimer la boîte de vitesse, et donc d'éviter l'usure de ses engrenages et de diminuer les difficultés de maintenance en mer agitée.

Si la recherche porte sur le développement d'aimants encore plus performants, il n'est pas possible pour les aimants les plus performants de s'affranchir des terres rares.

2. Les pots catalytiques et les batteries

Le cérium est utilisé dans les pots catalytiques, où il permet d'adapter la pression partielle de l'oxygène. Pour M. Michel Latroche, « *il est très difficile de trouver un remplaçant de ce type de composés* ».

Le lanthane, le praséodyme, le néodyme servent à faire des batteries nickel-métal hydrure, des batteries alcalines très utilisées dans les véhicules hybrides HEV (Toyota Prius).

D'autres terres rares pourraient être utilisées à cette fin : le praséodyme ou le néodyme, mais ils sont très demandés ; l'yttrium ou du gadolinium, produites à partir du mischmétal (un alliage de terres rares), qui sont généralement moins valorisées, mais aussi moins chères.

3. Les luminophores

Les terres rares lourdes sont utilisées tout particulièrement comme luminophores dans les ampoules de basse consommation et les LED. Ces luminophores sont des alliages complexes de terres rares préalablement très purifiées qui permettent d'obtenir une lumière blanche proche de la lumière naturelle. Le marché des LED pour éclairage est considérable. Solvay en est le leader mondial.

4. Les applications médicales

Certains médicaments peuvent contenir des terres rares. On peut aussi les utiliser comme marqueurs. Le signal de la RMN peut être amélioré par les terres rares.

Plusieurs terres rares sont ou ont été utilisées en médecine : l'yttrium en médecine nucléaire, le gadolinium, comme produit de contraste, l'ytterbium, le lanthane.

Les applications médicales des terres rares portent sur les agents de contraste en imagerie par résonance magnétique (IRM), le relargage contrôlé de substances associées aux particules magnétiques, et le catabolisme de tumeurs par hypertrophie.

Elles permettent de doper des cristaux utilisés en ophtalmologie et en chirurgie esthétique.

Une petite quantité d'une terre rare rajoutée dans un alliage donne de nouvelles propriétés très intéressantes. Des alliages comprenant des terres rares sont ainsi utilisés pour la chirurgie osseuse et la dentisterie

car ils donnent des propriétés mécaniques permettant des résistances plus élevées à la température. Cela permet de répondre à la résistance mécanique du magnésium, et d'utiliser des biomatériaux résorbables.

II. L'ÉCONOMIE DES TERRES RARES ET DES MATÉRIAUX CRITIQUES

Où les terres rares sont-elles produites et dans quelles conditions ? Comment pourraient évoluer l'offre et la demande ? Quel est le modèle économique sous-jacent ? Quelles sont les techniques de financement ? Dans ces conditions ? Quel est le risque stratégique pour la France ? Faut-il faire des stocks stratégiques ?

A. UNE PRODUCTION TRES CONCENTREE, MALGRE UNE EVOLUTION DEPUIS 2010

La Chine a un rôle central, mais la crise de 2010 a entraîné dans les autres pays des évolutions qui deviennent significatives sans pour autant être suffisantes. Le récent panel de l'OMC apporte un éclairage nouveau sur les devoirs de la Chine, mais semble toutefois insuffisant pour changer les rapports de force à court terme.

1. La position dominante de la Chine

La Chine, qui domine le marché, est en train d'établir une véritable filière.

a. La Chine produit environ 90 % des terres rares alors qu'elle ne possède que 50 % des réserves mondiales

La Chine, qui considère que les terres rares sont la voie de l'avenir, produit des terres rares au Nord et au Sud. Cette exploitation se fait encore maintenant dans des conditions sanitaires et environnementales discutables, mais la Chine a une volonté de changement.

Elle dispose de ressources naturelles exceptionnelles, car les terres rares lourdes se trouvent principalement dans son territoire. Hors de Chine, il y a très peu de gisements de terres rares lourdes seules. Ils sont petits et souvent mal situés géographiquement comme au Kirghizistan ou en Afrique du Sud. Il y a aussi un gisement de terres rares lourdes au Vietnam.

Les terres rares légères sont extraites au Nord, à Baotou, autour d'un gisement très important de minerai de fer où les terres rares sont extraites en sous-produits.

Les terres rares lourdes sont essentiellement produites au Sud, dans une myriade de petits gisements exploités par plus 1500 petits mineurs artisanaux, le plus souvent illégalement. Ces minerais du Sud sont moins radioactifs, mais entraînent des désordres inhérents à la mine artisanale.

Dès 2003, la Chine a envisagé de restructurer son industrie de terres rares autour de ces deux grands pôles, au Sud et au Nord.

Quelques chiffres, relevés par M. Christian Hocquard, montrent l'importance des exportations non contrôlées : *« les pays de l'OCDE importent et consomment environ 50 000 tonnes de terres rares par an, alors que la Chine n'en exporte officiellement que 15 000 tonnes (soit 50 % seulement des quotas d'exportation fixés à 30 000 t/an !) ».*

b. La Chine ne se limite plus à la production et à l'exportation, mais met en place de manière assez systématique une véritable filière

La Chine extrait des terres rares. Mais elle ne se limite plus à cette activité à faible valeur ajoutée. Elle a des foires aux terres rares. Plusieurs de ses instituts s'intéressent aux terres rares. Son laboratoire d'optique en Mandchourie est très efficace.

Elle essaie d'attirer les investissements dans des usines de séparation. Solvay a ainsi des usines métallurgiques en Chine et des contrats d'approvisionnement avec des producteurs chinois.

La Chine vend à ceux qui payent le plus ou qui l'aident à utiliser chez elle ce qu'ils produisent. Elle achète des mines et des terres.

La Chine investit aussi à l'étranger. À Kvanefjeld au Groenland, les investissements chinois pourraient atteindre 1,5 milliard de dollars, mais l'objectif premier est la production d'uranium, avec une production de terres rares en sous-produits, qui seront envoyés en Chine pour être séparés et purifiés.

Cette politique mériterait d'être étudiée.

c. Cette évolution a été accélérée par la crise de 2010 qui avait été provoquée par la Chine

↳ Cette crise a manifestement été de nature géopolitique.

En 2009 et 2010, la Chine instaure des quotas d'exportation, dans le cadre du conflit franco-japonais sur les frontières des deux pays. Il s'agit donc d'une crise de nature politique ayant entraîné une forte augmentation des prix.

La crise des terres rares en 2010 est semblable à celles qui émaillent l'histoire des métaux rares, comme le souligne M. Christian Hocquard : *« Les métaux rares (environ 45 dont 17 terres rares) connaissent des crises récurrentes qui sont le plus souvent de nature conjoncturelle (problèmes climatiques sur une mine importante, techniques sur une usine métallurgique), mais qui peuvent aussi être provoquées (intentionnelles) comme celles liées à des rétentions de vente, comme celles qui avaient concerné l'argent, l'étain ou le palladium. Dans le cas des terres rares, les industriels consommateurs, inquiets que les quotas chinois ne provoquent une pénurie, se sont mis à les stocker par des achats de précaution bien au-delà de leurs besoins à court terme. D'où un sur-stockage qui a raréfié l'offre et accéléré la hausse des prix jusqu'à des plus hauts historiques. »*

↳ Cette crise a conduit, en Chine même, à une restructuration de la production et à la maîtrise de la chaîne de la valeur.

La hausse des prix a incité les Chinois à produire davantage de terres rares et à les exporter illégalement en grande quantité, inondant un marché déjà saturé, de sorte que les prix se sont effondrés, tout en restant à un niveau plus élevé qu'avant la crise.

Comme le souligne M. Christian Hocquard, *« ces prix élevés ont permis aux producteurs chinois de terres rares d'engranger de copieux bénéfices, mais aussi de lancer une vague de sociétés minières juniors dans l'exploration et l'évaluation de plus de 170 gisements de terres rares hors de Chine ».*

2. La crise de 2010 a relancé la production et la séparation hors de Chine

Suite à l'augmentation des prix, les États Unis (qui représentent 6,5 % de la production mondiale) ont repris des activités qu'ils avaient abandonnées dans les années 80, car ils les jugeaient trop polluantes. L'Australie (4 % de la production mondiale) a fait de même. Il y a maintenant une volonté dans ces deux pays de développer leur production. Il y a des centaines de projets en prospection. Mais seuls quelques-uns se réaliseront.

a. Les États-Unis et l'Australie relancent leur production, grâce à deux sociétés : Molycorp et Lynas

Lynas exploite en Australie une mine et traite les concentrés afin de les séparer et de les purifier. Elle a fait construire une usine de séparation et de purification en Malaisie, par un conglomérat australo-français.

Molycorp dispose d'un gisement et d'une usine aux États-Unis, la mine de Mountain Pass ayant été remise en activité. Elle contrôle aussi, par des acquisitions, l'ensemble de la chaîne « *mine to magnet* ». Elle dispose notamment d'une usine en Estonie pour la séparation des terres rares et d'une autre en Chine pour élaborer les aimants permanents.

Toutefois, Lynas et Molycorp – avec des capacités de production annoncées d'environ 30 000 tonnes par an – produisent principalement des terres rares légères, les plus impactées par la baisse des cours. Leur survie dépend donc de la qualité de leurs contrats « *off-take* ».

b. La multitude de projets de production de terres rares va conduire à l'émergence de seulement quelques autres producteurs

Les chiffres peuvent varier, selon que l'on parle de projets miniers ou de projets d'exploration, selon qu'on considère la situation en Chine, hors de Chine ou au niveau mondial, mais la tendance est la même : seuls quelques projets se réaliseront car la rentabilité est incertaine ; seules quelques sociétés juniors survivront ; la dépendance continue, même si elle s'est allégée.

Selon M. Christian Hocquard, « *Les prix très bas actuellement des terres rares légères ont porté un coup fatal à nombre de projets miniers situés hors de Chine. Sur les 170 projets identifiés, seuls 5 paraissent susceptible d'émerger à moyen termes, dont trois très gros gisements potentiels* ».

Selon M. Alain Liger, « *il existe dans le monde quelques centaines (entre 300 et 400) projets d'exploration de terres rares, dont quelques dizaines (peut-être une trentaine) annoncent avoir défini des réserves ou des ressources dans le cadre de programmes de forages systématiques. Certains gisements ont annoncé avoir terminé des études de faisabilité positives (par exemple en Australie, au Canada et en Afrique du Sud), voire ont indiqué des dates de démarrage de production aujourd'hui dépassées ; de fait leur démarrage tarde.*

Les données disponibles sur ces projets d'exploration ou de faisabilité éclairent dans une certaine mesure sur les raisons de ces difficultés : alors que les deux gisements de Mountain Pass et de Mount Weld ont une teneur d'environ 8% en oxydes de terres rares combinées, les gisements les plus importants au stade des études de réserves ou de faisabilité ont une teneur combinée entre 1 et 4 %, ce qui peut être une raison de la difficulté de leur financement. L'économie des gisements dépend en outre du contenu des différentes terres rares, dont les prix et les usages sont très différents les uns des autres ».

