



**MINISTÈRE
DES ARMÉES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ANNALES DU CONCOURS

Accès au corps des attachés
de la DGSE

Épreuve d'admissibilité :
note de synthèse



Session 2025



**MINISTÈRE
DES ARMÉES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



1^{ère} épreuve d'admissibilité

Note de synthèse

Épreuve consistant en la rédaction d'une note de synthèse établie à partir d'un dossier portant sur un sujet économique, politique, de relations internationales ou de société et pouvant comporter des graphiques et des données chiffrées de trente pages maximum permettant de vérifier les qualités d'expression, d'analyse et de synthèse du candidat, ainsi que son aptitude à dégager des conclusions et à formuler des propositions.



Durée : 4 heures - coefficient 5

**CONCOURS EXTERNE
POUR L'ACCÈS AU CORPS DES ATTACHÉS**

SESSION 2025

Epreuve d'admissibilité :

Note de synthèse

Épreuve consistant en la rédaction d'une note de synthèse établie à partir d'un dossier portant sur un sujet économique, politique, de relations internationales ou de société et pouvant comporter des graphiques et des données chiffrées de trente pages au *maximum* permettant de vérifier les qualités d'expression, d'analyse et de synthèse du candidat, ainsi que son aptitude à dégager des conclusions et à formuler des propositions.

Durée : 4 heures ; coefficient 5

Barème :

Une attention particulière sera portée sur la qualité rédactionnelle (syntaxe, structuration, orthographe).

Sujet :

A partir du dossier joint, vous rédigerez une note de synthèse sur l'enjeu stratégique des terres rares dans la diplomatie.

SOMMAIRE

Document 1 (page 1)

La géopolitique des terres rares : enjeux et jeux d'influence en « méditerranée »

Source : Near East South Asia Center Alumni Publication - Dr. Arslan Chikhaoui - 20 Juin 2023

Document 2 (page 7)

Le marché des terres rares en 2022 : filières d'approvisionnement en aimants permanents

Source : MineralInfo - 4 juillet 2022

Document 3 (page 16)

Les terres rares

Source : Eduterre - Nathalie Pajon-Perrault - 21 juin 2024

Document 4 (page 23)

Terres rares : quels enjeux pour la France et l'Europe ?

Source : vie publique.fr - 19 mai 2023

Document 5 (page 28)

La bataille des minerais critiques bat son plein

Source : Conflits N° 53 - Eugène Berg - septembre 2024

DOCUMENT 1

LA GEOPOLITIQUE DES TERRES RARES : ENJEUX ET JEUX D'INFLUENCE EN MEDITERRAFRIQUE

20 Juin 2023 - NESACenter Alumni Publication - Dr. Arslan Chikhaoui

Expert en Géopolitique et membre, du Conseil Consultatif d'Experts du World Economic Forum et est partie prenante dans divers Task Forces 'Track 2' du système des Nations Unies (UNCSR 1540).

1. LE CONTEXTE

Dix-sept éléments du tableau périodique dénommés « terres rares » jouent un rôle majeur dans les calculs et les stratégies de divers pays. À bien des égards, les terres rares sont les intrants de la société industrielle du 21^{ème} siècle. Elles sont vitales pour des produits clés allant des produits de haute technologie (smartphones et moniteurs) aux systèmes de conversion d'énergie (éoliennes, panneaux photovoltaïques et machines électriques) et même militaires (lasers et radar). Les difficultés à les remplacer par des matériaux alternatifs font des terres rares des ressources stratégiques uniques. Parmi leurs nombreuses applications possibles, certains de ces métaux (par exemple, indium et gallium) sont importants pour la production de semi-conducteurs, qui représentent une pierre angulaire des industries de pointe d'aujourd'hui. La pertinence de ces métaux est devenue évidente au cours de la dernière année suite à une pénurie de production qui a eu de graves répercussions sur plusieurs secteurs. Précisément en raison de leur importance industrielle et stratégique, la production de semi-conducteurs est de plus en plus considérée comme un « impératif géopolitique », aggravé par les tensions persistantes entre les États-Unis d'Amérique et la Chine. Par conséquent, le sort des semi-conducteurs et des terres rares est étroitement lié à cette course mondiale croissante à la technologie et au leadership industriel. Ce n'est pas un hasard si, en 2019, le Président Chinois Xi Jinping a menacé de réduire les importations de terres rares en mesure conservatoire contre l'opposition des États-Unis à la compagnie chinoise « Huawei » et le différend autour des semi-conducteurs, accélérant finalement les contre-mesures de Washington pour réduire sa propre vulnérabilité.

Pour être précis, rappelons que les métaux de terres rares ne sont pas si rares que cela. Le cérium, par exemple, est plus abondant que le cuivre et des gisements de terres rares sont présents dans de nombreuses régions du monde. Ce qui définit ces éléments comme « rares », c'est leur faible concentration. Ils n'existent pas à l'état pur dans la nature mais sont toujours composés d'autres éléments. Bien que le marché des terres rares soit relativement limité en termes de volume, tout pays qui le domine jouit d'une influence géopolitique et d'un effet de levier significatifs sur les autres pays, étant donné l'importance des terres rares pour les industries alternatives du futur.

En fait, l'extraction des métaux de terres rares implique de surmonter deux défis. D'abord, pour extraire de minuscules quantités des 17 métaux de terres rares, il faut enlever de nombreuses tonnes d'agrégats et de roches. Sans contrôles rigoureux, cette opération est très polluante. Ensuite, arrive la séparation des métaux suivie de leur préparation pour les utiliser dans les aimants de forte puissance, la technologie laser ou le dispositif anti-contrefaçon des billets de banque. Ces opérations sont complexes et coûteuses et bien entendu la Chine peut fournir le produit fini pour 30 % de moins que n'importe qui d'autre. D'où le désintérêt du marché pour la prise en compte des considérations géopolitiques.

Il n'en a pas toujours été ainsi. La prédominance de la Chine est le produit de la décision des administrations américaines successives à partir de la fin des années 1980 de faire de la Chine le cœur de l'industrie manufacturière américaine. L'une des industries que les États-Unis d'Amérique ont déplacée à travers le Pacifique était l'extraction et le traitement des terres rares. Jusqu'à présent, les États-Unis jouissaient d'un monopole. En 2017, l'Union Européenne (UE) a formé l'alliance européenne des matières premières afin de commencer à se diversifier. À l'époque, la Chine lui fournissait 98 % de ses besoins en terres rares. Présentement, la Chine fournit toujours 90% des terres rares dans le monde. Toutefois, l'UE a noué deux partenariats stratégiques depuis la formation de

l'alliance. L'un est avec le Canada et l'autre avec l'Ukraine. Le problème, c'est que le deuxième accord est compromis à cause de la crise politico-militaire Russo-ukrainienne qui dure depuis début 2021.

2. LA DYNAMIQUE DES DIFFÉRENTES NATIONS

La guerre en Ukraine a montré à quel point une dépendance excessive vis-à-vis d'un mono-fournisseur peut être fragile. La domination de la Russie sur le marché européen du gaz s'est transformée en « cauchemar » géopolitique en l'espace de quelques semaines. Imaginez si un seul pays fournit 90 % de besoins en produits essentiels et imaginez que ce pays est la Chine. En fait, ce n'est pas une illusion mais bien la réalité de la consommation galopante de métaux de terres rares en Europe !

Depuis la crise politico-militaire Russo-ukrainienne, la Méditerranée et son prolongement stratégique qu'est l'Afrique se sont révélés le théâtre de manœuvres politico-diplomatiques de puissances. L'ensemble constitue ainsi le premier des théâtres géopolitiques et par voie de conséquence, les enjeux sont à trois niveaux : stratégique, économique et écologique.

• Les acteurs occidentaux

Les États-Unis d'Amérique, plus que quiconque, sont déterminés à minimiser leur vulnérabilité envers la Chine, une politique qui a été soutenue par les deux dernières administrations. En 2019, le Département Américain de la Défense a entamé des négociations avec le Malawi et le Burundi pour discuter du soutien à un certain nombre de projets afin d'assurer les futurs approvisionnements en terres rares à partir du continent africain.

L'Union Européenne est, également, déterminée à réduire sa dépendance quasi totale vis-à-vis de la Chine, qui pourrait autrement s'avérer un obstacle sérieux à la mise en œuvre du « Green Deal ». Alors que l'UE est désireuse d'accroître l'autonomie stratégique dans ce secteur en développant les gisements et le recyclage nationaux de terres rares, elle a également affirmé en septembre 2020 qu'elle était disposée à établir de nouveaux partenariats stratégiques avec les pays africains pour obtenir des approvisionnements supplémentaires.

D'autres acteurs, dont l'Australie et le Japon, souhaitent également accroître leur présence en Afrique. L'Australie, par exemple, bien que déjà le deuxième producteur mondial de terres rares, s'efforce en permanence de développer de nouvelles sources pour réduire la domination chinoise conformément aux intérêts de Washington. Deux sociétés australiennes sont actuellement impliquées dans des projets en Tanzanie (Ngualla Mining Project) et au Malawi (Makutu Project). Le Japon, quant à lui, soutient, depuis 2010, des projets africains de terres rares, par exemple en Namibie et en Afrique du Sud, par le biais de la Japan Oil Gas and Metals National Corporation.

• La Chine, un acteur clé

La Chine, bien évidemment, ne sera pas en reste. Pékin est en passe d'accroître sa présence sur le continent africain pour garantir les futurs approvisionnements en terres rares pour mettre en œuvre ses ambitieux industriels de transition énergétique et technologique. Depuis 2018, la Chine a commencé à importer certaines terres rares en réponse à l'augmentation de la demande intérieure et à la suite de restrictions environnementales sur les pratiques d'extraction illégales. Pékin est donc certain d'agir pour sécuriser ses importations et de telles actions se joueront, incontestablement, en Afrique. La Chine est susceptible d'offrir des investissements et des financements dans les infrastructures en échange de ressources et de droits d'exploration minière et énergétique sur le continent africain. Le soutien et la finance de l'État étant indispensables au développement des ressources alternatives en terres rares, la Chine a une longueur d'avance grâce à son influence géoéconomique en Afrique, sa position de grand consommateur, sa mainmise sur l'industrie du raffinage et par-dessus tout sa coopération avec les pays africains sans imposer de conditionnalités politiques ou imposer des valeurs contraires aux us et coutumes traditionnels africains. Les États-

Unis vont devoir donc offrir aux nations africaines des conditions sérieusement avantageuses s'ils ne veulent pas prendre du retard dans cette course effrénée aux terres rares, et doivent bien comprendre que contenir la domination chinoise dans ce secteur ne va pas être chose facile.

Il y a environ cinq ans, le monde dit « occidental » a commencé à prendre conscience de cette situation délicate et a décidé d'être proactif. Mais, alors que l'UE, le Royaume-Uni et les États-Unis d'Amérique s'efforcent de diversifier les chaînes d'approvisionnement en terres rares et autres matières premières critiques, ils découvrent que ce n'est pas si facile. L'importance de la maîtrise par la Chine des matières premières critiques est avérée. Il n'y a pas de transition verte, pas d'internet, pas de nano-recherche médicale, pas d'armement avancé, pas d'Intelligence Artificielle, pratiquement pas de solutions techniques aux problèmes planétaires, sans terres rares. Le père de la révolution économique chinoise, Deng Xiaoping, a compris leur importance et avait déclaré : « *Le Moyen-Orient a du pétrole ; la Chine a des métaux de terres rares.* »

Le marché est actuellement dominé par la Chine, qui produit environ 60 % des terres rares mondiales, en transforme et raffine environ 80 %, et est l'acteur central de la chaîne d'approvisionnement mondiale. Par ailleurs, le club des BRICS en cours d'élargissement en BRICS+ avec les intentions d'adhésion de nouveaux pays concentreraient environ 90% des ressources en minerais de terres rares. Les principales économies mondiales sont actuellement toutes trop dépendantes des importations chinoises : 80 % des importations vers les États-Unis et 98 % des importations vers l'UE proviennent de Chine. La crainte que des restrictions d'approvisionnement, voire des arrêts, ne causent de graves dommages aux économies, aux industries et aux plans de décarbonations conduit donc de nombreux pays à rechercher des sources alternatives. Les inquiétudes sont apparues pour la première fois en 2010 lorsque, pour des raisons politiques, Pékin avait annoncé l'arrêt des exportations vers le Japon. À l'époque, on estimait qu'environ 97 % des réserves mondiales de terres rares provenaient de Chine. La montée des tensions géopolitiques entre les États-Unis et la Chine alimente, également, les inquiétudes. La Chine a menacé à plusieurs reprises de réduire ou de bloquer les exportations de terres rares vers les États-Unis, ce qui a incité tous les pays importateurs à trouver de nouvelles sources de production afin de réduire la domination chinoise dans ce secteur.

- **L'essor de l'Afrique**

Dans cette Ere nouvelle de recomposition des alliances géopolitiques, l'Afrique a une opportunité d'émerger en tant que région de production, ce qui est susceptible d'intensifier la compétition entre les acteurs mondiaux. Le continent africain abrite de nombreux gisements de terres rares, en particulier, dans les pays de l'est et du sud comme l'Afrique du Sud, le Burundi, le Kenya, Madagascar, le Malawi, le Mozambique, la Namibie, la Tanzanie, et la Zambie mais, également, au nord tel que la région Sahelo-saharienne et l'Algérie. Néanmoins, dans l'état actuel des choses, l'Afrique n'a pas encore dépassé le stade du grand potentiel. La seule extraction actuellement en cours concerne le projet Gakara Rare Earth au Burundi et les gisements de Steenkampskraal en Afrique du Sud qui pourraient être mis en service sous peu. Un certain nombre de pays africains ont cependant commencé à mettre en œuvre des projets à différents stades, notamment, Afrique du Sud (Projets Glenover et Phalaborwa), l'Angola (Longonjo Project), Madagascar (Tatalus), le Malawi (Kangankunde), le Mozambique (Projet Xiluvo REE), la Namibie (Lofdal Heavy Rare Earths Project), l'Ouganda (Makuutu Project), et la Tanzanie (Ngualla Rare Earth Project).

L'aire d'intérêt commun à cheval entre la Mer Méditerranée, l'Afrique du Nord et l'Afrique subsaharienne dénommée « Mediterafrique » en 2011 par le World Economic Forum (WEF) lors de sa réunion annuelle de Davos, est devenue courtisée, notamment, pour ses ressources minières nécessaires à la transition énergétique et est devenue le terrain de jeux d'influence. En toile de fond, se joue surtout une guerre d'influence entre les BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et l'Afrique du Sud), les États-Unis et l'Union européenne. Selon Statista (portail statistique en ligne allemand), Pékin s'est érigé au fil des années comme partenaire de choix pour l'Afrique. Si l'UE reste encore le premier partenaire commercial du continent africain, en 20 ans, la Chine s'est imposée comme le principal fournisseur de marchandises pour plus de 30 pays africains, ainsi que le premier investisseur

étranger en Afrique. Depuis 2013, Xi Jinping a d'ailleurs lancé le projet des nouvelles routes de la soie, avec lequel Pékin s'investit et investit dans les pays émergents, en particulier en Afrique, pour construire de nouvelles infrastructures.

Il ressort de l'analyse prospective des experts du WEF en 2011 que les nouvelles élites du continent africain seront de plus en plus réticentes à consacrer leur énergie pour favoriser la coopération avec le Nord et plutôt se concentrer sur le développement Sud-Sud. Il avait été mis en exergue le fait que la Chine contribuera incontestablement au renouvellement et au développement des infrastructures dans la région. En partie entraînée par des investissements massifs et la demande croissante en provenance des pays BRICS et du Conseil de Coopération du Golfe (CCG), les entreprises d'Afrique du Nord et les entrepreneurs seront au centre du développement de nouveaux liens régionaux. Par conséquent, la rive Sud de la Méditerranée se positionnera comme une passerelle clé à la croissance rapide des marchés émergents en Amérique Latine, en Asie et en Afrique. Les experts du WEF avaient précisé qu'à partir de 2020, l'Afrique deviendra l'histoire de la croissance surprise. Poussés par des investissements soutenus et la demande en provenance d'autres marchés émergents, plusieurs pays d'Afrique subsaharienne entraîneront l'ensemble du continent vers une plus grande intégration économique. La communauté d'affaires de l'Afrique du Nord se joindra inévitablement à ce processus. L'Europe, quant à elle, deviendra de plus en plus repliée sur elle-même tandis que l'économie de l'Est et du Sud de la Méditerranée deviendra la principale plaque tournante pour le commerce africain, en pleine croissance, et les investissements. Grâce à ces marchés potentiels nouveaux et dynamiques, les pays nord-africains se désintéresseront progressivement des initiatives de l'UE. La région Moyen-Orient et Afrique du Nord (MENA), à ce moment, commencera à atteindre une stabilité relative. Avec l'augmentation de la coopération Sud-Sud, une nouvelle identité sud-méditerranéenne se développera et la région s'érigera en puissance des marchés émergents de plus en plus influents avec de nouvelles élites gouvernantes bien consolidées.

