

# L'économie du stockage du combustible épuisé

*Méthodologie de l'AIEA pour l'analyse des coûts*

par José L. Rojas de Diego

**T**rois stratégies différentes s'appliquent à la phase terminale du cycle du combustible nucléaire: la formule à passage unique qui comporte le stockage définitif du combustible épuisé; le cycle ouvert dans lequel le combustible est stocké provisoirement avec option d'une future récupération ou d'un stockage définitif; le cycle fermé dans lequel le combustible épuisé est retraité pour récupérer l'uranium et le plutonium à recycler.

Fondamentalement, le stockage s'entend aussi bien du stockage provisoire que du stockage définitif, ce dernier n'ayant pas encore fait ses preuves. Dans les 30 à 50 prochaines années, les pays qui auront opté pour le stockage définitif devront aménager les installations correspondantes. Aussi le stockage provisoire avec possibilité de récupération dans l'avenir est-il une solution qui a toute son importance et doit être considérée lors de l'élaboration des diverses politiques.

Nous allons examiner brièvement les aspects économiques de ces options selon une méthodologie mise au point par l'AIEA pour le calcul du coût de chacune d'elle et son analyse objective\*. En particulier, nous verrons successivement l'impact du volume à stocker, la durée du stockage, les méthodes, le financement et l'ensemble de l'opération depuis le stade de la planification et de la construction jusqu'au déclassement du dépôt.

## Considérations de coût

Pour calculer le coût total du stockage, il faut partir d'une évaluation technique détaillée du combustible à évacuer et de l'option de stockage choisi, compte tenu de tous les aspects techniques de l'opération.

Si l'on veut faire un calcul précis, il faut savoir tout d'abord que certains paramètres fondamentaux sont variables pour toutes les options et influencent fortement la conception du dépôt. Ces paramètres sont les quantités de combustibles à stocker (qui déterminent la capacité à prévoir), le calendrier prévu pour l'opération, la durée du stockage, le moment de la récupération et les caractéristiques du combustible épuisé.

Les coûts afférents à un dépôt peuvent se placer sous différents postes et par éléments. Les postes sont l'étude initiale du site, les investissements, l'exploitation, l'adaptation en cours d'exploitation, le transport et le déclassement.

M. Rojas de Diego est membre de la Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets (AIEA).

\* L'AIEA prépare actuellement un rapport technique sur la méthodologie applicable à l'économie du stockage du combustible épuisé, qui donnera de plus amples renseignements que le bref exposé que nous en faisons ici.

Sous chaque poste viennent se ranger divers éléments de coût qu'il faut bien distinguer les uns des autres si l'on veut obtenir des résultats valables.

Par exemple, les frais d'investissement, qui sont le poste le plus important, comprennent l'acquisition du terrain, la préparation du site, l'étude et la réalisation techniques de son aménagement, la construction, le matériel de traitement, l'instrumentation et la mise en service.

Les coûts d'exploitation couvrent la main-d'œuvre, les matériaux et autres marchandises, les services, l'énergie, la maintenance, le conditionnement des déchets et leur mise en place, les intérêts et les primes d'assurance, et l'assurance de la qualité.

La phase préparatoire comporte un élément de coût important qui concerne l'homologation et la conformité à la réglementation, car il peut se répercuter sur les coûts d'exploitation si l'autorité réglementaire exige des versements annuels par la suite.

## Analyse des coûts

Une fois que l'on a défini les catégories et les éléments de coûts et que l'on a fait les calculs pour pouvoir faire un choix judicieux, il convient d'en faire une analyse économique globale. L'échelonnement dans le temps de toutes les dépenses à venir peut constituer l'équivalent d'un coût représentatif appelé la «valeur actuelle nette» de telle sorte que, si l'on est en présence de plusieurs options, la plus économique sera celle dont la valeur actuelle nette est la plus faible.