Au Gabon, la situation est complexe du fait des difficultés rencontrées pour séparer les terres rares. À Madagascar, un gisement susceptible de contenir des terres rares lourdes a été identifié et intéresse Solvay. On trouve également des gisements de terres rares hors Europe au Brésil, en Mongolie et en Polynésie.

c. Le Japon a une véritable politique

Le Japon est le pays qui a le plus déterminé une politique de réponse à une pénurie éventuelle. Il a en outre développé ses recherches. Ce pays qui n'a pas de matières premières les achète et a choisi de les transformer à l'étranger. Le plus touché par l'embargo de 2010-2011, il s'intéresse particulièrement à la réutilisation des terres rares.

Il serait intéressant d'étudier de près l'expérience japonaise.

d. En Europe, la situation évolue

Dans l'Union européenne, la production est égale à zéro. Ce n'est pas forcément dramatique, mais le problème peut venir de l'insuffisante diversification de la production. Les importations européennes ont baissé de 20 000 tonnes en 2008 à 8 000 tonnes en 2013, car plusieurs entreprises ont déplacé leurs premiers stades de l'obtention de terres rares en Chine (Solvay est sur place). Les lieux d'approvisionnement évoluent par ailleurs, en faveur des États-Unis (pour 10 à 15 % des importations), voire de la Russie sous la forme de semi-terres rares transformées.

Il y a des gisements de terres rares au Groenland, à Kvanefjeld, et en Suède, à Norra Kärr. Un gisement a été récemment signalé en Allemagne.

Le gisement de Norra Kärr est un gisement de terres rares lourdes. Il pourrait même être le principal gisement mondial de terres rares lourdes. Il est bien situé, mais de taille insuffisante pour justifier une usine de séparation-purification dédiée. Or c'est là où se fait la marge.

Au Groenland, la situation est plus compliquée, pour des raisons d'infrastructures, d'éloignement de la côte, d'accessibilité en cas de glace, mais aussi pour des raisons juridiques, une loi refusant l'exploitation de sites radioactifs. Le débat politique y est par ailleurs vif sur l'utilisation des ressources naturelles.

L'exploitation de ces ressources dans l'Union européenne devra tenir compte de Natura 2000 et de l'environnement, ce qui pose le problème de la superposition des mesures par chaque niveau de compétence. Il faut par ailleurs que l'exploitation soit acceptée par l'opinion publique.

e. La France est présente dans le domaine de la séparation, grâce à Solvay, qui est belge

Pour M. Christian Hocquard, « *il n'existe pas en France de gisement identifié, et les indices de terres rares connus en Bretagne ou dans les Pyrénées sont davantage des curiosités minéralogiques. Ce qui ne veut pas dire qu'il n'en existe pas, mais on n'en a pas non plus recherché de manière spécifique* ».

L'intérêt de la France pour les terres rares tient donc à l'expérience de Rhône-Poulenc à La Rochelle, qui n'a pas été linéaire.

À La Rochelle, Rhône-Poulenc traitait du phosphate de monazite (l'un des principaux minerais de terres rares) qui comprenait une quantité importante de thorium qui est radioactif. Ce thorium étant rejeté dans la mer, cette usine fut fermée. Puis Rhône Poulenc est devenu Rhodia, puis Solvay.

Après l'interdiction de traiter la monazite, Rhodia est allé en Chine pour y produire et séparer les terres rares sur place. Ces terres rares sont ensuite purifiées pour élaborer les luminophores à La Rochelle.

Cette usine existe encore, mais utilise d'autres produits.

Pour M. Alain Liger, *« l'usine de La Rochelle représente une partie de filière. C'est une usine très high tech et très capitalistique. Rhodia est l'un des très rares métallurgistes capables de produire des terres rares séparées en dehors de Chine. Ces produits, retransformés en différents composés, alimentent les usages classiques des terres rares : photophores, matériaux pour l'électronique, diodes, fibres optiques. Mais Rhodia ne fait pas d'aimant à base de néodyme »*.

B. COMMENT POURRAIT ÉVOLUER LE MARCHÉ ?

La situation est plus tendue sur certaines terres rares que sur d'autres. L'évolution de l'offre ne sera pas suffisante pour changer l'équilibre du marché, et la croissance de la demande ne sera que peu affectée par le recyclage et les possibilités de substitution.

1. Les réserves physiques restent abondantes, sauf pour cinq terres rares, mais la production est freinée par les contraintes environnementales et des difficultés techniques lors de la séparation

Il y a beaucoup de terres rares légères, même si la situation est plus compliquée pour les terres rares lourdes. Les terres rares ne sont pas rares.

Il y a actuellement trop de mines. Il faut des mines qui soient acceptables d'un point de vue écologique, et qui soient sous le regard de la société civile.

Selon Mme Anne de Guibert, « *cinq terres rares ne seront plus en quantité suffisante dans les quinze années à venir : le terbium, l'yttrium, le néodyme, l'europlum, le dysprosium. Le risque de pénurie est réel, même s'il y a probablement des gisements non identifiés* ».

Les prix reflètent cette situation de l'offre, au-delà des pics liés aux tensions politiques : Alors qu'ils étaient de 10 000 dollars par tonne depuis quarante ans, et qu'ils ont atteint 40 000 dollars en 2010, ils sont maintenant redescendus à 15 000 dollars.

L'offre est actuellement freinée par la prise en compte des exigences environnementales, mais aussi par des difficultés rencontrées dans l'extraction et la séparation qui, lorsqu'on utilise des solvants, ne donne pas des quantités importantes de terres rares par rapport aux produits traités. C'est tout l'intérêt de la recherche sur des terres rares solides qui permettraient de résoudre les problèmes d'environnement et de minimiser la radioactivité.

2. La demande est actuellement croissante

Cette augmentation de la demande est liée au développement des technologies utilisatrices, mais aussi à la montée en puissance des pays émergents. Les applications sont multiples, qu'elles concernent les aimants, la métallurgie, les batteries, les catalyses, les poudres abrasives, ou la filière nucléaire.

La demande va être particulièrement forte pour le néodyme, une terre rare intermédiaire, liée à la fabrication des aimants permanents à néodyme-bore-fer (avec du dysprosium pour des utilisations dans des zones chaudes au-delà de 150°C).

Les utilisations sont telles qu'il va falloir de grandes quantités de terres rares pour les aimants permanents, de l'ordre d'une tonne de néodyme pour une seule éolienne.

3. Le recyclage est déjà une réalité, mais varie selon les terres rares et les produits

Le recyclage représente actuellement moins de 1 % de la production en fin de vie. Il n'y a que quelques grammes, difficiles à isoler, dans les téléphones portables. Par contre, les japonais arrivent à recycler un tiers des terres rares utilisées dans le processus de fabrication des aimants permanents. Le recyclage pourrait aussi se développer pour les batteries et la filière phosphore.

Tout dépend néanmoins des conditions économiques. Si l'on peut aujourd'hui techniquement recycler, encore faut-il que le recyclage ait un sens économique. Tout dépend donc de l'évolution de la demande et du prix des terres rares. Tant qu'il y a une augmentation exponentielle de la consommation, le recyclage aura une valeur marginale. Le recyclage n'est par ailleurs possible que si les prix sont suffisamment élevés pour le rendre rentable.

Pour M. Christian Hocquard, « *Les terres rares lourdes peuvent être recyclées, du fait de leur prix. Le cérium et le lanthane ne valent que 7 dollars/kg, alors que l'euporium atteint 1 300 dollars/kg. Solvay a commencé le recyclage des poudres de luminophore qui tapissent les verres des lampes basse consommation.*

De son côté, Renault a fait une étude sur la localisation quantitative des aimants permanents dans ses véhicules et conclu que seuls les hauts parleurs de radio et les moteurs de conduite assistée pourraient justifier un démontage préalable avant leur récupération pour recyclage ».

4. Peut-on trouver des solutions de substitution ?

La substitution est probablement faisable techniquement. Mais les produits substitués ont-ils la même utilité ? Quel est le coût de cette substitution ?

Pour M. Guillaume Pitron, il existe certains substituts aux terres rares, et notamment au cérium, utilisé pour les écrans. « *On peut utiliser moins de néodyme dans les alliages néodyme fer bore, ce que fait une entreprise japonaise* ».

Comment peut-on identifier les produits de substitution ?

Pour les voitures électriques, on notera que Renault a choisi un moteur asynchrone à rotor bobiné qui utilise beaucoup de cuivre mais pas de terres rares, ce qui élimine le risque d'approvisionnement. On notera que le record de vitesse de l'AGV d'Alstom tient à la possibilité de mettre les moteurs directement sur les boogies, grâce à la réduction de taille due aux aimants permanents.

Enfin, comme l'indique M. Christian Hocquard, « *la directive européenne écoconception ErP (Energy related Products) impose la norme IE3 à partir du 1er janvier 2015 pour les puissances allant de 7,5 à 375 kW. Une réglementation qui va favoriser la commercialisation de ces moteurs à très haut rendement qui sont déjà disponibles sur le marché (Leroy-Somer par exemple)* ».

5. Peut-on réduire les quantités utilisées de terres rares ?

C'est possible pour le terbium, les poudres phosphorées, le cérium, le dysprosium. On peut aussi employer moins de néodyme dans les alliages néodyme fer bore utilisés pour les écrans plats.

C'est déjà une réalité : Avant la crise, les prix des terres rares légères étaient si bas que les plus gros consommateurs – les industriels japonais pour le polissage des écrans plats – les consommaient sans compter. Avec la crise, ils se sont aperçus qu'ils pouvaient en utiliser à la fois moins, plus souvent, et qu'ils pouvaient aussi les recycler. Ce qui, au final, a réduit fortement leur demande et contribué également à la chute des cours.

6. Peut-on évaluer et maîtriser la spéculation ?

Le marché des matières premières fait l'objet d'interventions spéculatives.

Quelle est leur ampleur pour les matières premières critiques et stratégiques ? Quel en est l'effet sur les cours à court et à moyen termes ?

Peut-on l'évaluer et la maîtriser quand c'est nécessaire ? Ce sera l'objet de débats lors d'une audition publique.

7. Peut-on se passer du négoce ?

Quelle est l'utilité du négoce ? Qui en sont les acteurs ? Quel volume d'activités traitent-ils ?