S'agissant de l'Algérie, en particulier, durant les quarante dernières années l'économie du pays a toujours été rythmée par la production et les prix du gaz et du pétrole. Par voie de conséquence, la transition énergétique avait des difficultés à se mettre en route. Depuis 2020, la relance du développement et la valorisation du domaine minier, en général, et du secteur minier, en particulier, ont été effectives. En ce sens, que l'Algérie a décidé d'exploiter les ressources minières disponibles et avérées pour contribuer à l'économie et l'industrie alternatives. En effet, les analyses métallogéologiques faites par les instituts de géologie et, notamment, le USGS, des différents environnements géologiques du pays ont montré qu'ils sont potentiels pour la disponibilité des minéralisations suivantes : métaux précieux (or, argent) ; pierres précieuses et semi-précieuses (diamant, topaze, béryl,...) ; métaux de base (zinc, plomb, cuivre) ; métaux ferreux et non-ferreux (fer, manganèse,...) ; éléments du groupe platine (platine, palladium, iridium,...) ; métaux rares (REE) ; minéraux industriels (phosphate, baryte, bentonite, diatomite,...). Si on regarde de près, l'important potentiel minier varié de l'Algérie demeure insuffisamment exploité. Son développement devrait s'articuler autour de trois axes. Le premier, est le lancement à court terme des projets phares et structurants qui permettront la mise en place d'une nouvelle industrie de transformation et la valorisation des ressources minières, il s'agit des gisements de fer, de phosphate, de Zinc, de Plomb et de Manganèse. Le second, est d'achever les projets de mise en valeur de certains gisements de minéraux industriels qui sont toujours importés par le pays, le Carbonate de Calcium micronisé, et la Bentonite. Le troisième concerne les matières nobles et rares dont les gisements sont repérés sur différentes régions du pays. Il s'agit de la mise en valeur des gîtes et gisements de produits miniers mis en évidence par les différents programmes de la recherche minière dans le cadre de la stratégie de promotion et du développement du secteur minier algérien.

3. DÉPENDANCE AUX TERRES RARES

Dans cette nouvelle dynamique, l'UE tente de riposter. En effet, en décembre 2022, Ursula von der Leyen a dévoilé le projet « Global Gateway », qui doit mobiliser 300 milliards d'Euros de financements publics et privés dans les pays émergents pour développer des infrastructures. La

stratégie consiste surtout à faciliter l'exploitation de grandes réserves de terres rares très peu exploitées détenues par plusieurs pays comme l'Algérie, le Burundi, le Gabon, la Tanzanie et d'autres. L'Europe tente d'échapper à sa dépendance de la Chine sur ces minerais de terres rares et d'accéder à des ressources minières indispensables à la transition énergétique comme le cobalt, le cuivre, le lithium, le strontium, etc.

La Chine suit une démarche bien établie d'accès aux ressources en échange de la construction d'infrastructures. Elle souhaite avant tout acquérir la matière brute et non transformée. L'enjeu pour la Méditerranée est de développer une économie de la transformation des minerais ce qui en ferait un facteur de croissance inclusive.

Il est indéniable que les chaînes d'approvisionnement des métaux industriels, en général, ont été optimisées pour répondre à la demande de manière compétitive, dans les délais et dans le respect des spécifications. La collaboration autour de la transition climatique, les questions de restrictions commerciales et les tensions géopolitiques n'étaient ni des obstacles majeurs ni des moteurs clés. De nouvelles dynamiques mondiales ont accéléré la transition énergétique et placé, pour la première fois, l'industrie métallurgique et minière sous les projecteurs géopolitiques, lui accordant une attention très particulière qui était généralement accordée au secteur pétrolier et gazier. C'est notamment le cas pour l'extraction et le traitement des métaux nécessaires à la production et à la transmission des technologies énergétiques propres, comme le cuivre, l'aluminium, le zinc, le cobalt, le lithium, le nickel, le strontium, etc. La demande de métaux clés est à la hausse, par exemple, selon la Commission Européenne, de la demande de lithium de l'UE devrait être multipliée par douze d'ici 2030 et par vingt et un d'ici 2050. Tout cela se produit dans un contexte d'offre limitée (les nouvelles mines nécessitent environ une décennie pour être développées) et avec des installations de transformation concentrées en général en Asie et en particulier en Chine.

Les initiatives multilatérales et bilatérales visant à sécuriser l'approvisionnement, telles que le partenariat pour la sécurité des minéraux piloté par les États-Unis ou la Loi sur les matières premières critiques de la Commission Européenne, auront un impact sur les opérations de l'industrie, remodeleront les chaînes d'approvisionnement et créeront de nouvelles opportunités et défis commerciaux. Le leadership de l'industrie va devoir développer les compétences nécessaires pour surfer à travers les lignes de faille géopolitiques et opérer dans un terrain de jeu instable avec une exposition accrue aux perturbations potentielles dues à l'instabilité politique, au souverainisme des ressources et aux différends commerciaux.

Présentement, l'exploitation des ressources minières du continent Africain est faite par d'autres et produit de la richesse qui ne reste pas sur le continent. L'enrichissement des populations locales est un problème majeur de gouvernance. Par exemple la RDC, le Mozambique, le Tchad, le Mali, et le Niger qui regorgent de ressources naturelles minières sont en incapacité de délivrer à leurs populations un minimum de services sociaux de base. Exploitation par des pays tiers des ressources minières, gouvernance locale défaillante et conflits d'intensité variable qui minent le continent africain sont les facteurs de tension et de guerre des terres rares.

4. CONCLUSION

Dans ces jeux d'influence, celui qui favorisera la création de la valeur ajoutée, en imposant un pourcentage de traitement des minerais bruts et de transformation dans le pays d'origine et en améliorant la formation et le transfert de compétences sera accueilli favorablement à bras ouverts. Il est clair, que plus de deux générations depuis des indépendances, il ne pourrait être indéfiniment question pour le Sud de vendre ses matières premières en échange de biens manufacturés, s'accordent à dire ses élites gouvernantes.

Incontestablement la transition énergétique dans le monde industrialisé est confrontée à une transition générationnelle et de gouvernance des pays détenteurs des ressources minières clés. Toute la

dynamique et l'enjeu de la géopolitique des terres rares se jouent à ce niveau. Le Président Rwandais Paul Kagame avait déclaré en 2019 : « *L'Afrique n'est le prix à gagner ou à perdre pour personne. Il est de notre responsabilité, en tant qu'Africains, de prendre en charge nos propres intérêts et de développer notre continent à son plein potentiel.* » Cette posture est largement partagée par les élites gouvernantes des pays du continent Africain.

Le démarrage de nouveaux projets est actuellement entravé par les lois du marché, qui présentent des défis tels que des coûts élevés, la nécessité d'investissements importants et des considérations d'acceptabilité politique, environnementale et sociale. Le facteur décisif derrière la prédominance de la Chine dans la production et le raffinage à l'échelle mondiale, plus encore que la disponibilité immédiate des gisements nationaux de minerais de terres rares, a été la volonté politique claire et décisive du pays de développer le secteur par le biais de politique industrielle et des subventions de l'État. Bien que l'émergence de sources alternatives en dehors de la Chine puisse être découragée par les conditions du marché, les développements pourraient bien être tirés par la politisation croissante des terres rares, un facteur qui renforce rapidement leur importance stratégique et incite les importateurs à accroître leur soutien aux nouveaux projets d'extraction.

Les matières premières critiques sont un vecteur géopolitique majeur des transitions numérique et verte. Les pays qui développent l'industrie alternative « *minéralivore* » dans leurs efforts pour diversifier leurs relations, vont devoir adopter une approche coopérative à plusieurs niveaux. Compte tenu du fait que la politique et la géopolitique devienne de plus en plus les « *drivers* » de l'économie, la question demeure ouverte quant au façonnage de cette approche : Sera-t-elle une approche de coopération partagée ou de confrontation ?

DOCUMENT 2

LE MARCHÉ DES TERRES RARES EN 2022 : FILIERES D'APPROVISIONNEMENT EN AIMANTS PERMANENTS

L'analyse du marché des terres rares (TR) en 2022 fait apparaître deux tendances majeures : d'une part le renforcement de la stratégie chinoise d'omniprésence sur les chaînes de production, et l'émergence de certaines alternatives, notamment occidentales, pour se réapproprié une part de l'approvisionnement mondial de ces métaux, indispensables aux transitions énergétique et numérique.

MineralInfo - 4 juillet 2022

La demande mondiale portée par les terres rares "magnétiques" pour aimants permanents Nd-Fe-B

Au sein de la grande famille des terres rares (TR), quatre éléments chimiques aux propriétés magnétiques remarquables, à savoir : néodyme (Nd), praséodyme (Pr), dysprosium (Dy) et terbium (Tb), portent à eux seuls 90% de la valorisation du marché de ces métaux qualifiés de « mineurs », soit environ 1,7 milliard US\$ par an (Roskill, 2019). Ces TR « magnétiques » sont utilisées sous forme d'alliages pour la production d'aimants permanents de haute performance, en particulier pour la technologie d'aimants néodyme-fer-bore (Nd-Fe-B). Les principaux moteurs de cette demande, progressant de près de 10 % par an, sont l'essor des véhicules électriques, de l'éolien off-shore, ainsi que celui de l'électronique et de la robotique, utilisant de grandes quantités d'aimants permanents. La demande mondiale en aimants Nd-Fe-B étant de l'ordre de 125 000 t en 2019 est attendue à l'horizon 2030 selon les estimations entre 200 000 t (Roskill, 2020) voire jusqu'à 320 000 t dans les scénarios les plus optimistes (9,8 % de croissance annuelle moyenne).

En termes de volumes, la plus forte augmentation de la demande est attendue dans le secteur des véhicules électrifiés, passant de 9 % à 25 % du total en 2030 soit 50 000 t d'aimants Nd-Fe-B. L'électronique occuperait la deuxième place, avec 20 % du total, suivi du secteur éolien, avec une part qui pourrait atteindre 10 à 15 % en 2030, contre 9 % en 2019 selon Roskill.

L'impact le plus fort sur l'offre concerne l'augmentation de la production de Nd et Pr en particulier. Lors du processus de raffinage des TR, ces deux éléments sont séparés de manière concomitante du fait de leurs propriétés très voisines. L'oxyde Nd-Pr est l'intrant fondamental de la production des aimants permanents Nd-Fe-B. Or, pour une production actuelle de l'ordre de 45 000 t d'oxydes Nd-Pr à l'échelle mondiale, les capacités doivent doubler d'ici 2030 pour atteindre 90 000 t.

Les cas du dysprosium et du terbium sont légèrement différents, ces deux éléments étant ajoutés comme dopants dans les aimants Nd-Fe-B afin d'abaisser le point de Curie et d'autoriser un fonctionnement optimal à plus de 200°C. Ces conditions sont nécessaires en particulier dans l'éolien et l'automobile. Or, du fait de leur rareté et de leur prix, il existe de nombreuses tentatives pour limiter leurs usages ou les substituer de la part des utilisateurs. Leur production est de l'ordre 2 000 t par an, chiffre également amené à doubler d'ici à l'horizon 2030.

Pour ce faire, l'ouverture de nouvelles mines mais également de nouvelles capacités de séparation sont nécessaires. La Chine, qui représente déjà 60 % de la production minière mondiale de TR et 85 % de celle d'aimants permanents, l'a bien compris et continue de renforcer son positionnement sur ces marchés.

Renforcement des positions chinoises sur les chaînes de production, en particulier celles des aimants permanents

- **Le marché intérieur chinois dicte les prix internationaux des TR**

Le premier signe de cette position dominante est le fait que les mouvements de prix des TR sont principalement régis par les événements du marché intérieur chinois. N'ayant pas de cotation sur les marchés boursiers, les prix des TR sont établis par négociation directe de contrats entre producteurs et transformateurs ou utilisateurs. Ces prix sont à considérer de manière individuelle par élément de TR, une grande disparité existant entre les terres rares légères, plutôt abondantes, et les terres rares lourdes réservées à des applications de niche du fait de leur rareté sur le marché. Ainsi, les prix du lanthane (La) et du cérium (Ce) s'établissent aux alentours 5 US \$/kg, tandis que les plus chères, dont le terbium, peuvent dépasser 1 000 US \$/kg.

En 2020, les mouvements de prix ont été relativement limités malgré le développement de la pandémie mondiale de COVID-19, avec deux raisons principales. D'une part, d'importants stocks avaient été accumulés en Chine avant la crise sanitaire ; cette dernière a ainsi permis leur écoulement progressif. D'autre part, malgré les interruptions temporaires de 70 à 80 % des capacités de transformation de terres rares en janvier et février 2020 liées au confinement (en particulier dans les régions du Sud, des provinces du Jiangxi et du Guangdong, plus proches de la ville de Wuhan), la plupart des capacités de traitement des TR lourdes ne fonctionnaient déjà pas à pleine capacité, ou concernaient des sites illégaux ou obsolètes. Ce sont donc les surcapacités du pays qui ont limité l'impact de la crise sanitaire sur la filière, les approvisionnements et les prix mondiaux.

A l'inverse, au cours de l'année 2021, les prix des TR ont connu un fort mouvement haussier. Exprimés sous forme métal 99 % FOB Chine, les prix du La et du Ce ont augmenté de 10 % en 2021, s'établissant à 6,4 US \$/kg en moyenne, tandis que les prix des TR utilisées dans les aimants permanents ont explosé. Le prix du Tb, la plus chère des terres rares, s'est établi à 1 709,5 US\$/kg contre 660,8 US\$/kg en 2020, soit une hausse de 158 %, tout comme le Dy (+ 55,7 %) à 527,1 US\$/kg, tandis que le Pr et le Nd sont passés respectivement de 93,6 US\$/kg à 122,9 US\$/kg (+ 31,3 %) et de 61,3 US\$/kg en 2020 à 120,9 US\$/kg en 2021 (+ 97,2 %).

Ce phénomène s'explique tout d'abord par des niveaux de stocks faibles des producteurs d'aimants chinois face à la reprise de la demande mondiale post-COVID début 2021. D'autre part, elle a semblé être une réponse du marché à l'introduction par la Chine de plusieurs mesures réglementaires, en particulier la nouvelle norme chinoise d'efficacité énergétique pour les moteurs électriques (plan 2021-2023), dont la mise en œuvre entraînerait une demande supplémentaire d'aimants Nd-Fe-B pour ce seul secteur atteignant 20 000 t/an sur le marché intérieur chinois.

Si les prix des TR sont cotés en dollars américains, l'un des objectifs de Pékin serait à terme d'imposer le Yuan comme monnaie de référence. A cette fin, une bourse d'échange sur les TR a été mise en place à Baotou, en Mongolie Intérieure, en 2018. Bien que cette place d'échange soit aujourd'hui uniquement tournée vers le marché intérieur chinois, les volumes qui y sont négociés augmentent progressivement, étant passés de 670 t en 2018 à 3 387 t en 2019 (selon Argus Media) comprenant des oxydes, des métaux et des alliages de TR. La Mongolie Intérieure vise à promouvoir la mise à niveau de cette dernière, afin de renforcer l'influence de la région sur le marché mondial des TR.

- **La Chine continue la restructuration de son industrie d'extraction et de valorisation des TR autour de deux grands pôles au sud et au nord du pays**

Concernant l'amont de la chaîne de valeur, l'événement marquant de l'année 2021 est la création fin décembre d'une nouvelle entreprise d'Etat chinoise, conglomérat géant issu de la fusion de trois des principales sociétés d'exploitation des TR du sud du pays, à savoir Aluminum Corporation of China (Chinalco), China Minmetals et China Southern Rare Earth Group. La nouvelle entité, nommée China Rare Earth Group, a pour principal actionnaire la Commission de contrôle et d'administration des biens de l'État du Conseil d'État, avec une participation de 31,2 %. Les trois sociétés citées précédemment détiennent chacune 20,3 %. Enfin, deux sociétés de recherche, China Iron & Steel Research Institute Group et Grinn Group Corp., détiennent chacune une participation de 3,9 %. Comme annoncé par le gouvernement chinois, la fusion vise à intégrer les ressources en amont, à augmenter le pouvoir de tarification de la Chine sur le marché mondial et à utiliser les TR à l'avantage

stratégique du pays. La nouvelle entité serait ainsi en mesure de produire environ 45 000 t d'oxydes de terres rares (OTR) par an, plaçant l'acteur China Rare Earth Group comme deuxième producteur de terres rares du pays après China Northern Rare Earth Group, exploitant le gisement de Bayan Obo. Ce dernier a également annoncé une restructuration début juin 2022, par la fusion de deux de ces entités : Baotou Huaxing Rare Earths, producteur d'alliages magnétiques de TR et Baotou Keri Rare Earth Materials, orienté vers des produits transformés à haute valeur ajoutée à base de TR.

En Mongolie Intérieure, au-delà de compter le premier site mondial de production et transformation de TR légères au monde (mine de Bayan Obo et complexe métallurgique de Baotou), la région autonome du nord du pays héberge aussi le principal centre de recherche au monde sur les innovations à base de terres rares, dans une zone industrielle colossale désormais appelée la « Baotou Rare Earth High-tech Zone ». Mise en place en 1992, cette zone dédiée aux TR vise à promouvoir les synergies entre l'industrie et la recherche pour accélérer le développement de la filière. Elle regroupe 9 000 entreprises et 73 centres de R&D, concentrant 3 300 brevets sur toute la chaîne de valeur, de l'extraction du minerai à la production d'aimants permanents et divers matériaux à base de TR. La zone de développement accueille notamment le Baotou Research Institute of Rare Earth (BRIRE), la plus grande institution de R&D chinoise dédiée aux TR.

