

# Production d'électricité et gestion des déchets: diverses options

*Un étude de l'AIEA compare les coûts estimatifs de la gestion des déchets de la production d'électricité à base de combustibles nucléaires et fossiles*

par  
V. Tsyplenkov

**B**ien des années ont passé depuis l'avènement de l'énergie nucléaire que l'on saluait comme la promesse de l'électricité «trop bon marché pour mériter un compteur». De fait, le véritable moteur des programmes de développement de l'énergie nucléaire est le souci de s'assurer une source d'électricité à un prix abordable, tant à court terme qu'à long terme. Le prix de revient de cette électricité est donc une question extrêmement importante, de même que la méthode à choisir pour le calculer. Depuis des années, les coûts relatifs des différents moyens de production d'électricité sont évalués, réévalués et comparés par nombre d'organisations, dont l'AIEA, afin de les placer dans la bonne perspective.

Dès le début des réacteurs nucléaires à fission, la gestion des déchets radioactifs a souvent été considérée comme un des problèmes majeurs que pose l'énergie d'origine nucléaire. On s'est également inquiété des dépenses à encourir, notamment pour l'évacuation des déchets de haute activité ou du combustible épuisé non retraité. Le coût de l'opération a bien souvent été invoqué, pas toujours objectivement, par les détracteurs de l'énergie d'origine nucléaire. Plus récemment, les organismes écologiques ont constaté pour la première fois que tous les moyens de production d'énergie engendraient des déchets et avaient des effets sur l'environnement parfois inacceptables si on ne les surveille pas convenablement. L'entrée en force de sujets tels que l'effet de serre et les pluies acides dans les grands débats politiques de ces dernières années a fait que l'on s'est mis à étudier plus en détail la question de la gestion des déchets des combustibles fossiles. Il existait jusqu'ici une vague réglementation dans ce domaine, notamment dans certaines régions du monde. Nous en sommes maintenant au point où la gestion des déchets de l'exploitation de l'énergie nucléaire se trouve extrêmement réglementée et où les mesures de surveillance des déchets des centrales à combustible fossile deviennent plus strictes.

Comme il est à peu près certain qu'une part de la production d'électricité continuera d'utiliser ces deux sources, le moment est venu de passer en revue les pratiques de gestion des déchets ainsi que leur coût.

Le présent article se fonde sur une étude par l'AIEA des coûts estimatifs de la gestion des déchets. Plusieurs études de coûts des différents stades de la gestion des déchets ont été récemment achevées. Il a semblé utile d'en comparer objectivement les résultats avec les coûts de la gestion des déchets de la production d'électricité à partir d'autres sources d'énergie. Cette comparaison peut alors aider à bien situer les aspects économiques et écologiques des différents moyens de production de l'électricité.

La comparaison porte sur le coût de la gestion des déchets de la production d'électricité dans des cas représentatifs de recours aux combustibles nucléaires et aux combustibles fossiles. Les coûts associés à la troisième source importante d'électricité, l'énergie hydraulique, sont manifestement faibles et nous n'allons pas nous en occuper. Les combustibles fossiles aussi bien que les combustibles nucléaires peuvent être utilisés dans différents types de centrales. Il serait difficile de tenir compte de toutes les variantes possibles, de sorte que l'on a choisi pour l'évaluation des centrales représentatives d'une puissance de 1000 mégawatts électriques (MWe) exploitées pendant 30 ans à 70% de leur capacité.