La France a eu pendant longtemps une activité de négoce des métaux. Le Comptoir Lyon Alemand Louyot en était le spécialiste. Mais le comptoir a été vendu. Il en a été de même pour ses stocks.

Quelles en sont aujourd'hui les conséquences ? Peut-on se passer en France d'activités de négoce ? À quel niveau doivent-elles être organisées ?

Ces questions, comme celles portant sur la spéculation, méritent d'être étudiées et débattues dans le cadre d'une audition publique sur le marché des matières premières critiques et stratégiques.

C. QUEL EST LE MODÈLE ÉCONOMIQUE SOUS-JACENT ?

L'analyse de M. Alain Liger retrace bien les différentes étapes nécessaires à l'utilisation par l'industrie des terres rares :

« Trouver puis exploiter de nouvelles ressources suppose des délais importants ; les gisements de terres rares obéissent là à des méthodes analogues à tous les minerais.

Les phases d'exploration (identification de cibles) peuvent durer deux à trois ans. Il faut ajouter à ce délai le fait que toutes les cibles identifiées ne donnent pas lieu à poursuite de l'exploration car elles se révèlent « négatives » à un stade ou un autre du processus. Les phases successives de forage systématique durent chacune de l'ordre d'une année. En parallèle, on effectue des études métallurgiques visant à étudier comment on pourrait libérer le contenu du minerai, ce qui est spécifique à chaque composition de minerai ; les différentes phases de laboratoire peuvent prendre plusieurs années ; dans une certaine mesure, les phases exploration et études en laboratoire peuvent être menées en parallèle, mais

le laboratoire a besoin que des forages ou des travaux miniers aient prélevé du minerai. Les études de laboratoire sont suivies de phases (parfois plusieurs) de pilotage industriel du processus qui peuvent durer entre quelques mois et quelques années.

Ces éléments techniques sont accompagnés de chiffrage des coûts d'investissement et de production, qui alimentent la recherche des financements, en fonds propres et en dette. L'évaluation financière est rendue sensible par le fait que les prix d'échange des terres rares ne relèvent pas d'un mécanisme de bourse, mais de contrats privés. De plus ces prix varient.

Une fois les financements obtenus, pour une petite mine à ciel ouvert, il faut deux ou trois ans pour l'amener à production. La suite n'est pour autant pas assurée ; par exemple, la société Lynas est en difficulté financière (le cours de son action a plongé).

Pour convaincre les financeurs (investisseurs en fonds propres ou prêteurs), il faut en général négocier des engagements d'enlèvement, en échange de prêts par les clients (« off-take »). Ainsi, Lynas a monté ses financements avec des entreprises qui se sont engagées à acheter sa production et lui ont prêté de l'argent, par exemple Mitsubishi ».

D. QUELLES SONT LES TECHNIQUES DE FINANCEMENT ?

Présentées par M. Christian Hocquard, elles concernent essentiellement les contrats « off take » des prix planchers et des prix capés.

« Un contrat off-take consiste à faire financer le développement d'un projet minier d'une société junior par un industriel consommateur (ou un négociant) en échange de tout ou partie de la production. En général ce type de contrat prévoit un prix-plancher (qui couvre le coût de production, ce qui protège le producteur minier d'une forte baisse des prix) et un prix capé (qui protège le consommateur d'une forte hausse des prix). Mais il faut bien voir que dans ce cas, la production est préemptée et échappe donc au marché. Pour chaque projet, il faut donc identifier les « off takers » : par exemple Rhodia pour 20 % de la production de Lynas, ou une entreprise chinoise pour le très gros gisement à uranium et terres rares de Kvanefjeld au Groenland ».

III. LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DES TERRES RARES ENTRAÎNENT-ELLES DES RISQUES PARTICULIERS ? COMMENT PEUT-ON LES MAÎTRISER ? COMMENT PEUT-ON LES RÉDUIRE ?

A. LEURS EFFETS SUR LA SANTÉ

Ces effets sont encore mal connus. M. Roland Masse, toxicologue, membre de l'Académie des technologies et de l'Académie de médecine, président de sa commission des maladies professionnelles, estime que *« l'impact sanitaire connu des terres rares est nul. Il n'y a pas de maladies professionnelles en France connues qui sont dues aux terres rares, à part des pneumoconioses, dues aux poussières. Mais on a peut-être tort d'être rassuré. L'inventaire toxicologique des effets à long terme de l'exposition aux terres rares n'a pas été fait.*

Les terres rares stables ne sont pas des toxiques préoccupants par leurs effets aigus. Mais très peu d'études portent sur l'imprégnation chronique aux terres rares. Des études ont néanmoins été faites sur les rongeurs, chez qui l'on a remarqué une augmentation des tumeurs avec l'yttrium administré dans l'eau de boisson, ou après implantation de pellets métalliques de gadolinium et d'ytterbium. L'europlutonium a été associé avec un effet tératogène. Les données acquises sont insuffisantes pour classer ces éléments parmi les toxiques cancérigènes et tératogènes mais elles constituent des alertes qui n'ont pas été prises en compte.

On ne connaît rien des mécanismes mis en jeu mais il a été observé que les terres rares légères ont la propriété d'augmenter des cancers provoqués par des rayonnements ionisants. Scandium, lanthane et cérium augmentent également la sensibilité aux effets létaux de ces rayonnements ».

Il apparaît que le bilan toxicologique est insuffisant : les études de toxicologie sont insuffisantes, voire absentes.

L'utilisation en médecine de l'yttrium du gadolinium, de l'ytterbium, du lanthane n'ont pas donné lieu, selon M. Roland Masse à *« des conséquences sanitaires décelées. Il n'en est pas de même du thorium,*

lié à l'industrie des terres rares et utilisé anciennement pour l'imagerie médicale. Sous forme de thorotrast le thorium injecté à plus d'un million de patients a été à l'origine d'un nombre très important de cancers des os, du foie et de leucémies.

Les résultats chinois sur les sites miniers de terres rares sont inquiétants dans la mesure où ils mettent en évidence une augmentation marginale de cancers du poumon attribués au thorium, mais les effets dévastateurs sur l'environnement des poussières, acides et substance alcalines dominent la scène de très loin. En Malaisie par contre, il y a eu aussi une crise particulière liée à l'utilisation de la monazite sans précaution particulière. Le thorium a ainsi été à l'origine de leucémies et de cancers du poumon qui ont fait interdire l'exploitation.

Mais il n'y a pas beaucoup de travaux crédibles sur les problèmes de santé en Chine. Il y a un article dans la revue Radioprotection sur le lien entre terres rares, maladies, cancers et malformations. Mais cet article n'est pas basé sur des statistiques suffisantes. Les conclusions sont trop rapides. Il n'y a pas de contrôle des effets du tabagisme sur les cancers décelés.

Dans la littérature, on trouve des alertes sur la reprotoxicité, liées notamment à l'euporium, utilisé beaucoup en télévision.

En milieu professionnel les risques paraissent évidents surtout lors du broyage du minerai, du fait de l'exposition aux poussières qui est alors très forte, comme elle peut être forte avec l'utilisation des terres rares dans le polissage. Cette exposition est par contre absente dans les salles blanches, où sont fabriqués les produits high tech.

Il faut aussi être vigilant sur les catalyseurs dans les pots d'échappement, qui entraînent une exposition générale de la population.

En ce qui concerne les nanoparticules, on peut s'interroger sur leurs effets du fait de leur taille, car certains produits n'ont pas les mêmes propriétés quand ils sont sous la forme nanométrique. C'est particulièrement vrai pour l'argent, moins pour le titane. Il faut donc une investigation au cas par cas.

On a notamment découvert que les nanoparticules avaient la propriété de traverser les membranes et de se concentrer dans le cerveau. On n'a pas fait de bilan des conséquences de ce phénomène. Pourtant, des études sur les nanoparticules sont lancées par l'ANSES, l'ANRS et l'INRS, avec des programmes importants. Pour les terres rares, c'est plus délicat. On ne sait pas trop. On pourrait demander à l'ANSES de lancer un programme consacré aux terres rares ».

En matière médicale on n'a pas fait d'investigation sur les conséquences tardives des alliages comprenant des terres rares. « *Or on a vu chez l'animal des cancers liés à l'introduction de ces particules. Il faudrait donc faire faire des études de toxicité à long terme, sur les implants et sur les microparticules ».*

Ces remarques sont confirmées par d'autres personnes auditionnées.

Pour M. Paul Caro, l'impact des terres rares sur la santé est une question assez ouverte. Leurs propriétés biologiques font l'objet de discussions dans des congrès, mais n'ont pas encore été trouvées.

Pour M. Guillaume Pitron, « *on n'est pas absolument certain du lien entre le taux de cancer et l'exploitation des terres rares ; mais on peut se poser des questions. C'est le cas à Dalahai, dans un des 400 villages du cancer. C'est aussi le cas en Malaisie où sont amoncelés des copeaux de minerais autour de l'ancienne mine de Bukit Merah et où il y a plus de leucémies qu'ailleurs. Les corrélations ne sont pas totalement établies. Mais elles sont probables, même s'il est difficile de les évaluer.*

On fait certes du propre avec les terres rares quand elles servent à fabriquer des éoliennes. Mais pour faire du propre il faut faire du sale.

Il est par contre certain que le thorium est un produit radioactif ».

Il serait intéressant d'étudier de manière plus précise l'impact du thorium sur la santé. Ce pourrait être l'objet de débats lors d'une audition publique consacrée aux effets des terres rares et des matières premières stratégiques et critiques sur la santé et l'environnement.

B. LEURS EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

1. Les problèmes liés à l'extraction et à la séparation des minerais

Certains entrepreneurs chinois arrosent les champs d'acide avant de les traiter. C'est notamment le cas en Mongolie intérieure à Baotou. Les rejets qui en résultent sont particulièrement polluants. Ils concassent des minerais, ce qui a entraîné des problèmes avec les produits libérés dans ce processus. La Chine en prend conscience, mais ses petites sociétés ne sont pas toujours suffisamment contrôlées.

Les pollutions associées aux terres rares sont tout particulièrement liées à la radioactivité des minerais (thorium surtout) et au fait que leur traitement nécessite de grandes quantités d'eau. Dans le Nord de la Chine, cette pollution s'accumule dans de nombreux bassins de décantation, tandis que des effluents contaminés sont rejetés sans traitement dans le fleuve jaune, une situation critique en période d'étiage.

L'extraction et la séparation ne sont pas des processus faciles, ce qui explique du reste que les sociétés occidentales préfèrent laisser les chinois le faire.