Si la production d'aimants est principalement concentrée dans 3 autres provinces à savoir celles de Zhejiang (ville de Ningbo), de Shanxi et Pékin, la zone de Baotou domine l'étape de production des poudres magnétiques et alliages de haute performance utilisés pour construire les aimants Nd-Fe-B ou Sm-Co. Ayant aujourd'hui une capacité annuelle de production de 45 000 à 50 000 t de poudres magnétiques pour aimants permanents, l'ambition de la région autonome de Mongolie Intérieure est de doubler ce chiffre, pour atteindre une capacité de 100 000 t/an à l'horizon 2025, comme rappelé lors du forum annuel tenu en octobre 2020 (d'après Shanghai Metals Markets).

En outre, le 14^{ème} plan quinquennal économique de la région (2021-2025) vise à « accélérer le développement de matériaux et d'alliages fonctionnels de terres rares de haute pureté, ainsi que celui de matériaux magnétiques de TR utilisés dans les machines-outils à commande numérique haut de gamme (Computer Numerical Control ou CNC). L'innovation technologique pour accroître les découvertes dans d'autres domaines sera également encouragée, notamment le développement d'un nouvel alliage de stockage d'hydrogène à base de terres rares, mais aussi l'amélioration des catalyseurs à base de TR dans les industries de l'acier, du ciment, de la verrerie, de l'automobile, de l'énergie thermique et de la pétrochimie ».

La progression des capacités chinoises de production de production d'aimants permanents (Nd-Fe-B et Sm-Co) est fulgurante avec une production estimée à 195 000 t en 2021, contre 175 000 en 2019, 165 000 t en 2018, et seulement 83 000 t en 2010 (d'après les sources Argus Media, Adamas Intelligence). Cette industrie compte 3 principaux centres de production dans les provinces de Zhejiang (ville de Ningbo), de Shanxi et Pékin. La ville de Ningbo concentrait 40 % de la production totale de matériaux magnétiques à base de terres rares en 2019, avec 67 entreprises dédiées, dont l'entreprise Ningbo NingGang, premier fabricant de matériaux d'aimants permanents Sm-Co au monde, représentant 27 % de la production nationale et presque 20 % de la production mondiale. Par cette structuration, la Chine vise à être incontournable sur la réponse à la demande mondiale d'aimants permanents sur la période 2025-2030.

Enfin, la stratégie chinoise est visible sur deux autres secteurs d'influence en particulier :

- les publications scientifiques de recherche académique et l'obtention de brevets sur les technologies innovantes de production et séparation des TR ;
- la standardisation.

Dans le premier cas, une augmentation notable des publications scientifiques sur le sujet de la séparation des TR s'est confirmée durant la dernière décennie, la Chine étant passée de 30 publications internationales en 2011 à 140 en 2019, sur 360 publications sur ce domaine dans le monde (d'après Scopus).

La Chine est également le pays recensant le plus grand nombre de dépôts de brevets sur ces étapes, la plupart provenant de la zone technologique de Baotou et des provinces du Sud. Elles s'inscrivent dans les « Plans de Développement » pluriannuels de la filière et tendent à répondre notamment aux problématiques de réduction de la pollution, paramètre très sensible de l'exploitation des TR.

Dès 2011, des normes environnementales concernant les seuils tolérés de rejets dans les eaux usées et l'atmosphère étaient publiées. Puis en 2014, le Ministère pour l'Industrie et les Technologies de l'Information (MIIT) publiait le « Plan pour la promotion de technologies de production de TR propres », fixant des objectifs de pénétration de nouvelles technologies dans l'industrie des TR. Dans ce cadre, plusieurs dépôts de brevets sur de telles technologies ont été déployés à l'échelle industrielle sur de nombreuses lignes pilotes. L'une des principales était la séparation des oxydes de terres rares sans saponification afin de réduire les rejets d'ammoniac, source d'importants de dégâts environnementaux. En 2015, une ligne pilote d'une capacité de production de 2 000 t d'OTR construite par Jiangsu Guosheng Rare Earth, a permis une avancée dans ce domaine, avec le traitement de minerais sans rejets d'azote ammoniacal et avec le piégeage de plus de 90 % des rejets gazeux. Cette dernière a été déclinée depuis à l'échelle industrielle.

Sur le deuxième sujet, un comité technique a été mis en place en 2015 par l'Organisation Internationale pour la Standardisation (ISO) à la demande de la Chine afin d'établir des standards internationaux pour la production de TR et leur recyclage. Or, le comité technique ISO/TC 298 est présidé par l'administration de standardisation chinoise (SAC). Depuis son instauration, il a abouti à 7 normes ISO publiées, notamment sur le recyclage. Par ce moyen, la Chine bénéficie de l'avance prise dans ces domaines pour imposer des références internationales. Le comité compte à ce jour 14 membres participants, dont la France, et 21 membres observateurs.

Nouveaux acteurs et structurations de "chaînon manquant" dans le reste du monde

Face à ce constat, un certain nombre de pays tente de valoriser la montée en puissance de filières de production de TR pour réduire les risques de dépendance aux importations chinoises.

Afin de remonter vers l'aval de la chaîne de valeur, l'une des étapes cruciales au-delà de l'ouverture d'une mine de TR est celle de la valorisation métallurgique. Deux types d'usines se suivent dans le processus : les premières sont des usines de traitement visant à purifier les concentrés de TR (extraire les éléments radioactifs et augmenter la concentration en TR valorisables), les secondes ont un degré de complexité supérieur : il s'agit de raffiner le concentré pour séparer des oxydes de TR purs (technologies d'extraction par solvant). Or la complexité de séparation dépend d'un minerai à l'autre et fait également varier le nombre d'étapes. Par exemple, à l'heure actuelle, l'entreprise australienne Lynas qui est la principale entreprise occidentale à maîtriser l'étape de séparation s'arrête à la séparation des TR légères pour produire un oxyde de néodyme-praséodyme (Nd-Pr). Cette étape aboutit à un concentré de terres rares lourdes mélangées (appelé SEG pour samarium-europium-gadolinium) qui est vendu en Chine, seul pays disposant d'installations de séparation de ces TR lourdes à ce jour.

Trois étapes suivent la production d'oxydes Nd-Pr :

- la réduction à l'état métallique (potentiellement sous forme d'alliages – permettant l'intégration du fer et du bore) ;
- la production d'alliages ou de poudres magnétiques (précurseurs d'aimants permanents) ;
- la synthèse des aimants en elle-même.

- **Production minière**

Concernant la production minière mondiale de TR, elle peut être estimée en 2021 de l'ordre de 280 000 t à 300 000 t OTR (diverses sources).

La Chine demeure le premier producteur mondial à hauteur de 60 %. La production chinoise officielle, régulée par des « quotas de production » par région et par producteur a augmenté de 20 %, s'élevant à 168 000 t d'OTR contre 140 000 t en 2020. Pour la plupart des analystes, cette augmentation des quotas était quasiment inévitable étant donnée la situation actuelle de l'offre en Chine et la croissance de la demande des fabricants d'aimants Nd-Fe-B.

Les Etats-Unis sont aujourd'hui le deuxième producteur mondial en termes d'opérations minières, avec la reprise de la mine de Mountain Pass en Californie par l'opérateur MP Materials. En 2021, 43 000 t d'OTR ont été extraites selon l'US Geological Survey, destinées à produire des concentrés de TR, exportés et revendus par le partenaire chinois Shenghe. Des extensions de capacités sont prévues à partir de 2023, afin d'aboutir à la production d'oxydes Nd-Pr et de précurseurs d'aimants permanents sur le sol américain.

Avec sa mine de Mount Weld, la société australienne Lynas est la principale entreprise occidentale de production et de raffinage de TR. L'étape de séparation des TR légères est maîtrisée et effectuée au sein de l'usine malaisienne de Gebeng. Pour l'année 2021, 15 600 t d'OTR séparées ont été produites dont 5 400 t d'oxydes Nd-Pr à haute valeur ajoutée. Cette production est estimée alimenter 65% de la fabrication des aimants permanents Nd-Fe-B au Japon, du fait de relations étroites mises en place avec les industriels du secteur dès les années 2010. Le reste de la production de Lynas se compose d'oxydes de cérium et de lanthane (~8 000 t) de moindre valeur et destinés pour la plupart aux marchés de la catalyse, et enfin d'un concentré de terres rares lourdes mélangées appelé SEG pour samarium-europium-gadolinium (~2 000 t) vendu en Chine pour séparation. La compagnie a plusieurs projets d'extension : en Australie tout d'abord avec la construction d'une usine de purification (extraction des éléments radioactifs) à Kalgoorlie, qui sera opérationnelle en 2023. Aux Etats-Unis, Lynas a reçu un financement du Pentagone pour la construction d'une usine de séparation des terres rares légères au Texas : 5 000 t/an dont 1 250 t d'oxydes Nd-Pr. A cela s'ajoute une promesse d'investissement de 30,4 millions US\$ pour travailler sur la faisabilité économique de la séparation de terres rares lourdes aux Etats-Unis.

Dans le reste du monde, des productions modestes peuvent être mentionnées, notamment en Russie dans la péninsule de Kola où la société Solikamsk affiche une production de 2 700 t d'OTR sous forme de concentrés de TR. De la même manière, des concentrés de TR sont produits au Burundi à Gakara (Rainbow Rare Earths), au Brésil à Araxá (CBMM) en sous-produit du niobium, en Inde dans les provinces de Kerala et Tamil Nadu (Indian Rare Earths Ltd.) ou encore en Thaïlande (province de Phuket), au Viet Nam (Yen Phu) ou au Myanmar (province de Kachin), ce dernier pays ayant émergé comme une source notable de TR lourdes à partir de 2018, l'essentiel étant importé par la Chine.

• **Complexes métallurgiques de traitement/séparation des TR légères**

En 2021, près d'une dizaine d'usines métallurgiques était en construction à travers le monde. Ces projets sont concentrés en Australie, aux Etats-Unis, au Canada et en Europe.

L'Australie semble le prochain relais de croissance de la production occidentale de TR. Plusieurs projets miniers ayant déjà résisté à la crise de 2010 sont désormais proches d'une mise en production :

- l'entreprise Arafura Resources, avec le projet de Nolans Bore situé à 135 km au nord d'Alice Springs : la compagnie a reçu le soutien du gouvernement australien (30 millions A\$) pour aider à la construction de l'usine de séparation dont la capacité de production est estimée à 7 000 tonnes/an d'oxyde Nd-Pr. La décision finale d'investissement est prévue au deuxième semestre 2022 ;
- l'entreprise Iluka Resources, historiquement productrice d'ilménite, zircon et rutile envisage deux opérations minières et une usine de séparation à Eneabba (Australie Occidentale) et Wimmera (Victoria). La construction de l'usine débutera en 2022 pour un début de production prévu en 2025. A terme, une capacité de 15 000 t/an de concentrés est envisagée (à partir de monazite et de xénotime). Le gouvernement australien soutient également le développement

de l'usine de séparation, qui aurait pour finalité de pouvoir traiter des concentrés d'autres sources ;

- l'entreprise Australian Strategic Minerals, avec le projet Dubbo en Nouvelle-Galles du Sud. La particularité du projet (coût total estimé à 800 millions A\$) est de ne pas dépendre uniquement des TR. En effet, 43 % des revenus proviendraient du zirconium devant les TR (30 %), assurant ainsi une moindre exposition aux risques de mouvements de prix ;
- l'entreprise Northern Minerals, avec le projet de Browns Range, qui s'étend de la mine à l'usine de séparation. La mise en production est attendue à l'horizon 2025.

Aux Etats-Unis, une nouvelle stratégie a émergé suivant les accords passés à l'été 2019 entre les gouvernements américains et australiens notamment, pour des collaborations renforcées sur le sujet des TR. En novembre 2020, le département américain de la Défense a accordé trois subventions liées aux TR d'une valeur de 13 millions US\$ aux sociétés MP Materials, TDA Magnetics Inc et Urban Mining pour aider à la construction d'une ou plusieurs usines de séparation des TR.

Aux Etats-Unis toujours, la compagnie Energy Fuels a déclaré fin 2020 avoir produit des premiers concentrés de TR à partir de sables à monazite de Géorgie. Un accord a été conclu avec la société canadienne Neo Performance, opérant l'usine de séparation Silmet en Estonie pour la transformation ultérieure en matériaux avancés à base de TR. Energy Fuels envisage de traiter au moins 15 000 t de monazite par an.

Les compagnies USA Rare Earths LLC et Texas Mineral Resources Corp ont également officialisé l'ouverture d'une usine pilote dans le Colorado pour valider leur technologie de séparation des TR, pour un budget de 10 à 12 millions US\$ et continuent le développement du gisement Round Top au Texas.

Au Canada, le gouvernement de la Saskatchewan a annoncé en juillet 2021 un financement de 31 millions C\$ pour une installation de traitement de TR à Saskatoon qui appartiendra et sera exploitée par le Saskatchewan Research Council (« SRC ») et la société Search Minerals. L'usine aura la capacité de traiter des concentrés de TR pour les séparer en utilisant un procédé d'extraction par solvant.

En Russie, le gisement de Tomtor s'approche progressivement d'une mise en production. Un atout supplémentaire est la prise d'intérêts du groupe minier russe Polymetal en mars 2020, producteur d'or et d'argent dont la capitalisation boursière est estimée à 6 milliards US\$. Celle-ci s'élève à 9,1 % du projet. Les ressources du projet étaient évaluées en 2018 à 30,5 Mt de minerai avec des teneurs de 10,6 % OTR et 4 % Nb. Les opérations comprendront une mine à ciel ouvert avec une usine de traitement (coût total estimé à 259 millions US\$). La position stratégique de cette usine, à proximité de la ville de Krasnokamensk, près de la frontière de la Russie avec la Chine en fait un projet particulièrement important, d'autant plus dans un contexte de tensions géopolitiques accrues.

En Suède, le projet Norra Kärr, en phase d'exploration, mis à l'arrêt entre 2017 et 2020 pour des raisons environnementales a obtenu une extension du permis d'exploration jusqu'en août 2025. Une étude de faisabilité a été menée au cours de l'été 2021 par le nouvel exploitant (Leading Edge Materials) afin de revoir le modèle d'exploitation et convaincre de la viabilité de l'exploitation minière.

Un autre projet est porté par l'entreprise LKAB en Suède, exploitant de la mine de fer de Kiruna et dont l'objectif est de prouver la faisabilité de traiter les TR contenues dans les résidus miniers (apatite) afin d'obtenir 10 à 15 000 t/an de concentrés de TR. De la même manière, l'entreprise Yara, en Norvège, étudie la possibilité de récupérer des TR à partir de l'exploitation d'engrais phosphatés.

En Grande Bretagne, l'entreprise Pensana Rare Earths développant un projet minier à Longonjo en Angola s'est engagée à construire une usine de purification des TR sur le territoire britannique. Cet

objectif est similaire pour l'entreprise britannique Rainbow Rare Earths, produisant au Burundi des concentrés de TR et ayant annoncé relever ses objectifs à 6 000 t de concentrés/an, avec une purification en Grande Bretagne.

Enfin, en Pologne, le groupe Azoty Pulawy, acteur majeur des produits chimiques, s'est associé en juillet 2021 à Talaxis Limited développant un projet minier au Malawi avec l'entreprise canadienne Mkango Resources pour la construction d'une installation de traitement des TR (purification et séparation) sur le sol polonais.

Au Groenland, le gisement de Kvanefjeld pourrait devenir le 2ème producteur mondial. Il s'agit d'un des plus gros gisements de TR au monde (10 Mt d'OTR contenus dans les ressources), avec une production de 32 000 t/an de concentrés envisagée d'après l'étude de faisabilité finalisée en 2019. Cependant, le nouveau gouvernement du Groenland a décrété un ban sur l'exploitation de minerais contenant plus de 100 ppm d'uranium début novembre 2021, rendant impossible l'exploitation du gisement sans changement ultérieur.

- **Usines de recyclage des aimants permanents Nd-Fe-B et positionnement français**

A l'heure actuelle, le recyclage des aimants permanents Nd-Fe-B n'est effectué qu'en Chine et au Japon. Toutefois, les deux modèles diffèrent :

- au Japon les filières se sont structurées dès les années 2010, en ciblant la récupération en fin de vie des appareils commercialisés par les utilisateurs de terres rares eux-mêmes (équipements électroniques, compresseurs des climatiseurs, etc.). Les principaux acteurs sont Hitachi, Shin Etsu, Showa Denko, Mitsubishi Materials, Toyota Tsusho. En 2020, Hitachi estimait que les filières de recyclage mises en place par le groupe contribuaient à 10 % de leur approvisionnement en aimants permanents. Selon la même source, cela correspond à 26 t, exprimées en contenu de terres rares recyclées, depuis 2013 ;
- en Chine, les activités de recyclage semblent essentiellement se concentrer sur les chutes de production d'aimants permanents ou scraps, en particulier dans les provinces du Shandong et du Jiangxi (d'après Shanghai Metals Market).

