
LE NUCLEAIRE, UNE ENERGIE RENOUVELABLE ?

Au vu des réserves actuelles de combustible et de la capacité de certains réacteurs à en générer eux-mêmes, le nucléaire pourrait suffire à couvrir tous nos besoins en énergie pendant des milliers d'années. Pourtant, on rechigne à le considérer comme renouvelable, notamment aux États-Unis dont il est question dans cet article. Des utilisateurs de Wikipédia ont donc réuni des arguments en faveur d'une classification du nucléaire comme source d'énergie renouvelable, au même titre que le soleil ou l'énergie géothermique.

CLASSIFICATIONS DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

Si le nucléaire est considéré comme une source d'énergie à faibles émissions de CO₂, son inclusion parmi les sources d'énergie renouvelable au regard de la loi fait l'objet de débats et de classifications. Les définitions statutaires de l'énergie renouvelable excluent habituellement de nombreuses technologies nucléaires actuelles, à l'exception notable de l'Utah et de l'Arizona, aux États-Unis, dont les critères exigent une exploitation particulière de la fission nucléaire avec recyclage des « déchets » ou du combustible.

Souvent, les définitions des technologies nucléaires renouvelables que l'on trouve dans les dictionnaires omettent de mentionner ou excluent explicitement l'ensemble des sources d'énergie nucléaire, à l'exception de la chaleur générée par la désintégration nucléaire survenant naturellement au sein de la Terre, l'énergie géothermique.

FISSION CONVENTIONNELLE ET REACTEURS SURGENERATEURS

Combustible le plus courant dans les centrales à fission nucléaire conventionnelles, l'uranium-235 est « non renouvelable » selon l'Agence américaine d'information sur l'énergie (EIA) ; cependant, cette organisation ne s'exprime pas pour ce qui est du combustible MOX (oxyde mixte) recyclé. De même, le Laboratoire américain des énergies renouvelables (NREL) ne mentionne pas le nucléaire dans sa présentation des « rudiments de l'énergie ».

En 1987, la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED) a classifié les réacteurs à fission produisant plus de combustible nucléaire fissible qu'ils n'en consomment (les réacteurs surgénérateurs et, si développée, l'énergie de fusion) parmi les sources d'énergie renouvelable conventionnelles, comme le soleil et les chutes d'eau.

De même, l'*American Petroleum Institute* ne considère pas la fission nucléaire conventionnelle comme renouvelable, mais considère le combustible des réacteurs surgénérateurs comme renouvelable et durable. Par ailleurs, si la fission conventionnelle donne lieu à des flux de déchets qui constitueront une source d'inquiétude durant des millénaires, les déchets issus du combustible épuisé ayant été consommé efficacement ne doivent être stockés que pendant mille ans. Les déchets radioactifs doivent également faire l'objet d'un suivi et d'un stockage lors de l'utilisation d'autres sources d'énergie renouvelable, comme l'énergie géothermique.

DEFINITIONS DE L'ENERGIE RENOUVELABLE

Les sources d'énergie renouvelable impliquent des phénomènes naturels qui, à l'exception de l'énergie marémotrice, tirent leur énergie du soleil (un réacteur à fusion naturel) ou de l'énergie géothermique (chaleur issue en grande partie de celle générée sous terre à partir de la désintégration des isotopes radioactifs), comme l'explique l'Agence internationale de l'énergie :

L'énergie renouvelable est issue de processus naturels constamment réapprovisionnés. Sous ses diverses formes, elle provient directement du soleil ou de la chaleur générée profondément au sein de la terre. Sa définition regroupe l'électricité et la chaleur générées à partir de la lumière du soleil, du vent, des océans, de l'énergie hydraulique, de la biomasse, des ressources géothermiques, ainsi que des biocarburants et de l'hydrogène issus de ressources renouvelables.

Les ressources d'énergie renouvelable s'étendent sur de larges zones géographiques, contrairement aux autres sources d'énergie qui sont concentrées en un nombre de pays limité.

La norme ISO 13602-1:2002 définit une ressource renouvelable comme « une ressource naturelle pour laquelle le ratio de la création de la ressource dans la technosphère à la production de cette ressource dans la nature est égal ou supérieur à un ».

LA FISSION CONVENTIONNELLE ET LES REACTEURS SURGENERATEURS, DES SOURCES RENOUVELABLES ?

