

Nucléaire, Uranium, réserves, durabilité, indépendance

Les besoins en combustible

Une tranche de 1000 MWe avec un facteur de charge 75%, produisant en un an 6.5 TWh, utilisera 150 tonnes d'uranium naturel par an. La France avec 58 tranches nucléaires, une puissance installée de 62.000 MWe, une production de 421 TWh utilise environ 10.000 tonnes d'uranium naturel /an. (il aurait fallu 165 Millions de tonnes de charbon, 100 Millions de tonnes de pétrole (2.200 ERIKA) et 107 Milliards de m³ de gaz pour produire la même énergie électrique annuelle.

Pour le monde en 2000 les 450 tranches nucléaires ont produit 2620 TWh (17 % électricité) et consommé environ 60.000 tonnes d'uranium naturel / an

La quantité totale d'uranium extraite du sol jusqu'à la fin du vingtième siècle pour fabriquer le combustible destiné à des centrales nucléaires se monte à 1,2 millions de tonnes.

Les besoins à venir dépendront de l'importance de la relance du nucléaire dans le monde.

Le conseil mondial de l'énergie prévoit dans son scénario « Monde vivable » un triplement de la puissance installée nucléaire en 2050. D'autres prévisions donnent des estimations plus fortes dans la seconde partie du siècle.

Il faut penser que ce sera surtout l'aspect économique et les risques géopolitiques, plus que les pressions pour réduire les rejets de CO², qui viendront favoriser une relance du nucléaire. Au niveau mondial cette relance ne peut être rapide et il faudra attendre que les prix du pétrole et surtout du gaz se maintiennent de façon permanente au-delà des 40 \$/baril ce qui semble acquis, pour que les constructions s'accélèrent et que les besoins en uranium croissent par exemple d'un facteur 4. (240.000 tonnes par an)

Les réserves en combustibles sur la base des techniques actuelles

A ce jour la réaction nucléaire est essentiellement basée sur la fission thermique (neutrons lents) de l'U 235 que l'on trouve à raison de 0.7 % dans l'uranium naturel.

L'uranium est présent dans différents types de minerais, notamment dans les massifs granitiques.

A l'échelle de notre planète il est environ 50 fois plus abondant que le mercure et 1000 fois plus que l'or. Par contre, sa concentration dans un gisement est généralement faible, de l'ordre, sauf exception, du %.

Les ressources minières en uranium sont très réparties dans le monde et non comme le pétrole et le gaz dans quelques régions privilégiées, **ce qui garantit une stabilité des fournitures et des prix.**

Aujourd'hui les principaux gisements exploités se situent en Australie, au Canada, aux USA, au Brésil, au Niger, Afrique du Sud, Russie et Kazakhstan... En France, les gisements sont en voie d'épuisement ou n'offrent pas actuellement de conditions d'exploitation économiquement satisfaisantes.

Au début du 21^e siècle les réserves reconnues d'uranium en terre se montent à 4.6 millions de tonnes, avec un coût d'extraction inférieur à 130 \$/kg (le cours actuel de l'uranium sur le marché mondial est voisin de 52 \$/kg U) Il convient d'y ajouter des ressources dites secondaires (stocks militaires...) + 1 million de tonnes d'Uranium

A ces données certaines, il faut ajouter: d'une part les gisements dont l'existence est connue ou rendue très vraisemblable par des considérations géologiques, mais sans qu'ils aient été à ce jour prospectés ni même convenablement répertoriés et d'autre part les ressources supplémentaires accessibles à des coûts d'extraction plus élevées. Ceci donnerait un total de ressources additionnelles prévisions et/ou à < 260 \$ / kg de + 9.8 millions de tonnes d'Uranium naturel

Avec un total de 15 millions de tonnes d'U naturel, la consommation actuelle peut être assurée pendant 250 ans. Si la puissance installée au niveau mondial croît progressivement pour atteindre 4 fois la puissance actuelle dans la deuxième partie du siècle, **les ressources en uranium accessibles à un coût encore faible pourraient permettre de faire face aux besoins du 21^e siècle,** mais sans aller plus loin.

Nota : Ceci ne prend pas en compte les ressources dites non conventionnelles : l'uranium dans les phosphates, charbons ... Les teneurs sont faibles, les coûts d'extraction ne pas à ce jour connus. S'ils s'avèrent élevés, l'exploitation de ces sources entrerait plutôt dans le cadre du développement de la 4^e génération (voir plus loin)

Les réserves en combustible sur la base des techniques à venir

Différentes approches de progrès permettent de prolonger ces durées.

a) la première porte sur le cœur nucléaire et sa gestion dans la lignée des cœurs actuels.