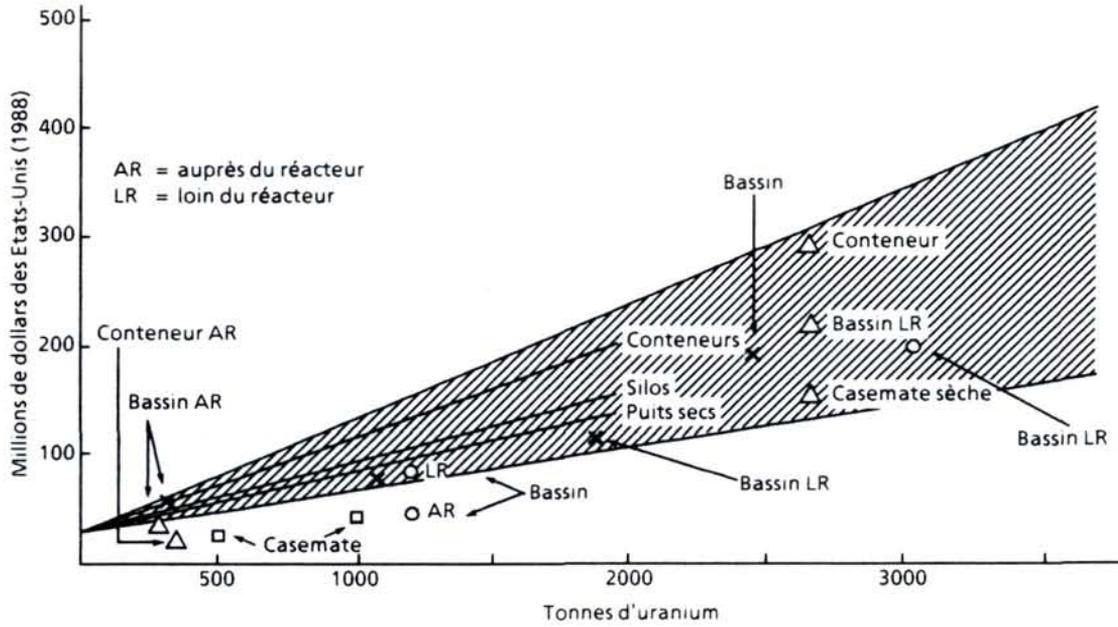
Cette valeur est obtenue en actualisant tous les coûts à une même date et en appliquant le taux d'actualisation pertinent aux coûts annuels successifs (flux de trésorerie annuels).

## Corrélation des différentes catégories de coûts

Lorsqu'on étudie l'économie du stockage du combustible épuisé, il est très difficile de tirer des conclusions ou d'établir des corrélations à partir des formules étudiées (l'AIEA a examiné plus de 300 cas), et certains aspects restent flous. Dans l'analyse dont il est brièvement rendu compte ci-après, les principales catégories de coûts sont rapportées à la variable la plus importante du dépôt de combustible irradié: sa capacité.

**Frais d'investissement.** Les montants des frais d'investissement correspondant aux diverses possibilités ont tous été ramenés à leur valeur de 1988, selon le même taux d'actualisation chaque fois que cela a été possible, et ont été rapportés à la capacité des dépôts. Les montants sont exprimés en millions de dollars des Etats-Unis et la capacité en tonnes métriques d'uranium.

Frais d'investissement pour le stockage de combustible épuisé en fonction de la capacité du dépôt



Malgré toutes les incertitudes et différences que présentent les cas étudiés, les montants actualisés se situent tous dans une fourchette assez étroite (voir le graphique).

Cette fourchette est comprise entre deux droites. La limite supérieure correspond aux conteneurs métalliques et la limite inférieure aux bassins de stockage auprès du réacteur et aux puits secs. Bien que ces deux limites n'aient pas de signification économique très précise, on peut les considérer comme indiquant un maximum et un minimum de frais d'investissement pour une capacité de stockage donnée.

**Coûts d'exploitation.** Ils apparaissent en général après la construction et la mise en service de l'installation. Les dépenses encourues avant le dépôt du combustible concernent essentiellement le transfert de ce combustible entre la centrale nucléaire et l'installation de stockage. Les dépenses en cours de stockage correspondent aux éléments de coûts rappelés ci-dessus. A la fin de la période utile de l'installation considérée, de nouvelles dépenses sont à prévoir pour le transfert du combustible vers sa destination ultime (retraitement ou stockage définitif).

