

FLASH N°12 – juillet 2009

Réagissez à ces articles sur le forum de www.centrale-energies.fr, rubrique [Bienvenue sur ces forums](#)

L'amont et l'aval du cycle nucléaire dans le monde

par Sébastien CHARREIRE (EC Lille 01) et Jean-Claude Bordier (EC Lyon 69)

Devant les problématiques liées au dérèglement climatique, à la sécurité des approvisionnements énergétiques dans un contexte de raréfaction des ressources fossiles, le nucléaire reste un des composants incontournables du « mix » énergétique des pays industrialisés et émergents. Dans ce contexte de relance du nucléaire au niveau mondial, il paraît important de rappeler les différentes étapes du cycle de gestion du combustible nucléaire et d'en préciser les faits marquants et les perspectives.

Le cycle du combustible nucléaire va de l'extraction du minerai (uranium) jusqu'à la gestion des déchets engendrés par l'exploitation des centrales.

Il existe aujourd'hui dans le monde deux grandes typologies de gestion du combustible nucléaire :

- sans recyclage, dit cycle ouvert : le combustible irradié est considéré comme un déchet ultime
- avec recyclage, dit cycle fermé : les matières valorisables (uranium et plutonium) sont recyclées dans la fabrication de nouveaux combustibles comme le combustible MOX¹ pour le plutonium.

L'uranium, un minerai présent sur la surface du globe, mais dont les réserves connues nécessitent d'être ré-estimées

L'uranium est un métal lourd radioactif, présent un peu partout sur terre, dont l'isotope 235 est fissile. 40 à 45 000 tonnes de ce minerai sont extraits chaque année dans le monde, notamment au Canada (25% de la production mondiale) et en Australie (19%).

Après extraction, le minerai est transformé en « *yellow cake* » pour permettre de réaliser l'opération de conversion en vue de la fabrication des combustibles.

Le coup de frein donné à la filière nucléaire dans les années 80 suite à la catastrophe de Tchernobyl, a également naturellement ralenti les études de prospection approfondies des réserves d'uranium. La relance du nucléaire dans le monde nécessitera à court terme de mieux estimer les réserves d'uranium disponibles.

Des procédés industriels d'enrichissement de l'uranium aux mains d'un nombre limité de sociétés

Pour être utilisé dans les réacteurs à eau légère REP² et REB³, il est nécessaire d'enrichir au préalable l'uranium. Seule la filière des réacteurs à eau lourde (CANDU) développée par le Canada ne nécessite pas d'enrichissement préalable.



Fig 1. Centrifugeuse

L'étape d'enrichissement consiste à faire passer la proportion d'isotope 235 fissile d'environ 0,7% à une proportion comprise entre 3 et 6%. Cette étape se fait aujourd'hui selon deux procédés industriels :

- diffusion gazeuse (ex : Usine Eurodif en France) qui a l'inconvénient d'être très énergivore ;
- ultracentrifugation (ex : Usine Georges-Besse II en France, qui vient d'être inaugurée) qui consomme 50 fois moins d'énergie que la précédente.

D'autres procédés d'enrichissement sont en cours d'étude.

Les capacités d'enrichissement d'uranium sont principalement réparties en Russie (37%), aux USA (28%) et en France (27%). Les sociétés leaders dans l'enrichissement d'uranium sont : AtomEnergProm/TENEX (Russie), USEC (USA), AREVA (France), URENCO (Allemagne, Pays-Bas et UK).

¹ Mélange d'OXydes, constitué d'uranium appauvri et de 6 à 7% de plutonium

² Réacteur à Eau Pressurisée

³ Réacteur à Eau Bouillante

La préparation du combustible nucléaire

L'uranium enrichi est ensuite traité pour fabriquer le combustible nucléaire. Il s'agit de donner aux matières nucléaires la forme physico-chimique adéquate pour l'exploitation en réacteur (constitution des crayons, mis en réseau dans des assemblages combustibles).

L'entreposage intermédiaire

Une fois utilisé, le combustible irradié est entreposé environ un an dans la piscine dédiée du bâtiment combustible de la centrale. L'eau assure les rôles de radioprotection et de dissipateur thermique. Le combustible est ensuite entreposé pendant une période de quelques années (3 à 7 ans en moyenne à la Hague) en piscine avant d'être traité. Le combustible peut faire également l'objet d'un entreposage à sec (châteaux dont les parois épaisses protègent des radiations) pendant des périodes plus longues (cas notamment des USA, de la Suisse, de la Belgique et de l'Allemagne).

