

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 24

Artikel: Ressources en uranium et expansion de l'énergie nucléaire

Autor: Pfaeffli, J. L.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903962>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ressources en uranium et expansion de l'énergie nucléaire

J.L. Pfaeffli

Le recours à l'énergie nucléaire conduit inmanquablement à poser la question des ressources en uranium et de leur disponibilité à court, moyen et long terme. L'objet de cet exposé est d'exposer certains aspects propres à ces ressources et à leur utilisation, ce qui permettra de mieux en apprécier l'ampleur et d'énoncer les raisons qui font apparaître que l'approvisionnement en uranium ne constitue pas un frein à l'expansion de l'énergie nucléaire.

Im Zusammenhang mit der Kernenergie wird die Frage nach den Uranvorräten und ihrer kurz-, mittel- und langfristigen Verfügbarkeit immer wieder gestellt. Die nachfolgenden Ausführungen beleuchten einige besondere Aspekte dieser Ressourcen und ihrer Nutzung, damit das Ausmass der Vorkommen besser beurteilt werden kann, und legen die Gründe dar, die dafür sprechen, dass die Versorgung mit Uran den Ausbau der Kernenergie nicht bremsen wird.

Adresse de l'auteur

Jean-Louis Pfaeffli, Physicien diplômé EPFZ, S.A. l'Energie de l'Ouest Suisse, Case postale 570, 1001 Lausanne.

1. Nature et étendue des ressources d'uranium

Il existe une énorme quantité d'uranium répartie de façon plus ou moins uniforme dans la croûte terrestre. Le sol en contient en moyenne 3 à 4 grammes par tonne, alors que dans la mer sa concentration se situe aux environs de 3 milligrammes par tonne d'eau. Il apparaît sous une forme plus concentrée dans les quelque 150 espèces de minéraux uranifères répertoriées que l'on trouve dans la couche terrestre, le gisement commercial de plus forte concentration trouvé à ce jour atteignant une teneur moyenne de 120 kg d'uranium par tonne de minerai. En raison de la nature et du nombre des phénomènes dont dépend leur formation, l'abondance des gisements uranifères dans le sol est d'autant plus grande que leur concentration en uranium est faible, ressemblant en cela à ceux de métaux tels que le chrome, le zinc ou le plomb.

Le coût d'extraction du minerai d'uranium est d'autant plus élevé que sa teneur en uranium est faible. Il en résulte que la quantité des ressources d'uranium exploitable devient d'autant plus grande que le coût acceptable de l'uranium, et donc celui de son extraction, augmente.

Deux aspects doivent être pris en considération pour estimer l'ampleur des ressources d'uranium qui pourraient être économiquement exploitables. C'est d'une part l'évolution des techniques d'extraction de l'uranium et leur incidence sur les coûts d'extraction. D'autre part, et c'est là une des remarquables particularités de l'énergie nucléaire, le coût de l'uranium naturel ne constitue qu'une part très modeste du coût de production total du kWh nucléaire (actuellement environ 5% pour de l'uranium à 30 \$ par livre

d' U_3O_8). N'était la recherche légitime du coût minimum de production, on pourrait déjà aujourd'hui s'accomoder dans de nombreux pays d'un prix de l'uranium 2 à 5 fois plus élevé sans compromettre l'intérêt économique de l'énergie nucléaire. L'enrichissement de l'uranium par rayon laser, attendu vers la fin du siècle, permettra, en raison de sa capacité élevée de séparation isotopique, de réduire les besoins spécifiques d'uranium naturel. Cela aura pour conséquence de réduire encore plus la part du prix de l'uranium naturel dans le coût de production du kWh.

Pour juger de l'étendue des ressources en uranium, il est donc nécessaire de tenir compte de leur répartition dans le sol, du rôle modeste que joue leur coût d'extraction dans le coût de production d'électricité et des développements technologiques en cours.

2. Données actuelles sur les ressources d'uranium exploitables

L'état des ressources en uranium des pays du monde à économie de marché (MEM) fait périodiquement l'objet d'une compilation et d'une analyse par des experts de l'OCDE et de l'AIEA. Les données les plus récentes résultant des travaux de ces experts sont présentées dans un rapport publié en 1986 [1]. Selon ce rapport, pour les pays du MEM, les ressources d'uranium connues, qui d'après la définition des experts de l'OCDE et de l'AIEA sont constituées des ressources assurées et des ressources supplémentaires estimées exploitables à un coût inférieur à 130 \$ par kg, se montent à 3,55 mio de tonnes. Pour la même plage de coûts, l'ensemble constitué d'autres res-

sources supplémentaires et des ressources spéculatives estimées à partir de données géologiques se situe entre 11,2 et 13,7 mio de tonnes d'uranium. Il existe, en outre, dans la catégorie des ressources dites non-classiques, plus de 7 mio de tonnes d'uranium qui, pour l'essentiel, se trouvent dans des phosphates. Le tableau I reprend les données relatives à ces diverses catégories de ressources.