FISSION CONVENTIONNELLE

Les réacteurs à fission nucléaire constituent un phénomène énergétique naturel, ceux-ci s'étant formés naturellement sur Terre par le passé. Par exemple, un réacteur à fission nucléaire naturel a été découvert dans les années 1970 sur le site d'Oklo au Gabon. Il a fonctionné pendant quelques centaines de milliers d'années, produisant en moyenne 100 kW de puissance thermique pendant cette période.

La plupart des centrales à fission nucléaire conventionnelles créées par l'homme ont quant à elles pour principale source de combustible l'uranium, un métal commun que l'on retrouve dans l'eau de mer et dans des pierres de par le monde. L'uranium-235 « brûlé » dans les réacteurs conventionnels, sans recyclage du combustible, constitue une source non renouvelable qui, compte tenu de la vitesse à laquelle il est actuellement utilisé, finira par s'épuiser.

Cette situation est quelque peu similaire à celle d'une source généralement classifiée comme renouvelable, l'énergie géothermique. Cette forme d'énergie est issue de la désintégration nucléaire naturelle de la réserve large mais limitée d'uranium, de thorium et de potassium-40 présente au sein de la croûte terrestre. De par la nature de ce processus, cette source d'énergie renouvelable finira également par manquer de combustible – de même que le soleil.

REACTEURS SURGENERATEURS

Il existe également des réacteurs à fission nucléaire qui génèrent plus de combustible fissile qu'ils n'en consomment, ce qui revient à dire que leur ratio de génération de combustible fissile est supérieur à 1 : ce sont les réacteurs surgénérateurs. Il y a plus de raisons de considérer ces réacteurs comme des sources renouvelables que les réacteurs à fission conventionnels. Les réacteurs surgénérateurs réapprovisionneraient constamment la réserve disponible de combustible nucléaire en convertissant des matériaux fertiles, tels que l'uranium-238 et le thorium, en isotopes fissiles de plutonium et d'uranium-233 (respectivement).

Les matériaux fertiles sont également non renouvelables, mais leurs réserves sur Terre sont extrêmement larges et ne devraient s'épuiser que bien après l'énergie géothermique. Dans le cycle de combustible nucléaire fermé d'un réacteur surgénérateur, le combustible nucléaire pourrait ainsi être considéré comme renouvelable.

EXTRACTION DE L'URANIUM DE L'EAU DE MER

Aux États-Unis, les chercheurs du Laboratoire national d'Oak Ridge (ORNL) et de l'Université de l'Alabama travaillant sur l'extraction de l'uranium de l'eau de mer ont concentré leurs efforts sur l'augmentation de la biodégradabilité du processus et la réduction du coût projeté du métal en cas d'extraction de la mer à l'échelle industrielle. Leurs avancées ont fait l'objet en 2012 d'un article dans une publication de la Société américaine de chimie (ACS).

Les améliorations proposées par les chercheurs impliquent l'utilisation de mats électrofilés en chitine (extraite de carapaces de crevettes) absorbant l'uranium avec une plus grande efficacité que la méthode japonaise (impliquant des tamis en fibres plastiques) qui détenait jusque-là le record.

En 2013, seuls quelques kilos d'uranium ont été extraits de l'océan dans le cadre des programmes pilotes. On suppose également que l'uranium extrait de l'eau de mer à l'échelle industrielle serait constamment réapprovisionné par l'uranium issu du plancher océanique, ce qui permettrait de maintenir la concentration présente dans l'eau de mer à un niveau stable.

En 2014, avec les avancées réalisées en matière d'efficacité de l'extraction de l'uranium de l'eau de mer, un article publié dans le journal de L'Ingénierie et la science marines (*Marine Science & Engineering*) suggère que, en ciblant les réacteurs à eau légère, le processus serait compétitif sur le plan économique à condition d'être mis en œuvre à grande échelle.

CLASSIFICATION

En 1987, la Commission mondiale de l'environnement et du développement (CMED), une organisation indépendante des Nations unies mais créée par celles-ci, a publié le document *Notre avenir commun*, dans lequel un sous-ensemble particulier des technologies de fission nucléaires actuellement utilisées et la fusion nucléaire étaient qualifiés de renouvelables.