## Cycles des combustibles nucléaires et fossiles

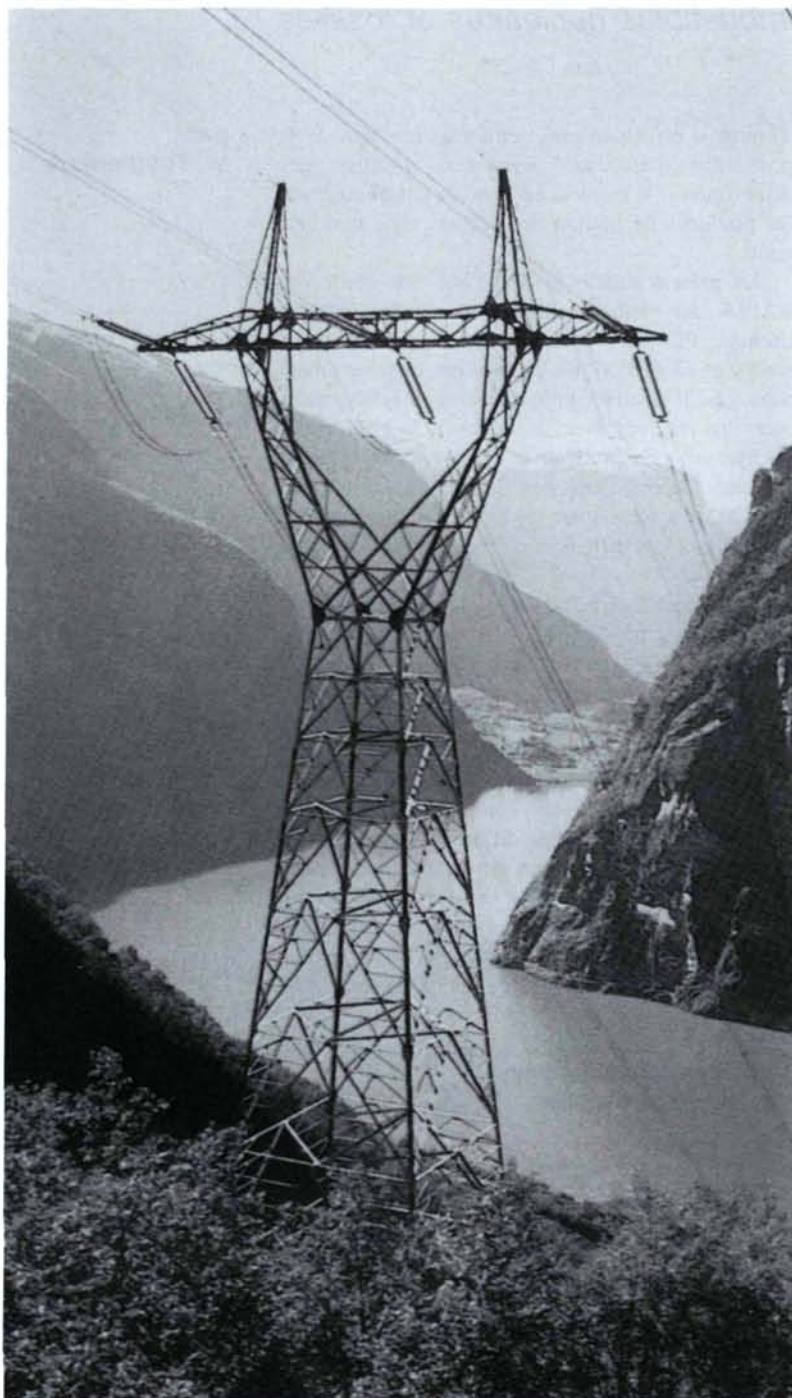
*Cycles du combustible fossile.* Dans le monde industriel, le charbon est le principal combustible fossile utilisé pour produire de l'électricité, mais la part du gaz augmente rapidement. Dans certains pays, le pétrole est également important à cette fin, mais de nombreux réseaux s'efforcent de ne pas y avoir recours à cause des fortes variations éventuelles de son prix. Vu sous l'angle des déchets produits, le pétrole se situe quelque part entre le

M. Tsyplenkov est membre de la Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets, à l'AIEA.

charbon et le gaz. C'est pourquoi ces deux derniers ont été choisis comme combustibles représentatifs aux fins de la comparaison.

Les centrales thermiques modernes brûlent du charbon pulvérisé. Lors de la combustion, le charbon réagit avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Sont également produits des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), de l'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ), des cendres volantes et plusieurs autres produits secondaires polluants dont certains radio-nucléides que contient le charbon.

Ligne de transport de force en Norvège. (Photo: NorEnergi)



Pour assurer la charge de base, deux types de centrales au gaz sont utilisés. Le premier type est à cycle de vapeur classique, mais les unités plus récentes comportent des turbines à gaz en amont du cycle de vapeur, ce qui améliore le rendement du système; ce sont les centrales à cycle combiné. La combustion du gaz naturel est beaucoup plus propre que celle du charbon et ne produit guère que  $\text{CO}_2$ , de l'eau et  $\text{NO}_x$ .

Lorsque l'on implante une nouvelle centrale à combustible fossile, il semble que l'on donne la préférence au type classique au charbon et au type à gaz à cycle combiné. Ces deux types se situent aux deux extrêmes du spectre des problèmes associés à la gestion des déchets provenant des combustibles fossiles.

**Cycle du combustible nucléaire.** Dans une centrale nucléaire, la chaleur dégagée par la fission des noyaux des atomes d'éléments lourds est utilisée pour produire la vapeur qui entraîne les turbo-alternateurs.

De nos jours, c'est l'uranium qui est le plus utilisé comme combustible. On le trouve dans la nature et on l'extrait selon des techniques classiques. Il est ensuite traité pour s'adapter à son usage comme combustible dans un réacteur nucléaire. L'uranium naturel contient deux isotopes principaux, l'uranium 238 et l'uranium 235. Seuls les noyaux d'uranium 235 sont spontanément fissiles, mais cet isotope ne représente que 0,7% de l'uranium naturel. Certains réacteurs consomment de l'uranium naturel, mais la plupart fonctionne à l'uranium légèrement enrichi, c'est-à-dire dont on a augmenté la proportion d'uranium 235 de quelques pour cents. Aussi la plupart de l'uranium est-il enrichi avant la fabrication des éléments combustibles destinés aux réacteurs.

Le combustible épuisé extrait d'un réacteur, généralement chaque année, contient de l'uranium non utilisé, des produits de fission, du plutonium et autres éléments lourds. Il est possible de dissoudre le combustible épuisé et de le traiter chimiquement pour en extraire l'uranium non utilisé ainsi que le plutonium, pour fabriquer à nouveau du combustible et le recycler. Il arrive aussi que les éléments combustibles épuisés soient évacués comme déchets, sans retraitement.