Il faudrait donc faire une étude assez fine sur ce type d'activités, en se posant plusieurs questions : Comment peut-on extraire les terres rares des minerais ? Quels procédés industriels peut-on utiliser ? Comment le traitement des terres rares est-il contrôlé ?

En France même, le thorium crée des problèmes d'environnement en liaison avec la santé publique, sans pour autant que ses effets sur la santé soient démontrés de manière certaine. Pour M. Masse, *« le thorium sous-produit de l'industrie des terres rares pose également des problèmes de type environnemental. Un problème de ce type est arrivé dans la région de Chalons sur Marne, où l'on utilisait à Pargny sur Saulx des terres rares pour la fabrication de pierres à briquet. Il est resté sur place une digue présentant une exposition radioactive non négligeable. On a noté des cancers du poumon et de la vessie plus élevés que d'habitude, mais on s'est aperçu qu'ils étaient liés principalement au tabac. On a trouvé un problème comparable à La Rochelle quand on a utilisé du stérile minier pour faire des remblais »*.

2. Quelles précautions peut-on prendre en matière de radioactivité ?

Pour le CEA, il y a des précautions à prendre en matière de radioactivité. D'une part, il y a une la radioactivité naturelle qui accompagne les minerais, le thorium par exemple. D'autre part, si le procédé utilisé concentre les métaux lourds, il va peut-être concentrer le thorium.

L'usine de La Rochelle fonctionnait avec de la monazite, contenant beaucoup de thorium. Elle utilise maintenant du concentrât chinois, comprenant moins de thorium.

On ne peut pas faire disparaître le thorium, peu valorisable par ailleurs, ni sa radioactivité. Mais on peut faire de la bonne radioprotection. On peut conditionner, entourer les déchets de verre ou de ciment, ce qui permet de les stabiliser. Mais tout dépend de la quantité totale et du prix que l'on est prêt à payer pour ces opérations. Il faut que les éléments radioactifs soient confinés de manière stable et durable.

Des seuils réglementaires doivent par ailleurs être respectés.

Au départ, on trouve les ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement), qui peuvent éventuellement être des ICPE nucléaires comme il y a des ICPE chimiques. L'ICPE peut être simplement déclarée jusqu'à un certain niveau d'activité, mais elle doit être autorisée pour des quantités plus importantes. À partir d'un autre seuil, on passe dans le domaine radioactif à l'INB (installation nucléaire de base). On change de monde et toute la logique de la sûreté nucléaire s'applique, avec intervention de l'ASN.

3. Comment pourrait-on dépolluer les friches industrielles ?

Il y a en France des friches industrielles ou des friches minières qui peuvent être très polluantes. Elles sont souvent en déshérence. Peut-être du fait des difficultés de la collecte : il faudrait en retirer des matières valorisables, ce que commence à faire le CEA avec la région Languedoc Roussillon. La dépollution peut en effet s'opérer tout en co-valorisant les métaux présents.

On peut notamment faire précipiter des matières gênantes dans un effluent. Les précipités, une fois conditionnés, peuvent partir sur des sites d'entreposage existants si la filière de déchets est ouverte.

Les enjeux et les techniques du traitement des friches minières pourraient utilement être abordés lors de l'audition publique portant sur les effets des terres rares et des matières premières critiques et stratégiques sur l'environnement.

IV. LA RECHERCHE ET LA FORMATION EN TERRES RARES : IL EST NÉCESSAIRE D'AGIR

Quel est l'état actuel de la recherche ? Les moyens qui y sont consacrés sont-ils suffisants ? Dans quels domaines pourrait-on la stimuler ? Quels partenariats pourrait-on promouvoir, tant en France qu'avec l'étranger ?

Comment les futurs spécialistes des terres rares et plus globalement des matériaux critiques peuvent-ils se former ? Quels sont les besoins de formation ?

A. UN EFFORT MOINS EFFICACE QUE DANS LE PASSÉ

De manière générale, l'Europe faisait 50 % de la production d'articles scientifiques en métallurgie au début des années 90, en métallurgie extractive. Aujourd'hui, moins d'un tiers, la moitié étant désormais faite par la Chine.

M. Paul Caro estime qu'il y a de moins en moins de grands laboratoires de recherche sur les terres rares. Il rappelle qu'il y en avait en Russie, et qu'il y en a un aux États-Unis, à Ames dans l'Iowa. Il souligne qu'en France, le laboratoire des terres rares du CNRS n'existe plus et que le CNRS est beaucoup moins intéressé qu'autrefois, et qu'en conséquence il se passe très peu de choses en France.

Pour M. Michel Latroche, *« il y a des gens compétents en France sur les terres rares mais les compétences ont tendance à disparaître, car les chercheurs vieillissent. La recherche appliquée a disparu, comme le dit M. Caro sur la séparation des terres rares, mais ce n'est plus un sujet de recherche car les technologies sont connues »*.

B. LA RECHERCHE EST NÉANMOINS VIVANTE

1. Elle découle de l'activité de plusieurs laboratoires

Les travaux sur le terbium, l'erbium, l'ytterbium au CNET de Bagneux ont permis de trouver la transformation par les terres rares du signal infrarouge en signal visible.

Le CNRS et le CEA travaillent ensemble sur le prométhium, élément qui n'existe pas dans la nature, mais est un résidu de traitement dans les centrales nucléaires. Il est fluorescent, ce qui a eu des applications spatiales.

Le CNRS et le CEA travaillent aussi sur les procédés métallurgiques. Leurs travaux sont publiés et ont été scannés par l'ADEME pour le COMES.

Plusieurs laboratoires du CNRS travaillent sur les terres rares : l'Institut Néel à Grenoble (sur les supraconducteurs à haute température critique, le magnétisme, le stockage de l'hydrogène) ; l'Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement IRCELYON, l'Institut de chimie des milieux et des matériaux de Poitiers (IC2MP), l'Unité de catalyse et chimie du solide (UCCS) de Lille. D'autres laboratoires sont concernés.

La recherche de matériaux plus performants est une piste intéressante. Le recyclage des matériaux doit également être étudié. Il en est de même pour la recherche sur les solutions innovantes, les procédés de production innovants, les substituts, la diminution de la quantité de métaux rares dans les matériaux de catalyse, dans les matériaux de batteries, et dans les éoliennes.

2. L'exemple du laboratoire de Thiais en montre la diversité

Les grands axes de recherche du laboratoire de l'Institut de chimie et des matériaux de Paris Est à Thiais ont été présentés par M. Michel Latroche :

« Dans le domaine des terres rares, ces recherches portent sur les batteries, par le remplacement de terres rares stratégiques ; sur les alliages métalliques pour le nucléaire ; sur des composites oxyde-oxyde pour les turbines haute température ; sur les aimants permanents (qui vont jusqu'à des applications médicales, en association avec des biologistes pour travailler avec des nanoparticules pour éliminer les cellules par augmentation de la température de ces nanoparticules) ; sur la maladie d'Alzheimer, sur la maladie de Parkinson.

Ce laboratoire travaille avec l'Université de Créteil, le Centre hospitalier universitaire Henri Mondor, l'Institut de cancérologie Gustave Roussy, le laboratoire Croissance cellulaire, Réparation, et Régénération Tissulaire (CRRET), le CEA, la SAFT, l'ONERA et d'autres partenaires ».

C. DANS QUELS DOMAINES FAUDRAIT-IL DÉVELOPPER LA RECHERCHE ?

1. Quels sont les besoins en recherche fondamentale sur les terres rares ?

M. Paul Caro estime qu'on ne sait pas s'il y a un besoin de recherche fondamentale sur les terres rares. Il remarque que de grands solitaires ont fait des études fondamentales, notamment en théorie quantique et en mathématique avancée qui rend nécessaire l'utilisation d'ordinateurs très puissants. Il souligne que restent des problèmes pour spécialistes, liés à la séparation de niveau, mais que la situation est différente pour la recherche appliquée qui est active, notamment à Grenoble (laboratoire Louis Néel). Or le magnétisme des terres rares peut exiger des recherches appliquées.

D'autres personnes entendues estiment par contre que la recherche fondamentale est toujours nécessaire car la recherche appliquée en dépend étroitement.

2. Il faudrait susciter des recherches en toxicologie.

Pour M. Roland Masse, *« la toxicologie est faible en France. On ne la considère pas au niveau qu'il faudrait. On dépend des Anglais, des*

Américains, des Hollandais. Le CEA a fait pendant une certaine période la toxicologie. Ce n'est plus la tendance actuelle. La toxicologie n'est pas valorisée dans une carrière de chercheur, car les publications ne sont pas faites dans des revues à fort impact.

Les laboratoires potentiellement intéressés sont ceux concernés par l'enseignement de la toxicologie. Actuellement, on fait des études de toxicologie moléculaire. On ne sait plus faire l'intégration complète. Il n'y a pas de financement de LABEX en toxicologie, d'autant plus qu'au niveau européen, la tendance est à la diminution des expérimentations animales. Or on fait ces études toxicologiques sur les animaux.

Les grands laboratoires de toxicologie, en France, sont ceux liés à la recherche médicale, donc privés : Sanofi, Servier. Les essais toxicologiques sont en majorité sous-traités à l'étranger.

À titre de comparaison, « aux Pays-Bas, Bilthoven regroupe 5 000 personnes, en Angleterre BIBRA presque autant. Les Fraunhofer allemands font aussi une importante contribution ».

Afin de redévelopper la recherche du côté français, l'Académie des sciences a organisé plusieurs réunions. Elle a proposé de relancer l'enseignement de toxicologie. On a recréé un DEA national de toxicologie regroupant plusieurs universités, des unités de l'INSERM, de l'INRA et les Écoles vétérinaires ».

D. LES MOYENS CONSACRÉS À LA RECHERCHE SONT-ILS SUFFISANTS ? QUELS SONT LES FINANCEMENTS DISPONIBLES EN FRANCE ET EN EUROPE ?

1. Des financements insuffisamment visibles au niveau national

M. Michel Latroche souligne qu'« il n'y a pas de financement public direct sur les terres rares. Les financements sont indirects. Ils peuvent par exemple être liés au stockage de l'énergie ou au développement durable. Il n'y a pas forcément besoin de programmes spécifiques sur les terres rares car ce sont leurs applications qui sont importantes. Les sujets porteurs sont alors les matériaux pour l'énergie et pour l'environnement.

Un programme de recherche a été récemment financé par l'ANR sur les batteries Ni-MH avec pour objectif de diminuer la quantité de terres rares dans les batteries ou de les remplacer par des terres rares moins critiques ».

Des financements peuvent aussi être obtenus au titre des investissements d'avenir et des appels d'offre de l'ADEME.