Ce dernier transfert terminé, le dépôt doit être déclassé et, dans certains cas, le coût de cette opération est inclus dans les coûts d'exploitation.

La capacité du dépôt influe beaucoup sur les coûts d'exploitation. De même, l'option choisie est un facteur décisif.

Dans tous les cas étudiés, ces coûts d'exploitation ont été rapportés à la capacité du dépôt. Leur montant total est la somme des coûts d'exploitation annuels pendant toute la durée utile du dépôt, actualisés sur l'année de

base 1988. On constate alors que le chiffre le plus élevé correspond aux puits secs et le moins élevé aux modules de stockage en conteneurs (voir le graphique, page 36, en haut.)

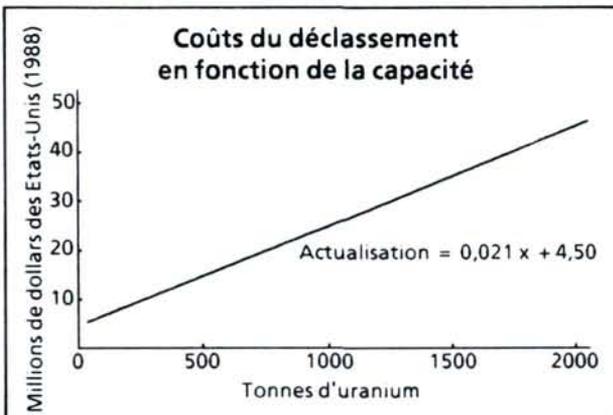
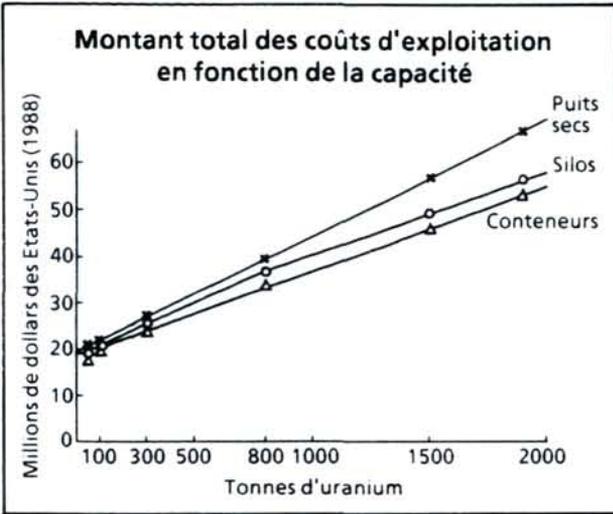
**Coûts du déclassement.** Ils interviennent généralement à la fin de la durée utile de l'installation et peuvent varier en fonction de la capacité de celle-ci et du mode de déclassement: démantèlement immédiat, mise en cocon, ou mise en sarcophage.

Ces coûts de déclassement, même lorsqu'ils sont assez élevés, ce qui peut être le cas, contribuent très peu au montant total des coûts actualisés — parce qu'ils interviennent longtemps après la mise en service de l'installation — si le taux d'intérêt réel est utilisé pour les calculs. Il est cependant préférable de les comparer sans les actualiser. Ils sont fonction de la capacité de l'installation selon un rapport linéaire (voir le graphique, en bas à gauche).

**Coûts uniformisés**

Jusqu'à présent, nous avons parlé de coûts et de valeurs actuelles nettes de ces coûts. Dans tous les cas où ces coûts doivent être couverts par un revenu, ce qui est le cas en ce qui concerne les installations de stockage du combustible épuisé, la valeur actuelle nette du revenu pendant la période de recouvrement doit être égale à la valeur actuelle nette des coûts.