Dans le reste du monde, les initiatives se multiplient les plus visibles étant nord-américaines et européennes :

- GéoMega au Canada
- Urban Mining Company aux Etats-Unis
- Hypromag au Royaume-Uni
- Carester, MagREsources, Orano et Arelec en France

Enjeux de mise en place d'une filière de recyclage des aimants permanents Nd-Fe-B en France

Une étude menée en 2021 par la Direction Générale des Entreprises (DGE) au sein du Ministère de l'Économie et des Finances a identifié 3 gisements les plus importants pourvoyeurs d'aimants permanents Nd-Fe-B à recycler sur le territoire national. Ce sont les véhicules électriques et hybrides, les éoliennes en mer (off-shore) et les déchets d'équipements électriques et électroniques ou D3E (exemples : trottinettes, condensateurs de réfrigérateurs, etc.).

- **Filière automobile - Véhicules hors d'usage (VHU) : des compétences spécifiques de démantèlement à créer**

La filière qui semble la plus avancée et la plus pertinente sur cette problématique est celle des VHU, le gisement potentiel à l'horizon 2030 étant le plus important. Plusieurs verrous sont néanmoins à lever sur cette filière.

Premier constat : les équipements contenant les aimants permanents des VHU ne sont ciblés par aucune obligation réglementaire ni aucune incitation économique à ce jour. Actuellement, les centres

VHU ont l'obligation de retirer uniquement : les batteries, les huiles usagées et les filtres, les liquides de refroidissement ou de freins et les fluides de climatisation.

Deuxième constat : l'enjeu principal concernant les principaux équipements contenant des aimants Nd-Fe-B dans les VHU est le démontage, nécessitant du personnel formé que tous les centres de VHU ne possèdent pas.

La première étape serait donc que des consignes des constructeurs automobiles soient données aux centres de VHU mais également aux centres de broyage, par le biais de la plateforme automobile (PFA), afin de cibler le démontage des principaux équipements contenant des aimants Nd-Fe-B dans les véhicules : les axes de direction, les haut-parleurs ou les lève-vitres et les moteurs dans le cas des véhicules hybrides et tout-électriques. Les premières cibles seraient les centres VHU agréés qui traitent plus de 1 000 VHU par an et qui appartiennent à au moins un réseau de constructeurs automobiles. Ces centres pourraient être plus facilement sensibilisés à l'intérêt du retrait des aimants permanents Nd-Fe-B en bénéficiant d'une animation des constructeurs. L'étude de la DGE fait ainsi apparaître que 277 centres VHU seraient concernés comme étant les plus à même d'extraire les aimants permanents des véhicules en fin de vie, représentant 44 % du nombre total de VHU traités en 2018 d'après l'ADEME. Un critère supplémentaire pourra être de privilégier les centres ayant déjà une compétence dans le démontage de pièces. Ce nombre est plus élevé car 61 % des centres VHU sont des démonteurs de pièces de réutilisation et traitent 69 % du nombre total de VHU. Toutefois, les compétences spécifiques nécessaires au démontage des équipements contenant les aimants seraient à vérifier.

L'étape suivante est également de sensibiliser les centres de broyage. En effet, à ce jour, ces derniers récupèrent les différentes pièces qui ne sont pas démontées dans les centres de VHU, dont celles contenant des aimants. Ces centres broient directement les carcasses des VHU, puis récupèrent certains métaux et autres matériaux facilement revendables. A ce jour, les aimants permanents ne peuvent pas être récupérés par ce biais car les centres de broyage ne sont pas équipés d'appareils permettant leur extraction. Les aimants sont donc soit endommagés lors de la phase de broyage ou bien mélangés à d'autres matières. Il existe actuellement 47 centres de broyage sur le territoire français, dont 27 sites dépendant uniquement de 3 groupes industriels (Derichebourg, Galoo et Ecore). Ces acteurs traitent 70 % du flux de carcasses de VHU traités en France, ce qui représente donc un levier d'action intéressant.

Deux conclusions découlent : la première est la nécessité de former un personnel compétent dans le démontage manuel ou semi-automatisé de pièces contenant les aimants. Cela représente une opportunité de formation et de création d'emplois potentiellement importante.

La deuxième est celle de l'équation économique. Il faut en effet qu'un nouveau modèle axé sur le recyclage soit plus rentable que la revente des métaux issus des carcasses des VHU tel que pratiquée actuellement. Il faut donc évaluer et s'assurer que le coût du démontage, du stockage et de la collecte pour la revente des aimants permanents en fin de vie soit rentable pour les centres de VHU et les broyeurs. Une étude financée par l'ADEME doit permettre d'analyser la faisabilité d'un tel démontage, l'accessibilité de ces pièces et son coût.

- **Filière de l'éolien**

Pour l'éolien en mer, le démantèlement est compliqué et il convient de concevoir le démontage des aimants permanents dès la conception. La logistique pour le démontage est lourde, car cette opération se situe en mer avec d'importants moyens logistiques de transport, de levage et de démagnétisation. Le circuit de collecte de ces éoliennes off-shore est donc entièrement à construire. Les premières éoliennes à attaque directe et avec aimants permanents ont été installées en 2015 par Siemens Gamesa sur le parc de Westermost Rough (35 éoliennes de 6 MW) et seront à recycler potentiellement après 20 à 30 ans d'utilisation, soit au plus tôt vers 2035/2040.

- **Filière D3E**

Bien qu'ils soient un important gisement dans le secteur des D3E, les disques durs d'unités centrales d'ordinateurs ne représentent que 3 tonnes par an, soit environ 1 tonne d'aimants permanents et environ 330 kg de Terres Rares par an, ce qui paraît faible en termes de potentiel valorisable à court terme. Des questions fondamentales sont à résoudre concernant la mise en place des phases de collecte et de démontage efficaces, n'augmentant pas considérablement le coût de ces filières de recyclage. Le projet de recherche européen Valomag, piloté par Suez et réunissant notamment le BRGM et le CEA, a pour ambition d'y apporter des réponses.

- **Acteurs français**

Quatre projets de pilotes industriels sur le territoire français visent actuellement le recyclage d'aimants permanents à TR :

- celui porté par la société Carester. Un démonstrateur industriel appelé CAREMAG sera implanté à Lacq à l'horizon 2024. Fondé sur le modèle de la boucle longue, l'objectif est de traiter 1 000 t d'aimants Nd-Fe-B en fin de vie par an, de tous types, pour produire des oxydes de TR purs. A terme, le principal marché ciblé est celui de l'automobile.
- celui porté par la société MagREEsources, reposant sur la boucle courte. Une ligne de production pilote prévue pour septembre 2022 attaquera dans un premier temps le marché des plasto-aimants. A plus long terme, l'objectif est la re-fabrication d'aimants frittés de haute performance reposant sur des sources d'aimants en fin de vie bien identifiées et de compositions connues et stables, comme par exemple, les aimants des éoliennes en mer ;
- le projet MAGNOLIA, piloté par Orano à Châtillon (92), implique quatre autres partenaires (CEA, PAPREC, DAIMANTEL et VALEO). Il a pour ambition de structurer un outil industriel de fabrication d'aimants permanents haute-performance.
- celui de la start-up REEfine technologies, implantée à Lyon, travaillant avec l'entreprise ARELEC qui compte développer un atelier pilote de production de poudres coercitives anisotropes à Grenoble. En février 2022, elle s'est associée aux entreprises Celimer, Poral et ECM Technologies pour mener à bien son projet visant les contenants cosmétiques, la domotique et les petits moteurs électriques. Les premiers aimants recyclés sont attendus courant 2023.

Conclusions

Une plateforme semi-industrielle existe depuis 2016 en France dédiée à la recherche technologique sur les aimants permanents, exploitée par le CEA Liten. La capacité de la ligne pourrait être portée en 18 mois à une production annuelle de 4,5 t d'aimants. Dans cette configuration, la plateforme pourrait constituer le point de départ pour recréer une filière de fabrication d'aimants complète à l'échelle nationale ou européenne, sur laquelle toute filière de recyclage devra s'appuyer pour se développer.

Encore à ce jour, les principaux enjeux pour la reconquête d'une souveraineté industrielle dans la production de terres rares ou d'aimants permanents sont économiques, les utilisateurs finaux étant contraints de comparer le prix final d'un aimant permanent recyclé avec le prix d'un aimant permanent chinois primaire, à performances égales.

DOCUMENT 3

LES TERRES RARES

Eduterre - Mise à jour le 21/06/2024 - Par Nathalie Pajon-Perrault

"Avec le boom du numérique et des nouvelles technologies vertes, les terres rares comptent parmi les métaux les plus stratégiques. Quelles sont les terres rares ? Où se trouvent-elles, à quoi servent-elles, et pourquoi leur extraction et leur traitement sont-ils sources de pollution ?" (Article du magazine Géo - 22/11/2022)

Les Terres rares (ou REE pour *rare-earth element* en anglais) constituent un groupe particulier d'éléments chimiques de par leur grande parenté liée à leur configuration électronique. Contrairement à ce que l'expression "terres rares" laisse suggérer, ces métaux ne sont pas si rares : ils sont présents partout sur la Terre mais disséminés de façon inégale et souvent à de très faibles concentrations. Par exemple, certains, comme le cérium, sont aussi répandus dans l'écorce terrestre que d'autres métaux plus usuels comme le cuivre mais on ne trouve pas de gisements massifs avec une forte concentration de métal.

1 - UN PEU D'HISTOIRE.

L'histoire des terres rares (ETR) commence en 1787 quand Carl-Axel Arrhenius, lieutenant suédois, visite une petite carrière à Ytterby, à une vingtaine de km au Nord-est de Stockholm. Il y trouve, dans un terrain granitique, un minerai noir, à l'éclat métallique, très dense et envoie un échantillon à son ami Johan Gadolin, chimiste finlandais. Ce dernier y identifie un oxyde (alors appelé "terre") nouveau qu'il nomme ytterbia. Il sera rebaptisé gadolinite en 1800 $(Ce,La,Nd,Y)_2FeBe_2Si_2O_{10}$.

Ce minerai s'est révélé par la suite la source de quatre nouveaux éléments chimiques, qui eux-mêmes furent nommés d'après le village et le minerai : l'yttrium (Y),

2 - QU'EST-CE QUE LES TERRES RARES ?

Les Terres Rares regroupent 17 éléments chimiques qui appartiennent au groupe 3 du tableau périodique (3 électrons sur la couche externe). Ce sont :

- les **15 lanthanides** (éléments chimiques dont le nombre atomique est compris entre 57 et 71) :

La (Lanthane) - **Ce** (Cérium) - **Pr** (Praséodyme) - **Nd** (Néodyme) - **Pm** (Prométhium) - **Sm** (Samarium) - **Eu** (Europium) - **Gd** (Gadolinium) - **Tb** (Terbium) - **Dy** (Dysprosium) - **Ho** (Holmium) - **Er** (Erbium) - **Tm** (Tulium) - **Yb** (Ytterbium) - **Lu** (Lutécium).

- **L'Y** (Yttrium) et le **Sc** (Scandium). Pour ce dernier élément, son appartenance au groupe des "terres rares" est discutée car on ne le retrouve pas, contrairement aux autres, dans les mêmes "gisements" car sa géochimie est différente.

On distingue les **terres rares légères** (lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, samarium) des **terres rares lourdes** (europium, gadolinium, terbium, dysprosium, erbium, yttrium, holmium, thulium, ytterbium, lutécium). Ces dernières sont produites quasi-exclusivement en Chine.

Tous ces éléments présentent des rayons atomiques très proches : ils présentent donc des comportements géochimiques similaires et partagent certaines propriétés physico-chimiques. En plus de capacités optiques exceptionnelles, ces métaux possèdent également un pouvoir d'aimantation et une résistance dans le temps qui en font des éléments très demandés. Ce sont des éléments plutôt tendres, ductiles, réactifs à des températures élevées. Ils se présentent commercialement sous forme d'oxydes, de sels ou de métaux, les éléments étant séparés ou non.

On les retrouve la plupart du temps ensemble, dans les mêmes minéraux, et il est donc très difficile de les séparer, les isoler les uns des autres. (le procédé ne sera mis au point qu'au 20^{ème} siècle).

.../...

4 - L'extraction des terres rares

Les terres rares sont des éléments extrêmement mélangés dans le minerai et par voie de conséquence, l'obtention d'un produit pur est un processus long, gourmand en ressources naturelles et polluant. Il existe un nombre important de minéraux à TR mais les procédés d'extraction n'ont été mis au point que pour certains d'entre eux (monzanite, bastnésite, loparite, entre autres). De plus, les applications industrielles des terres rares nécessitent des niveaux de pureté très élevés, jusqu'à 99,9999% pour les luminophores (matériaux utilisés dans les tubes cathodiques).

On peut résumer le processus d'extraction et de traitement des terres rares de la manière suivante :

1^{ère} étape : extraction (le plus souvent à ciel ouvert)

2^{ème} étape : broyage du minerai en une fine poudre

La roche brute est passée dans un concasseur à mâchoires (*jaw crusher*). Le minerai est réduit en gravillons de moins de 1 centimètre de diamètre. Cette étape a généralement lieu sur le site de la mine. Ensuite, les gravillons sont passés dans un moulin à billes (*ball mill*). Un tambour rempli de billes métalliques moule la pierre en poussières de 40 à 100 micromètres. On obtient une sorte de boue faite de poussières humides.

3^{ème} étape : séparation des métaux rares du reste du minerai et enrichissement

La méthode la plus courante est la **flottation** qui utilise beaucoup d'eau et de produits chimiques ainsi qu'une importante quantité d'énergie. Parmi les produits utilisés, quand on traite de la **bastnaésite**, on trouve des acides phosphorique et dicarboxyliques, du silicate de sodium et hexafluorosilicate de sodium.

Il existe des procédés alternatifs, notamment pour le traitement de la **monazite** et la **xénotime**, où l'on utilise une séparation magnétique.

*Exemple : Pour le gisement de terres rares de **Bayan Obo** (Chine), après broyage du minerai, celui-ci subit une première flottation qui permet de récupérer d'une part des oxydes de fer et d'autre part des minéraux silicatés renfermant du fer et du niobium. Le fer contenu est destiné à la production d'acier avec, en 2020, 15,61 millions de t. Le produit résidu de cette première flottation est traité par une deuxième flottation suivie d'une séparation magnétique et gravimétrique à l'aide de tables à secousse pour donner deux types de concentrés l'un de bastnaésite renfermant 68 % d'oxydes de terres rares, l'autre de monazite renfermant 36 % d'oxydes de terres rares. Ces concentrés de terres rares sont ensuite séparés sous forme d'oxydes et de métaux, avec, en 2017, une production autorisée de 59 500 t d'oxydes de terres rares.*

A la fin de cette étape d'enrichissement, le produit obtenu est déshydraté : la boue minérale est passée dans un concentrateur pour que les poussières décantent. Puis ces dernières font l'objet d'un séchage thermique.

4^{ème} étape : La purification

La **lixiviation** : dans le secteur minier, la lixiviation est une opération qui consiste en une mise en solution sélective des minéraux valorisables contenus dans un minerai à l'aide d'un solvant bien approprié. Elle est utilisée pour récupérer des éléments de valeur.

Les poussières résultantes sont traitées chimiquement, ce qui permet de faire passer leur pureté en terres rares à 90 %. Les produits chimiques utilisés sont agressifs mais assez ordinaires [acide sulfurique (H₂SO₄), acide chlorhydrique (HCl), acide nitrique (HNO₃), soude caustique (NaOH) ou cristaux de soude (Na₂CO₃).

*Exemple : pour Le gisement de **Mountain Pass** (Californie) : Le minerai de 7 à 10 % de teneur initiale en oxydes de terres rares est enrichi à environ 60 %, par **flottation**. Une purification, réalisée*

sur place, par **lixiviation** à l'acide chlorhydrique permet d'éliminer les éléments alcalino-terreux présents (calcium, baryum, strontium) sous forme de chlorures solubles et d'obtenir un concentré à 70 % d'oxydes de terres rares qui est expédié en Chine pour être traité. Une calcination éventuelle donne un concentré renfermant 90 % d'oxydes de TR. En 2021, la production a été de 42 413 t d'oxydes de terres rares.

Dans le cas des gisements associés à des minéralisations dans des argiles à adsorption ionique, les oxydes de terres rares sont récupérés par **lixiviation in situ** (voir ci-contre) à l'aide de solutions de sulfate d'ammonium. Après purification de la solution, les terres rares sont précipitées à l'aide d'acide oxalique sous forme d'oxalates.

5^{ème} étape : La séparation

A la fin de l'étape d'enrichissement, on obtient un mélange de TR : les différents éléments n'ont pas été séparés. Différentes techniques peuvent alors être mises en œuvre. Le principe de solubilité différentielle : chaque TR possède un solvant avec lequel elle aura plus d'affinité.

La séparation des terres rares se fait soit par des opérations chimiques classiques, par oxydation sélective, par réduction sélective ou par les techniques d'échanges d'ions. La séparation des lanthanides à l'échelle industrielle a validé le développement d'un procédé d'extraction par solvants.

5 - Conséquences environnementales de l'exploitation des terres rares

La création de sites d'exploration et d'exploitation minière, quelle que soit la nature des minerais, est polluante de par la production de zones d'accumulation de déchets, qui ont des conséquences néfastes sur les environnements. Concernant plus particulièrement les TR, ces métaux ont la particularité d'être présents ensemble dans les gisements. Cela signifie qu'il faut les séparer pour les utiliser de manière isolée. L'extraction, le traitement et la séparation des terres rares sont très coûteux en énergie, en eau et en produits chimiques. De plus, il est nécessaire d'extraire énormément de roches pour avoir une maigre quantité de terres rares en fin de processus.

