Nations Unies ECE/ENERGY/GE.3/2015/6

Conseil économique et social

Distr. générale
16 février 2015
Français
Original: anglais

Commission économique pour l'Europe

Comité de l'énergie durable

Groupe d'experts de la classification des ressources

Sixième session
Genève, 28 avril-1er mai 2015
Point 15 de l'ordre du jour provisoire
Études de cas et expérimentation de la Classification-cadre des Nations Unies pour l'énergie fossile et les réserves et ressources minérales, 2009

Études de cas et expérimentation de la Classification-cadre des Nations Unies pour l'énergie fossile et les réserves et ressources minérales, 2009

Étude de cas – Une source de thorium dans le gisement de terre rares de Mountain Pass, en Californie (États-Unis d'Amérique), et application de la CCNU-2009

Établie par Bradley S. Van Gosen, United States Geological Survey (USGS)

I. Introduction

1. Les gisements d'uranium et de thorium de l'ensemble de la planète ont jusqu'à présent été classés et décrits conformément au système d'information sur les ressources de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Ce système repose sur une double classification qui prend en considération le niveau des connaissances géologiques et les coûts de production du concentré d'uranium et, le cas échéant, du concentré de thorium.

GE.15-02993 (F) 130315 160315
1502993

Merci de recycler

2. Le thorium, tout comme l'uranium, peut être utilisé comme combustible nucléaire. En dépit de nombreux projets en ce sens et de la construction dans différents pays de plusieurs réacteurs pilotes visant à évaluer la viabilité du thorium en tant que combustible nucléaire, les réacteurs nucléaires au thorium ne sont pas encore prêts à être vraiment commercialisés. À l'heure actuelle, des activités de recherche-développement sont menées sur plusieurs concepts de réacteur de pointe, parmi lesquels notamment: les réacteurs à haute température refroidis par gaz (HTGR); les réacteurs à sels fondus; les réacteurs canadiens à uranium-deutérium (CANDU); les réacteurs à eau lourde de pointe; et les réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides. Les projets appuyés par les autorités fédérales, en particulier en Inde et en Chine, se concentrent sur le développement de l'énergie nucléaire à base de thorium [1]. Compte tenu de ces activités, on prévoit que le thorium sera utilisé comme combustible après 2020.

II. Contexte

3. En raison de la faible demande de thorium, la recherche de ce minerai n'a pas été un objectif primordial des activités de prospection dans le passé. Les activités de recherche-développement susmentionnées sont susceptibles d'accroître la demande de thorium de même que le nombre d'évaluations nationales et mondiales des gisements de thorium.

4. Les gisements de minerais qui sont riches en éléments de terres rares (ETR) présentent aussi généralement des quantités surprenantes de thorium. C'est principalement pour cette raison que les sources les plus probables de thorium dans un avenir prévisible proviendront de l'extraction du thorium en tant que coproduit de l'extraction et du traitement des minerais contenant des ETR.

5. Pendant les années 1950 et jusqu'à la fin des années 1980, la production d'ETR a été assurée principalement par les États-Unis, l'Inde, l'Afrique du Sud et le Brésil. Des géologues chinois ont découvert en 1927 des gisements d'ETR à Bayan Obo dans la Région autonome de Mongolie intérieure. Les mines et les usines de traitement construites à Bayan Obo ont commencé à produire des concentrés d'ETR en 1957 [2]. En 2002, la Chine est devenue le premier producteur mondial d'ETR [2]. Au cours des quatre-vingts années et plus qui ont suivi la découverte de Bayan Obo, des gisements d'ETR ont été découverts dans 21 provinces et régions autonomes chinoises [2]. En 2009, la Chine a indiqué que les quantités extractibles d'ETR dans le pays s'élevaient à 18,6 millions de tonnes d'oxydes de terres rares [3, p. 410]. La Chine a imposé un quota de production à son industrie des terres rares en 2008 [2], ce qui a entraîné partout dans le monde la recherche de gisements d'ETR dans d'autres pays. Au cours des dernières années, des ressources en gisements d'ETR ont été diagnostiquées en Afrique du Sud, en Australie, au Brésil, au Canada, en Chine, aux États-Unis d'Amérique, en Finlande, au Groenland, en Inde, au Kirghizistan, à Madagascar, au Malawi, au Mozambique, en Suède, en Tanzanie, en Turquie et au Viet Nam [4, 5, 6].