Les réacteurs à fission produisant plus de combustible fissible qu'ils n'en consomment (les réacteurs surgénérateurs) et, une fois développée, l'énergie de fusion, sont donc tous deux classés dans la même catégorie que les sources d'énergie renouvelable conventionnelles, comme le soleil et les chutes d'eau.

SITUATION EN 2014

Actuellement, en 2014, seuls deux réacteurs surgénérateurs produisent de l'électricité en quantités industrielles : le BN-600 et le BN-800. Le réacteur français Phénix, qui a cessé son activité, possédait également un ratio de génération supérieur à un et a fonctionné pendant environ 30 ans ; il produisait encore de l'électricité lors de la publication de *Notre avenir commun* en 1987.

À présent, la possibilité d'une fusion nucléaire soutenue par l'humain devrait être démontrée à l'aide du réacteur expérimental thermonucléaire international (ITER) entre 2020 et 2030, et des efforts sont investis dans la création d'un réacteur à énergie de fusion pulsée basé sur le principe du confinement inertiel (pour en savoir plus, voir l'article [Centrale à fusion inertielle](#)).

RESERVES DE COMBUSTIBLE

FISSION CONVENTIONNELLE

En 2005, on estimait que les ressources mondiales d'uranium-235 connues, dont la récupération coûterait 130 \$/kg (environ 120 €/kg au taux de change actuel), dureraient de 80 à 100 ans aux taux de consommation de 2005-2006. Selon le livre rouge de l'OCDE publié en 2011, l'exploration a permis une augmentation de 12,5 % des ressources connues d'uranium-235 depuis 2008, cette augmentation se traduisant par une réserve d'uranium-235 pouvant durer plus d'un siècle si l'utilisation du métal se poursuivait au taux de 2011.

La durée de vie des réserves des réacteurs à fission à eau légère/conventionnels est estimée à 30.000 voire 60.000 ans s'il est possible d'extraire tout l'uranium présent dans l'eau de mer, sur la base de la consommation énergétique mondiale actuelle. Autrement, on l'estime à environ 6.500 ans avec une flotte potentielle de réacteurs nucléaires produisant 3.000 GW, une quantité d'électricité six à sept fois supérieure à la capacité mondiale actuelle des centrales nucléaires civiles.

REACTEURS SURGENERATEURS

L'OCDE a également calculé qu'avec des réacteurs surgénérateurs rapides comme le BN-800 et le concept de Réacteur intégré à neutrons rapides, qui possède un cycle de combustible nucléaire fermé impliquant la combustion et le recyclage de l'ensemble de l'uranium, du plutonium et des actinides mineurs (les actinides étant actuellement les substances les plus dangereuses parmi les déchets nucléaires), l'ensemble des ressources terrestres conventionnelles et du minerai phosphaté contiendrait de l'uranium à l'état naturel pouvant durer 160.000 ans.

Le thorium, alternative souvent ignorée à l'uranium-238 dans les réacteurs surgénérateurs, est trois à quatre fois plus abondant dans la croûte terrestre que l'ensemble des isotopes d'uranium combinés, l'abondance du seul isotope de thorium naturel (thorium-232) étant plusieurs centaines de fois supérieure à celle de l'uranium-235. Cependant, la concentration ou l'occurrence moyenne du thorium dans l'eau de mer est 1.000 fois inférieure, de l'ordre des nanogrammes par litre contre 3 microgrammes par litre pour l'uranium, soit 3 milligrammes par tonne/mètre cube d'eau.

En 1983, le physicien Bernard Cohen a déclaré que des réacteurs surgénérateurs rapides, alimentés exclusivement en uranium naturel extrait de l'eau de mer, pourraient fournir de l'énergie pendant une période au moins égale à la durée de vie restante supposée du soleil, estimée à cinq milliards d'années.

Ses estimations étaient basées sur des calculs impliquant les cycles géologiques d'érosion, de subduction et de soulèvement conduisant à une consommation humaine correspondant à la moitié de la réserve totale d'uranium présente dans la croûte terrestre à un taux d'utilisation de 6.500 tonnes/an. Ce taux, correspondant à la production nécessaire pour assurer environ 10 fois la consommation électrique mondiale de l'année 1983, devait entraîner une réduction de 25 % de la concentration en uranium dans les mers et, ainsi, une augmentation de moins de 25 % du prix de l'uranium.