De plus, les terres rares ont un rayon ionique proche de ceux d'éléments radioactifs comme l'uranium et le thorium. C'est pourquoi on les retrouve souvent dans les minéraux qui contiennent des terres rares créant ainsi des déchets radioactifs.

Les conséquences sur l'environnement commencent à être bien décrites et sont de différents ordres :

- **Déforestation - Destruction de terres agricoles** : l'activité minière, pour extraire des terres rares engendre la plupart du temps la destruction du couvert végétal du site ainsi que le décapage de la couche de terre végétale pour atteindre le minerai et extraire les oxydes de terres rares. Une fois le site d'extraction abandonné, aucune végétation naturelle ne subsiste (ce qui favorise le lessivage des sols), seulement des excavations et des déchets.
- La concentration en terres rares laisse d'énormes quantités de résidus : il s'agit d'une mixture composée d'eau, de produits chimiques et de minéraux terreux. **L'extraction de chaque tonne d'oxydes de terres rares produit de 1 300 à 1 600 m³ de déchets d'excavation.** Ces déchets sont généralement abandonnés dans des réservoirs naturels ou artificiels entourés de digues, ce qui constitue un risque de pollution à court et long terme. Dans la plupart des cas, ces déchets contiennent des substances radioactives présentes elles aussi dans le minerai (uranium, thorium et autres déchets), des fluorures, des sulfures, des acides et des métaux lourds. Ce type de stockage peut avoir des conséquences environnementales désastreuses (pollution des sols et de l'eau) à cause de la toxicité des résidus s'il s'écroule ou fuit. Ceci peut être causé par des pluies torrentielles (débordements) ou un manque d'étanchéité.
- **Dégradation des sols** : Si des mesures de protection de ces quantités importantes de déchets d'excavation ne sont pas mises en œuvre, des pluies torrentielles sont susceptibles de faire ravinier des mélanges de boue et de pierres sur les terres agricoles, envaser les rivières, les bassins, les réservoirs et polluer les ressources en eau. L'étude mentionnée ci-dessus montre que l'érosion des sols dans les zones de stockage des déchets est très importante, atteignant 41 800 T/m², ce qui est 50 fois supérieur à ce qu'elle était sous le couvert végétal initial.

- **Effets sur la qualité de l'eau** : l'activité minière permettant d'extraire des terres rares à partir de minéralisations dans des argiles nécessite l'utilisation de grandes quantités de sulfate d'ammonium et d'acide oxalique. Ainsi, pour produire **une tonne d'oxydes de terres rares**, il est nécessaire d'employer de **6 à 7 tonnes de sulfate d'ammonium** et de **1,2 à 1,5 tonnes d'acide oxalique**. Les boues générées par les déchets de cette activité minière absorbant une part importante de ces solutions d'extraction, des eaux acides suintent constamment des sites de stockage des déchets, ce qui modifie le pH, augmente l'oxygène consommée chimiquement et envase des eaux de la rivière voisine, qu'il pleuve ou non.

La purification rejette des métaux lourds comme le plomb, le mercure ou le cadmium. Ainsi la rivière Xiang, dans la province du Hunan, présente à certains endroits une concentration en métaux lourds près de 100 fois supérieure aux standards nationaux.

- **Production de déchets radioactifs** : l'extraction de terres rares à partir de la Bastnaésite et de la Monazite a pour effet de libérer aussi d'importantes quantités d'éléments radioactifs. Un cas emblématique fut celui de la raffinerie de terres rares de Bukit Merah en Malaisie exploitée pour le compte de Mitsubishi entre 1982 et sa fermeture en 1992 suite à l'apparition de nombreux cas de leucémies et de naissances avec malformations. La mise en décharge illégale des déchets radioactifs de la raffinerie est la cause de ces impacts sur la santé des populations locales. La décontamination ne commencera qu'en 2003. Mais début 2012, des taux anormalement élevés de radioactivité étaient toujours relevés sur le site et ses alentours.

NB : Ce n'est pas le cas des argiles contenant des terres rares à « ion-absorption » (comme dans le sud de la Chine) qui ne contiennent pas d'éléments radioactifs.

6 - LA PRODUCTION DE TERRES RARES

6.1 - Histoire :

- L'exploitation des terres rares a été très modeste jusqu'au début des années 80. Elle connaît ensuite un véritable essor suite à la production massive de téléviseurs couleur (fabrication des luminophores pour les pixels rouges, verts et bleus) et le développement des technologies lasers. Ces deux innovations nécessitent des terres rares.

Les Etats-Unis sont alors les principaux producteurs grâce à l'activité d'une unique mine, celle de Mountain Pass. Cette dernière fermera au début des années 90 pour cause de pollution sévère conjuguée à un désintérêt pour ce type de production et ses enjeux encore mal cernés.

- C'est alors que la Chine prend le relais de la production de façon spectaculaire, pour plusieurs raisons : les gisements sont très importants (taille, qualité), les règles environnementales, même si elles existent, sont peu respectées et la main-d'oeuvre est assez bon marché.

On passe alors assez vite d'un marché de niche mais lié à de hautes technologies et à forts enjeux mondiaux.

6.2 - Pays producteurs et principaux gisements

Les réserves réelles et leur distribution à travers le globe sont encore mal connues mais concernant la production minière mondiale de TR, elle peut être estimée en 2021 de l'ordre de 280 000 t à 300 000 t OTR. En 2020, cinq pays ont produit près de 97% de la production mondiale de TR (Chine, Etats-Unis, Myanmar, Australie et Madagascar).

La Chine demeure le premier producteur mondial à hauteur de 60 %. La production chinoise officielle, régulée par des "quotas de production" par région et par producteur, a augmenté de 20 %, s'élevant à 168 000 t d'OTR contre 140 000 t en 2020. Pour la plupart des analystes, cette augmentation des quotas était quasiment inévitable étant donnée la situation actuelle de l'offre en Chine et la croissance de la demande des fabricants d'aimants Nd-Fe-B.

Les Etats-Unis sont aujourd'hui le deuxième producteur mondial en termes d'opérations minières, avec la reprise de la mine de Mountain Pass en Californie. En 2021, 43 000 t d'OTR ont été extraites, destinées à produire des concentrés de TR, exportés et revendus par le partenaire chinois Shenghe.

Des extensions de capacités sont prévues à partir de 2023, afin d'aboutir à la production d'oxydes Nd-Pr et de précurseurs d'aimants permanents sur le sol américain.

Et en Europe ?

Parmi les gisements primaires, des potentiels non négligeables ont été repérés à Norra Kärr en Suède et dans d'autres lieux de Scandinavie, tandis que la province magmatique de Gardar au Groënland (affilié au Danemark) présente plusieurs intrusions plutoniques jugées exceptionnelles. Le Groënland contiendrait pas moins de 12% des réserves mondiales exploitables de terres rares. L'étude géologique a aussi permis de trouver des gîtes secondaires, en Bohême, en Grèce et même en France (Bretagne, zone méditerranéenne).

Un groupe minier suédois a annoncé avoir identifié un important gisement de terres rares, dans le nord de la Suède. Il pourrait même s'agir du plus grand gisement connu à ce jour en Europe. Toutefois, la **mine de Kiruna** ne représenterait que moins de 1% des réserves mondiales. Si l'ampleur exacte du gisement reste à déterminer, il pourrait tout de même représenter plus de 1 million de tonnes de terres rares.

La mise en exploitation de la mine de Kiruna n'est cependant pas pour demain. LKAB, le groupe minier à l'origine de la découverte, estime qu'il faudra entre 10 et 15 ans pour étudier le gisement, obtenir les autorisations d'exploitation et mettre en route la mine. Mais pour le gérant du groupe, la mine de Kiruna pourrait, d'ici 2035, permettre de produire une grande part des aimants nécessaires à la fabrication des moteurs des voitures électriques européennes.

7 - A QUOI SERVENT LES TERRES RARES

7.1 - De belles pages pour l'histoire de la chimie française...

Dans la deuxième moitié du 19ème siècle, trois chimistes français identifient 3 nouveaux éléments, des terres rares, le samarium, le dysprosium puis le lutétium.

En 1919, c'est l'un d'entre eux, Georges Urbain, qui crée la "Société des produits chimiques des Terres rares" dont l'usine de Serquigny (Eure) produit du thorium et des dérivés d'ETR pour la fabrication de pierres à briquet (en mischmétal) et de manchons à gaz. Cette production sera ensuite transférée à La Rochelle en 1947 où naîtra ensuite le procédé Rhône-Poulenc de séparation des ETR. Il s'agit donc de la première entreprise au monde à utiliser et valoriser des ETR : Rhodia, aujourd'hui intégrée dans le groupe Solvay, leader mondial dans la chimie séparative des ETR dont l'usine existe toujours à La Rochelle. Dans les années 80, elle purifiait 50% du marché mondial de terres rares. Désormais, il a été décidé de sous-traiter aux Chinois la première partie du raffinage en raison des craintes de la population et à la pression médiatique face aux risques de radioactivité.

7.2 - Enjeux actuels

En raison de leurs propriétés, les applications des terres rares sont multiples. Voici les principales :

- les **aimants permanents** sont une composante essentielle des technologies électroniques modernes utilisées dans les téléphones cellulaires, les téléviseurs, les ordinateurs, les automobiles, les éoliennes, les avions à réaction et bien d'autres produits. La fabrication d'aimants permanents représente la plus grande et la plus importante utilisation finale des ETR, soit 29 % de la demande en 2021 selon cette infographie du BRGM (ci-contre) ; d'autres sources (site gouvernemental canadien sur les ressources minérales) donne le chiffre de 43%. Ils ont l'avantage de pouvoir miniaturiser les générateurs, les moteurs ;
- procédés de **catalyse** : dans l'industrie du **raffinage pétrolier**, les catalyseurs "classiques" sont dopés de l'ordre de 8 % en masse de cérium et de lanthane afin de stabiliser la zéolite lors des procédés de craquage. Dans le même principe, les **pots catalytiques des voitures** contiennent environ 30 % d'oxyde de cérium (CeO₂) afin de convertir le monoxyde d'azote et le monoxyde de carbone en composés moins nocifs ;
- polissage du verre, des écrans plats ;

- certaines batteries : les terres rares sont aussi largement répandues dans les batteries et les systèmes électrolytiques. Les batteries de type Nickel-Hydrure-Métal (NiMH) utilisent du Lanthane, du Cérium, du Néodyme et du Praséodyme dans leurs procédés d'élaboration afin d'absorber l'hydrogène des cellules et d'améliorer la réversibilité des procédés électrochimiques ;
- certains alliages métallurgiques ;
- industries du verre et des céramiques (coloration, décoloration...) ;
- l'Yttrium, le Terbium ou encore l'Europium sont également employés dans les **poudres luminophores**. Ces poudres permettent la conversion d'énergie électrique en énergie lumineuse de manière plus efficace. Ces poudres luminophores ont ainsi permis le développement d'ampoules basse consommation. On les retrouve également dans les écrans (ordinateurs, téléviseurs, smartphone).
- le domaine médical : le cérium est utilisé sous forme de nitrate de cérium dans certaines crèmes ou dans des pansements pour soigner les brûlures graves. Des ETR sont également présentes dans les dispositifs de radiographie, d'IRM ;
- et bien d'autres domaines : militaire (lasers de guidage), l'énergie nucléaire, ...

7.3 - Et les prix ?

Globalement, c'est le marché intérieur chinois qui guide les prix internationaux des TR. N'ayant pas de cotation sur les marchés boursiers, les prix des TR sont établis par négociation directe de contrats entre producteurs et transformateurs/utilisateurs. Ces prix sont à considérer de manière individuelle par élément de TR, une grande disparité existant entre les terres rares légères, plutôt abondantes, et les terres rares lourdes réservées à des applications de niche du fait de leur rareté sur le marché. Les plus onéreuses sont l'europium, le terbium, le dysprosium ou encore le lutécium, qui sont plus chères que l'argent, par exemple. L'europium, qui est très recherché pour les luminophores de tous nos écrans, peut valoir 10 000 €/kg. A l'inverse, le lanthane, qui est assez abondant et qui n'a pas de propriétés industrielles très intéressantes, va valoir moins de 100 €/kg.

Si les prix des TR sont cotés en dollars américains, l'un des objectifs de Pékin serait à terme d'imposer le Yuan comme monnaie de référence. A cette fin, une bourse d'échange sur les TR a été mise en place à Baotou, en Mongolie Intérieure, en 2018.

A titre indicatif : Prix moyen de quelques métaux en 2022 :

Métal	Cuivre	Aluminium	Etain	Zinc	Plomb	Lithium	Nickel
Prix	8 800	2 700	31 330	3 480 \$	2 165 \$	40 500 €	10 500 \$

Prix donnés en US \$ ou en € / **tonne** - Source : INSEE

8 - LE PROBLEME DU RECYCLAGE

Le groupe de métaux appelés terres rares n'est quasiment pas recyclé, contrairement à des éléments plus communs comme le fer ou le cuivre. C'est toujours vrai à l'heure actuelle.

En cause : les quantités récupérées sont souvent très faibles et présentent des impuretés, et la rentabilité des procédés n'est pas encore au rendez-vous par rapport à des extractions très bon marché, notamment dans des pays aux normes environnementales peu sévères. Par exemple Rhodia, qui avait démarré un recyclage industriel, de dimension mondiale, des luminophores (phosphates de terres rares utilisés dans les lampes fluorescentes) en France en 2011, l'a arrêté début 2016.

Les problèmes environnementaux liés à l'exploitation des ETR, la position dominante de la Chine quant à la production de ces éléments font que l'amélioration des procédés de recyclage des terres rares constitue un enjeu majeur.

Aujourd'hui, on peut considérer comme des mines hors sol les montagnes de déchets technologiques produits par nos sociétés. Extraire et recycler les métaux qui les composent pour pouvoir les réinjecter dans l'économie représente un enjeu considérable sur le plan technologique.

L'exemple du recyclage des aimants permanents Nd-Fe-B

A l'heure actuelle, le recyclage des aimants permanents Nd-Fe-B n'est effectué qu'en Chine et au Japon. A titre d'exemple, en Chine, 80 % des capacités de recyclage sont installées à Ganzhou, dans la province du Jiangxi. La production est de 15 000 t/an, à 90 % d'oxyde de Nd et Pr et à 10 % d'oxydes de Tb et Dy. Cependant, les recherches et les initiatives se multiplient en Amérique du nord et en Europe. Deux approches sont possibles :

- la boucle courte : les aimants usagés sont broyés pour obtenir une poudre d'alliage magnétique, qui peut être réutilisée pour fabriquer de nouveaux aimants permanents, avec de potentielles pertes de performance. Ce procédé est mis en oeuvre par la Chine.
- la boucle longue : les aimants sont broyés, puis des traitements permettent d'obtenir des oxydes purs de TR. L'avantage est de ne pas dépendre de la qualité et de permettre de s'adapter aux évolutions technologiques, notamment en cas d'évolution des proportions des différents composants des alliages magnétiques. Toutefois, cette voie est dépendante des capacités industrielles à produire des aimants permanents à partir des oxydes.

Et en France ?

En France, la société Ecosystem a récupéré, en 2019, 5 176 t de lampes soit plus de 50 millions d'unités en vue du recyclage des matériaux contenus (88 % de verre, 5 % de métal, 4 % de plastique, 3 % de poudre luminophore, 0,005 % de mercure). 4 000 t de lampes sont susceptibles de donner 15 t d'yttrium, 1 t de terbium et 1 t d'euporium.

Entre 2012 et 2016, Solvay a récupéré à Saint-Fons (69) la poudre luminescente de ces lampes, éliminé les résidus de verre et le mercure, et produit un concentré de terres rares renfermant du lanthane, du cérium, du terbium, de l'yttrium, de l'euporium et du gadolinium puis séparé ces différentes terres rares à La Rochelle (17). Cette activité a été abandonnée par Solvay fin 2016.

CONCLUSION : LE PARADOXE DES TERRES RARES

« Construire de nouvelles technologies nécessite des matériaux et des métaux. Dans le cas des éoliennes, qui sont des sources d'énergie peu émettrices de CO₂, on a besoin d'avoir des terres rares dont l'extraction impacte en retour l'environnement. C'est ainsi que l'on aboutit à un paradoxe. » Une des solutions pourrait être de limiter la quantité extraite en se concentrant sur leur recyclage. Aujourd'hui, seul 1% des terres rares est recyclé. Cela est dû au fait qu'elles sont souvent présentes en petite quantité et qu'il est difficile de séparer les terres rares des autres métaux pour les recycler. Pour pousser les industriels à recycler les terres rares, il faudrait que ce processus devienne rentable. « Penser que l'on peut avoir des énergies vertes sans déchets ou sans impact environnemental est aujourd'hui un leurre. » Dans le cadre de la transition énergétique, nos pays vont continuer à se tourner vers les « énergies vertes ». Nous allons donc continuer à avoir besoin de terres rares. La question importante sera de savoir comment recycler un maximum de terres rares pour limiter la création de nouveaux sites d'exploitation.

La recherche doit également inventer de nouvelles manières d'extraire les terres rares pour limiter l'impact environnemental et les conséquences sur la santé humaine."