Les revenus peuvent provenir de nombreuses sources: paiements anticipés, charges annuelles ou paiements à la livraison. Pour chaque modalité de paiement, une valeur actuelle nette de la rentrée doit être calculée



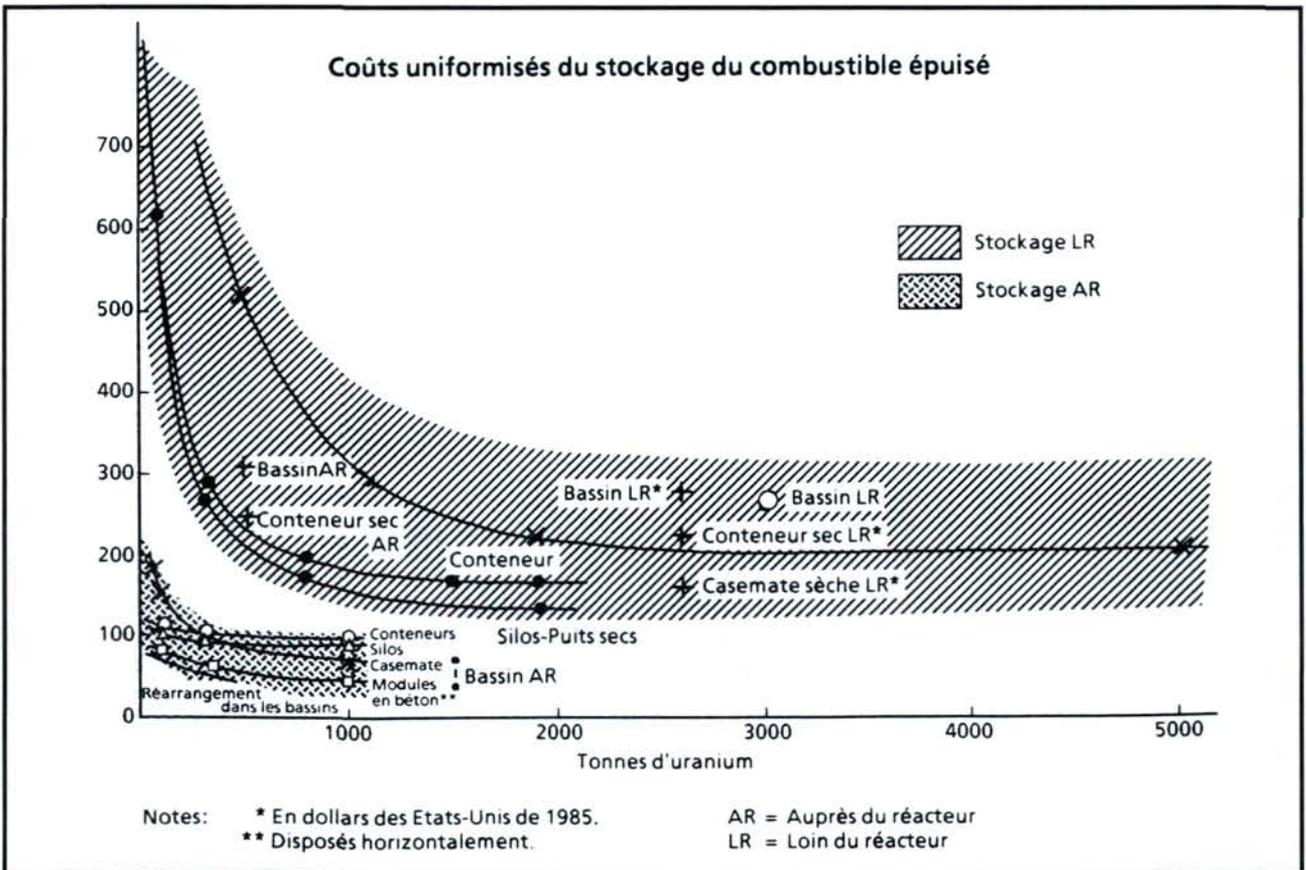
et alignée sur la valeur actuelle nette des coûts. On peut alors calculer le coût unitaire uniformisé.