Il y a deux types principaux de cycle du combustible: le cycle à passage unique dans les réacteurs à neutrons thermiques et le cycle avec retraitement (voir le diagramme). Dans le cycle à passage unique, le combustible épuisé n'est pas retraité, mais stocké jusqu'à son évacuation définitive comme déchet. Dans l'autre cycle, le combustible épuisé est retraité et l'uranium ainsi que le plutonium sont séparés des produits de fission. L'uranium, ou le plutonium, ou les deux peuvent alors être recyclés dans de nouveaux éléments combustibles.

Plusieurs types de réacteurs à neutrons thermiques sont utilisés actuellement pour produire de l'électricité. La filière la plus courante est celle à eau

sous pression (PWR). C'est pourquoi nous l'avons choisie comme modèle, avec et sans retraitement, aux fins de la comparaison. D'autres types de réacteurs produisent des déchets de composition un peu différente, mais la filière PWR est suffisamment représentative pour être prise comme référence.

### Formation des déchets

Des déchets sont produits à chaque stade des cycles du combustible: extraction, préparation et fabrication du combustible, production d'énergie électrique et déclassement.

Les déchets d'une centrale nucléaire sont assez différents, tant en nature qu'en quantités, de ceux qui produisent les centrales à combustible fossile. Ils représentent une quantité relativement réduite de produits radioactifs alors que les centrales à combustible fossile, au contraire, consomment de grandes quantités de ce combustible qui rejette en brûlant un volume considérable de produits de combustion. Les déchets de ces deux types de centrales peuvent être gazeux, liquides et solides.

On ne sait pas assez que la combustion du charbon rejette dans l'environnement pratiquement autant de réactivité (quant à ses effets biologiques potentiels) que le combustible nucléaire utilisé en mode d'exploitation normale pour une production comparable d'électricité. L'extraction et l'emploi du gaz naturel libèrent aussi de la radioactivité dans l'atmosphère sous forme de radon.

**Déchets des combustibles fossiles.** La plupart des déchets des combustibles fossiles apparaissent au stade de la production d'électricité, bien que, en ce qui concerne le charbon, des déchets solides en quantités importantes sont produits au cours de l'extraction et de la préparation du combustible.

En brûlant les combustibles fossiles engendrent du dioxyde de carbone. Par rapport au charbon, le gaz naturel produit juste un peu plus de la moitié de  $\text{CO}_2$  par unité d'énergie intrinsèque. En revanche, la combustion du charbon dégage des anhydrides de soufre ( $\text{SO}_2$  et  $\text{SO}_3$ ) qui sont pratiquement absents des déchets de combustion du gaz. Notons que la combustion du charbon produit aussi des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ).

Cette dernière produit aussi des aérosols solides (cendres). Environ 10% de celles-ci demeurent dans la chaudière et doivent en être extraites, tandis que le reste est constitué pour la plupart de particules extrêmement fines qui sont emportées avec les fumées; ce sont les cendres volantes.

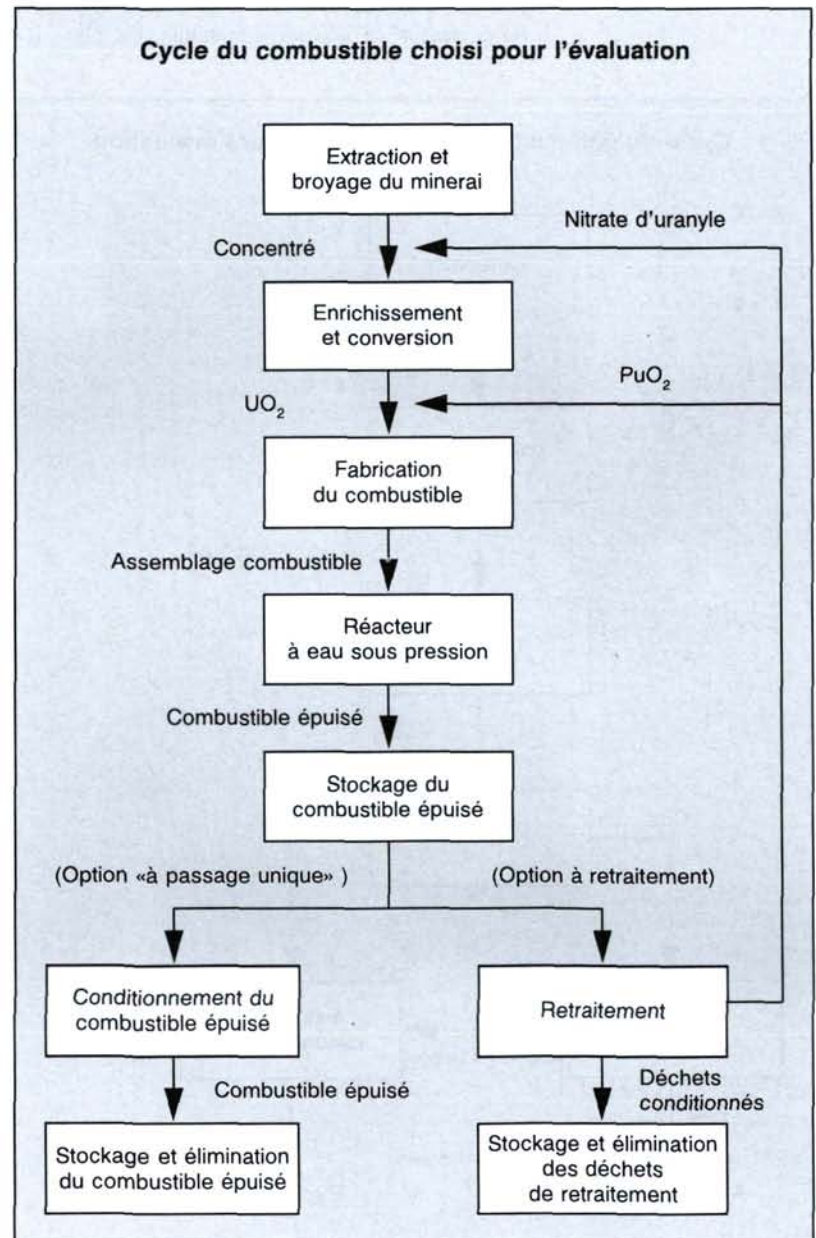
Le déclassement d'une centrale à combustible fossile a lieu peu après la fin de la période utile de la centrale; les déchets qui en résultent proviennent pour la plupart de la démolition et ne présentent généralement pas de risques particuliers.