D'après : Lucie LEPRINCE - CNRS INSU

DOCUMENT 4

TERRES RARES : QUELS ENJEUX POUR LA FRANCE ET L'EUROPE ?

Vie publique.fr - Publié le 19 mai 2023

Par : Dominique Viel - ancien haut fonctionnaire, Présidente du groupe d'experts sur les ressources minérales de la transition bas carbone

Téléphones portables, disques durs, écrans, vélos ou voitures électriques, turbines d'éoliennes, robots : ni les nouvelles technologies, ni la transition verte ne sont pensables sans les terres rares. Mais elles sont difficiles à extraire et la Chine joue d'une position dominante. Quelles sont les politiques à développer compte tenu de ces enjeux ?

Sommaire :

1. Les terres rares : carte d'identité
2. Terres rares, les enjeux du futur
3. Peut-on implanter une filière de recyclage en Europe ?
4. Quelles possibilités de substitution aux terres rares ?

Les terres rares sont présentes un peu partout dans la croûte terrestre. Leur rareté désigne leur très faible concentration, qui nécessite l'extraction de grands volumes de matière. Globalement l'extraction, la purification, le traitement et la séparation des terres rares sont coûteux en énergie, en eau et en produits chimiques polluants.

Les terres rares sont utilisées dans de nombreux objets électroniques et numériques. Les besoins en technologies bas-carbone, notamment pour les moteurs de véhicules électriques et hybrides ou les éoliennes en mer, pourraient selon l'Agence internationale de l'énergie, multiplier la consommation de terres rares par sept d'ici 2040.

Sortir de la dépendance par rapport au quasi-monopole de la Chine, faciliter l'émergence d'une filière du recyclage, et accélérer les possibilités de substitution. **La France et l'Europe ne manquent pas d'enjeux sur les terres rares.**

1 - Les terres rares : carte d'identité

À quoi servent les terres rares ?

Les terres rares sont constituées de 17 éléments : 15 lanthanides : Lanthane ; Cérium ; Praséodyme ; Néodyme ; Prométhium ; Samarium ; Europium ; Gadolinium ; Terbium ; Dysprosium ; Holmium ; Erbium ; Thulium ; Ytterbium et Lutécium, ainsi que Scandium et Yttrium. **Les terres rares légères sont utilisées pour leurs propriétés magnétiques exceptionnelles, et les terres rares lourdes (celles qui ont le plus de valeur) servent à repousser le point de température où les aimants perdent leur magnétisme.**

Elles sont omniprésentes, surtout dans quatre secteurs industriels qui représentent 10% de l'économie mondiale (Institut polytechnique UniLaSalle, *Comment concilier l'exploitation des terres rares et l'environnement ?* 3 avril 2023) :

- numérique (téléphones portables, disques durs, écrans) ;
- énergie (turbines d'éoliennes en mer, moteurs de voitures électriques et hybrides) ;
- médical (appareils, robots) ;
- armement.

Leurs usages sont diversifiés (données pour 2021) :

- le premier (31%) étant les aimants permanents (utilisés dans les générateurs, les volants magnétiques, les alternateurs, les moteurs de jouets, d'horlogerie) ;
- les catalyseurs (18%) (utilisés dans les pots catalytiques des voitures) ;

- les alliages métallurgiques (18%) (utilisés dans la construction aéronautique, militaire, médicale, etc.) ;
- le polissage (13%) (utilisé sur la surface de nombreux produits industriels) ;
- les verres et céramiques (11%) ;
- le reste représentant 9%.

Les aimants permanents connaissent une croissance débridée. L'éolien et la mobilité bas carbone en consomment 35% du marché mondial, dont la Chine assure 91% de la production. Leur forte croissance (la consommation sera multipliée par trois d'ici 2030 pour l'éolien, et par dix pour les véhicules électriques) pourrait se heurter à une offre limitée des terres rares.

Pourquoi les appelle-t-on terres "rares" ?

Au XVIII^e siècle, au moment de leur identification par Lavoisier, les terres rares étaient moins abondantes que d'autres terres connues à l'époque (chaux, alumine, silice, etc.). La première terre rare, l'Ytterbium, fut découverte par hasard en 1787 par Arrhenius dans une carrière près de Stockholm.

Aujourd'hui, **ce sont les difficultés à les extraire et à les raffiner qui les rendent rares :**

- pour extraire 1 kilo de gallium, il faut casser 50 tonnes de roches, pour 1 kilo de Lutecium, il s'agit de 1 200 tonnes de roches ;
- leur raffinage passe par l'utilisation d'acides sulfuriques et nitriques, qui contaminent les eaux et les sols avoisinants, générant chez les humains cancers, malformations et infertilité ;
- leur contenu en thorium ou en uranium radioactif constitue une autre source de pollution, qui a justifié l'arrêt des activités de la raffinerie de terres rares à La Rochelle (Rhône-Poulenc), délocalisées en Chine. Dans les années 1980, l'usine purifiait 50% du marché mondial de terres rares.

Quels sont les pays producteurs ?

Selon l'Institut des études géologiques des États-Unis (USGS), la production mondiale de terres rares, 280 000 tonnes, se répartit entre :

- Chine : 168 000 tonnes, soit 60% du marché mondial ;
- États-Unis : 42 000 tonnes, soit 15% ;
- Birmanie : 25 000 tonnes, soit 9% ;
- Australie : 22 000 tonnes, soit 8% ;
- Thaïlande : 8 000 tonnes, soit 3%.

De petits producteurs complètent le panorama : Brésil, Burundi, Inde, Madagascar et Russie.

Les prix des terres rares varient en fonction de l'usage et de la rareté de chaque élément. En 2021, le Lanthane ou le Cerium étaient vendus, au kilo, un peu plus de cinq dollars le kilo, alors que le Terbium dépassait 1 709 dollars.

Jusqu'aux années 1980, les États-Unis dominaient le marché des terres rares. Une main-d'œuvre moins chère, des gisements plus importants et des lois environnementales souples ont permis à la Chine de faire baisser les prix de vente et, depuis 1995, de devenir le premier producteur mondial. La Chine est en effet le seul pays à accepter des coûts environnementaux très élevés, dus à des techniques productives médiocres mais peu chères.

La Chine joue de cette position dominante. En 2000, pour privilégier ses industries, elle a réduit de 40% ses exportations, ce qui a provoqué une envolée des prix. En 2010, elle a institué des taxes et des quotas sur ces exportations, ce qui l'a fait condamner par l'Organisation mondiale du commerce (OMC) à deux reprises. En 2011, elle a suspendu ses exportations dans le contexte d'un conflit avec le Japon. En parallèle, la Chine investit dans l'extraction de terres rares un peu partout dans le monde, pour accroître sa souveraineté et pour conserver le moins de pollution possible à l'intérieur de ses frontières.

Tout cela a poussé l'Occident à la recherche de nouvelles sources, et, à partir de la fin des années 2010, des projets de mines et d'usines de raffinage se sont multipliés en Australie et au Canada. En

2013, les États-Unis ont réactivé la mine à ciel ouvert de *Mountain Pass* en Californie, fermée en 1998 après le déversement accidentel de milliers de litres d'eau radioactive.

En Europe, plusieurs sites prometteurs ont été identifiés en Scandinavie et au Groenland. En janvier 2023, le groupe Suédois LKAB a annoncé la découverte d'un gisement de plus d'un million de tonnes, soit 1% des réserves mondiales identifiées. Le gisement se trouve à Kiruna, en Laponie suédoise, un territoire utilisé pour l'élevage des cerfs par le peuple des Sami. LKAB aura beaucoup à faire pour obtenir l'acceptabilité sociale nécessaire au bon déroulement des opérations, car un gisement comparable, celui de Nora Kärr, également en Suède, est resté gelé pour des raisons environnementales de 2017 à 2020, et, si les études ont repris, la question de l'exploitation est toujours en suspens. **L'éventuelle exploitation n'interviendra pas avant dix ou quinze ans, délai minimum pour ouvrir une mine et la mettre en service.**

Matières premières et dépendance de l'UE : les propositions de la Commission européenne

Lithium, tungstène, cobalt, terres rares... Certaines matières premières sont indispensables à la transition numérique et écologique de l'économie européenne. Face à la dépendance de l'UE à l'égard de son approvisionnement, la Commission européenne vient de présenter un plan d'action visant à améliorer l'accès à ces matières premières.

10 septembre 2020

2 -Terres rares, les enjeux du futur

Où se trouvent les réserves de terres rares ?

En 2021, l'USGS estime à **120 millions de tonnes les réserves mondiales de terres rares, dont 90% se trouvent :**

- en Chine : 44 millions de tonnes, soit 37% ;
- au Vietnam : 21,6 millions de tonnes, soit 18% ;
- au Brésil : 20,4 millions de tonnes, soit 17% ;
- en Russie : 20,4 millions de tonnes, soit 17%.

Au **rythme de production actuel** (280 000 tonnes) et au vu de ces réserves, le monde dispose d'au moins **430 ans de consommation de terres rares** devant lui.

Ces données évoluent au fur et à mesure de l'exploration. L'Arctique aurait le second potentiel du monde de terres rares après la Chine, mais ses réserves ne sont pas encore prouvées. On parlerait alors de mille ans d'exploitation assurée.

Quel est le potentiel de la France ?

En France, les principaux sites géologiques susceptibles d'être exploités pour des terres rares sont situés en Bretagne, en Guyane et en Polynésie.

En Bretagne, des gisements existent en Ille-et-Vilaine, dans les Côtes-d'Armor et dans le Finistère. Ils sont trop modestes pour justifier l'ouverture d'une filière d'extraction, mais, en cas d'envolée des cours, le site d'Ille-et-Vilaine permettrait une production marginale.

En Guyane, des permis de recherche ou d'exploitation sont accordés pour des "bouquets" de minerais qui comprennent des terres rares, mais aucun grand gisement n'a été identifié.

Les fonds océaniques du côté de la Polynésie française et de la Nouvelle-Calédonie, pourraient recéler des ressources en terres rares. Mais, l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) n'y fait pas de recherche pour le moment, car **les métaux des roches océaniques sont en général pauvres en terres rares comparées aux roches terrestres**. La teneur en terres rares la plus élevée observée lors de découvertes japonaises récentes à plus de 5 000 mètres de profondeur n'est que de 0,3%, à comparer à celle des gisements les plus importants, 5%, ou celle des gisements moyens, autour de 1%.

Par ailleurs, l'exploitation minière de l'océan détériorerait les fonds marins et mettrait en péril des espèces et des populations humaines qui dépendent de leur bon état. En effet, des panaches de particules sédimentaires se déposent sur la faune alentour, tandis que le passage des machines sur les grands fonds détruit les habitats de la faune abyssale. **Dans les conditions actuelles, la France ne dispose donc pas actuellement de potentiel minier de terres rares.**

Outre-mer : un enjeu de la stratégie maritime nationale

La Délégation sénatoriale aux outre-mer consacre une étude approfondie à la stratégie maritime en outre-mer alors que se profile la stratégie maritime nationale 2023-2029. Le rapport revient sur le bilan décevant de la politique pour la mer et le littoral de 2017 et met en avant le potentiel des territoires ultramarins de la France.

3 - Peut-on implanter une filière de recyclage en Europe ?

Une première expérience sans suite

En 2012, le groupe Solvay lançait l'industrialisation d'un procédé innovant de recyclage des terres rares contenues dans les ampoules basse consommation. À l'époque, la hausse des prix qui avait suivi la contraction des exportations chinoises faisait craindre des difficultés d'approvisionnement. Un partenariat avec l'éco-organisme Recylum, spécialisé dans les lampes, assurait la collecte des lampes.

En 2016, le prix des terres rares retrouva son niveau d'avant crise, et le procédé perdit sa compétitivité. La substitution des lampes à fluorescence par des LED contraignit à mettre un terme à l'activité.

De nouvelles perspectives

L'Union européenne a récemment pris conscience de l'enjeu que représente le recyclage pour développer une industrie de production d'aimants permanents. Le European Critical Raw Materials Act, publié le 16 mars 2023, fixe l'objectif d'augmenter de 15% les capacités de recyclage des matériaux critiques, dont les terres rares.

Aujourd'hui, seulement 1% des terres rares sont recyclées, car leur présence en petites quantités fait qu'il est difficile de les séparer des autres métaux. Cependant, la France bénéficie d'atouts : **quatre entreprises françaises ont développé des technologies innovantes qui permettent de mieux séparer les terres rares**, tout en allégeant les coûts d'eau et d'énergie, et en minimisant les impacts environnementaux.

Comme il n'y aurait pas de sens à recycler les matériaux pour les renvoyer dans les usines chinoises, les entreprises françaises seront à la fois opérateurs de recyclage et productrices de terres rares, chacune dans une filière différente : automobiles pour **Carester**, éoliennes pour **MagREEsources**, aimants à haute performance pour **Orano**, domotique et petits moteurs électriques pour **REEfine**. Enfin, **le recyclage ne remplacera jamais totalement l'extraction et le traitement des terres rares.**

En effet :

- une bonne partie des produits concernés ont une durée de vie longue : environ 30 ans pour une éolienne, 10 ans pour un véhicule, etc. ; il faut donc un certain temps avant que ces produits, devenus déchets, puissent être recyclés ;
- la massification des déchets qui permet le recyclage repose sur la performance de la collecte, qui, en théorie, ne peut dépasser 80% du gisement ; le point de départ est actuellement si bas qu'il ne pourra monter que progressivement ;
- le taux de croissance du marché des terres rares est tel, à horizon prévisible, qu'il devancera toujours de très loin les possibilités de recyclage.

Ordonnance du 10 novembre 2022 portant diverses dispositions relatives au code minier

L'ordonnance finalise la réforme de la partie législative du code minier. Elle complète et corrige plusieurs ordonnances du 13 avril 2022 et le code minier.

4 - Quelles possibilités de substitution aux terres rares ?

Actuellement pas d'alternatives à performance équivalente

Des progrès en recherche et développement (R&D) suscitent parfois des espoirs, mais la voie vers l'industrialisation s'avère souvent plus longue que prévu. En 2021, un groupe allemand a communiqué sur un procédé pour produire des aimants permanents sans terres rares, mais rien n'est encore sorti du laboratoire. En 2018, Toyota a annoncé une innovation permettant de passer du Néodyme au Lanthane et au Cerium, plus abondants et moins chers. Cette innovation demande de compenser la baisse de performance des aimants par des technologies préservant la résistance des métaux à la chaleur. L'industrialisation du procédé est attendue d'ici une dizaine d'années. Seules des ruptures technologiques vont permettre une substitution des terres rares

En ce qui concerne les véhicules électriques ou hybrides, la recherche porte en premier sur la disparition de l'utilisation des aimants. C'est le cas de Renault et de sa Megane Electric avec des aimants permanents au rotor bobiné au cuivre, dont les fils spécialement disposés et triés résistent à la force centrifuge du rotor. Le courant est modulé afin de limiter la consommation électrique de la batterie à grande vitesse ou sur autoroute.

Concernant les véhicules Tesla, ses premiers modèles étaient dotés de moteurs à induction à courant alternatif sans terres rares. En mars 2023, Tesla a annoncé un moteur plus efficace, moins cher, et sans trace de terres rares. Il s'agit de diviser par deux le coût de production des voitures électriques pour viser le marché de masse. Mais le nouveau procédé reste un mystère.

En ce qui concerne les éoliennes en mer, de nouvelles technologies à partir de supraconducteurs réduisent voire suppriment la dépendance aux terres rares. Les supraconducteurs permettent en effet aux courants de haute intensité de circuler sans perdre d'énergie du fait de la résistance électrique.

En 2018, Envision Energy, société danoise, a mis à l'essai un générateur supraconducteur sur l'une de ses éoliennes. Cette technologie réduirait le poids de l'éolienne, une aubaine pour les éoliennes offshore, de plus en plus puissantes.

En 2018 également, l'entreprise française Jeumont Electric, investie avec huit partenaires européens, envoyait en Allemagne la première machine utilisant la supraconductivité dans les génératrices de turbines éoliennes, pour être testée avant d'être exploitée sur une éolienne au Danemark. En 2019, les États-Unis, via le département de l'énergie, ont financé quatre projets de développement d'éoliennes de plus de 10 MW, pour réduire ou supprimer le recours aux terres rares par l'utilisation de supraconducteurs.

En 2022, France Relance a retenu, pour le financer, le prototypage d'un supraconducteur pour éoliennes en mer de grande puissance. Le projet est porté par une filiale de General Electric, Steam Power, dont un accord de rachat par EDF a été signé en novembre 2022.

Ainsi, **sur toute la chaîne de valeur des terres rares, la France et l'Europe sont dans un rapport de dépendance marqué par rapport à la Chine.** La situation peut même être qualifiée d'instable et de dangereuse face aux possibilités de restriction de la Chine sur ses exportations à base de terres rares, en raison de la hausse prévue de la consommation chinoise.

Il existe néanmoins des ouvertures pour l'Europe pour diminuer cette dépendance : potentiel d'exploitation minière de terres rares dans l'Arctique européen, perspectives de recyclage, en particulier des aimants permanents, passage aux technologies de supraconduction. Ces stratégies permettraient de retrouver une part de souveraineté si elles étaient toutes les trois menées à leur terme, et pas seulement l'une ou l'autre.