6. Les gisements de minerais contenant des ETR exploités activement sont rentables dans la mesure où ils produisent des ETR. Les minerais coexistants riches en thorium pourraient être évalués comme sources de thorium considéré comme sous-produit ou coproduit si un marché du thorium se développe à l'avenir. Pour le moment, la production de thorium en tant que produit principal n'est pas jugée rentable [1]. Dans le contexte de la production, un sous-produit peut être défini comme étant «le produit d'un processus de production conjointe qui occupe une place moins importante en termes de quantité et/ou de valeur de réalisation nette que les produits principaux» [7]. Par convention, les sous-produits ne sont pas répertoriés, mais leur valeur de réalisation nette est habituellement prise en considération dans les «autres recettes» ou sous forme de réduction du coût de la production conjointe en cas de production du sous-produit. En revanche, le

coproduit est un des principaux résultats d'une production conjointe, qui revêt de l'importance en termes de quantité et/ou de valeur de réalisation nette. Les coproduits jouent un rôle important dans l'analyse de rentabilité d'un projet minier.

7. Dans la plupart des gisements d'ETR riches en thorium, le minerai qui en contient le plus souvent est la monazite, minerai contenant des ETR, du thorium et du phosphate. C'est pourquoi la majeure partie du thorium contenu dans la plupart des gisements d'ETR provient de la monazite et seulement occasionnellement d'autres minerais riches en thorium, tels que la thorite (silicates de thorium). La monazite peut contenir jusqu'à 20 % d'oxyde de thorium [8]; par conséquent, le thorium peut être évalué en tant que coproduit dans de nombreux gisements d'ETR contenant de la monazite.

8. En outre, les objectifs concernant la hiérarchie des déchets, exprimés par exemple dans la Directive-cadre de l'Union européenne relative aux déchets (adoptée en 1975), font de l'élimination l'option ultime et la moins souhaitable en matière de gestion des résidus de fabrication [9, 10]. La réutilisation, le recyclage, la récupération d'énergie, ainsi que d'autres utilisations potentielles, doivent être envisagées avant que des matériaux ne soient classés comme déchets et destinés à être éliminés.

9. Le concentré de monazite est actuellement produit en Inde, en Malaisie, au Viet Nam et au Brésil, par ordre décroissant des quantités produites [4]. Le Bureau des mines indien a décrit l'effort coordonné de l'Inde afin d'extraire la monazite des sables à forte teneur en minéraux puis de soumettre la monazite à un traitement chimique pour séparer les composites des terres rares que sont le chlorure et l'hydroxyde de thorium [11]. La capacité planifiée de l'usine de transformation de la monazite a été fixée à 10 000 tonnes par an en 2011, et devrait être portée à 20 000 tonnes par an à l'avenir [11]. L'extraction du thorium à partir de minerais à forte teneur en monazite est envisagée dans le cas du gisement de Steenkampskraal en Afrique du Sud, dans le cadre d'un projet d'exploitation et de production d'ETR en cours d'élaboration en 2014 [12, 13].

10. Comme le thorium est un coproduit et du fait de l'absence générale d'intérêt économique qui lui est porté, les quantités de thorium n'ont que rarement, voire jamais, été déterminées avec précision dans la plupart des pays. Des informations sur les quantités estimées de thorium ont été publiées entre 1965 et 1981 dans le «Livre rouge», rapport biennal publié conjointement par l'AEN et l'AIEA; les estimations relatives au thorium figurant dans ces rapports utilisaient la même terminologie que celle appliquée aux ressources en uranium à l'époque. Le «Livre rouge» est le nom couramment utilisé pour désigner de manière informelle un rapport biennal établi conjointement par l'AEN et l'AIEA [1], qui offre la vue d'ensemble la plus récente des fondamentaux du marché et de l'industrie de l'uranium dans le monde, notamment la prospection, les ressources existantes, la production et la projection des besoins en rapport avec les réacteurs.

11. En 2012, les États-Unis ont indiqué avoir recensé sur leur territoire environ 434 000 tonnes de thorium (*in situ*) [1]. Les principaux types de gisements de thorium aux États-Unis sont des gisements à structure filonienne, des gisements intégrés dans la carbonatite et des dépôts alluvionnaires [14].

III. L'étude de cas

12. La Classification-cadre des Nations Unies pour l'énergie fossile et les réserves et ressources minérales, 2009 (CCNU-2009) permet de consigner et de décrire les ressources en thorium connues, déduites et non découvertes, selon les estimations. En sus du niveau de maturité des projets d'exploitation des minerais, elle envisage les aspects sociaux et économiques, notamment les conditions réglementaires, juridiques et commerciales imposées par les gouvernements et les marchés, la demande intérieure, l'évolution technologique et industrielle, ainsi que le niveau d'incertitude dans un avenir prévisible.