Des gains de consommation sont dès à présent possibles et lancés en France avec une meilleure utilisation du combustible (+ 10 % d'énergie par kg d'U avec le cœur d'EPR) et le recyclage de plutonium par le combustible MOx (+ 10 % d'énergie)

De même une utilisation plus poussée de l'uranium appauvri à la sortie enrichissement (à ce jour de 0.2% à 0.3%) permettrait de produire 16 % en plus d'énergie (uranium appauvri à 0.15)

Dans les réacteurs nucléaires les plus récents, il est donc possible de consommer par fission jusqu'à 1% de la quantité d'uranium naturel qui a servi à leur alimentation, ce qui signifie une proportion double de celle qui a été atteinte en moyenne dans le passé. Dans ces conditions, l'énergie nucléaire de fission disponible représente un potentiel de production d'électricité qui vaut environ dix fois le total qu'elle a fourni jusqu'ici. **L'échéance de durabilité va déjà au milieu du siècle prochain.**

Ceci n'est pas négligeable, mérite d'être fait, reporte l'échéance, mais un saut supplémentaire est nécessaire pour parler de durable.

b) **En agissant sur la conception du cœur, la surgénération devrait permettre de faire ce saut.**

L'avenir au-delà du siècle de l'énergie nucléaire de fission repose sur l'emploi généralisé d'un nouveau type de réacteurs, qualifiés de surgénérateurs.

Par l'intermédiaire de la transmutation progressive de l'U238 en plutonium ces derniers offrent la possibilité de dégager, non plus le centième, mais la majeure partie (la moitié en pratique) de l'énergie de fission que recèle l'uranium naturel.

La base de la surgénération est la transformation des 99.3 % fertiles de l'uranium naturel en matière fissile: U 238 fertile → Pu (fissile). Avec ceci le potentiel énergétique des réserves est x par 60

Pour ceci le flux neutronique doit être rapide: les neutrons issus de la fission ne sont plus ralentis.

Cette technologie a été développée à l'échelle industrielle avec la filière à neutrons rapides refroidie au sodium. Un certain nombre de prototypes ont déjà apporté la démonstration industrielle de cette technique. Toutefois, du fait de leur coût d'investissement sensiblement plus élevé, la compétitivité économique des surgénérateurs avec les réacteurs actuels ne sera acquise que lorsque le prix de l'uranium naturel atteindra environ 100 €/ par kg

En France le réacteur de démonstration Phénix (250 MWe au départ) en service depuis 1973 a fait la preuve de la validité de la surgénération en bouclant plusieurs fois son cycle de combustible.

La centrale Super Phénix d'une puissance de 1.200 MWe devait représenter le prototype de taille industrielle de cette filière. Mise en service en 1986, cette centrale connût des difficultés de début de vie Ce n'est pas surprenant que des difficultés apparaissent lors de la mise au pont d'une nouvelle filière technologique et l'expérience récente d'Ariane ne fait que confirmer ceci. Ces difficultés étaient surmontées lorsque la décision d'arrêter en 1997 pour des raisons essentiellement politiques fût prise. Néanmoins la démonstration de la validité de la filière fût renforcée par cette courte vie de Super Phénix.

La centrale BN 600 (600 MWe) en fonctionnement depuis 1981 en Russie apporte une confirmation solide de la validité de cette filière dans la durée.

Une autre filière est envisagée pour la surgénération. Toujours basée sur les cœurs rapides elle serait refroidie à l'hélium. A ce jour des premiers modèles de réacteur refroidis à l'hélium ont été testés, mais avec des cœurs thermiques. La relance de cette filière repassera en premier par ces mêmes réacteurs thermiques avant de passer aux rapides.

Le recours aux surgénérateurs permettrait de tirer également parti de l'énergie de fission du thorium (transmutation Th 232 fertile→U233 fissile). Les gisements de thorium, quoique moins bien répertoriés que ceux de l'uranium, sont au moins aussi abondants. (Il y a sur terre 3 fois + de Th que d'U)

Avec la surgénération la durabilité du nucléaire se chiffre en milliers d'années

Enfin et surtout, il sera alors possible de faire appel à des minerais très pauvres, dont l'utilisation pour alimenter les réacteurs actuels ne peut être envisagée pour des raisons économiques. Elle deviendra justifiée dans le cas des surgénérateurs, où le prix de l'uranium naturel ne joue qu'un rôle tout à fait marginal dans le coût du kWh. Les ressources augmenteront alors considérablement.