Dans l'évaluation des ressources précitées, il convient de prendre en considération le fait qu'elles correspondent, dans leur quasi-totalité, à des ressources exploitables à des coûts inférieurs à 130 \$ par kg d'uranium (50 \$ par livre d'U₃O₈). De plus, les données concernant les ressources connues reposent sur un niveau de prospection relativement limité à ce jour. C'est ainsi que, par exemple au Canada, les ressources connues augmentent de façon continue malgré un niveau élevé d'exploitation.

Il est possible d'exprimer les ressources d'uranium présentées dans le tableau I en tonne équivalent pétrole (TEP). Les valeurs obtenues sont données dans le tableau II. Les facteurs de conversion utilisés sont, pour les réacteurs à eau légère, de 8000 à 16 000 TEP par tonne d'uranium (cette fourchette résulte du fait que l'uranium peut être utilisé de façon plus ou moins efficace dans les réacteurs de la génération actuelle) et de 500 000 à 600 000 TEP pour les surgénérateurs. Bien qu'utiles pour la comparaison de diverses ressources énergétiques, ces valeurs peuvent facilement être trompeuses. D'une part, elles ne révèlent aucunement la nature «fragmentaire» des données dont elles sont issues. D'autre part, elles ne font pas apparaître le fait que – contrairement aux combustibles fossiles, qui perdent tota-

Catégories	Equivalence en mia de TEP	
	dans LWR ²	dans surgénérateurs ³
Raisonnablement assurées	18 à 36	1125 à 1350
Suppl. estimées Cat. I	10 à 21	650 à 780
Total «connues»	28 à 57	1775 à 2130
Suppl. estimées Cat. II	13 à 26	800 à 966
Spéculatives	77 à 194	4800 à 7260
Non classiques	56 à 112	3500 à 4200

¹ TEP: tonne équivalent-pétrole ² Facteur de conversion: 1 tonne U = 8000 à 16 000 TEP

³ Facteur de conversion: 1 tonne U = 500 000 à 600 000 TEP

N.B. Les réserves prouvées de pétrole du monde à économie de marché (MEM) se montent actuellement à 84,5 mia tonnes.

Tableau II Equivalence énergétique des ressources en uranium (tableau I) exprimées en TEP¹

lement leur contenu énergétique lors de leur combustion – le combustible nucléaire contient encore, après son passage en réacteur, une énergie potentiellement utilisable. En effet, ce combustible peut, tant qu'il n'a pas été conditionné en vue de son entreposage définitif, être retraité afin d'extraire les matières réutilisables.

Pour obtenir une meilleure appréciation de ce que représentent les ressources d'uranium du tableau I, on peut les exprimer en nombre d'années d'approvisionnement du parc actuel de centrales. C'est ainsi que l'ensemble des ressources «connues» (3,55 mio de t) situées dans les pays du MEM permettraient d'alimenter pendant un siècle le parc des centrales nucléaires actuellement en fonctionnement dans ces pays. En faisant l'hypothèse d'un retraitement et d'un recyclage systématique des produits fissiles ainsi récupérés, ce même parc pourrait être alimenté pour quelque 150 ans. Quant à l'ensemble des ressources indiquées dans le tableau I, elles permettraient, sans faire intervenir le retraitement,

d'alimenter 5 fois le parc actuel des pays du MEM pendant plus de 120 ans. Si l'on considère que la puissance nucléaire installée dans le MEM en l'an 2000 n'augmentera que d'un facteur 1,6 (passant de 230 000 à quelque 380 000 MWe) et que les données actuelles sur l'état des ressources d'uranium sont très lacunaires, on peut à juste titre considérer que les ressources d'uranium, en tant que telles, ne constituent pas une cause plausible de limitation au développement de l'énergie nucléaire. Ceci d'autant plus que, dans les considérations présentées ci-dessus, il n'a pas été tenu compte des surgénérateurs et de leur capacité d'utiliser l'uranium naturel environ 60 fois mieux que les réacteurs à eau légère.

3. Couverture des besoins

De fait, la question qui se pose véritablement est celle de l'adaptation de la capacité de production d'uranium à la demande. Cela implique l'estimation réaliste des besoins à venir, afin de mettre en œuvre les moyens de production supplémentaire qui seront nécessaires et d'engager les efforts de prospection qui assureront qu'une quantité suffisante de ressources, qui se trouvent actuellement dans les catégories dites «supplémentaires» et «spéculatives», passent, dans des délais acceptables, dans la catégorie des ressources «connues».