**Déchets nucléaires.** Comme dans les cycles des combustibles fossiles, des déchets apparaissent à chaque stade du cycle du combustible nucléaire.

### Production de déchets radioactifs conditionnés

| Opération  | Catégorie des déchets | Unité                 | Quantités |           |         |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|---------|
|  |                       |                       | Minimum   | Référence | Maximum |
| Extraction et broyage                                  | FA                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 20 000    | 40 000    | 60 000  |
| Conversion et enrichissement                           | FA                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 20        | 20        | 20      |
| Fabrication  | FA                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 20        | 30        | 30      |
| Exploitation de la centrale                            | FA                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 100       | 130       | 200     |
|  | AI                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 50        | 80        | 100     |
| Retraitement   | C1                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 3,5       | 4         | 4       |
|  | C2                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 20        | 22        | 25      |
|  | AI                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 50        | 75        | 100     |
|  | FA                    | $\text{m}^3/\text{a}$ | 470       | 580       | 690     |
| Combustible épuisé (non conditionné et passage unique) |                       | t/a                   | 25        | 30        | 35      |

FA: Faible activité; AI: Activité intermédiaire.



**Déchets du charbon après traitement**

|                              | Débit de déchets<br>(g/kWh) |
|------------------------------|-----------------------------|
| NO <sub>x</sub>              | 0,25                        |
| SO <sub>2</sub>              | 0,32                        |
| Cendres volantes dans l'air  | 0,07                        |
| Cendres volantes recueillies | 3,02                        |
| Gypse                        | 2,10                        |

Au niveau de l'extraction, les déchets sont constitués principalement par les eaux de la mine et les terrils de rocailles stériles. Les résidus de broyage du minerai d'uranium sont généralement analogues aux déchets de la mine, mais ils contiennent pratiquement tous les descendants radioactifs naturels provenant de la désintégration de l'uranium.

Les opérations de conversion et d'enrichissement produisent des déchets solides et gazeux ayant une faible teneur en aérosol d'uranium. De plus, les

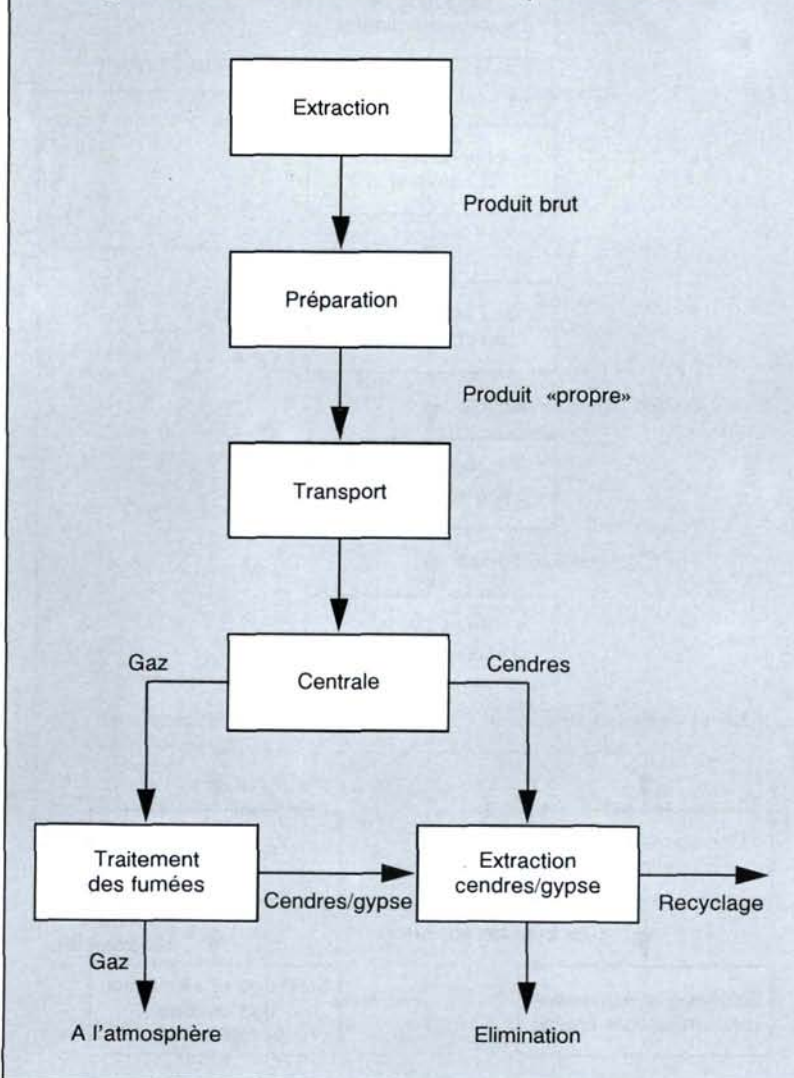
installations d'enrichissement produisent de grandes quantités d'uranium appauvri considéré comme un déchet aux fins de notre étude.