2. Des financements de l'Union européenne qui sont surtout annoncés

Le financement peut venir des programmes européens qui portent sur les polymères nanostructurés (ITN Nano S3), les hydrures pour le stockage chimique ou électrochimique de l'énergie (ITN Écostore) et les membranes.

Il peut provenir des préappels à projet dans le cadre de l'Horizon 2020 qui comprend le premier programme de recherche de l'Union européenne consacré aux matières premières. Ce programme est doté de 600 millions d'euros sur sept ans. La procédure est toutefois longue : les premiers appels à projet ont été lancés. Les résultats sont actuellement évalués. Puis ils donneront lieu à négociation.

L'Union européenne encourage par ailleurs la recherche dans les mines profondes, terrestres ou marines, à condition de savoir quelles en sont les conséquences, et en veillant à l'environnement.

3. Faudrait-il créer des réseaux et des partenariats nouveaux ?

a. Certains réseaux sont déjà en place

Le CEA anime pour sa part un réseau académique qui permet d'écouter les industriels et de faire de leurs questions une réalité au niveau du laboratoire.

Des réseaux existent au niveau européen, comme le souligne Mme Anne de Guibert : « *La coopération européenne découle de l'activité de plusieurs associations européennes : SAFT fait ainsi partie de plusieurs*

associations au niveau européen, car cela lui permet d'unir ses forces avec celles d'autres organismes.

L'association Emiri a ainsi été créée par Umicore, pour défendre les intérêts des matériaux en énergie. Ses membres viennent du monde des batteries, des panneaux solaires, des polymères. En font partie les Fraunhofer, des finlandais, et pour la France SAFT et le CEA.

EASE est une autre de ces associations qui font du lobby.

Le réseau européen Alistore, fondé par J. M. Tarascon, permet aussi de se faire connaître. C'est un regroupement d'universitaires qui ne font pas de lobby. Un club d'une douzaine d'industriels y est associé (français, allemands, belge, anglais, espagnols). Sa gouvernance est assurée maintenant par M. Patrice Simon, professeur à l'université de Toulouse, spécialiste des super-condensateurs et par Mme Rosa Palacin, ingénieur matériaux, professeur à l'université de Barcelone.

Il y a aussi un autre réseau en France, le RSEE qui regroupe certains des mêmes laboratoires et industriels mais exclusivement français ».

L'Union européenne a créé, par ailleurs, un partenariat innovant dans le cadre de la stratégie matières premières entre industrie, recherche, universités, en essayant de voir comment associer financements européens et régionaux.

À la demande du Parlement européen, l'Union européenne a aussi mis en place un réseau consacré aux terres rares, dénommé ERECON (European Rare Earths competency Network). Le BRGM y participe. Son comité de pilotage regroupe des représentants de l'industrie, de la recherche, du monde académique. Ses trois groupes de travail portent sur le volet minier (quelles solutions technologiques pour le traitement ?), sur les facilitateurs de processus, sur les applications clés (aimants permanents, batteries), y compris sur le recyclage et la substitution. Une conférence sera organisée dans ce cadre à Milan le 13 octobre 2014.

b. D'autres coopérations pourraient être développées et soutenues.

Mme Anne de Guibert cite l'exemple allemand :

« L'Allemagne, qui n'a pas de terres rares, fait comme le Japon pour y accéder : elle noue des alliances. Son patronat a fondé à cette fin une société, la Rohstoff Allianz GMBH, qui regroupe des grandes sociétés allemandes pour faire des investissements à l'étranger. On trouve dans cette alliance Bosch, Volkswagen, Rockwood, Thyssen group, le Boston consulting group, Eisen Gesellschaft Sarre.

Au niveau européen, les industriels allemands jouent généralement tous seuls pour ces métaux, du fait de leurs réseaux et leurs filières.

Quelles alliances pourrait-on faire en France ? On pourrait faire une alliance (qui serait une société d'investissements) avec Total (sur le solaire), Arcelor Mittal, Renault, PSA, SAFT (qui est plus petit), Solvay, les éoliens (Vergnet). Mais pour l'instant il n'y a pas beaucoup de réactivité.

Les 34 plans industriels de M. Montebourg ne remplacent pas une telle alliance. »

E. QUEL TYPE DE RECHERCHE FAUT-IL CONSERVER ET DEVELOPPER EN FRANCE ET EN EUROPE ?

L'expérience de SAFT est intéressante. Cette société, qui possède des entreprises dans plusieurs pays, a fait le choix de faire sa recherche principalement en France, et notamment, selon l'expression de Mme de Guibert *« la vraie recherche, c'est-à-dire non dédiée à une application particulière : tous les fondamentaux des matériaux, des procédés, la connaissance, les équipements analytiques nécessaire »*.

Son centre de Bordeaux a une unité recherche qui emploie 50 personnes et une unité de développement d'éléments et de batteries (120 personnes), *« car il faut développer, faire des éléments, ce qui suppose d'avoir des mécaniciens, des thermiciens, des électroniciens. À Bordeaux, en développement, une équipe est dédiée à la chimie alcaline et une à la chimie lithium »*.

Elle a également un centre de recherche et développement aux États-Unis, dédié aux contrats militaires américains. SAFT est en effet le premier fournisseur de piles au lithium et y a plusieurs usines.

F. LA MISE EN PLACE DE NOUVELLES FORMATIONS EST-ELLE NÉCESSAIRE POUR SAUVEGARDER ET RETROUVER DES SAVOIR-FAIRE ?

1. Un constat alarmant

En France, un premier constat conduit à des conclusions sévères : comme le souligne M. Masse, il n'y a pratiquement plus de formations. Les écoles d'ingénieurs parlent des terres rares à l'intérieur d'autres disciplines. Cette question mérite d'être creusée.

Pour M. Michel Latroche, *« il n'y a pas actuellement de formation spécifique sur les terres rares. La formation a lieu dans le cadre de la formation générale sur la chimie des solides. Il y a par contre déjà un grand nombre de formations sur le volet matériaux. »*

S'il n'y a pas forcément besoin de mastère en terres rares, il faudrait des modules traitant spécifiquement des terres rares dans les formations de chimie des solides.

Par ailleurs, il n'y a pas suffisamment de gens formés dans le domaine de la métallurgie et sur les formulations d'alliages, spécifiquement en terres rares ».

Pour M. Guillaume Pitron, *« il y a un déficit de formation. Les chercheurs sont partis. Qu'en est-il pour les aimants, les ordinateurs, la recherche et développement, l'aval de la filière ? »*

Il y a une problématique de la perte de savoir-faire : On l'a perdu en France depuis 30 ans, parce qu'on a jugé que la géologie n'était pas intéressante. A-t-on les ingénieurs, les techniciens compétents pour faire des aimants ? Ne faudra-t-il pas une génération pour reconstituer une filière (les chinois ont mis 30 ans pour créer une filière) ? »

2. La vision de Saft

Pour Mme Anne de Guibert, la formation initiale permet à SAFT « de trouver des étudiants dans le domaine des matériaux, dans les écoles ou les universités. C'est plus difficile et plus tendu quand on veut recruter un électronicien ou un mécanicien, car la demande est plus forte.

Pour les terres rares, il faut un minimum de connaissances métallurgiques. Or il n'y a plus de grande école de métallurgie. Les Mines ne font plus de métallurgie. En plus, les terres rares sont d'une métallurgie particulière, car sont du métal en poudre.

Même en électrochimie, il reste peu de formations. L'École de chimie et de physique de Paris avait une bonne formation dans le passé et un laboratoire sur la séparation des terres rares par extraction liquide liquide.

SAFT forme donc les gens sur le tas ».

3. Où peut-on se former ?

Dans l'Union européenne, il y a quelques instituts vraiment spécialisés sur les mines, notamment en Autriche à l'université de Leoben, en Laponie suédoise à Lulea, en Allemagne à Freiberg et Aix-la-Chapelle, dans les écoles d'ingénieurs et à la Fraunhofer.

En France, il serait intéressant de dresser un état des lieux et de se demander quel rôle pourraient jouer les Écoles des Mines.

V. LA PROBLÉMATIQUE DES TERRES RARES REJOINT CELLE DES MATIÈRES PREMIÈRES STRATÉGIQUES ET CRITIQUES

Il ressort de nombreuses auditions qu'on ne peut pas s'intéresser aux métaux mineurs sans s'intéresser aux métaux majeurs car les gisements sont le plus souvent porteurs de majeurs et de mineurs.

Le recyclage, l'écoconception, la recherche de produits de substitution se posent en termes identiques pour les terres rares et les matériaux critiques

De nombreux thèmes sont communs aux terres rares et aux matières premières stratégiques ou critiques : ce caractère stratégique ou critique ; les risques de pénurie y afférant ; l'opportunité de mettre en place des stocks stratégiques ; l'organisation du recyclage ; la recherche de produits de substitution ; la généralisation souhaitée de l'écoconception et des analyses du cycle de vie ; de manière synthétique, la définition d'une nouvelle politique minière.

C'est pourquoi il serait préférable d'étendre l'étude de l'OPECST aux matières premières stratégiques ou critiques.

A. IL EST NECESSAIRE DE S'INTERESSER A LEUR CARACTERE STRATÉGIQUE ET CRITIQUE

1. Des concepts que pourrait reprendre l'étude de l'OPECST

a. Qu'entend-on par produit stratégique ?

Le terme stratégique fait référence à la défense nationale, un élément peut être très pertinent pour les applications militaires mais qui n'est pas essentiel dans les secteurs civils. Le CEA par exemple n'utilise pas le mot stratégique.

Le caractère stratégique d'une matière première n'est pas forcément lié à la disponibilité ou à l'approvisionnement de la ressource elle-même, surtout si elle n'est pas rare (ce qui est le cas pour la plupart des terres rares). Il peut par contre dépendre de la fourniture d'alliages, de la maîtrise des procédés, ou des fonctionnalités qu'elle permet.

Dans le cas des terres rares, il peut être lié à l'absence de métallurgistes capables de produire les aimants nécessaires aux téléphones portables ou aux éoliennes de grande puissance.

Pour M. Alain Liger, « *Le risque stratégique est le risque que le tissu industriel se retrouve en situation de rupture d'approvisionnement et soit dans l'obligation de cesser sa production ; on peut ajouter le risque que, dans cette situation, des concurrents (autres fabricants de biens) qui seraient, eux, toujours alimentés, prennent les parts de marché correspondantes de manière pérenne.*

Les terres rares sont des inputs de tout un ensemble de biens, mais, pour les incorporer, il faut les extraire du minerai, puis les séparer les unes des autres, fabriquer les produits intermédiaires puis les incorporer. Par exemple, les téléphones portables, les éoliennes de grande puissance et les automobiles contiennent des terres rares (néodyme et dysprosium) dans des aimants ; ces terres rares sont dans des alliages. L'industrie « aval » est donc dépendante certes du risque de contrôle des gisements miniers, mais aussi du degré de contrôle de la technologie de fabrication des alliages à haute conductivité, puis des aimants eux-mêmes. La dépendance ne concerne pas seulement les minerais, mais toute la chaîne des technologies dans un écosystème complexe.