Vu les incertitudes générales que comportent les prévisions des diverses catégories de coûts, si l'on veut obtenir une corrélation à peu près valable des coûts unitaires uniformisés, il importe de tenir compte de ce qui suit: 1) le coût unitaire doit être exprimé en unités monétaires de même valeur, en l'occurrence la valeur de 1988; 2) pour une capacité donnée du dépôt, les rythmes de livraison, en tonnes d'uranium par an, doivent être très voisins; 3) le taux d'actualisation utilisé pour le calcul du coût unitaire uniformisé doit aussi être le même dans tous les cas. Pour calculer ces coûts unitaires, il faut diviser le montant total des coûts d'exploitation par la capacité du dépôt.

Dans l'analyse présentée ici, les coûts unitaires uniformisés correspondant aux différentes options, calculés à partir des données de nombreuses études de référence, ont été rapportés à la capacité de stockage. On a considéré le stockage dans l'eau et le stockage à sec, ainsi que certaines autres variables telles que le taux d'actualisation, le rythme des livraisons et la durée utile de l'installation (voir le graphique, page 36, en haut).

**Financement**

Il existe plusieurs possibilités de financement des dépôts de combustible épuisé. La formule choisie doit tenir compte de tous les versements à effectuer pendant la construction, en cours d'exploitation et au moment du déclassement de l'installation, et aussi de la façon dont l'exploitant du dépôt obtiendra l'argent.



Notes: \* En dollars des Etats-Unis de 1985.  
\*\* Disposés horizontalement.

AR = Auprès du réacteur  
LR = Loin du réacteur

Les diverses formules tiennent également compte de la forme de propriété de l'installation (par exemple, propriété du seul exploitant de la centrale ou d'une organisation de service indépendante). Dans le premier cas, l'accroissement de la capacité de stockage peut être financé plus ou moins de la même façon que la construction et l'exploitation de la centrale, les dépenses étant imputées sur le prix de l'électricité au consommateur. La gestion de cette comptabilité de recouvrement varie d'un pays à l'autre.

La situation est un peu différente lorsque le propriétaire exploitant est une organisation indépendante. Celle-ci peut demander des versements dans le cadre d'un engagement contractuel, sous forme de redevances ou de paiements anticipés couvrant des dépenses contrôlées par l'Etat. Celui-ci peut même exiger légalement la constitution d'un fonds spécial couvrant les coûts du stockage et des opérations terminales.