Selon que le combustible est retraité ou non, les déchets de sa fabrication sont divers effluents solides et liquides contaminés par l'uranium et/ou le plutonium.

Divers déchets liquides d'une centrale nucléaire contiennent de la radioactivité. De plus, le fonctionnement d'un réacteur produit des effluents gazeux en petites quantités ainsi que toute une série de déchets solides sous forme de composants contaminés ou activés.

La radioactivité contenue dans les déchets de retraitement provient en grande partie des produits de fission et d'activation et consiste aussi en actinides mineurs qui s'introduisent dans l'installation avec le combustible épuisé. Ils se présentent sous la forme de divers déchets solides et liquides.

La radioactivité de certains des composants des installations du cycle du combustible nucléaire exige l'emploi de techniques onéreuses de télémanipulation au moment du déclassement de l'installation. Le coût et la fréquence de ces opérations peuvent être réduits si l'on retarde le travail pour laisser décroître la radioactivité. En ce qui concerne les centrales nucléaires, le déclassement différé est une tactique communément appliquée dans l'ensemble du monde et c'est celle que l'on a choisie comme référence aux fins de l'évaluation. La plupart des déchets radioactifs du déclassement des installations du cycle du combustible nucléaire sont des déchets solides de faible activité. Les déchets d'activité intermédiaire sous formes de petits composants et les déchets transuraniens de forte activité proviennent du retraitement du combustible épuisé et de la fabrication du combustible à mélange d'oxydes.

**Cycle du combustible fossile choisi pour l'évaluation****Gestion des déchets**

**Déchets des combustibles fossiles.** Le gros problème de gestion du cycle du charbon est celui des rebuts de la mine. Leur évacuation présente d'assez grandes difficultés. Une des solutions possibles consiste à les utiliser pour remblayer la mine d'où ils proviennent.

Quant aux effluents gazeux d'une centrale au charbon, leur traitement implique trois opérations: l'extraction de NO<sub>x</sub>, la réduction de SO<sub>2</sub> et le filtrage des particules. S'il s'agit du gaz naturel, le seul problème que présente la gestion des gaz de combustion que l'on puisse actuellement résoudre est celui des oxydes d'azote.

On peut réduire NO<sub>x</sub> dans une modeste mesure en corrigeant le processus de combustion. Le procédé le plus efficace demeure néanmoins la réduction catalytique sélective à base d'ammoniac et d'un catalyseur qui réduit NO<sub>x</sub> en azote et en eau. Le rendement est d'environ 80%. Le catalyseur est le seul déchet dont il faut se débarrasser après l'opéra-

tion. En revanche, le composant principal peut être renvoyé aux fournisseurs pour être réutilisé.

La désulfuration des fumées se fait par absorption de l'anhydride sulfureux dans des matières alcalines. C'est une opération coûteuse et d'envergure, car il faut traiter de gros volumes de gaz à très faible teneur en SO<sub>2</sub>. De grandes quantités de matières (gypse) sont produites par la réaction de l'anhydride sulfureux avec le réactif. On peut en traiter une partie pour fabriquer des panneaux de revêtement de bonne qualité, le reste servant de remblayage. Le rendement du procédé est généralement de 95%.

L'extraction des aérosols solides se fait le plus souvent à l'aide de précipitateurs électrostatiques dont le rendement est normalement de 95%. Une partie des cendres volantes et de fonds peut être utilisée dans les cimenteries et les travaux publics de voirie, et le reste est évacué comme remblayage.

Actuellement, on ne connaît pas de techniques rentables pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et l'on n'a fait aucune tentative pour extraire les radionucléides des effluents gazeux. Après le traitement des déchets, les divers résidus sont rejetés dans l'environnement (voir le tableau).

**Déchets nucléaires.** Diverses techniques sont actuellement utilisées pour la gestion des déchets radioactifs. Elles vont du rejet direct dans l'environnement (dispersion) à des procédés sophistiqués d'immobilisation des radionucléides en vue de leur stockage définitif dans des installations soigneusement étudiées et aménagées.

**Résidus d'extraction et de broyage.** Tous les déchets résultant du broyage des minerais d'uranium sont traités avant leur évacuation, leur isolement se faisant généralement sur place sous couverture afin de réduire la dispersion de la radioactivité.

