

# PRIX DE REVIENT DE L'ENERGIE D'ORIGINE NUCLEAIRE

D'après un rapport établi par le Secrétariat de l'AIEA et présenté à la septième session de la Conférence générale de l'Agence, les renseignements sur les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire ressortent de moins en moins du domaine des estimations incertaines pour passer dans celui des données de fait. La construction et la mise en service d'un nombre sans cesse croissant de centrales nucléaires permettent, en effet, d'obtenir de plus amples renseignements sur les prix de revient réels.

Ce rapport est le quatrième rapport sur les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire présenté à la Conférence générale de l'AIEA. Celui de l'année dernière fournissait des données sur les prix de revient de 38 projets de centrales nucléaires, dont 17 sont maintenant en service. Le présent rapport fait état de certains changements importants intervenus depuis l'année dernière, et contient, en outre, des renseignements sur sept centrales nouvelles. (Voir tableau à la fin de l'article.)

Il est divisé en deux parties : la première a trait à l'évolution récente et aux tendances actuelles des prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire ; la deuxième est consacrée à l'utilisation des données sur les prix de revient à des fins de comparaisons économiques. Les deux parties du rapport insistent sur le fait que l'incertitude des données fondamentales a été considérablement réduite récemment. Le rapport met également en évidence le fait qu'un certain degré d'incertitude est dû aux hypothèses utilisées pour parvenir à des chiffres globaux du prix de revient de la production d'énergie, notamment lorsque - comme c'est généralement le cas - une centrale nucléaire fait partie d'un réseau.

## Tendances actuelles des prix de revient

La position de l'énergie d'origine nucléaire par rapport à l'énergie classique accuse une amélioration sensible tant en ce qui concerne les dépenses d'investissement que le coût du combustible. Les dépenses d'investissement sont fortement influencées par l'un ou plusieurs des facteurs suivants :

a) Diminution des dépenses de construction de la deuxième ou troisième centrale d'un même type, en raison : i) de l'expérience acquise, ii) des progrès de la technologie ;

b) Diminution du prix unitaire lorsque les dimensions de la centrale augmentent, les grandes étant plus économiques que les petites ;

c) Augmentation de la puissance génératrice des réacteurs au-delà du chiffre théorique.

Etant donné qu'il est rare de construire consécutivement deux centrales strictement identiques, il n'est pas facile de distinguer les effets de l'expérience acquise et ceux des progrès de la technologie. En effet, la technologie s'améliore après la construction de chaque centrale et il est difficile de déterminer dans quelle mesure la réduction du prix de revient de la deuxième centrale est imputable au fait qu'elle a les mêmes caractéristiques que la première. En outre, lorsque deux centrales sont du même type, la deuxième est presque toujours plus grande que la première et il est donc assez difficile de séparer l'effet de l'augmentation des dimensions de la centrale, d'une part, et les effets de la reproduction du même modèle et des progrès de la technologie, d'autre part.

Cependant, l'effet global se fait sentir nettement dans la réduction progressive des prix de revient des réacteurs à uranium naturel, refroidis par un gaz, construits en Grande-Bretagne et en France. Pour ce qui est des réacteurs à uranium enrichi, refroidis à l'eau légère, un exemple frappant de l'effet global des facteurs mentionnés est fourni par la centrale Yankee, aux Etats-Unis. Cette centrale, équipée d'un réacteur à uranium enrichi et à eau sous pression, était conçue pour une production nette de 110 MWe, ce qui aurait signifié des dépenses d'investissement de 356 dollars par kilowatt de puissance installée. En fait, la production nette de la centrale est d'environ 160 MWe, ce qui ramène les dépenses d'investissement à 248 dollars par kilowatt. La deuxième centrale du même type, la Connecticut Yankee ou Yankee No 2, aura une production nette de 463 MWe et les dépenses d'investissement sont estimées à 183 dollars par kilowatt, l'augmentation des dimensions étant le principal facteur de la réduction du prix de revient unitaire.

La situation s'est aussi considérablement améliorée en ce qui concerne le coût du combustible. On peut considérer que, dans l'avenir immédiat, le prix du concentré d'uranium ( $U_3O_8$ ) variera entre 13 et 17 dollars le kilo. Les coûts de fabrication ont aussi baissé ; pour les éléments combustibles Magnox utilisés en Grande-Bretagne et en France, ils sont maintenant d'environ 20 dollars par kilo. Le prix de revient total du combustible fini se situe donc entre 35 et 40 dollars le kilo. Pour une combustion massique

moyenne de 3 500 MWj/t et un rendement de 31 %, le prix de revient total du cycle de combustible varie donc entre 1,8 et 2,2 mills par kWh.

Les frais de fabrication du combustible sont bien arrêtés pour ce qui est des réacteurs, refroidis à l'eau, utilisant comme combustible du bioxyde d'uranium dans une gaine d'acier inoxydable ou de Zircaloy. Aux Etats-Unis, les prix de revient vont de 0,6 à 1,2 mills par kWh. Le prix de revient des cartouches de combustible, non compris le prix de location de l'uranium enrichi, se situe entre 100 et 110 dollars par kilo d'uranium avec gaine en acier inoxydable et entre 120 et 130 dollars avec gaine en Zircaloy. On prévoit, d'après des estimations prudentes, que dans les nouveaux grands réacteurs à eau, tels que San Onofre, Connecticut Yankee et Los Angeles, le prix de revient du cycle de combustible entier sera de 2 à 2,5 mills par kWh, les redevances pour le traitement chimique du combustible restant inchangées et la valeur de rachat du plutonium étant de 8 dollars par gramme.