Si une telle évaluation est relativement aisée pour le court et moyen terme, par contre l'étude de la couverture des besoins en uranium à long terme se trouve confrontée à de multiples questions. Sur le plan de la demande, celles de définir avec plus de 20 ans d'antici-

Tableau I Données actuelles sur les ressources en uranium des pays du MEM

Catégories	Quantités en mio t U	
Raisonnablement assurées (< 130 \$/kg U)	2,25	Ressources "connues"
Suppl. estimées Cat. I (< 130 \$/kg U)	1,30	
Suppl. estimées Cat. II (< 130 \$/kg U)	1,61	
Spéculatives (< 130 \$/kg U)	9,6 à 12,1	
Non-classiques (principal. phosphates)	> 7	

pation le rythme de croissance du nucléaire; de prendre en compte les améliorations techniques et les nouvelles technologies qui affectent l'utilisation énergétique de l'uranium; d'estimer l'extension que prendront le retraitement du combustible irradié et le recyclage des matières fissiles ainsi mises à disposition et d'établir le rôle que joueront les surgénérateurs, voire les réacteurs alimentés au thorium.

Sur le plan de la prospection, de la découverte de nouveaux gisements et de leur mise en valeur, l'estimation est encore plus ardue, car elle implique la prise en considération des efforts et investissements qui y seront consacrés, des mécanismes de marché qui traditionnellement interviennent dans ce genre d'activités, des éventuelles interventions gouvernementales, ainsi que de l'influence de nouvelles techniques de prospection et d'extraction de l'uranium.

On saisit la difficulté de telles études et on comprend que la prudence est de rigueur face à tout résultat brut. Un exemple typique est celui de l'épuisement des réserves d'uranium. Partant d'un scénario de croissance du nucléaire et de diverses hypothèses sur le type de réacteurs utilisés, on peut construire des courbes représentant l'évolution des besoins cumulés en uranium, puis, se basant sur les données actuelles concernant les diverses catégories de ressources en uranium, en déduire les dates d'épuisement de ces ressources. Une étude menée dans le

cadre de la Conférence mondiale de l'énergie [2] utilise cette approche. Il s'agit d'une démarche très simplificatrice qui consiste à comparer un ensemble dynamique (l'évolution des besoins) à un ensemble statique (les données actuelles sur les ressources). Pour utile qu'elle puisse être aux spécialistes qui sauront en interpréter les résultats, elle comporte inévitablement le risque de conduire à de trompeuses conclusions sur les possibilités de développement de l'énergie nucléaire.

En fait, seule une analyse approfondie et relativement complexe de l'offre et de la demande permet de dégager des conclusions pondérées et de portée pratique. Une telle analyse, menée par des spécialistes de l'AIEA et récemment publiée [3], permet de situer de façon réaliste les perspectives à long terme (2035) de l'approvisionnement en uranium. Les résultats obtenus indiquent que, en respectant certaines conditions parfaitement réalisables, il est possible de disposer, dans les délais requis et pour la période considérée, des capacités de production nécessaires à la couverture des besoins en uranium correspondant aux divers scénarios de développement de l'énergie nucléaire envisagés.

4. Conclusions

La nature et l'ampleur des ressources d'uranium contenues dans la croûte terrestre, l'impact très modeste

du prix de l'uranium dans le coût total de production de kWh nucléaire, l'émergence de nouvelles techniques porteuses d'améliorations significatives tant sur le plan des performances techniques que des coûts constituent un ensemble d'éléments qui permet d'affirmer, sans même prendre en compte l'utilisation du thorium, que les ressources de matières fissiles ne constituent pas, en tant que telles et à vue humaine, une limite à l'utilisation de l'énergie nucléaire.

Fondamentalement, la question qui se pose est celle de l'adaptation de la production aux besoins. Cela implique d'anticiper la demande et de mettre en œuvre les moyens qui permettront de la satisfaire de façon appropriée, ce qui est parfaitement réalisable.

Références

- [1] Uranium - Ressources, Production et Demande - Rapport publié par l'OCDE, 1986.
- [2] Abondance énergétique: Mythe ou réalité? *Jean-Romain Frisch*, 13e Congrès de la Conférence Mondiale de l'Energie, Cannes, octobre 1986.
- [3] Long-term Uranium Supply - Demande Analyses - IAEA-TECDOC-395-1986.

L'article qui précède est une version abrégée d'un texte plus détaillé qui a paru dans le Bulletin ASPEA No 16/1987.