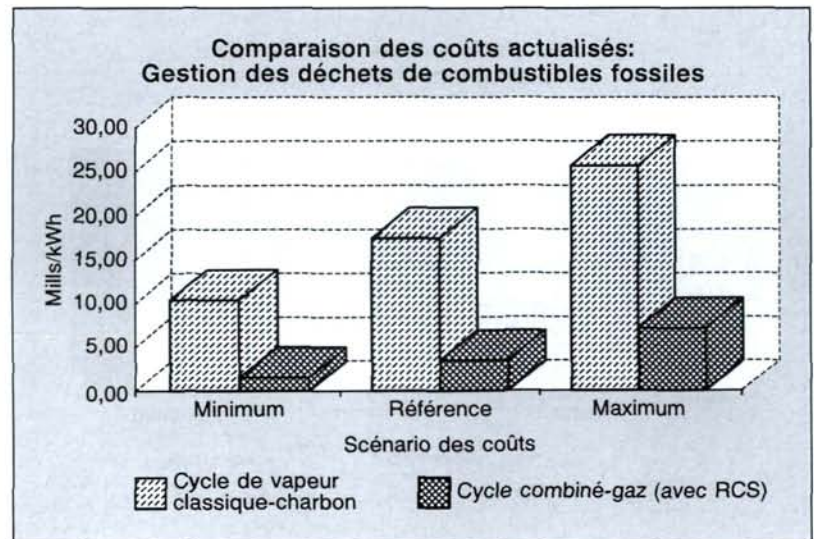
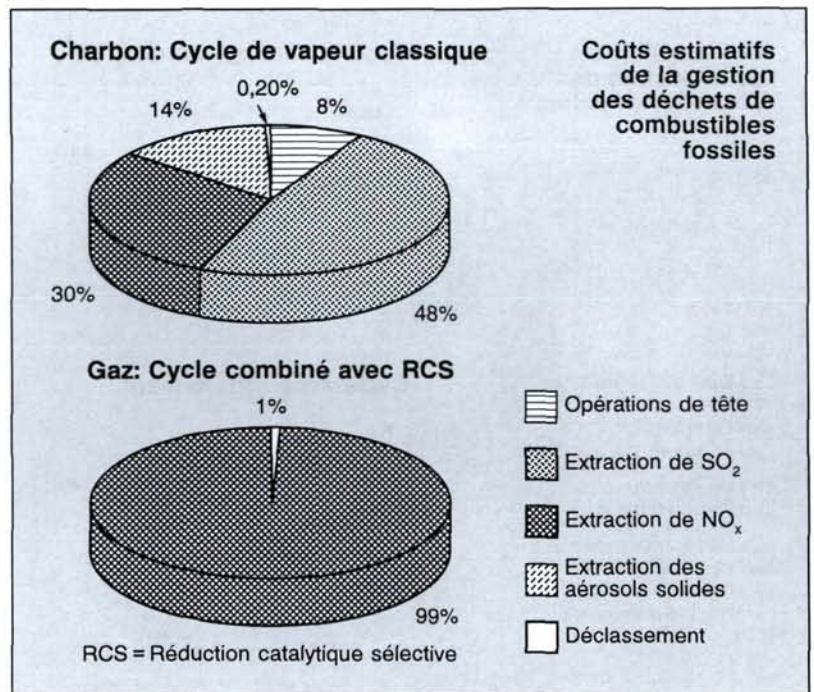
**Déchets liquides.** Le traitement de déchets liquides est un volet important du programme de gestion des déchets de la plupart des installations nucléaires. L'option choisie dépend de la nature et de la quantité des déchets à traiter. Le petit volume de déchets liquides porteur de radionucléides de courte période peut être rejeté dans l'environnement. Les déchets à forte teneur en sels peuvent être évaporés, les matières radioactives étant retenues dans le concentrat, ou encore être précipités chimiquement afin d'obtenir une boue se prêtant à un traitement ultérieur. Certains effluents liquides peuvent être absorbés sur des matrices solides qui elles aussi seront traitées ultérieurement. On a aussi parfois recours à l'incinération pour réduire le volume d'huiles et de solvants combustibles radioactifs. Les concentrés de déchets de faible et moyenne activité sont enrobés dans du ciment ou du bitume puis enfermés dans des conteneurs appropriés.

Les effluents liquides de haute activité d'une installation de retraitement contiennent presque tous les produits de fission engendrés dans le combustible. Actuellement, ces déchets sont incorporés à du verre que l'on verse à l'état liquide dans des conteneurs en acier inoxydable pour les évacuer

ensuite dans un dépôt en profondeur (ces déchets de haute activité sont calorifiques et classés dans la catégorie C1 aux fins de notre évaluation).

**Déchets gazeux.** Les déchets gazeux radioactifs sont généralement rejetés dans l'atmosphère selon les spécifications de la réglementation pertinente. S'il le faut, ils sont traités avant leur évacuation afin que les limites de rejet réglementaires ne soient pas excédées.

**Déchets solides.** Outre les déchets de retraitement vitrifiés dont on vient de parler, les déchets solides comprennent les coques de gainage et autres structures des assemblages combustibles (catégorie C2), les filtres, le matériel usagé, les résines et les boues, les résidus solides d'épuration et les ordures en général. Tous ces déchets, exceptés ceux de très



faible radioactivité, devront être traités et conditionnés.

Ces opérations impliquent la réduction en volume, la conversion en forme plus stable et l'emballage. Les divers stades de la gestion des déchets de cycle du combustible des réacteurs à eau sous pression retenus pour notre étude génèrent des quantités variables de déchets solides conditionnés (voir le tableau, page 29).