### Conclusions

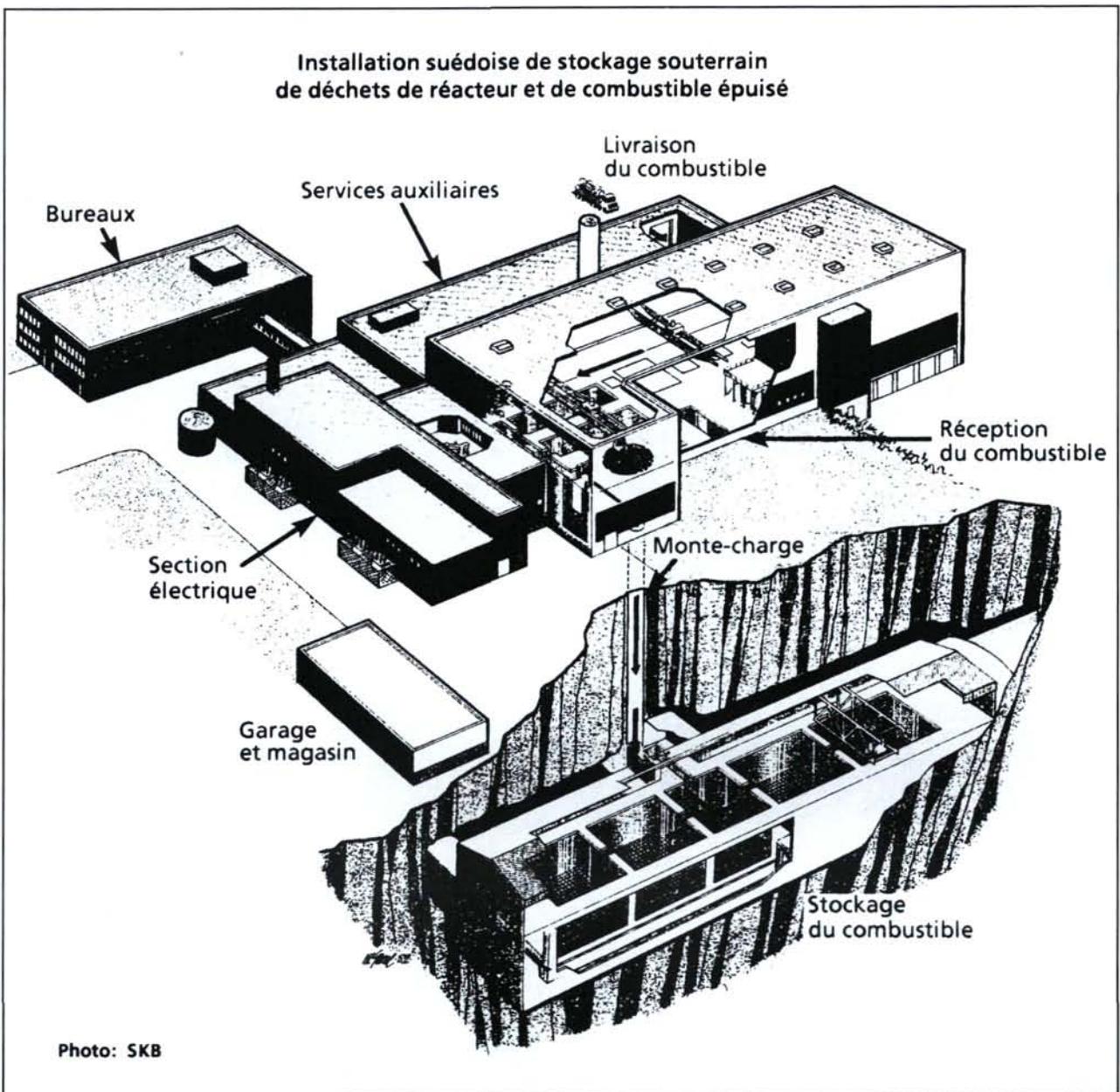
Les concepts que nous venons d'examiner mènent à deux séries de conclusions qui devraient toutes deux avoir leur utilité au niveau de la prise de décisions.

Conclusions générales:

- Le choix du stockage auprès du réacteur ou loin du réacteur doit répondre à des considérations purement stratégiques, compte tenu du programme nucléo-énergétique du pays.

- Pour les capacités de stockage inférieures à 300 tonnes d'uranium, l'option loin du réacteur n'est pas à recommander car les coûts sont alors très élevés, dépassant 300 dollars par kilogramme d'uranium (dans les pays dont le programme nucléaire est modeste).

- Pour les capacités de stockage supérieures à 1000 tonnes d'uranium, c'est l'option auprès du réacteur qui peut ne pas convenir (dans les pays qui ont un programme nucléo-énergétique important).



- Le stockage auprès du réacteur est moins onéreux que le stockage loin du réacteur. Toutefois, il faut nécessairement tenir compte aussi d'autres impératifs du stockage.

Conclusions particulières :

- La concentration du combustible dans les bassins existants (réarrangement du combustible sur les râteliers et doublement de ceux-ci) est la solution la moins chère

auprès du réacteur, mais la capacité reste limitée (moins de 300 tonnes d'uranium). Il ne faut pas oublier que ces bassins sont prévus pour assurer le service du réacteur et non pour entreposer d'importantes quantités de combustible épuisé pendant de longues périodes.

- Pour l'option loin du réacteur, le stockage dans l'eau revient plus cher que le stockage à sec.

- Le stockage à sec se prête à un développement par module, ce qui permet de réduire les coûts.

Réception d'un château de transport de combustible épuisé dans une installation de stockage de Suède. (Photo CLAB).