La bataille des minerais critiques bat son plein

Le 28 septembre 2023 s'est tenu à Paris, organisé par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), le premier sommet consacré aux « métaux critiques ». La course à ces métaux, lithium, nickel, cobalt, terres rares, cuivre ou graphite, s'accélère. En tout, 34 minerais pour l'UE, et 50 pour les États-Unis qui viennent d'allonger leur liste. Les besoins en métaux critiques sont de plus en plus importants.

Par Eugène Berg

Les échanges de ces minerais dits « critiques » ont explosé depuis vingt ans, leur commerce ayant été multiplié par sept en valeur, passant de 53 à 378 milliards de dollars de 2002 à 2022, avec une augmentation significative du commerce des MGP, métaux du groupe platine ; comme le rhodium, l'iridium, le ruthénium et l'osmium, qui depuis 2017 ont enregistré des taux de croissance annuels jusqu'à 72 %. Les révolutions numériques et écologiques reposent grandement sur ces matières premières qui sont désormais partout : smartphones, ordinateurs, batteries de véhicules électriques (chacune nécessitant jusqu'à 200 kg de minerais critiques, éoliennes ou panneaux photovol-

taïques mais aussi robotique, armement et drones). Selon le rapport annuel de Bloomberg portant sur les investissements globaux réalisés dans la transition énergétique, ceux-ci ont atteint en 2022 1 100 milliards de dollars et une bonne partie a porté sur l'extraction et le raffinage des métaux critiques.

Les chaînes d'approvisionnement sont à la fois mondialisées et concentrées. L'Afrique du Sud est le premier producteur de ruthénium avec une part de marché de 92 % selon le CEA. La République démocratique du Congo (RDC) domine largement le cobalt (64 %), le Chili celle du lithium (44 %). Mais c'est la Chine qui est l'acteur principal, étant à la fois le grand producteur des terres rares (86 %) et de loin le premier importateur couvrant en 2022 un tiers des importations totales, devant l'UE (16 %), le Japon et les États-Unis (11 %). La Chine est le premier acheteur de cuivre (60 %), minerai le plus échangé du monde. Pour les exportations, le trio de tête est constitué du Chili, de l'Afrique du Sud et du Pérou. L'utilisation des principaux métaux stratégiques est fortement complémentaire. Chaque élément est en effet nécessaire mais pas suffisant à lui seul, pour le développement d'une technologie bas-carbone. À titre d'exemple, la fabrication de batteries électriques requiert non seulement du lithium, mais aussi du cobalt (70 % de la demande mondiale), du graphite, du manganèse, du molybdène et du nickel. La rareté pousse à la protec-

tion : selon l'OCDE, le nombre de restrictions, y compris les droits de douane, est passé de 472 mesures en 2012 à 489 mesures en 2017 et 502 en 2021. En juillet 2023, la Chine a ainsi annoncé des restrictions sur l'exportation de gallium et de germanium, puis en octobre sur le graphite. Mais surtout, depuis le 21 décembre 2023, elle interdit l'exportation des « technologies d'extraction, de traitement et de fusion des terres rares ».

CLASSIFICATIONS ÉTATIQUES

Les matières premières critiques font l'objet de classifications de la part des États. La Commission européenne en distingue 34 dans sa dernière estimation réalisée le 14 mars 2023. La première liste des matières premières critiques publiée par la Commission européenne date de 2011 et celle-ci est révisée tous les trois ans. De son côté, l'USGS établit périodiquement une liste des minéraux critiques en utilisant les méthodes scientifiques les plus récentes pour évaluer la criticité des minéraux. Une grande partie de l'augmentation de la nouvelle liste est le résultat de la séparation des éléments des terres rares et des éléments du groupe du platine en entrées individuelles plutôt que de les inclure en tant que groupes de minéraux. En outre, la liste 2022 des minéraux critiques ajoute le nickel et le zinc tout en supprimant l'hélium, la potasse, le rhénium et le strontium. Cette nouvelle liste a été créée sur la base des directives de la loi sur l'énergie de 2020, qui définit

un minéral critique comme un minéral non combustible ou un matériau minéral essentiel à la sécurité économique ou nationale des États-Unis et dont la chaîne d'approvisionnement est vulnérable aux perturbations. Les minéraux critiques sont également caractérisés par le fait qu'ils remplissent une fonction essentielle dans la fabrication d'un produit dont l'absence entraînerait des conséquences significatives pour l'économie ou la sécurité nationale. De façon plus générale, les minerais et métaux stratégiques sont utilisés pour les véhicules électrifiés (cobalt, cuivre, lithium, nickel, terres rares), les piles à combustible (platine, palladium, rhodium), les technologies de l'éolien (aluminium, cuivre, nickel et terres rares pour l'éolien offshore), l'aéronautique (titane) ou encore les technologies du solaire photovoltaïque (aluminium, argent, cuivre, silicium).

LA PRÉPONDÉRANCE CHINOISE SE MANIFESTE DANS DE NOMBREUX DOMAINES

Du fait d'une politique gouvernementale active, au moyen d'aides, de subventions et d'une législation environnementale très laxiste, la Chine est devenue un acteur majeur dans la production de nombreux minerais : antimoine, germanium, graphite, lithium, molybdène, silicium, terres rares, tungstène, ou encore vanadium. C'est certes également le cas des États-Unis (béryllium, cuivre, germanium, molybdène), de l'Afrique du Sud (manganèse, palladium, platine), du Chili (cuivre, lithium, rhénium), de l'Australie (bauxite, lithium, zirconium) ou de la Russie (antimoine, nickel, platinoïdes). D'autres pays occupent une position dominante dans la production mondiale d'un minerai en particulier : la RDC avec le cobalt, ou le Brésil avec le niobium. Mais la Chine est la seule à cumuler une production diversifiée et spécifique, puisqu'elle représente au moins 30 % de la production mondiale pour huit minerais différents et plus de 70 % de la production mondiale pour cinq d'entre eux. Toutefois, à l'instar des autres pays, elle n'est pas en position dominante sur la production de l'ensemble des minerais, et sa production minière ne permet pas de satis-

faire ses besoins sur le territoire national. Les dotations naturelles en minerais et métaux stratégiques confèrent à la Chine un avantage considérable par rapport aux autres nations. Cette position dominante n'a cessé de se renforcer avec la stratégie de l'empire du Milieu consistant à se tourner vers l'extérieur pour ses approvisionnements en métaux stratégiques.

“ L'ACCÈS AUX MATÉRIAUX EST ESSENTIEL POUR LES ENTREPRISES ”

La Chine a ainsi mis en place de vastes politiques d'internationalisation de ses entreprises (politique du Go Global au début des années 2000 et projet des nouvelles routes de la soie à partir de 2013), afin notamment de développer et d'exploiter des gisements miniers de grande ampleur ou stratégiques. Les moyens qu'elle utilise à cet égard sont nombreux et variés : investissements directs à l'étranger, acquisition ou prise de participation dans des sociétés locales ou internationales, développement de nouveaux projets miniers, projets d'infrastructures-matières premières, coentreprises, ou encore prêts. Le China Global Investment Tracker de l'American Enterprise Institute estime à 203 milliards de dollars le seul montant des IDE financiers chinois dans le secteur des métaux, sur la période allant de 2005 à 2022. Bien que sous-estimant les investissements chinois, ces flux renseignés illustrent l'emprise de la Chine sur ces différents marchés.

L'Australie est une destination privilégiée pour les IDE chinois, en particulier en ce qui concerne le lithium. La Chine y a investi 26,6 milliards de dollars sur la

période 2005-2021. Ces investissements sont toutefois en recul depuis 2013, et c'est désormais l'Indonésie qui concentre l'intérêt de la Chine. Celle-ci finance des expansions de capacités minières et de nouveaux projets, prend des participations importantes et rachète des entreprises. Grâce à cette stratégie, la Chine a conclu des accords sur neuf des onze projets majeurs concernant le lithium au niveau mondial, dont les deux tiers sont exclusifs.

L'empire du Milieu investit également massivement en Argentine, au Chili et au Pérou, notamment concernant le cuivre et le lithium. Ces investissements s'ajoutant à ceux qu'elle opère en Australie, la Chine contrôle ainsi par ses participations étrangères environ 60 % de la production mondiale de lithium.

Concernant l'Afrique, grâce à ses IDE en RDC (cobalt et cuivre), la Chine contrôlerait plus de la moitié de la production de cobalt du pays. De même, grâce à d'importantes prises de participation majoritaires (complexe igné du Bushveld) en Afrique du Sud, son approvisionnement en platinoïdes (iridium, palladium, platine) est pleinement assuré.

Un tableau similaire pourrait être dressé pour les autres minerais et métaux stratégiques, comme la bauxite, le niobium ou le cuivre. De façon générale, grâce à sa stratégie à l'international, Pékin a mis la main sur plus de 50 % de la production mondiale de cobalt, plus de 60 % du lithium, plus de 80 % du magnésium et plus de 70 % du graphite. En conséquence, la Chine occupe une position dominante sur les métaux dits « électriques », qui jouent un rôle majeur dans les technologies de stockage d'énergie.

L'AUSTRALIE, L'AUTRE GRAND

D'ores et déjà 2^e producteur mondial de terres rares, l'Australie dispose de plusieurs gisements en cours de développement.

Le secteur minier australien cherche à accélérer la production et à développer des capacités de traitement, avec le soutien tant du gouvernement fédéral et des États fédérés, avec comme objectif de positionner l'Australie au centre des chaînes de valeur mondiales.

Bien que 80 % du pays n'aient pas encore été prospectés, l'Australie est aujourd'hui le 6^e pays en termes de réserves de terres rares. Elle est par ailleurs le 2^e producteur mondial (12 % de la production mondiale) loin derrière la Chine (77 %), mais devant les États-Unis (7 %). Entre 2013 et 2018, la production australienne a été multipliée par 17, passant d'un peu plus de 1 000 tonnes à 19 000 tonnes par an. L'essentiel de la production australienne relève aujourd'hui de l'entreprise minière Lynas (1^{er} sur le marché mondial hors Chine). La minière bénéficie de longue date d'un soutien financier du gouvernement japonais (JOGMEC), soucieux de diversifier ses approvisionnements en terres rares, à la suite de tensions avec la Chine en 2010. Elle exploite, depuis 2011, la mine de Mt Weld, dans le Western Australia, qui dispose d'une réserve de 1,6 million de tonnes de terres rares. Depuis 2012, Lynas détient également une raffinerie à Kuantan en Malaisie, dans laquelle sont séparés et traités les concentrés

d'oxydes de terres rares produits par la mine de Mt Weld. Lynas a par ailleurs annoncé, en 2019, la construction d'une nouvelle unité de prétraitement à Kalgoorlie, dans le Western Australia, qui devrait être opérationnel courant 2023. Les terres rares y seront semi-transformées avant d'être envoyées vers sa raffinerie en Malaisie.

Outre Lynas, Iluka produit depuis avril 2020 un concentré de 20 % de monazite dans sa mine de Eneabba dans le Western Australia d'une capacité de 827 kt de minerai par an et prévoit de produire d'ici 2025 un concentré de 90 % de zircon et terres rares grâce à un investissement de 22,6 M€. L'entreprise détient également Wimmera dans le Victoria, un gisement d'une capacité de 10 Mt de minerai par an pouvant produire 192 kt/an de métaux exploitables (dont des terres rares). Ce dernier projet n'est encore qu'au stade de l'étude de pré-faisabilité. Dans un contexte de hausse de la demande, plusieurs entreprises minières cherchent

également à exploiter des gisements de terres rares. Les principaux projets en cours sont : la mine de Browns Range, projet pilote porté par Northern Minerals, d'une capacité de 585 kt de minerai par an (dont des terres rares lourdes) ; Dubbo, détenue par Alkane Ressources, d'une capacité de 1 Mt ; Nolans d'Arafura Ressources, d'une capacité de 13,4 kt par an ; Yangibana de Hastings Technology Metals, d'une capacité de 3,4 kt par an. Leur réalisation est toutefois ralentie par des obstacles liés aux coûts – en particulier de construction d'unités de traitement et de développement des compétences –, aux risques techniques à la disponibilité des ressources en eau et à la volatilité des prix. Les entreprises australiennes sont ainsi activement à la recherche d'investissements pour développer et lancer l'exploitation de leur gisement et tentent de conclure des contrats d'*offtake* (approvisionnement des utilisateurs finaux) pour attirer les investisseurs. ■



**MINISTÈRE
DES ARMÉES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Copies ayant obtenu la meilleure note

Note de synthèse

L'administration n'a volontairement pas corrigé les imperfections de fond et de forme dans les copies communiquées ci-après.



Année : 2025

Concours : Concours externe pour
l'accès au corps des attachés

Épreuve : Note de synthèse



Consignes :

- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif
- Numéroté chaque page; placer l'ensemble dans l'ordre et le bon sens
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuilles
- Ne joindre aucun brouillon

Les "terres-rares" regroupent dix-sept éléments chimiques et sont présentes de manière diffuse dans la croûte terrestre. Leur rareté est liée à leur faible concentration dans la roche. Leur extraction, qui connaît un essor dans les années 1980, a bondit avec le développement des nouvelles technologies, pour la production desquelles elles sont clés. Processus long et coûteux en ressources naturelles, l'industrie de production des terres rares, dans le contexte de la révolution numérique et de la transition énergétique, est devenue un domaine de compétition inter-étatique qui concentre des enjeux économiques, politiques et écologiques. Alors que peu d'alternatives équivalentes en efficacité (et aucune pour le même prix) ne se présente aujourd'hui dans le domaine de l'extraction de terres rares, les quelques pays, notamment la Chine, qui dominent l'industrie possèdent un instrument majeur de puissance.

Ainsi, dans la diplomatie, l'art de négocier et d'accompagner les relations inter-étatiques, les terres rares sont devenues un enjeu clé, car cette industrie est un levier qui touche directement à la souveraineté des États.

L'industrie des terres rares, particulièrement depuis le début du XXI^{ème} siècle, a connu un essor

important, caractérisé par des enjeux globaux, économiques et politiques (I). La production de ces matériaux constitue une problématique géopolitique critique, soulignant la nécessité pour les États de limiter leur dépendance dans ce domaine (II).

* *

I. L'industrie des terres rares, particulièrement depuis le début du XXI^{ème} siècle, a connu un essor important, caractérisé par des enjeux globaux, économiques et politiques

L'explosion de la production de terres rares, qui a vu émerger quelques pays producteurs dominants, est liée à l'augmentation forte de la demande dans des secteurs stratégiques. L'extraction et la transformation des éléments est un processus dangereux pour l'environnement, et cette industrie est nettement dominée par la Chine.

A. La production de terres rares, une industrie restreinte à quelques pays, a explosé ces dernières décennies, du fait d'un usage accru et stratégique de ces matériaux

La production mondiale de terres rares a connu un bond très important. Estimée entre 280 000 tonnes et 300 000 en 2021, elle a connu, seulement en Chine, une hausse de 70% en 2020. Cette production se concentre sur seulement cinq pays : la Chine (plus de 60% du marché mondial), les États-Unis (15%), la Birmanie (9%), l'Australie (8%) et la Thaïlande (3%) (Institut des études géologiques des États-Unis). Quelques autres petits producteurs existent, comme le Brésil, le Burundi, l'Inde, Madagascar et la Russie, mais leur production est très limitée. Des gisements ont été découverts dans d'autres zones, en Scandinavie (gisement en Suède qui représente 1% des réserves mondiales) et au Groenland (12% des réserves mondiales), mais leur exploitation n'est pas encore entamée.

L'essor de cette production est directement liée à l'usage accru des terres rares dans les domaines du numérique, de l'énergie, du médical et de l'armement. En effet, ces matériaux sont nécessaires à la construction des technologies de pointe via divers usages : aimants permanents (un tiers de l'usage des terres rares), les catalyseurs, les alliages métallurgiques, le polissage... Ainsi, la nécessité des terres rares pour la production industrielle de pointe explique l'essor de leur extraction et illustre leur rôle stratégique dans les domaines économique et industriel, mais aussi politique, de fait des secteurs stratégiques qui en dépendent. Aussi, selon le rapport Bloomberg sur les investissements globaux réalisés dans la transition énergétique, ils s'élevaient à 1100 milliards de dollars en 2022, et une importante part était consacrée à l'industrie des terres rares (nécessaire à la production de véhicules électriques, d'éoliennes et de panneaux solaires).

B. Cette industrie, paradoxalement polluante, est très nettement dominée par la production chinoise

L'industrie des terres rares est paradoxale : alors qu'elle est un élément crucial des technologies permettant la transition énergétique, l'extraction et la transformation de ces éléments sont en réalité très polluantes. En effet, l'impact environnemental de ce processus, très coûteux en ressources naturelles, inclut la déforestation et la destruction de terres agricoles, la pollution de l'eau et la production importante de résidus, la dégradation des sols et la production de déchets radioactifs. De plus, les terres rares ne sont presque jamais recyclées (moins de 1% d'entre elles le sont), car les quantités recyclées sont souvent très faibles et présentent des impuretés, le processus n'est donc aujourd'hui pas rentable.