13. La présente étude de cas est une classification selon le modèle de la CCNU-2009 d'un gisement d'ETR et de thorium en Californie (États-Unis), qui classe ce gisement comme étant à la fois une source d'ETR et une source potentielle de thorium. Plus précisément, le gisement utilisé dans le présent exemple est un corps minéralisé contenant des ETR exploité par la mine de Mountain Pass dans le sud-est de la Californie, et il est la propriété de Molycorp Inc.[1] (fig. 1), qui en assure l'exploitation. La mine et les usines de traitement des minerais qui se trouvent sur le site exploitent le plus important gisement d'ETR connu aux États-Unis – le gisement «Sulphide Queen carbonatite» [15]. Après une interruption de huit ans, Molycorp a remis la mine en exploitation à la fin de 2010. Les activités d'extraction minière et de traitement des minerais se poursuivent à l'heure actuelle (2014) à Mountain Pass.

14. Le corps minéralisé de Mountain Pass constitue pour l'avenir une source potentielle de thorium en tant que coproduit de la production d'ETR. Sa teneur en thorium est principalement due à la présence de monazite, qui est étroitement associée à la génération de minerais contenant des ETR. Les concentrations de monazite y sont variables, allant de simples traces à des quantités localement abondantes [15].

15. Molycorp Inc. indique que le gisement «Sulphide Queen carbonatite» de Mountain Pass contient des réserves avérées et probables de 16,7 millions de tonnes de minerai ayant une teneur moyenne de 7,98 % d'oxydes d'ETR, en utilisant une teneur de coupure de 5 % d'oxydes d'ETR [16]. Un échantillonnage global de reconnaissance des minerais accessibles dans la mine à ciel ouvert (environ une tonne de minerais composites a été collectée), effectué récemment par United States Geological Survey, a permis de constater une teneur moyenne en thorium d'environ 0,025 % dans les minerais à forte teneur en ETR; cette valeur est à peu près identique aux concentrations de thorium constatées dans de précédentes études géochimiques de cette carbonatite [17]. Cette concentration en thorium permet de penser que chaque tonne de minerai extrait du gisement contient en moyenne 0,25 kg de thorium environ. Cette estimation de la teneur en thorium du gisement «Sulphide Queen carbonatite» est certainement une approximation basée sur un échantillonnage limité; les concentrations de monazite pourraient s'avérer très variables à travers la carbonatite à mesure que l'extraction du minerai progresse. Pour les besoins de l'étude, si l'on applique à un gisement contenant au moins 16,7 millions de tonnes de carbonatite selon estimation une teneur moyenne d'environ 0,025 % de thorium, on estime qu'il y aurait au moins 4 200 tonnes de thorium à Mountain Pass. Étant donné que ces estimations géologiques reposent sur une extrapolation et un échantillonnage limité, elles doivent être considérées comme d'un faible niveau de fiabilité.

16. Les activités d'extraction et de traitement à Mountain Pass sont actuellement consacrées uniquement à la récupération et à la séparation des ETR. L'entreprise n'a signalé aucun projet de récupération du thorium dans un avenir prévisible. À l'heure actuelle (2015), lorsque la carbonatite de Mountain Pass est extraite et traitée, et que les ETR sont séparés, le thorium est acheminé avec d'autres éléments dans la zone de retenue des résidus. Il faudrait donc modifier le schéma des opérations d'exploitation et/ou prévoir un recyclage ultérieur des résidus pour en extraire le thorium à l'avenir.

[1] http://www.molycorp.com/.

IV. Classification de l'étude de cas selon la CCNU-2009

17. En tant que mine et site de production d'ETR, la mine de Molycorp à Mountain Pass devrait être classée selon la CCNU-2009 dans les catégories E1.1 F1.1 G1.2. En d'autres termes, considérant ses activités d'exploitation des ETR, elle est classée dans les catégories et sous-catégories (voir tableau 1) suivantes:

- **E1.1** «L'extraction et la vente sont économiquement viables si l'on se réfère à la situation du marché et à des hypothèses réalistes quant à sa situation future.».
- **F1.1** «L'extraction a commencé.».
- **G1, G2** «Quantités associées à un gisement connu qui peuvent être estimées avec un niveau élevé de confiance (réserves avérées)» et «avec un degré moyen de confiance» (réserves probables).

18. En revanche, si on la considère en outre comme un gisement connu et inutilisé de thorium, ayant fait l'objet d'un échantillonnage de reconnaissance pour sa teneur en thorium, elle peut être classée dans les catégories E3.3 F2.3 G3:

- **E3.3** **«**Si l'on s'appuie sur des hypothèses réalistes quant à la situation future du marché, on estime au moment considéré que l'on ne peut raisonnablement s'attendre à ce que l'extraction et la vente soient économiquement viables jusqu'à nouvel ordre.».
- **F2.3** «Au moment considéré, il n'existe aucun plan de mise en valeur ou d'acquisition de nouvelles données, faute de véritable potentiel.».
- **G3** «Quantités associées à un gisement connu [de thorium] qui peuvent être estimées avec un niveau peu élevé de confiance.».