Par exemple, Rhodia sait séparer les différentes terres rares les unes des autres, mais ne fabrique ni les alliages ni les aimants. Le nombre de métallurgistes disposant de la capacité de fabriquer des alliages à haute conductivité est très limité (Japon, Chine).

Les terres rares sont rarement des composants principaux des produits qu'on fabrique. Mais elles sont stratégiques car elles apportent une fonctionnalité irremplaçable ».

Pour M. Didier Julienne, « *un métal stratégique s'éloigne de critères géologiques ou bien de marché et répond à des ambitions politiques essentielles de l'État* » (définition indiquée dans la lettre d'information de

l'intelligence économique des Ministères économiques et financiers de mai 2014).

Les métaux dits stratégiques n'ont ainsi plus rien à voir avec la géologie, mais avec la politique de l'État : en Chine, l'acier est stratégique du fait des besoins liés à l'urbanisation, et le cuivre à cause de l'impérieux développement des infrastructures électriques. Ce n'est plus le cas en France où seul l'uranium est considéré comme matière stratégique.

b. Qu'entend-on par produit critique ?

Le terme critique est utilisé par la Commission européenne pour désigner des produits nécessaires à l'approvisionnement des industries *high tech*, et qui font au moins l'objet d'un oligopole caractérisé par la présence de deux ou trois producteurs qui représentent ensemble 80 % de la production mondiale.

Pour M. Alain Liger, « *les métaux / matériaux critiques sont tous différents et chacun répond à une problématique minière, métallurgique et industrielle différente, et à des usages différents.*

La notion de criticité est un paramètre ambigu et sujet à appréciation, en particulier en termes temporels. Certains métaux/substances sont critiques dans la situation actuelle de leurs usages et de leur marché, mais, si l'on regarde à 30 ans ou 50 ans, d'autres peuvent le devenir ; en effet, le développement des pays émergents, l'électrification de leurs campagnes, la croissance des besoins en logement dans leurs villes et l'élévation du confort de leurs habitants impliquent des besoins en métaux croissants ».

Pour M. Didier Julienne, un métal critique est un métal qui « *connaît des risques élevés de déficit, sans percées scientifiques permettant une substitution.*

Un métal sera critique dans une industrie mais pas dans une autre et cette classification est hautement évolutive avec le temps ».

Un métal critique est un métal pour lequel il y a pénurie, soit organisée pour des raisons politiques, soit naturelle, pour des causes géologiques. Il y a alors un emballement de la demande à laquelle l'offre ne

peut pas répondre. C'est le cas du néodyme, du dysprosium, du praséodyme utilisés dans les aimants permanents.

Dans un téléphone portable, il y en a quelques grammes, dans une éolienne, 600 kg. La situation est critique car la demande s'est emballée ou va s'emballer.

Mais parfois, les métaux critiques deviennent stratégiques, et là il y a un problème. Si on développe les éoliennes en mer, le minerai (une terre rare en l'occurrence) devient stratégique alors qu'il était déjà critique.

Quand on définit une politique de l'État, il faut se demander si cette politique va avoir un impact sur les matières premières. Les terres rares vont diminuer la dépendance en hydrocarbures, mais vont nous faire rentrer dans une dépendance en métaux stratégiques.

Pour cerner l'ensemble des problèmes, il est donc souhaitable de s'intéresser aux matières premières stratégiques et critiques.

2. Une approche permettant de prendre en compte la classification de l'Union européenne

Les terres rares, qui relèvent de l'initiative matières premières de l'Union européenne, apparaissent dans sa liste des matières premières critiques.

Une telle liste a été établie en 2008 puis actualisée en 2011 et en 2014, dans le but d'analyser l'importance économique de chacune, le risque portant sur l'offre (notamment géopolitique) et les possibilités de recyclage et de substitution.

14 matières critiques, puis 20 ont été ainsi retenues. Les terres rares, qui en font partie, étaient considérées globalement dans la première liste. La liste révisée distingue les terres rares lourdes et légères. Il est probable que les listes révisées dans le futur permettront d'être plus spécifique.

Les minerais critiques sont tous différents et ont une problématique différente. Au-delà des terres rares, on trouve dans cette liste révisée de manière régulière :

- des produits utiles à l'électronique : Gallium, germanium, tellure, tantale, sélénium ;

- des métaux servant à des alliages spéciaux, comme le tungstène, le molybdène, le cobalt ;

- des métaux du groupe du platine (platine, palladium, rhodium), qui sont des catalyseurs ou des agents de catalyse ;

- le charbon à coke ;

- le béryllium, petit métal très spécifique produit dans une seule mine aux États-Unis et qui a des usages dans l'électronique pour les contacteurs, dans le nucléaire et le secteur de la défense.

M. Alain Liger remarque que *« ni le cuivre ni l'aluminium ni zinc ne figurent dans la liste européenne. Ils ont des sources minières diversifiées dans le monde, les techniques métallurgiques sont bien connues et maîtrisées par de nombreux acteurs industriels. Mais, vu les besoins croissants, on pourrait se poser la question de leur caractère critique à un terme décennal ou pluri-décennal. »*

Signalons enfin que le contrôle de la chaîne métallurgique (les situations où la technique de production est maîtrisée par peu d'acteurs, comme pour les alliages pour les aimants à fort potentiel magnétiques, qui permettent de miniaturiser les aimants et les moteurs) ne fait pas partie des critères de criticité de l'analyse de la Commission européenne; celle-ci envisage de réviser ces critères lors de sa prochaine révision ».

Cette initiative matières premières de l'Union européenne, qui vise toutes les matières premières non agricoles et non énergétiques, comporte trois piliers qui permettent de travailler sur l'ensemble de la chaîne de valeur, de l'extraction à la production, au recyclage, à la substitution.

Le premier pilier porte sur l'accès aux matières premières à l'extérieur de l'Union (politique de développement, politique commerciale, politique de dialogue). La problématique matières premières est maintenant systématiquement prise en compte dans les accords commerciaux et lors des adhésions à l'OMC.

Le deuxième pilier concerne l'accès au sein de l'Union, ce qui concerne les codes miniers, mais aussi les compétences de l'Union européenne et de ses États membres. La Commission qui a peu de compétences dans ce domaine peut poser des questions et amener les États membres à réfléchir à leurs propres pratiques.

Le troisième pilier définit une approche reposant sur une utilisation efficace, le recyclage, la substitution.

B. QUEL EST LE RISQUE DE PÉNURIE ? QUEL EST LE RISQUE STRATÉGIQUE ?

1. Pour les terres rares

Les terres rares sont relativement abondantes. Il y en a pratiquement partout.

Pour M. Michel Latroche, « *les terres rares sont très abondantes sur terre; il n'y a donc pas de problème de ressources. L'intérêt stratégique n'est pas sur l'approvisionnement, mais sur la fourniture d'alliages, ou la maîtrise des procédés* ».

Le problème n'est pas une pénurie physique, mais l'obligation de s'approvisionner à l'étranger et majoritairement dans un seul pays. L'important est alors d'évaluer le risque-pays. Le risque est actuellement modéré lorsqu'il s'agit du Japon.

SAFT, grand consommateur de terres rares, commande ainsi ses alliages au Japon, car il n'y a pas de fournisseurs en Europe qui offrent des produits de même qualité. Les Japonais ont par ailleurs une meilleure maîtrise technologique pour les matériaux de batteries, pour les compositions des alliages, pour les microstructures (morphologie des poudres). Or il importe à SAFT de pouvoir proposer des ajustements très

fins des compositions des alliages nécessaires à ses batteries pour répondre au cahier des charges de ses clients.

Comme le souligne M. Michel Latroche « *les centres de recherche de certains industriels (comme Renault ou le CEA), qui voulaient développer des démonstrateurs sur la base de 10 à 50 kg d'alliage, n'ont pas pu s'approvisionner avec des alliages de bonne qualité en Europe* ». Ils se sont alors tournés vers Santoku, une société japonaise qui les produit.

Quel est le risque de pénurie pour la France ? Ce thème mérite d'être étudié.

2. Pour les matières premières non agricoles et non énergétiques

En Europe de l'Ouest, il n'y a plus de métaux. La Chine contrôle tout le tungstène. La Bolivie contrôle 50 % des ressources de lithium, le Kivu le tantale.

Un tableau, présenté par M. Maurice Leroy, pose le problème d'une pénurie annoncée. Il suscite la réflexion, même si un débat existe sur la fiabilité de ces prévisions. Il serait intéressant de lancer publiquement ce débat lors d'une audition publique.

ÉLÉMENTS DONT LA PÉNURIE EST ANNONCÉE DANS LES 100 ANS À VENIR

Élément	Ans	Localisation	Utilisation
Cadmium	70	Réparti	Anticorrosion, batteries
Cuivre	35	Chili, Pérou,...	Conducteurs, éoliennes, photovoltaïque
Cobalt	100	Congo, Australie	Portables, ordis, véhicules hybrides, aimants
Germanium	10	Avec Zinc	Photovoltaïque, fibres optiques, ...
Hafnium	20	Australie, Afrique du Sud	Nucléaire, micro-électronique
Indium	13	Avec Zinc	Puces électroniques, écrans LCD
Lithium	?	Bolivie, Chili	Piles, batteries, alliages légers, ...
Plomb	25	Australie, Chine, États-Unis	Accumulateurs, munitions, ...
Nickel	90	Australie, Cuba, ...	Aciers inox, batteries, aimants, ...
Zinc	45	Chine, Pérou, États-Unis	Galvanisation, pièces moulées

Mais, comme le souligne M. Christian Hocquard : « *bien que l'histoire des métaux rares soit jalonnée de crises, on s'aperçoit que les vraies pénuries sont rarissimes ; la plus connue étant celle du tantale associée au boom des téléphones portables de l'année 2000. Quant aux crises de prix, elles ne durent jamais plus d'un an ou deux au maximum* ».

