

Mr Philippe BOULVAIS

Géologue.

Professeur de géologie à l'université de Rennes.

Terres rares, métaux rares.

Les éléments de terres rares font partie des métaux critiques et stratégiques indispensables à la transition énergétique. Si la production chinoise domine le marché, une ressource nouvelle est apparue au Burundi. Monsieur Boulvais, qui y a travaillé, nous montre l'origine géologique de ce gisement exceptionnel.

1. Le contexte général des terres rares.

- *La demande* va exploser dans les années à venir pour développer les énergies renouvelables en substitution des énergies fossiles. La production annuelle actuelle est de 45 millions de tonnes, et l'on prévoit une production de 75 millions de tonnes en 2050. La France, et l'Europe en général, ne dispose pas de gisements intéressants. Elle est donc dépendante des pays producteurs.

- *Des métaux stratégiques.* Compte tenu des désordres climatiques constatés aujourd'hui, il est indispensable de limiter les gaz à effet de serre. Malgré cette évidence, certains gouvernements font fi de ces considérations et décident de poursuivre l'exploitation du gaz et du pétrole. L'idée est tout de même de produire de l'énergie à partir du solaire ou de l'éolien par exemple. Pour ce faire, les terres rares sont indispensables. À titre d'exemple, pour la construction d'une éolienne offshore, il faut des aimants très puissants. Ces aimants sont issus d'un alliage de fer, de bore et de néodyme qui est un métal rare. Pour une éolienne, la quantité de néodyme nécessaire est de une tonne. Pour illustrer le caractère rare du néodyme, il faut savoir qu'il n'existe que 30 g de néodyme dans 1 T de granite. Pour obtenir la quantité de néodyme nécessaire à la construction d'une éolienne, il faudrait exploiter un volume de granite correspondant à une piscine olympique. Cela nécessiterait une dépense énergétique considérable. On comprend donc l'obligation d'utiliser des gisements où la nature a concentré les terres rares. C'est le cas au Burundi où le minerai contient jusqu'à 60 % de néodyme.

- Des métaux critiques. Le néodyme fait partie des métaux les plus critiques pour la France qui en a un besoin important pour son industrie, et pour lequel le risque sur les approvisionnements est fort, à la limite critique. Il en est de même pour le tungstène utilisé pour augmenter la résistance des aciers qui servent à la fabrication des pelles utilisées dans l'industrie minière pour l'extraction des roches.

Selon des données de 2018, sur les 170 000 T des terres rares produites, 71 %, soit 120 000 T provenaient de Chine. Derrière on trouvait l'Australie (20 000 T) et les États-Unis (15 000 T). En outre, la Chine dispose de 37 % des réserves mondiales. Une fois ces terres rares extraites, il faut les transformer pour séparer les 15 éléments chimiques les composant. L'industrie chimique nécessaire à cette transformation utilise beaucoup d'acide, ce qui coûte cher ou comporte un impact écologique important. De ce fait, les terres rares extraites en Australie et aux États-Unis, sont envoyées en Chine pour leur transformation. L'électricité verte des Occidentaux est donc obtenue au prix d'un impact écologique et social majeur en Chine. Au total, si la Chine produit 71 % des terres rares, elle fournit en fait, au marché mondial, 95 % des terres rares nécessaires à l'industrie. Cela donne à la Chine un moyen de pression sur les autres pays, leur interdisant de stocker les terres rares sous peine de stopper leur approvisionnement.

- Dans la classification périodique des éléments, deux éléments sont très abondants, le fer et l'oxygène. Ils représentent, à eux deux, 66 % de la masse terrestre. Le troisième est le silicium qui représente 15 %. Viennent ensuite les métaux de base ou de première nécessité. Ce sont, entre autre, l'aluminium, le zinc, le cuivre, l'étain, le nickel. Ces métaux sont connus de longue date comme en témoigne l'âge de bronze il y a 5000 ans. Déjà les hommes avaient identifié le cuivre et l'étain dans la nature et avaient réussi à réaliser l'alliage de ces deux métaux pour obtenir du bronze. Les phéniciens allaient chercher le cuivre à l'est de la Méditerranée (en particulier sur l'île de Chypre appelée *Κυπρος*, qui signifie cuivre en grec), et l'étain au Portugal, en Galice, en Bretagne et dans les Cornouailles anglaises.

Quant aux terres rares, il s'agit du scandium, de l'yttrium, et d'un groupe de 15 métaux, dont le néodyme. Ces métaux n'étaient qu'anecdotiques, et c'est l'avènement des moyens modernes de communication et de production de l'énergie qui les ont rendus indispensables. Désormais, ils font figure d'étendard dans la lutte contre le réchauffement climatique.