L'industrie est aussi caractérisée par une importante domination chinoise. En effet, représentant entre les deux tiers et les trois-quarts, selon les sources, de la production mondiale, la Chine contrôle le marché des terres rares. C'est le marché intérieur chinois qui guide les prix internationaux, et bien que ceux-ci soient aujourd'hui cotés en dollar, la Chine a pour objectif d'imposer le Yuan comme référence, raison pour laquelle une bourse d'échange sur les terres rares a été mise en place à Baotou en Mongolie Intérieure en 2018. La Chine approfondit cette domination dans le domaine par la restructuration de son industrie d'extraction au nord et au sud du pays via deux conglomérats, China Rare Earth Group (créé en 2021 de la fusion de trois entreprises et dont l'Etat est l'actionnaire majoritaire) et le China Northern Rare Earth Group. Ce rôle permet à la Chine de privilégier son industrie, d'être un leader en publications et brevets et de mener la standardisation de l'industrie.

*

II. La production de ces matériaux constitue une problématique géopolitique critique, soulignant la nécessité pour les États de limiter leur dépendance dans ce domaine

Cette industrie, qui touche aux points les plus stratégiques de la souveraineté des États, est un levier de puissance qui impacte directement les relations internationales. Face à ce constat, bâtir un débat de souveraineté en la matière est essentiel pour les États.

A. Les terres rares, enjeu clé de la géopolitique mondiale, sont au cœur des relations et de la compétition inter-étatique

La Chine est consciente de la force de l'instrument qu'elle possède, ainsi que d'illustrer cette citation de Deng Xiaoping : "Le Moyen-Orient a du pétrole, la Chine

Année : 2025

Concours : Concours externe pour
l'accès au corps des attachés

Épreuve : Note de synthèse

**Consignes :**

- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif
- Numéroté chaque page; placer l'ensemble dans l'ordre et le bon sens
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuilles
- Ne joindre aucun brouillon

a des métaux de terres rares". A plusieurs reprises, elle en a fait usage, comme en 2011 en suspendant les exportations dans le cadre d'une dispute avec le Japon, ou encore en menaçant de réduire les importations contre l'opposition des États-Unis à la campagne Huawei. Cette dernière menace a souligné tout particulièrement le besoin pour les États-Unis, mais aussi et surtout pour les pays européens (dépendant, en 2017, à 98% de la Chine dans ce domaine), de réduire leur vulnérabilité. Face à la force de la Chine, seul producteur qui cumule une production diversifiée et spécifique, les filières occidentales se développent, notamment par l'Australie dont la production a été multipliée par dix-sept entre 2013 et 2018. Dans ce cadre, plusieurs accords ont été établis entre l'Australie et les États-Unis afin de financer la production de terre-rares et de collaborer dans ce domaine.

Cette compétition entre le bloc occidental et la Chine se manifeste directement en Afrique, où les gisements, nombreux, représentent un potentiel important. La Chine y possède une influence géoéconomique particulièrement importante, c'est donc un enjeu pour l'Union Européenne (qui, à ce but, mobilise notamment le projet Global Gateway) et les États-Unis de faire concurrence à la Chine sur le continent. Cette compétition doit aussi prendre en compte les enjeux de gouvernance locale qui remettent de plus en plus en cause le modèle actuel d'extraction des matières premières et l'absence de production de

biens transformés. Les terres rares concentrent donc, dans la compétition internationale, des enjeux de géopolitique, d'économie et de gouvernance.

B. Dans ce contexte, il est essentiel pour les pays européens, et pour la France en particulier, de développer une souveraineté partielle sur cette industrie

Au-delà de la diversification de ses filières d'approvisionnement, l'Europe doit adopter une stratégie de souveraineté. Cela passe par le développement et l'exploitation des terres rares présentes en Arctique européen ainsi que par le développement des technologies alternatives telles que les "supraconducteurs" qui permettent, dans certains cas, de remplacer les terres rares. De plus, une hausse du recyclage est nécessaire alors que celui-ci est aujourd'hui entièrement effectué par la Chine et le Japon. L'accord de 2023 European Critical Raw Material Act par exemple vise une hausse de 15% du recyclage des matériaux.

En France en particulier, le recyclage connaît un développement certain avec par exemple quatre projets pilotes industriels en cours. Selon une étude de la Direction générale des Entreprises (DGE) du Ministère de l'économie et des Finances (2021), trois gisements de recyclage se distinguent en France : le secteur de l'automobile, de l'éolien et des disques durs D3E. Cela soulève des enjeux de formation de main d'œuvre qualifiée, possible voie de création d'emploi. Cependant, la problématique de rentabilité n'est pas nécessairement résolue, il est essentiel pour l'industrie française de pouvoir l'assurer. Il est donc nécessaire de vérifier cela et de poursuivre la recherche et développement dans le domaine avec des initiatives comme Caraster, MagREEsources, Grano et Arelec.

Ainsi, les terres rares, industrie qui a connu une hausse exponentielle dans sa production et ses prix, concentrent des enjeux au-delà de l'économie, puisqu'elles sont une des problématiques de la compétition entre États, soulignant l'importance de tenir ses vulnérabilités dans ce domaine stratégique.

Année : 2025

Concours : externe d'attaché du Ministère
des Armées

Épreuve : Note de synthèse



Consignes :

- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif
- Numéroté chaque page; placer l'ensemble dans l'ordre et le bon sens
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuilles
- Ne joindre aucun brouillon

OBJET: Note sur l'enjeu stratégique des terres rares dans la diplomatie.

Le 28 septembre 2023, a eu lieu le premier sommet consacré aux "métaux critiques" organisé par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), démontrant le caractère stratégique de ceux-ci dans un contexte de transition numérique et énergétique.

Les terres rares ou "rare earth elements" figurent parmi les métaux les plus stratégiques. C'est un groupe particulier d'éléments chimiques (17 éléments) de par leur parenté liée à leur configuration électronique. Ils ne sont pas nécessairement rares mais leur présence est inégale sur les différents territoires, souvent à de très faibles concentrations. Un exemple de terre rare peut être le cuivre ou encore le cérium. On fait par ailleurs la distinction entre terres légères et terres lourdes et leur extraction est particulièrement complexe, tout comme leur exploitation. Sur le marché international, elles sont vendues sous la forme d'oxydes de sel et de métaux.

Les terres rares sont aujourd'hui des métaux très demandés en raison de leurs utilisations multiples dans des domaines variés et qui sont majoritairement produits par la Chine, leader mondial du marché. Pourtant, c'est leur enjeu stratégique qui amène à une recomposition des alliances géopolitiques et diplomatiques sous prétexte, notamment en raison de leur impact en termes de souveraineté mais aussi vis-à-vis des conséquences environnementales majeures qui découlent de leur exploitation et de leur utilisation.

Ainsi de pos la question de l'impact stratégique des terres rares sur les enjeux diplomatiques actuels.

Si l'extraction et l'exploitation des terres rares amènent les acteurs du domaine à occuper une place centrale sur l'échiquier diplomatique international (I), ce sont également les terres rares qui influencent la composition des alliances diplomatiques et géopolitiques (II).

I) Les terres rares, un secteur stratégique plaçant ses acteurs au centre de l'échiquier diplomatique international

Alors que les terres rares occupent une place cruciale dans le développement technologique et écologique des états (A), la Chine en est le leader incontesté en tant que quasi monoproducteur (B).

A. L'importance des terres rares dans la transition numérique et écologique des états.

La première forme de terre rare découverte est le gadolinite, par un lieutenant suédois en 1787. Si l'extraction et l'exploitation des terres rares n'a pas immédiatement un enjeu stratégique pour les états, son exploitation a explosé au début des années 1980 avec la production massive de téléviseurs couleur et le développement des technologies laser. Les terres rares sont particulièrement prisées car elles ont de ~~des~~ capacités optiques importantes mais aussi un pouvoir d'aimantation et une grande résistance dans le temps. Etant donné les processus complexes de production, la séparation des terres rares est récente. En 2021, les réserves mondiales de terres rares ont été évaluées à 280 000 à 300 000 tonnes. 29% de la demande en terres rares de 2021 concerne les aimants permanents au néodyme-fer-Bore (Nd-Fe-B) qui sont massivement utilisés dans les téléphones, les ordinateurs mais aussi les éoliennes, les voitures et les avions à réaction. Les terres rares sont également utilisées dans les procédés de catalyse (raffinage pétrolier) ainsi que dans le polissage

du verre ou encore les batteries et le domaine médical.

L'obtention d'un produit pur est issue d'un processus particulièrement long, consommant une quantité de ressources naturelles (dont l'eau et les sols) massive et extrêmement polluante. Cela fait des terres rares un enjeu environnemental conséquent pour les États, notamment dans leur volonté de produire une énergie "verte" puisque qu'elles sont nécessaires dans les éoliennes par exemple. Par ailleurs, en raison de leur production massive de déchets par les sites miniers, les effets néfastes de l'extraction sont démultipliés. En effet, entre la déforestation et la destruction de terres agricoles donnant lieu à un lessivage des sols, l'extraction de chaque tonne d'oxyde de terres rares génère 1300 à 1600 m³ de déchets, risquant une pollution massive puisque certains d'entre eux sont radioactifs comme cela a pu être observé dans la raffinerie de Bukit Merah en Malaisie dans les années 1990. Parallèlement, ces déchets affectent la qualité de l'eau et des sols, rendant les zones inexploitable et produisant des effets désastreux sur l'écosystème environnant des États concernés.

B. La Chine, monoprodacteur et leader incontesté du marché des terres rares.

Les gisements de terres rares sont majoritairement situés (à 90%), en Chine (37%), au Vietnam (18%), au Brésil (17%) et en Russie (17%). Ainsi, il apparaît clairement que la Chine domine ce marché en raison de sa composition géologique favorable. De ce fait, outre une production quasi exclusive des terres rares lourdes (plus convoitées que les légères car plus difficile à extraire), la Chine produit plus de 60% des terres rares proposées sur le marché. Outre un avantage géographique, cette domination sans précédent du marché découle d'un respect moindres des règles environnementales dans les sites du pays et d'une main d'œuvre bon marché. En tant que leader, elle impose également ses prix qui ont augmenté depuis 2021 en raison de l'explosion de la demande dans un contexte post-covid et l'introduction de certaines normes. Il y a une forte disparité de prix entre les

différentes terres rares avec par exemple l'europium vendu à 10000 euros le kilo et le lanthane vendu à 100 euros le kilo. Par ailleurs, la Chine souhaite imposer le yuan comme monnaie de référence, démontrant la volonté du pays d'exercer la relation de domination-dépendance sur les états occidentaux et l'Europe notamment.

Dans le but de renforcer sa stratégie d'omniprésence sur les chaînes de production, la Chine a intégré les terres rares dans son 14^e plan quinquennal économique de la région (2021 - 2025) avec pour but d'accroître la production. Elle développe son influence stratégique via deux secteurs : les publications scientifiques de recherche académique et l'obtention de brevets mais aussi la standardisation. En effet, siégeant au sein de l'organisation internationale pour la standardisation (ISO), elle influence toute production de normes concernant l'extraction et l'exploitation des terres rares. Les sociétés productrices principales chinoises sont les suivantes : Aluminum Corporation of China, China Minmetals et China Southern Rare earth group. Au sein de laquelle la recherche en Recherche et Développement (R&D) est largement financée en raison de leur statut stratégique en termes de production d'aimants Nd-Fe-B. C'est cette politique proactive qui entretient la dépendance des états vis-à-vis de la Chine, malgré les différends diplomatiques.

Année : 2025

Concours : externe d'attaché du Ministère
des Armées

Épreuve : Note de synthèse



Consignes :

- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif
- Numéroté chaque page; placer l'ensemble dans l'ordre et le bon sens
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuilles
- Ne joindre aucun brouillon

II) Les terres rares, un enjeu stratégique dans la recomposition des alliances diplomatiques et géopolitiques.

Alors que les états européens tentent de se défaire de leur dépendance en mettant en place des dynamiques de diversification de l'accès aux terres rares (A), l'enjeu environnemental de l'exploitation de celles-ci nécessite une prise en compte révisée de leur utilisation dans le futur (B).

A. La mise en place de dynamiques de diversification de l'accès aux terres rares par les états occidentaux du nord.

Dans le but de diversifier leur accès à ces métaux critiques, les états occidentaux et notamment l'Union Européenne se tournent vers des acteurs émergents sur le marché. Si les États-Unis sont le deuxième producteur de terres rares grâce à l'exploitation de la mine Mountain Pass (Californie), les besoins sont tels que de nombreuses initiatives multilatérales et bilatérales émergent afin de sécuriser un approvisionnement et diminuer la dépendance des états à la Chine. En ce sens, des accords entre les États-Unis et l'Australie ont été signés en 2019 par exemple. De la même manière, l'Union Européenne a signé un accord stratégique avec le Canada ainsi que l'Ukraine. Dans ce contexte de diversification, l'Australie émerge en tant que prochain relais de croissance. L'entreprise Lynas est aujourd'hui en capacité de séparer des terres rares légères. De plus, de nombreux projets miniers sont en cours comme le projet Nolans Base d'Arafura Resources. De manière plus conséquente

pour l'ordre diplomatique international, l'Afrique connaît aujourd'hui l'émergence d'une opportunité en tant que région de production. L'Union européenne, est disposée à établir de nouveaux partenariats stratégiques avec les pays africains compte tenu de la présence importante de gisements non exploités sur le continent en dehors de la mine Gakara Rare Earth (Burundi) et du gisement Steenkampskraal en Afrique du Sud. Néanmoins, malgré des projets importants de financement comme le "Global gateway" européen finançant le développement d'infrastructures dans les pays émergents, il est possible que les états africains, en raison de tensions avec le nord décident de développer une relation plutôt Sud-Sud qui amplifierait l'influence de la Chine en Afrique (déjà particulièrement marquée).

Pas ailleurs, des projets d'exploitation sur le territoire européen émergent avec l'exploration de potentielles exploitations en Suède, mais aussi au Groënland... La mine de Kiruna, en Suède ne représente néanmoins qu'1% environ des ressources mondiales et son exploitation pour l'extraction de terres rares ne devrait pas voir le jour avant une période d'environ quinze ans. En France, la première entreprise d'exploitation des terres rares a été créée par George Urbain en 1919 (Société des produits chimiques des terres rares). Intégrée au groupe français Solway, elle purifie 50% de la production mondiale. Comme tous les états européens, la France reste très dépendante de la Chine vis-à-vis de son approvisionnement en terres rares, ce qui pourrait être dangereux puisque la Chine prévoit de restreindre son approvisionnement dans le but de satisfaire la demande nationale. Il ne faut pas néanmoins oublier de noter les ouvertures qui se présentent à la France et à l'Union Européenne en général avec le potentiel d'exploitation dans l'Arctique européen, mais aussi le passage étudié aux technologies de supraconduction permettant de réduire voire supprimer le recours aux produits issus de terres rares dans le domaine éolien. Cela permettrait de reprendre une partie de leur souveraineté, d'autant plus que la France dispose de gisements en Guyane, Polynésie et Bretagne (même s'ils ne sont pas actuellement exploités).

B. Ne pas en compte nécessaire de l'enjeu environnemental de l'exploitation des terres rares

Alors que les produits utilisant des composés de terres rares sont nombreux, l'enjeu environnemental demeure en raison de l'impact crucial de celles-ci sur la santé de individus et l'environnement en règle générale. Dans un contexte de transition écologique et numérique, les états ne doivent pas perdre en compte cette problématique vis-à-vis des enjeux du recyclage des produits qui n'atteint qu'un pourcent aujourd'hui. De plus, il n'existe pas réellement de solution de substitution aux terres rares à ce jour. Le problème fait émerger un paradoxe crucial puisque les nouvelles technologies "vertes" comme les éoliennes nécessitent des composants extrêmement polluants, minant ainsi la dynamique de protection de l'environnement des états. En France, le recyclage des produits composés de terres rares est devenu un enjeu majeur avec l'implication d'entreprises recyclant les aimants par exemple comme la Société Ecosystem. De manière plus générale, le recyclage est complexe, malgré l'effort de l'entreprise Solway. C'est la raison pour laquelle la Direction Générale des Entreprises (DGE) a désigné trois secteurs particulièrement sensibles en ce sens. Cela correspond au secteur des véhicules électriques et hybrides, aux éoliennes en mer (off-shore) et aux déchets d'équipement électriques et électroniques.

La dynamique de recyclage s'inscrit dans une démarche européenne avec le European Critical Raw Materials Act publié le 16 mars 2023 dont l'objectif est d'augmenter de 15% les capacités de recyclage des aimants permanents. Pour réduire la dépendance de la France par rapport à la Chine, la France s'est dotée de plusieurs entreprises permettant le recyclage des terres rares comme Carester (automobiles) ou encore MagREsources dans le secteur éolien. Cela est combiné au développement de technologies innovantes moins dépendantes en ressources naturelles et en terres rares. C'est aujourd'hui le secteur automobile qui est le plus propice à une expérimentation officielle du recyclage.

En fine, l'enjeu stratégique des terres rares dans la diplomatie est tout à fait central dans ce contexte de transition numérique et écologique des états occidentaux. La dépendance vis-à-vis de la Chine reste forte mais tend à se fragiliser avec la volonté exprimée de diversifier les sources d'approvisionnement en construisant des relations avec de nouveaux acteurs, amenant à une restructuration des relations diplomatiques avec l'Asie notamment. À cela s'ajoute la reprise d'une souveraineté via les perspectives futures des terres rares et de leur impact environnemental incitant à un questionnement sur leur recyclage au sein des états.