C. FAUT-IL METTRE EN PLACE DES STOCKS STRATEGIQUES ?

Pour M. Alain Liger, « *La constitution de stocks stratégiques suppose de répondre à plusieurs questions comme : connaître les besoins (or le chiffrage des besoins stratégiques de l'industrie française n'est pas disponible avec précision) ; savoir quels produits stocker (pour en revenir aux terres rares : faut-il stocker du métal, des oxydes, des alliages, des aimants ?) ; savoir de quel événement on veut se prémunir (une interdiction des exportations de la part de la Chine qui durera trois ans ? Dans un tel cas, il faudra tenir sur la durée. Une hausse de cours ? On sait qu'on peut la passer si elle est limitée dans le temps.)*

Comment gèrera-t-on la réalisation de l'événement ? Dans quelles conditions débloquera-t-on les stocks ? Qui servira-t-on ? À quel prix ? À quel rythme ? Qui les financera ? Les industriels ? L'État ? (Par exemple, il y a un seul industriel de terres rares en France avec quelques centaines d'emplois ; l'État est-il responsable de faire et financer un stockage stratégique ?)

De plus, les réponses à ces questions compliquées doivent rester confidentielles ».

D. QUE PEUT-ON ATTENDRE DU DÉBAT À L'OMC ?

Le 26 mars 2014, un panel de l'OMC a rendu de premières conclusions à la suite d'une plainte de l'Union européenne et du Japon sur les quotas et les taxes à l'exportation. Ces conclusions sont favorables aux plaignants, car selon les règles de l'OMC, un pays peut décider de réduire sa production, mais pas ses échanges internationaux de produits existants. La production des matières premières peut être contrôlée, mais pas leur commerce. En outre la Chine a accepté que les dérogations habituellement consentis aux pays en développement ne la concernent pas dans ce domaine

(un PVD peut appliquer des taxes à l'exportation mais ne peut pas faire de restrictions quantitatives).

La Chine répond à l'OMC qu'elle a un problème environnemental, dû principalement aux mines illégales qui coexistent avec des mines légales. Les chinois montrent des photos de montagnes qui s'écroulent du fait des solvants, parlent de la pollution des eaux et déclarent qu'ils vont s'y attaquer en pourchassant les mines illégales.

Que va-t-il en résulter ? La Chine va sans doute rester dominante sur le marché. Mais ses pratiques sont mises en cause de plus en plus, tant au niveau international qu'à l'intérieur même de ce pays.

Ce sujet mériterait d'être étudié.

E. L'ORGANISATION DU RECYCLAGE

Cette organisation passe d'abord par la collecte, et la mise en place de stimulants permettant de la développer ; puis par le retraitement des produits usagers ou des déchets.

Il serait intéressant d'entendre les acteurs du recyclage : Eramet, présent sur toute la chaîne de la valeur, Solvay Terres rares, les recycleurs français (Derichebourg, Veolia, Sita, Sarp-Industrie pour les batteries) qui viennent, pour l'essentiel, du secteur du traitement des métaux dangereux ; Umicore, le grand spécialiste du recyclage qui est belge ; mais aussi les industriels, tel Renault, en les interrogeant sur la manière dont ils perçoivent le recyclage et s'ils le prennent en compte en faisant une analyse du cycle de vie et de l'écoconception. Il faut en outre réfléchir à la manière dont on pourrait améliorer la participation des citoyens à la collecte des biens à recycler.

Il faudra étudier les techniques de recyclage et leurs effets attendus.

F. LA RECHERCHE DE PRODUITS DE SUBSTITUTION

C'est l'objet de nombreuses études.

Leur résultat est parfois surprenant. C'est ainsi que certains prévoient une pénurie du dysprosium en cas de développement important des grandes éoliennes (une éolienne nécessite 600 kg de dysprosium par Mégawatt/heure d'énergie).

Les projets ambitieux de développement d'éoliennes se heurtaient à l'insuffisance quantitative de cette terre rare, qui, contrairement à beaucoup d'autres, est véritablement rare.

Or Siemens vient d'annoncer avoir trouvé une nouvelle technologie de conception des éoliennes qui ne nécessitera plus de dysprosium. Si cette technologie se répand, le marché de ce produit va en être transformé.

G. ECOCONCEPTION, ANALYSE DU CYCLE DE VIE ET ECONOMIE CIRCULAIRE

Un exemple montre les enjeux de ce changement d'approche : le recyclage des téléphones portables est techniquement réalisable, mais est rendu compliqué par l'utilisation de colle et de résines dans leur fabrication qui rendent beaucoup plus complexe leur retraitement.

Une autre manière de concevoir ce type de produit est possible, en réfléchissant dès le départ à la manière dont il sera recyclé. Mais cela pose la question de l'intérêt des industriels pour ce genre de pratique. Les industriels sont-ils prêts à raisonner en termes d'approche globale, d'écoconception d'analyse de cycle de vie, de puits à la roue ? Le débat mérite d'être lancé.

Il faudrait changer de paradigme, et avoir une approche plus circulaire, plus globale allant de la prospection au recyclage via l'écoconception.

Pour M. Benoît de Guillebon, « *Le problème des métaux est à multiples facettes : des ressources finies, un coût énergétique croissant, des aspects géopolitiques...* »

Cela montre la nécessité d'une réflexion globale sur notre système, en termes d'économie circulaire, de circuits courts. Il faut une réflexion systémique et ne pas se précipiter sur des solutions technologiques « miracles ».

La transition énergétique passera par l'éolien. Or pour faire de l'éolien, il faut du néodyme. Plus on va faire d'éoliennes, plus on aura besoin de néodyme, plus nous serons dépendants de la Chine.

Une autre question à se poser, c'est la fuite en avant technologique, A-t-on besoin d'avoir des technologies de plus en plus performantes ? Faut-il tant se précipiter, notamment en utilisant l'indium dans les panneaux photovoltaïques alors qu'il n'y en a que pour dix ans de réserves de ce métal? A-t-on besoin de gagner quelques points de rendement ? Ne vaudrait-il pas mieux utiliser des technologies plus « low tech », mais qui sont plus robustes et nous rendent moins dépendants ?

Il y a aussi des limites au recyclage. Tant qu'il y a une augmentation forte de la consommation (plus de 3 % par an depuis 50 ans), le recyclage a une efficacité marginale.

N'est-on pas souvent en train de « panser une plaie », alors qu'il faut raisonner en termes de diminution de la consommation et pas seulement de recyclage ?

Il faut raisonner en termes de sobriété, d'écoconception, de réduction de la consommation ».

Ces questions sont étudiées par l'APESA, centre technologique en environnement et maîtrise des risques, qui s'intéresse à l'écoconception et à la manière d'intégrer les enjeux environnementaux dans la vie de l'entreprise.

H. LA DÉFINITION D'UNE NOUVELLE POLITIQUE MINIERE

Il faut partir de l'identification de la ressource et de l'extraction. Mais il faut aussi s'intéresser à la sécurisation de la ressource et des procédés, ce qui nécessite d'engager une action internationale très volontariste.

Un projet minier est actuellement en cours de définition par le ministère du redressement productif. Une audition publique permettra de participer au débat sur son élaboration et sa mise en œuvre.

1. La relance de la prospection

Le sous-sol français est méconnu, et le nombre de géologues décline. Il n'y a pratiquement plus de mines en activité depuis plus de dix ans. L'économie de la métallurgie a fortement décliné, alors qu'elle était forte. Les moyens du BRGM sont insuffisants si l'on souhaite mener une politique ambitieuse.

On ne connaît pas l'horizon géologique sous les 100 mètres, alors qu'en Pologne, dans le cuivre, on descend à 1 200 mètres.

Il y a des particules de terres rares, de l'euporium entre Rennes et Nantes. On a des indices. Mais ils ne seront pas confirmés tant qu'on n'aura pas fait une campagne d'exploration. Une telle campagne aujourd'hui n'est plus ce qu'on faisait il y a 50 ans. Cela suppose des moyens.

La France pourrait avoir des atouts non soupçonnés, ce que soulignent M. Guillaume Pitron, et M. Patrice Christmann, du BRGM.

Mais si la France n'a pratiquement plus de mines, ERAMIN est présidé par un Français. Cela ne l'empêche donc pas de jouer un rôle au plan européen.

2. La définition d'une nouvelle approche de l'exploitation des mines, tant en France qu'à l'étranger

a. Peut-on relancer une production minière ?

Selon M. Alain Liger, on importe actuellement « 100 % de l'aluminium et du cuivre en France, où il n'y a pas de mines de cuivre et de bauxite. Plus généralement, mis à part le nickel de la Nouvelle Calédonie et le cobalt qui y est contenu, également l'or de Guyane, il n'y a plus de production métallique en France depuis vingt ans ».

Faut-il dans ces conditions relancer une production minière, en sachant qu'il ne suffit pas de connaître des gisements ? Encore faut-il qu'ils soient exploitables, c'est-à-dire assez concentrés pour que leur mise en valeur puisse être rentable.

b. Dans quelles conditions devrait-on le faire ?

Comment exploiter des mines sans porter atteinte à l'environnement et à la santé publique ? Comment relancer la production minière en offrant des salaires décents ?

La tâche n'est pas impossible, comme le montrent les exemples du Canada, de la Suède et de la Finlande.

Ces trois pays ont des exigences proches des nôtres. Or ils ont réussi à relancer une production minière, dans des conditions parfois inhabituelles.

C'est le cas de la Finlande et de la Suède qui exploitent des mines en dessous de 1 000 mètres et qui installent des installations en profondeur, ce qui facilite l'acceptation publique de ces activités.

On peut aussi gérer l'après mines, comme en Allemagne. Cela fait partie des bonnes pratiques.

Ces exemples mériteraient d'être étudiés avec soin.

3. La sécurisation de la ressource et des procédés grâce à une nouvelle approche de l'action internationale

Il est possible d'utiliser mieux les opportunités qui s'offrent à l'international, si l'on tire mieux parti des accords internationaux passés par l'Union européenne ; si l'on développe de manière plus active les coopérations entre laboratoires de recherche, si l'État développe davantage sa diplomatie économique.

a. Comment pourrait-on mieux tirer parti des accords internationaux passé par l'Union européenne ?

L'Union européenne a en effet engagé un dialogue avec plusieurs pays : avec les États-Unis et le Japon sur la recherche d'alternatives aux terres rares (des projets conjoints de recherche ont été lancés avec le Japon) ; avec des pays riches en ressources tels que le Chili, à qui l'Union européenne apporte son expérience sur la sécurité minière et le recyclage.

Elle utilise également le cadre de l'OCDE pour travailler en amont sur l'intérêt d'une politique plus ouverte et celui de l'Union africaine pour aborder les questions de gouvernance, de taxes, d'investissements en infrastructures et de connaissance.

b. Comment pourrait-on développer les coopérations entre les laboratoires de recherche dans l'Union européenne ? Quelles initiatives pourrait-on lancer dans le cadre franco-allemand ?

Ces deux questions mériteraient d'être traitées dans le cadre d'une audition publique.

c. L'État doit-il développer davantage sa diplomatie économique ?

Les dirigeants allemands interviennent. Mme Merkel est allée elle-même signer un contrat au Kazakhstan, pays très riche en métaux.