Par exemple l'uranium dans les phosphates, charbons ... pourraient représenter 15 à 25 millions de tonnes (utilisables, même si les teneurs en uranium ne dépassent pas un dix millième en poids)

Au total, les réserves d'uranium conventionnelles et non conventionnelles peuvent être estimées entre 30 et 40 millions de tonnes

A la limite on peut songer à extraire l'uranium de l'eau de mer, qui en contient 3,3 mg par m³. Son coût d'extraction a été estimé à 300 €/ kg, mais il faudrait le diviser par 60 pour le ramener au kWh surgénérateurs, en comparaison au coût actuel dans l'utilisation en réacteurs à neutrons thermiques.

La quantité d'uranium présente dans l'ensemble des océans du globe s'élève à 4000 millions de tonnes. Utilisée dans des surgénérateurs, elle représenterait un potentiel énergétique gigantesque.

Si les quantités d'eau à « brasser » permettent difficilement d'envisager un grand développement de cette voie avec les filières actuelles de neutrons thermiques (besoins français: environ 100.000 m³/ seconde !) il n'en est plus de même avec la surgénération (1500 m³/ seconde pour les besoins français: 166 t/an)

La durabilité du nucléaire pourrait se chiffrer en centaines de milliers d'années

Commentaires sur l'indépendance énergétique

Un point fort du nucléaire est présenté comme son apport à l'indépendance énergétique du pays.

Ce point est contesté par les opposants car nous importons notre uranium. Dans les débats il est dit que nous dépendons de l'étranger autant que pour le pétrole et le gaz et donc le nucléaire ne présente de ce point de vue aucun intérêt. Ce sujet mérite plusieurs approches

1) La première est le coût : les dépenses qui partent à l'étranger avec ses conséquences sur la balance des paiements et l'emploi.

La différence est fondamentale car le prix du combustible intervient très peu dans le coût du MWh nucléaire (les dépenses investissements sont prédominantes) alors que pour les énergies fossiles c'est l'inverse, l'essentiel du coût est dans le combustible

Pour 1 MWh produit par le nucléaire, ce sont 1.5 € qui partent en achat de minerais combustibles

Pour 1 MWh produit par le gaz ce sont 34 € qui en 2004 partaient à l'étranger.

Le prix du gaz étant indexé sur celui du pétrole avec un décalage de quelques mois, compte tenu de l'augmentation des coûts récents, il y a à ce jour un écart d'environ 40 €/MWh

Avec une production de 420 TWh la balance des paiements serait affectée de 16.8 Md € sans le nucléaire, ce qui correspond à environ 560.000 emplois

Argent non envoyé à l'étranger = emplois chez nous

2) Que se passe-t-il si la route de l'approvisionnement est coupée, que sont nos réserves ?

Pour une centrale au charbon de 1.000 MWe, il faut 2.3 millions de tonnes par an de charbon (66 minéraliers de 35.000 tonnes et puis 23.000 wagons de 100 tonnes)

Pour une centrale au fuel ce sont 1.5 millions de tonnes (3 super pétroliers de 500.000 t)

Vu les énormes volumes on ne peut concevoir que des stocks de l'ordre du mois (on parle de stocks stratégiques pour alimenter l'armée, les hôpitaux de 3 à 4 mois).

Si la route est coupée 1 mois après le pays est paralysé.

Pour le nucléaire ce n'est que 150 tonnes d'uranium naturel par an pour cette même centrale.

Il y a un rapport 100.000 dans les masses à prévoir en réserve pour faire face à des risques de rupture d'approvisionnement.

Chaque centrale dispose déjà en fait de réserves en moyenne pour 3 à 4 ans de fonctionnement.

Mais il existe sur le territoire, des réserves soit sous forme de minerais (déjà prétraité) soit sous forme d'uranium naturel ou enrichi, soit déjà sous forme de combustibles finis ou en usine de fabrication, pour que globalement on peut dire que nous disposons en France **d'une autonomie de plus de 5 ans, de quoi faire face à une crise mondiale généralisée.** Il serait facile de pousser cette autonomie bien au-delà.

3) Le pétrole et le gaz ont des réserves concentrées au moyen Orient avec quasiment très peu de routes de transit et en ex URSS (pensons aux menaces de Poutine sur le gaz)

Le charbon est mieux réparti dans le monde et s'il n'y en n'a plus en France il y en a en Europe.

L'uranium par contre est très réparti dans le monde et les sources d'approvisionnements de pays très divers et plus sur et stable que ceux qui dominent pétrole et gaz.
Les risques de coupure de route sont donc nettement moindres.

En conclusion on peut bien parler d'indépendance énergétique pour le nucléaire