Leur dépôt dans un espace spécialement aménagé, soit en couche géologique profonde ou près de la surface, contribue à maintenir le transport éventuel des radionucléides dans l'environnement à des niveaux acceptables. Avec le cycle à passage unique, le combustible épuisé est stocké pendant de longues périodes qui peuvent être de plusieurs décennies,

pour que la radioactivité et la chaleur de désintégration puissent se dissiper avant le stockage définitif.

### Méthodologie d'évaluation des coûts

La valeur de chaque composante des coûts de la gestion des déchets a été extraite des évaluations existantes. Pour que la comparaison des coûts soit valable, les données brutes ont été ajustées, le cas échéant, et appliquées aux cas choisis comme référence. Enfin toutes les estimations ont été ramenées à une base commune exprimée en coût unitaire actualisé de l'énergie chiffré en dollars des Etats-Unis (valeur postérieure au 1er juillet 1991) et par kilowattheure. Cette base unitaire est définie de telle façon que la valeur actuelle des divers coûts s'obtient en multipliant le coût unitaire actualisé par le nombre d'unités (kilowattheures) pour chaque période. Afin de situer les coûts de gestion des déchets sur un même plan aux fins de la comparaison, il faut ramener tous les coûts successifs à une valeur commune en leur appliquant l'escompte. C'est la procédure généralement adoptée pour les évaluations économiques car elle facilite la comparaison d'options d'investissements impliquant différentes mises de fonds étalées dans le temps.

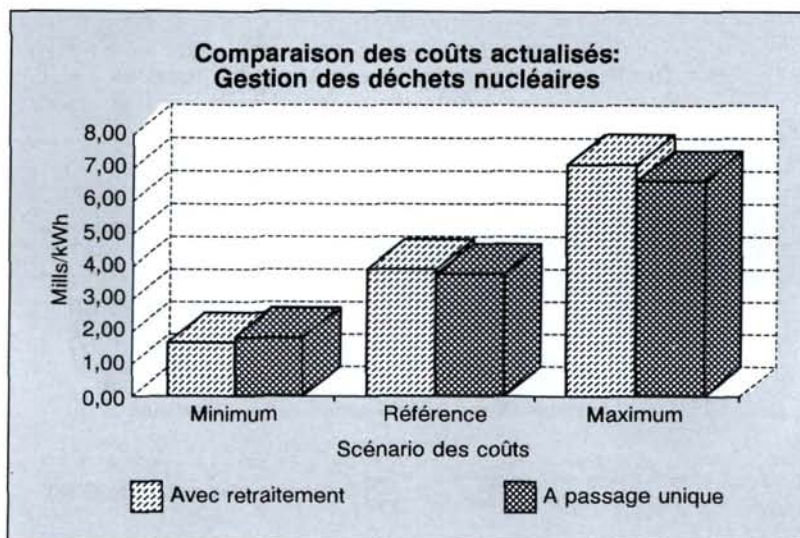
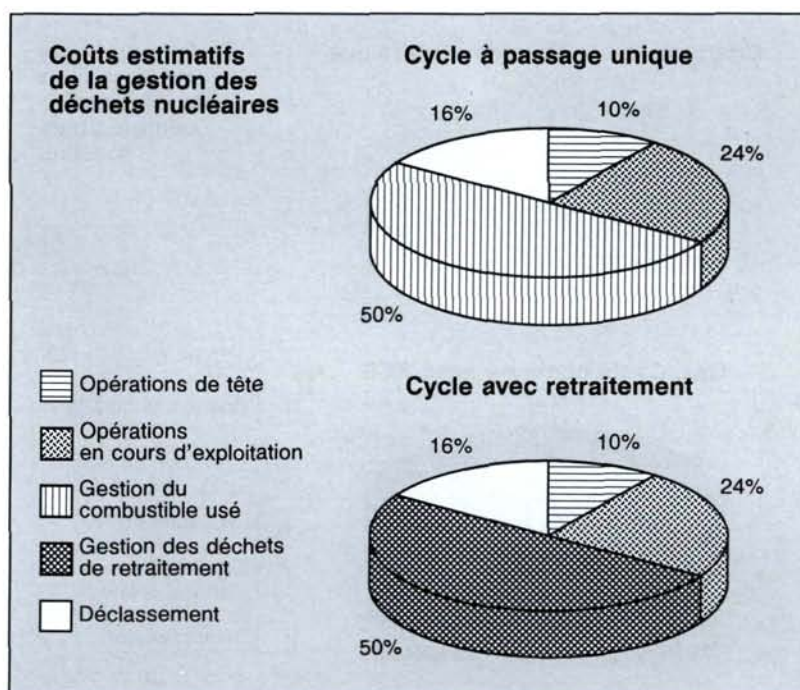
Le principal inconvénient du recours à la technique de l'escompte pour évaluer le coût de l'énergie d'origine nucléaire est que cette méthode est appliquée à d'importants courants de dépenses longtemps après que la centrale nucléaire a cessé de produire de l'électricité. Cette critique a à voir avec l'équité entre générations, c'est-à-dire la mesure dans laquelle les consommateurs d'électricité assument la totalité des coûts du service qu'ils obtiennent et la mesure dans laquelle les générations futures assumeront des coûts sans en tirer aucun profit.