Le traitement du combustible irradié : des capacités concentrées dans quelques pays uniquement

Le traitement du combustible irradié consiste à séparer les matières valorisables (uranium faiblement enrichi et plutonium) des déchets ultimes (produits de fission et actinides mineurs). Pour ce faire, le procédé PUREX est généralement utilisé. Cette extraction liquide-liquide permet de séparer les matières valorisables des déchets qui sont alors calcinés puis vitrifiés. D'autres procédés sont actuellement en cours de développement.

Pour les réacteurs à eau légère, les capacités mondiales de retraitement sont concentrées en France (la Hague, 1700 t/an), au Royaume-Uni, en Russie et au Japon, soit environ 3000 tonnes de combustibles recyclables par an.

L'entreposage à long terme

Une fois traités, les déchets radioactifs conditionnés sont entreposés dans des ouvrages en surface ou sub-surface pour une durée pouvant être de l'ordre du siècle voire de plusieurs siècles, en attente d'un stockage définitif.

Des recherches sont actuellement en cours pour stocker les déchets au sein de couches géologiques profondes, solution retenue notamment par la France. Par ailleurs, des travaux sont en cours pour permettre de signaler de manière universelle et « intemporelle » aux générations futures la présence de ces sites.

Les différentes stratégies pour la gestion du combustible irradié

Des pays comme la Suède et le Canada ont opté pour le cycle ouvert, c'est-à-dire qu'ils ne retraitent pas le combustible usagé. La filière choisie est dès lors structurante sur les déchets produits : un réacteur REP produit plus de déchets de faible activité mais moins de déchets de haute activité qu'un réacteur REB ou CANDU.

D'autres, comme la France, ont fait le choix de recycler le combustible irradié (recyclage du plutonium lors de la fabrication du combustible MOX).

- Les réacteurs REP actuels peuvent fonctionner avec 30% de MOX. Le réacteur EPR est quant à lui conçu pour fonctionner avec 50% de MOX.
- Le MOX irradié doit néanmoins être entreposé pendant une durée un peu plus longue que les autres combustibles.

Enfin, de nombreux pays (Royaume-Uni, France, Russie...) mettent en place des programmes de recyclage de l'uranium retraité : l'uranium est extrait du combustible irradié et ré-enrichi ou non pour la fabrication de nouveaux combustibles. Ceci est d'autant plus intéressant lorsque les prix de l'uranium sont élevés.

La gestion du combustible nucléaire comporte des risques connus de tous notamment de prolifération. Ils font l'objet de dispositions particulières (traité de non prolifération, contrôles des autorités de surveillance...). Par exemple, un pays qui souhaite produire de l'énergie d'origine nucléaire en achetant la technologie auprès des pays la détenant doit s'engager à respecter des usages strictement civils et à se soumettre aux contrôles de l'AIEA.

Les perspectives sur l'amont et l'aval du cycle nucléaire

A moyen terme (2030-2040), les générateurs de génération IV devraient notamment permettre d'optimiser les ressources d'uranium utilisées, de diminuer significativement les déchets produits et d'éviter la prolifération. D'ici là, le stockage au sein de couches géologiques profondes sera développé.

A l'horizon du siècle prochain, une nouvelle source industrielle d'énergie pourrait être disponible : la fusion nucléaire, réaction qui, sur le principe, ressemble à celle existant au cœur du soleil. Le projet ITER, en cours, réunit 34 pays autour d'un programme de R&D de plusieurs décennies destiné à démontrer la faisabilité technique et scientifique d'utiliser l'énergie de fusion comme une future source de production d'énergie. Les premières bases seront alors posées pour démontrer la faisabilité industrielle de la production d'électricité par fusion.