Le Canada accompagne ses sociétés minières qui investissent en Afrique ou en Amérique du Sud. Le Japon fait de même sur ces deux zones et en Asie.

Que fait exactement la France ? Des initiatives sont régulièrement prises pour amener les français à investir dans d'autres pays, et accompagner les entreprises françaises dans leur action internationale. Mais ne faudrait-il pas être plus ambitieux ? Ce pourrait être un thème abordé lors de la même audition publique.

4. Le projet du ministère du redressement productif

Ce projet comprend plusieurs volets, et notamment une réforme du Code minier et la création d'une Compagnie nationale minière.

La réforme du code minier n'a pas encore été soumise à discussion parlementaire. Permettra-t-elle de relancer une exploitation minière en France ? Ce n'est pas évident.

Un débat pourrait utilement être organisé sur ces thèmes avec les acteurs français de la voie minière (Eramet, Areva), de la prospection – le BRGM –, de l'exploitation (Variscan Mines), et les utilisateurs (Solvay, mais aussi les utilisateurs finaux tels Renault).

CONCLUSION

Il est souhaitable que l'OPECST donne suite à la saisine de la Commission des affaires économiques du Sénat, mais en l'étendant aux matières premières stratégiques ou critiques. Le titre de l'étude serait ainsi : « *Les terres rares et les matières premières stratégiques et critiques* ».

PROGRAMME DE TRAVAIL

A. AUDITIONS DES RAPPORTEURS ET AUDITIONS PUBLIQUES

Les rapporteurs ont déjà entendu plusieurs acteurs du secteur lors de leur étude de faisabilité. Ces auditions seront poursuivies. Elles pourraient inclure une rencontre avec le Haut-commissaire du CEA qui est métallurgiste.

Trois auditions publiques pourraient être organisées :

↳ La première sur l'impact des terres rares et des minerais sur la santé et l'environnement

Elle aurait comme objectif d'analyser les risques liés à la radioactivité, à l'extraction, à la séparation et à la purification des terres rares, et d'appréhender leurs effets sur la santé et l'environnement.

Elle permettrait aussi de s'interroger sur les réponses possibles à ces risques au niveau français, européen et international, et l'effort de recherche et de formation qui en découlera.

Elle serait organisée en faisant dialoguer plusieurs acteurs :

Dans le domaine de la santé : l'Anses, l'ANRS et l'INRS, la division sciences du vivant du CEA, l'Inserm, l'Avicene, Sanofi, Servier, les responsables du DEA de toxicologie de Paris VI, l'École vétérinaire de Toulouse, l'InVS, le CNRS, le laboratoire Louis Néel de Grenoble.

Dans le domaine de l'environnement : le CEA, la Fondation Nicolas Hulot, le CNRS, plusieurs universités, l'ANRS, l'INRS, l'ASN, l'Andra, la CNE.

↳ La deuxième sur la mise en place d'une stratégie industrielle portant sur les terres rares et les minerais critiques ou stratégiques

Elle permettrait de préciser les contours d'une relance de la politique minière et de la mise en place d'une véritable filière pour les matériaux critiques. En essayant de mieux mesurer l'ampleur des besoins stratégiques et économiques auxquels il faut répondre. En précisant les choix fondamentaux préalables à toute politique nouvelle. En réfléchissant aux réformes envisageables.

Elle permettrait de faire dialoguer plusieurs acteurs : Le ministère des affaires étrangères, le ministère du redressement productif, le ministère de l'écologie, la DG Trésor, le COMES, la Commission européenne, Solvay, Lynas, le BRGM, le CEA, le CNRS et des universités.

↳ La troisième sur l'action internationale et le fonctionnement du marché des matières premières critiques et stratégiques

Une table ronde sur les objectifs et les outils de la coopération internationale permettrait de débattre de la coopération franco-allemande et la coopération européenne en matière de formation et de recherche sur les matières premières critiques ou stratégiques.

Elle réunirait des universitaires, des chercheurs, des conseillers scientifiques auprès des ambassades, le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, le ministère du redressement productif, le ministère de l'environnement.

Elle permettrait ainsi de contribuer à la création de liens plus serrés entre universités et instituts de recherche, d'une part entre la France et l'Allemagne, d'autre part au sein de l'Espace économique européen.

La deuxième table ronde sur le fonctionnement et l'organisation du marché serait l'occasion d'une réflexion sur la spéculation et le négoce.

B. TABLES RONDES ET VISITES SUR LE TERRAIN

↳ À Paris, au COMES, pour rencontrer des représentants de ses forums d'échange qui regroupent l'industrie métallurgique, des consommateurs, les industries électronique, automobile, aéronautique, le ministère du redressement productif (direction de la compétitivité), le ministère de l'énergie, le ministère des affaires étrangères, le ministère de la défense.

Ce serait l'occasion de dialoguer avec des industriels (Eramet, Solvay, Airbus, Rhodia), des ministères, l'ADEME et le CEA.

On pourrait s'intéresser à l'importance de la stratégie des industriels par rapport à la stratégie de l'État pour sécuriser les sources d'approvisionnement (ce qui concerne Solvay), et à la manière dont la diplomatie économique pourrait trouver le moyen d'intégrer les industriels.

↳ À Thiais et à Orléans, au BRGM, pour visiter le laboratoire de l'Institut de chimie et des matériaux de Paris Est spécialisé dans les terres rares, et pour débattre de la relance de la prospection minière et du développement d'une politique minière aux niveaux français et européen.

↳ À La Rochelle, à l'usine de Solvay de séparation et de purification des terres rares, pour étudier d'une part la manière dont les déchets issus de la monazite sont gérés, d'autre part pour étudier les techniques de séparation et pour débattre de la stratégie de l'entreprise.

↳ À Sandouville, à l'usine d'Eramet où est traité le minerai.

↳ À Marcoule, au CEA et à l'IEH.

Cette mission à Marcoule permettrait d'avoir des contacts avec les acteurs économiques locaux et régionaux. Ce serait l'occasion d'appréhender le rôle de la chimie extractive dans le site du combustible et de la chimie séparative hors nucléaire. On pourrait voir dans le laboratoire Atalante et Chimène des dispositifs de génie chimique adaptés à l'extraction des métaux par solvant, notamment en colonnes pulsées. On pourrait visiter l'ICSM : institut de chimie séparative de recherche (recherche en amont).

C. MISSIONS À L'ÉTRANGER

↳ Au Japon, qui est le pays qui a été le plus concerné par l'absence de terres rares et plus généralement de minerais. Ce pays a aussi fait un effort de recherche important sur le recyclage et les produits de substitution. Il a enfin une réflexion avancée sur l'économie circulaire, l'écoconception et la gestion des déchets.

Cette mission permettrait d'étudier la politique mise en place par l'État et les grandes entreprises pour compenser ce désavantage ; et de débattre avec es chercheurs sur les possibilités de recyclage et de substitution.

↳ En Chine (mission couplée avec le Japon) pour visiter des laboratoires de recherche et rencontrer les responsables de la mise en place d'une politique minière plus soucieuse de l'environnement et de la santé, et de l'évolution du marché des matières premières critiques.

↳ En Allemagne, à Hambourg, pour visiter un gros site de production de cuivre, et à Berlin, pour préparer la table ronde sur la coopération franco-allemande. Cette mission permettrait également de rencontrer Siemens et les Fraunhofer.

↳ En Belgique, pour visiter l'usine de recyclage d'Umicore (à Hoboken).

↳ En Suède et en Finlande, deux pays qui exploitent des mines à grande profondeur dans des conditions sociales, sanitaires et environnementales acceptables

La Suède a un projet de terres rares lourdes, ce qui est exceptionnel en Europe. Sa recherche sur ce thème mérite d'être approfondie.

Son centre de recherche de Luléa a des activités importantes sur l'industrie du cuivre. La mine d'Aitik à 250 km, est l'une des plus grandes mines à ciel ouvert d'Europe.

La mine de Pyhäsalmi, en Finlande est la mine la plus profonde d'Europe (Zinc et Cuivre). C'est un exemple de mine combinant salaires décents, respect de la santé et de l'environnement, et acceptabilité publique.

ANNEXE : PERSONNES ENTENDUES PAR LES RAPPORTEURS

• Mercredi 7 mai 2014

- M. Paul CARO, membre de l'Académie des technologies, ancien sous-directeur du Laboratoire des terres rares du CNRS ;

- M. Christian HOCQUARD, service des ressources minérales, BRGM.

• Jeudi 15 mai 2014

- M. Roland MASSE, toxicologue, membre de l'Académie des technologies et de l'Académie de médecine ;

- M. Michel LATROCHE, directeur de recherche au CNRS (Institut de chimie et des matériaux de Paris-Est) ;

- M. Benoît de GUILLEBON, directeur de l'APESA, centre technologique en environnement et maîtrise des risques, co-auteur de « Quel futur pour les métaux ? » ;

- M. Guillaume PITRON, journaliste, membre de Global Links.

• Mercredi 21 mai 2014

- M. Gwenole COZIGOU, DG Entreprise et Industrie de la Commission européenne, *Directorate F: Resources Based, Manufacturing and Consumer Goods Industries* ;

- MM. Gilles BORDIER, directeur-adjoint du centre de Marcoule du CEA en charge des activités scientifiques ; Frédéric GOETTMAN, chef du projet IEH (Institut Européen d'Hydrométallurgie) du CEA, Jean-Pierre VIGOUROUX, chef du service des affaires publiques du CEA, chargé des relations avec le Parlement.

• **Mercredi 4 juin 2014**

- M. Alain LIGER, ingénieur général des Mines, secrétaire général du Comité pour les métaux stratégiques – COMES ;

- M. Didier JULIENNE, spécialiste des métaux stratégiques.

• **Mercredi 18 juin 2014**

- Mme Anne de GUIBERT, directeur de la recherche de SAFT.

• **Jeudi 19 juin 2014**

- M. Michel CATHELINEAU, Université de Lorraine, UMR géo-ressources, directeur de recherche CNRS, directeur scientifique du CREGU et Labex Ressources 21.

• **Mercredi 25 juin 2014**

- M. Maurice LEROY, professeur émérite à l'École européenne de chimie, polymères et matériaux de Strasbourg, membre associé de l'Académie Nationale de Pharmacie.

- M. Alain GELDRON, expert national Matières premières, ADEME, direction Consommation durable et déchets (DCDD).

• **Jeudi 26 juin 2014**

- M. Frédéric CARENCOTTE, directeur des opérations de *Rare Earth Systems Solvay*.

- M. Patrice CHRISTMANN, directeur adjoint, direction de la Stratégie - direction Scientifique et de la Production du BRGM.