- La géologie des terres rares.

En 2018, une carte a été publiée, recensant les gisements connus de terres rares. Ils étaient au nombre de 90 au niveau du globe. Certaines régions en sont dépourvues, comme l'Europe, une grande partie de la Russie et l'Afrique centrale. Pour cette dernière région, l'absence de gisements est très probablement liée au fait qu'on ne les a pas cherchés plutôt qu'à l'absence de terres rares. À noter qu'en Ukraine il n'existe pas de gisements de terres rares. Cela n'a pas empêché Donald Trump de

conditionner son aide au pays en l'échange de l'exploitation des terres rares ! Par contre le sous-sol de l'Ukraine est riche en uranium.

Du point de vue géologique, l'existence de terres rares est liée à la présence de roches magmatiques dont la dynamique est comparable à celle des caldeiras au niveau des volcans. Dans un premier temps, la poussée du magma provoque un bombement à la surface, suivi d'un effondrement de la partie centrale de ce bombement réalisant une sorte de cuvette. Ces structures magmatiques appelées massifs alcalins, s'inscrivent dans une sphère. Sur une carte géologique de la surface terrestre ces massifs ont la forme d'un cercle, voire d'une ellipse en cas de poussées latérales sur la structure magmatique. Dans tous les points du globe où ils existent, ces massifs alcalins ont toujours une forme arrondie, une composition variable de leurs roches, et sont susceptibles de contenir des terres rares.

2. Le gisement du Burundi.

Le Burundi est un pays d'Afrique de l'Est, situé en zone équatoriale, bordé à l'ouest par le lac Tanganyika et la République Démocratique du Congo, au nord par le Rwanda, et au sud et à l'est par la Tanzanie. Monsieur Boulvais a été appelé dans le pays, lorsque le Burundi a voulu mettre à jour ses cartes géologiques. Il a travaillé sur le massif alcalin de la Haute Ruvubu. Ce massif alcalin, de forme elliptique, dont le grand axe mesure 30 km, est sillonné de failles. La présence de terres rares se trouve dans l'ensemble du massif, mais très souvent associée à ces failles. Ces constatations sont importantes car elles permettent de cibler les zones de recherche des terres rares. Par la suite, monsieur Boulvais a dirigé la thèse d'une jeune géologue burundaise, Seconde Ntiharizwa. Son travail a porté sur le gisement de Gakara situé au sud-est de Bujumbura, capitale du Burundi. Ce gisement, bien que petit par sa taille, est un des plus riches au monde avec une teneur moyenne en terres rares estimée à 57 %. L'exploitation de ce site a été assurée, depuis 2017, par une entreprise britannique, basée à Jersey, la Rainbow Rare Earths. L'exploitation a été interrompue en 2021. À cette date, le gouvernement burundais a suspendu les activités de cette entreprise, estimant les retombées économiques insuffisantes pour le pays. Cette mesure reflète une volonté de renégocier les termes des contrats miniers afin d'assurer une meilleure redistribution des richesses issues des terres burundaises. En plus de sa richesse, ce gisement est d'exploitation relativement facile car la roche contenant les terres rares se situe en surface. Elle peut être dégagée de la latérite (terre rouge des pays tropicaux) à la pelle et à la barre à mine, permettant d'utiliser une main-d'œuvre locale et de faire vivre la population. L'impact environnemental est essentiellement visuel. Les résidus de l'extraction sont déversés sur les flancs de la colline, dans la vallée, et ensuite replantés. La séparation des terres rares se fait par des procédés mécaniques basés sur les différences de densité des minerais. Cette thèse a permis d'établir des hypothèses concernant la formation géologique de ce gisement de terres rares datant de 600 millions d'années. La poussée magmatique

a été contrariée par la présence d'un filon granitique situé au-dessus. Cela a créé une surpression du fluide magmatique à l'origine de fractures dans les roches profondes. Ces fractures ont été les zones privilégiées de remontée du magma, et donc de la présence de terres rares. Dans l'une de ces fissures on a trouvé le plus gros échantillon de terres rares, pratiquement pur. Il mesurait 8 cm de largeur et environ 10 m de longueur. Cette thèse a permis, également, de déterminer les conditions physiques et chimiques de la formation du minerai. Par la suite, l'érosion des sols a amené ce gisement à la surface, permettant une exploitation simplifiée. Cette thèse a, par ailleurs, des implications pratiques pour les industriels à la recherche de terres rares.