L'uranium naturel utilisé comme combustible, sous forme de bioxyde revêtu de Zircaloy, dans le réacteur canadien ralenti et refroidi à l'eau lourde (CANDU) peut être acheté au prix de 68 dollars le kilo. Avec une combustion massique de 10 000 MWj/t et compte tenu du fait que le combustible usé n'est pas traité en vue d'être utilisé à nouveau, cela signifie que le prix de revient du cycle de combustible, non compris la valeur du stock, est d'environ 1,0 mill par kWh.

L'expérience acquise en matière de fabrication et de combustion massique permet aux fournisseurs d'offrir des garanties quant au rendement du combustible. Aussi est-il maintenant possible d'indiquer des prix de revient du combustible valables pour de longues périodes.

### **Utilisation des données sur les prix de revient à des fins de comparaisons économiques**

Pour procéder à des comparaisons économiques, il faut tenir compte de certaines limitations des données sur les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire. D'une part, ces prix sont toujours calculés à partir d'une série d'hypothèses, dont certaines sont fondées sur l'expérience, les autres sur des extrapolations raisonnables. D'autre part, une grande centrale nucléaire est rarement isolée : elle est normalement intégrée à un réseau. Le prix de revient de l'électricité aux bornes d'une centrale ne peut donc être considéré que comme une indication pour établir le prix de revient dans l'ensemble du réseau pendant une certaine période. En fin de compte, si l'on veut comparer du point de vue économique plusieurs solutions possibles pour satisfaire les besoins

d'un réseau, il faut tenir compte de nombreux facteurs autres que le prix de revient aux bornes d'une centrale.

Avec l'assistance d'un groupe d'experts, l'Agence a entrepris une étude d'ensemble du problème complexe des aspects économiques de l'intégration de centrales nucléaires dans les réseaux. Cette étude a déjà montré que les prix de revient aux bornes d'une centrale isolée ne peuvent être utilisés qu'en tenant compte des deux considérations suivantes :

a) L'existence de facteurs économiques et techniques propres à l'énergie d'origine nucléaire ;

b) Le fait que les chiffres obtenus pour une seule centrale ne permettent pas automatiquement de déduire le coût réel de l'électricité produite pour satisfaire les besoins du réseau ni de comparer les différentes solutions possibles.

A mesure que la technologie progresse et que l'expérience s'élargit, la première série de limitations a tendance à disparaître, notamment dans le cas de réacteurs de types éprouvés. Cependant, aux fins de comparaisons économiques, il serait souhaitable d'avoir, au lieu d'un chiffre unique, une série de calculs basés sur diverses hypothèses quant aux données susceptibles de modifications futures.

La deuxième catégorie de limitations n'est pas propre au prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire. Son importance peut être limitée si la centrale nouvelle ne doit fournir qu'une faible proportion de la production du réseau ; en pareil cas, une comparaison entre les avantages d'une centrale nucléaire et d'une centrale classique pour un réseau essentiellement thermique peut alors être faite sur la base de chiffres concernant les prix de revient aux bornes d'une centrale. Mais cette méthode peut se révéler inadéquate pour la comparaison de réseaux classiques et de réseaux nucléaires, ou même pour la comparaison de deux centrales envisagées pour un réseau présentant des caractéristiques inhabituelles : présence de nombreuses centrales démodées, rythme d'expansion extrêmement rapide ou variations importantes dans le facteur de charge du réseau.

En dépit de ces considérations, il ne faut pas minimiser l'intérêt des évaluations du prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire. Il en ressort simplement qu'il faut procéder à deux sortes d'opérations supplémentaires pour comparer utilement les avantages économiques des diverses solutions.

Tout d'abord, il faut, non seulement calculer le prix de revient aux bornes d'une centrale sur la base des hypothèses les plus raisonnables, mais encore évaluer toute une série de prix en se fondant sur diverses hypothèses pour chacun des paramètres fondamentaux qui peuvent varier sensiblement pendant la durée de vie utile de l'installation. Ensuite, il

faut entreprendre des études sur les coûts du réseau considéré (par opposition aux prix de chaque centrale) pour divers types de centrales permettant de satisfaire les besoins du réseau. Ceci est particulière-

ment important dans les pays en voie de développement, où une seule centrale nucléaire représente souvent une partie importante de la puissance installée du réseau pour lequel elle est envisagée.

### Tableau: Dépenses d'investissements de centrales nucléaires

#### A. Données concernant des centrales nouvelles

<u>Centrale</u>	<u>Emplacement</u>	<u>Type de réacteur</u>	<u>Production électrique nette (MWe)</u>	<u>Dépenses d'investissement (millions de dollars)</u>	<u>Prix unitaire d'énergie (dollars/kWe)</u>
La Crosse	La Crosse, Wisc., Etats-Unis	Eau bouillante	50	18,4	368
KRB	Gundremmingen, Allemagne	Eau bouillante	237	70*	295
Tarapur	près de Bombay, Inde	Eau bouillante	380 (2 x 190)	101,5	267
San Onofre	près de San Clemente, Calif., Etats-Unis	Eau sous pression	373	91,5	245
Los Angeles	Los Angeles, Calif., Etats-Unis	Eau sous pression	462	96,6	209
Connecticut Yankee	Haddam Neck, Conn., Etats-Unis	Eau sous pression	463	84,9	183
Wylfa	Wylfa, Anglesey, Royaume-Uni	Refroidi par un gaz	1 000 (2 x 500)	280	280

#### B. Modifications importantes des données indiquées l'an dernier<sup>+</sup>

Yankee	Rowe, Mass., Etats-Unis	Eau sous pression	158 (141)	39,2	248 (278)
Dresden	Morris, Ill., Etats-Unis	Eau sous pression	205 (184)	51,3	250 (279)

\* Y compris 10 millions pour les intérêts et les impôts pendant les travaux de construction (46 mois).

+ Les chiffres indiqués précédemment figurent entre parenthèses.