COMBUSTIBLE POUR LA FUSION

Si elle est développée, la fusion devrait fournir, pour un volume de combustible donné, plus d'énergie que toute autre source d'énergie consommant du combustible actuellement utilisée. Le combustible nécessaire, principalement du deutérium, existe abondamment dans les océans terrestres : environ un atome d'hydrogène (H) présent dans l'eau de mer (H₂O) sur 6.500 est un atome de deutérium sous la forme d'eau semi-lourde.

Cette proportion peut sembler faible (environ 0,015 %), mais les réactions à fusion nucléaire sont beaucoup plus énergétiques que la combustion chimique et l'eau de mer est plus facile d'accès et plus abondante que les combustibles fossiles, si bien que la fusion pourrait potentiellement répondre aux besoins énergétiques mondiaux pendant des millions d'années.

Dans le cycle de combustible de fusion combinant deutérium et lithium, la durée de vie de fourniture de cette énergie de fusion est estimée à 60 millions d'années, s'il est possible d'extraire l'ensemble du lithium présent dans l'eau de mer, sur la base de la consommation énergétique mondiale de 2004.

Dans le deuxième cycle de combustible de fusion le plus facile, celui utilisant uniquement du deutérium, la durée de vie est estimée à 150 milliards d'années, s'il est possible d'extraire et d'utiliser l'ensemble du deutérium présent dans l'eau de mer, sur la base de la consommation énergétique mondiale de 2004.

LEGISLATION AUX ÉTATS-UNIS

La classification de l'énergie nucléaire comme « énergie renouvelable » et « à faibles émissions de carbone » pourrait rendre les projets de production d'énergie nucléaire éligibles à des aides au développement dans des juridictions plus nombreuses. L'inclusion de cette classification de l'énergie nucléaire dans les Normes de portefeuille d'énergie renouvelable (RES) est donc une question cruciale.

CAROLINE DU SUD

Un projet de loi proposé à la législature de l'État de Caroline du Sud en 2007-2008 visait la classification de l'énergie nucléaire comme énergie renouvelable. Le projet de loi listait comme énergies renouvelables l'énergie solaire photovoltaïque, l'énergie héliothermique, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie géothermique, l'énergie marémotrice, le recyclage, le combustible hydrogène issu de ressources renouvelables, la bioénergie, l'énergie nucléaire et les gaz d'enfouissement.

UTAH

En 2009, l'État de l'Utah a promulgué la loi sur Les mesures incitatives de développement économique pour les projets d'énergies alternatives, comprenant des mesures incitatives pour les projets d'énergies renouvelables. Le texte de loi fait une référence directe à l'énergie nucléaire : « Énergie renouvelable » désigne la génération d'énergie telle que définie au Paragraphe 10-19-102 (11) et comprend la génération alimentée par un combustible nucléaire. Le projet de loi a été accepté par la Chambre des représentants avec 72 oui, 0 non, et 3 absents, par le Sénat avec 24 oui, 1 non, et 4 absents, et a reçu la signature du gouverneur.

ARIZONA

En 2010, la législature de l'État de l'Arizona a inclus l'énergie nucléaire dans un projet de loi portant sur les normes en matière d'énergie renouvelable pour les services d'électricité. Le projet de loi définissait « l'énergie renouvelable » comme l'énergie à la fois renouvelable et non émettrice de carbone. Il listait l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie géothermique, la bioénergie, l'énergie hydraulique, les déchets agricoles, les gaz d'enfouissement et les sources nucléaires.

En 2015, le projet de loi de cet État décrivait comme renouvelable « l'énergie nucléaire issue de sources alimentées par des barres de combustible à l'uranium comprenant au moins 80 % de combustible nucléaire recyclé et des ressources de réacteur à base de thorium naturel en cours de développement ».

PARTISANS

L'énergie nucléaire a été qualifiée de « renouvelable » par les personnalités politiques George W. Bush, Charlie Crist et David Sainsbury. En 2006, s'exprimant sur les thèmes de la croissance économique et l'obtention de pétrole dans des régions du monde où « ils ne nous aiment pas, tout simplement », le président Bush (alors à la tête des États-Unis) a déclaré : « L'énergie nucléaire est sûre, l'énergie nucléaire est propre, l'énergie nucléaire est renouvelable ».