Figure 1
La mine de Molycorp Inc. à Mountain Pass, dans le sud-est de la Californie. Il s'agit de la seule mine d'éléments de terres rares active aux États-Unis (en 2015). Ce gisement est une intrusion de carbonatite, que l'on estime être la plus grande source d'éléments de terres rares aux États-Unis
(photo: B. Van Gosen, USGS)

Tableau 1
Ressources en éléments de terres rares (ETR) et en thorium du gisement de Mountain Pass (Californie), classées selon la CCNU-2009

Gisement de Mountain Pass	*Quantités (tonnes)*	*Teneur moyenne (%)*	*Classification CRIRSCO*	*Catégories*			*Catégorie CCNU-2009*	*Sous-catégorie CCNU-2009*
				E	**F**	**G**		
Total oxydes d'ETR	1 333 000[a]	7,98 (sous forme d'oxyde)	Réserves avérées + probables	1.1	1.1	1.2	Projet commercial	En production
Thorium	4 200	0,025 (% du poids élémentaire)	Inventaire[b]	3.3	2.3	3	Projet non commercial	Développement non viable

[a] Réserves avérées et probables d'ETR sur la base d'une quantité estimée de 16 700 000 tonnes de minerai de carbonatite (les teneurs et les tonnages pour les catégories de réserves d'ETR sont associés dans les notifications publiques).

[b] Pas défini dans le modèle établi par le Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO).

IV. Conclusion

19. L'application de la CCNU-2009 en complément de la classification AEN/AIEA aide à mieux cerner tant les ressources de thorium aux États-Unis que la manière dont celles-ci peuvent contribuer à la planification et à la mise en œuvre futures des programmes d'énergie nucléaire.

V. Références

1. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2012) Uranium 2011: Ressources, production et demande. Rapport de l'OCDE, ISBN 978-92-64-17803-8, 487 p. [Il s'agit du dernier volume de la série de rapports connus sous l'intitulé «Livre rouge»].

2. Tse, Pui-Kwan (2011) China's rare-earth industry: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1042, 11 p., *http://pubs.usgs.gov/of/2011/1042/*.

3. Office national chinois de la statistique (2010), Annuaire statistique chinois, 2009: Beijing, Chine, Publications statistiques chinoises, 1 032 p. (en chinois).

4. Gambogi, Joseph (2014) Rare earths, U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries, *http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/*.

5. Gambogi (2011) 2011 Minerals Yearbook—Rare Earths [Advance Release, U.S. Geological Survey], *http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/myb1-2011-raree.pdf.*

6. Van Gosen, B. S.; Verplanck, P. L.; Long, K. R.; Gambogi, Joseph; Seal II, R.R. (2014), The rare-earth elements—Vital to modern technologies and lifestyles: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2014–3078, 4 p. Consultable à l'adresse: *http://pubs.usgs.gov/fs/2014/3078/*.

7. Wouters, Mark; Selto, Frank H.; Hilton, Ronald W.; Maher, Michael W. (2012) Cost Management: Strategies for Business Decisions, International Edition, McGraw-Hill, p. 535.

8. Long, K. R.; Van Gosen, B. S.; Foley, N. K.; Cordier, Daniel (2010) The principal rare earth elements deposits of the United States—A summary of domestic deposits and a global perspective: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5220, 96 p. *http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5220/*.

9. Commission européenne (2008) Directive-cadre relative aux déchets, *http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098*.

10. Programme des Nations Unies pour l'environnement (2013) «Guidelines for National Waste Management Strategies Moving from Challenges to Opportunities». ISBN 978-92-807-3333-4.

11. Bureau indien des mines (2012) Indian Mineral Yearbook 2011 (Part-II), Rare Earths (Advance Release) (*http://ibm.gov.in/IMYB%202011_Rare%20Earths.pdf*).

12. Gambogi, Joseph (2014) Thorium, U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries, *http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/thorium/*.

13. Great Western Minerals Group (2014) Great Western Minerals Group company website, *http://www.gwmg.ca/mining-operations/overview*.

14. Van Gosen, B. S.; Gillerman, V. S.; Armbrustmacher, T. J. (2009) Thorium deposits of the United States—Energy resources for the future?: U.S. Geological Survey Circular 1336, 21 p. Consultable à l'adresse: *http://pubs.usgs.gov/circ/1336/*.

15. Castor, S. B. (2008) The Mountain Pass rare-earth carbonatite and associated ultrapotassic rocks, California: The Canadian Mineralogist, v. 46, no. 4, p. 779-806.

16. Molycorp, Inc. (2012) Molycorp's rare earth reserves at Mountain Pass increase by 36 %, Molycorp, Inc. communiqué de presse, 9 avril 2012.

17. Staatz, M. H.; Hall, R. B.; Macke, D. L.; Armbrustmacher, T. J.; Brownfield, I. K. (1980) Thorium resources of selected regions in the United States: U.S. Geological Survey Circular 824, 32 p.