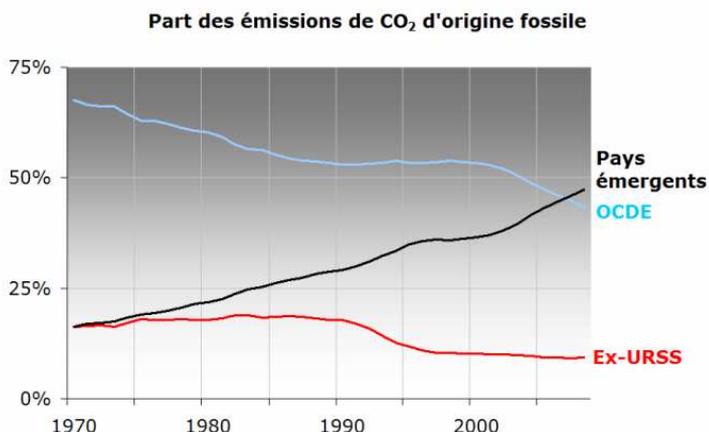
En attendant ces évolutions, l'opinion européenne évolue en faveur du nucléaire (44% d'opinions très favorables et favorables en 2008⁴, soit +7% en deux ans), notamment parce qu'elle ne produit pas de CO₂. Toutefois, la gestion des déchets nucléaires est un sujet qui continue à préoccuper l'opinion publique européenne et sur lequel il est nécessaire de communiquer.

¹ Eurobaromètre Spécial « Attitude à l'égard des déchets radioactifs » de juin 2008 »

Copenhague 2009, un nouveau départ ?

par Etienne PESNELLE (ECP 1986)

Les négociations internationales qui auront lieu à Copenhague en fin d'année se dérouleront dans un contexte radicalement différent de celui qui avait conduit à la mise au point du protocole, dit de Kyoto, de réduction des émissions actuellement en vigueur.



Le graphique ci-dessus montre en effet que ce sont désormais les pays émergents, Chine en tête, qui émettent le plus de carbone fossile dans l'atmosphère.

En 1990, année de référence pour tous les engagements nationaux de réduction d'émissions pris dans le cadre du protocole de Kyoto, la situation était très différente : l'OCDE était responsable de plus de la moitié des émissions. L'ex-URSS, en pleine débâcle politique et économique, avait obtenue l'appellation d'économie « en transition », ce qui lui permettait d'échapper à tout engagement coercitif. L'effondrement de son secteur industriel lui a pourtant permis de réduire ses émissions, en valeur relative comme en valeur absolue.

Un tel paysage favorisait donc un schéma de protocole où le « Nord », en pleine croissance économique, n'hésitait pas à soutenir le développement du « Sud » en prenant seul l'engagement de réduction de ses émissions de GES (hors USA, ne l'ayant pas ratifié).

Aujourd'hui, la situation est complètement inversée, l'origine humaine du changement climatique ne fait plus question, mais l'OCDE est en pleine crise économique tandis que les pays émergents d'Asie semblent poursuivre leur croissance industrielle.

Le « Sud », conscient des enjeux climatiques, souhaite cependant converger vers un schéma n'entravant pas son développement. Ainsi, la Chine (25% des émissions de carbone fossile 2008) insiste sur le fait que l'essentiel des 130 ppm de CO₂ surnuméraires dans l'atmosphère est dû au « Nord ». La Russie n'a pas non plus envie de changer de statut, bien qu'elle soit la troisième (avec 6%) derrière les Etats-Unis (14%) et juste avant le Japon et l'Inde (5% chacun).

Certains pays du « Nord », comme la Suède ou la France, n'attendent pas les résultats des négociations pour établir leurs propres objectifs de réduction d'émissions, qui vont souvent de pair avec une réduction de leur dépendance envers les approvisionnements énergétiques extérieurs.

La conférence-débat du 30 septembre prochain, devrait apporter un éclairage sur les conséquences du paquet climat-énergie de l'Europe, dans un contexte de forte crise financière, ainsi que sur les pré-discussions mondiales en cours préparant les décisions de Copenhague 2009.

Dates à retenir

Par Christiane DREVET (ECN 65)

30 septembre 09
21 octobre 09
18 ou 19 novembre 09
16 décembre 09
20 janvier 09
18 février 09

la crise économique, une chance pour le climat ?, ASIEM
l'odyssée de la voiture électrique (à confirmer), ASIEM
Chine et environnement (à confirmer), lieu à confirmer
WEO 2009 de l'AIE, ASIEM
rénovation des bâtiments, ASIEM
historique des ressources énergétiques conventionnelles, ASIEM

Les lieux et le mode d'inscription sont précisés sur l'invitation, insérée au site www.centrale-energie.fr, 6 semaines avant chacune des conférences

Au sommaire du prochain numéro (septembre 2009)

Energie utile - Extraction des schistes bitumineux - Dates à retenir

Rédacteur en chef, mise en page : Etienne PESNELLE (ECP 86)
Rédactrice-adjointe : Christiane DREVET (ECN 65)