Pour résoudre ce problème, les cas de référence sont fondés sur un taux réel d'escompte de 5% jusqu'à la fin de la durée utile de la centrale et un taux nul par la suite. Ce taux de 5% est en faveur dans de nombreux pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). De plus, on a testé la sensibilité des résultats à divers facteurs: le taux d'escompte, le facteur de charge et la durée utile de la centrale.

### Indications sur les coûts

**Cycle des combustibles fossiles.** Pour les deux cycles considérés, les coûts actualisés de la gestion des déchets se situent à peu près entre 0,5 et deux fois ceux des cas de référence (voir les graphiques).

Si l'on compare les différentes composantes de ces coûts, on constate que l'extraction de SO<sub>2</sub> représente à elle seule environ 48% des coûts de gestion des déchets d'une centrale au charbon à cycle de vapeur classique. Pour une centrale à cycle combiné, 99% de ces coûts reviennent au déclassement.



Les coûts de gestion des déchets des combustibles fossiles se situent entre pratiquement zéro et environ 25 mills par kWh (25 millièmes de dollar des Etats-Unis). Ils devraient se maintenir dans cette fourchette compte tenu des variations normales du facteur de charge, du taux d'escompte ou de la durée utile. Les valeurs inférieures correspondent aux centrales au gaz et les valeurs supérieures aux centrales au charbon. Des coûts de gestion des déchets de cet ordre ne représentent qu'une petite fraction du coût global de la production d'électricité en charge de base à l'aide de combustibles fossiles. Le montant total des coûts actualisés de cette option se situe généralement entre 40 et 60 mills par kWh.

**Cycle du combustible nucléaire.** Les coûts de la gestion des déchets des deux cycles du combustible considérés sont du même ordre (*voir les graphiques*).

Dans les deux cas, les opérations de tête représentent environ 10% du coût total. Environ un tiers de cette fraction est imputable à la gestion de l'uranium appauvri considéré comme déchet. Par ailleurs, la gestion des déchets d'exploitation de la centrale compte pour environ 24%, et 15% sont imputables au déclassement de l'installation. Les 50% restants représentent le coût des opérations de queue du cycle du combustible.

Ces coûts de gestion des déchets nucléaires varient entre 1,6 et 7,1 mills par kWh. Comme dans le cas du cycle des combustibles fossiles, ils ne représentent qu'une fraction faible à modérée du prix de revient de l'électricité produite; à titre de comparaison, notons que celui-ci varie entre 30 et 50 mills par kWh.

**Comparaison.** Les coûts de la gestion des déchets dans les deux cas nucléaires se situent entre ceux des deux options à combustible fossile. Ils sont très proches des coûts pour les centrales à gaz à cycle combiné, qui correspondent à la partie inférieure de la fourchette. L'option au charbon, qui se place à la partie supérieure, implique des coûts de gestion des déchets à peu près quatre fois supérieurs à ceux des options nucléaires.

Tandis que dans le cas de celles-ci le rapport entre les valeurs inférieures et les valeurs supérieures est de un à quatre, dans le cas de l'option fossile il n'est que de deux ou moins. Cette différence peut s'expliquer en partie par le fait que les coûts de l'option fossile sont fondés sur une technologie confirmée, tandis que dans le cas nucléaire une composante importante des coûts correspond à des opérations de gestion des déchets encore à l'épreuve. En effet, s'il est vrai que le traitement des fumées est une technique relativement nouvelle, plusieurs installations sont déjà en service et l'estimation des coûts est plus sûre que dans le cas de certaines techniques de gestion des déchets nucléaires, tels le déclassement et le stockage dans des dépôts profonds. Il s'ensuit que, dans le cadre de notre évaluation, les coûts de la gestion des déchets nucléaires sont moins certains que les coûts correspondant aux déchets d'origine fossile. La différence

entre les fourchettes est aussi due en partie aux conditions locales variables, dont la réglementation.

### Evolution possible dans l'avenir

En ce qui concerne l'option nucléaire, on ne prévoit pas de changements majeurs dans les pratiques ou les prévisions concernant la gestion des déchets. Certaines éventualités pourraient néanmoins, dans l'avenir, influencer sur les coûts de la gestion des déchets. Nous pensons par exemple aux tentatives de prolongation de la combustion nucléaire, à l'amélioration de la gestion des centrales et au recours à des techniques plus perfectionnées et plus efficaces de traitement des déchets, telles que le supercompactage, la biodégradation, l'incinération et le brûlage par torches à plasma, autant de nouveautés qui promettent d'abaisser les coûts de la gestion des déchets nucléaires. De même, l'avenir verra la mise au point des dépôts à grande profondeur et apportera une meilleure connaissance des problèmes de déclassement. Ces deux derniers aspects comportent le risque que les coûts seront peut-être plus élevés qu'on ne le pense, mais ils sous-entendent aussi moins de doutes quant aux coûts de la gestion des déchets nucléaires.

Pour ce qui est de la gestion des déchets d'origine fossile, une des tendances marquantes sera probablement la généralisation de techniques propres de combustion du charbon. L'environnement en sera partiellement soulagé et les coûts de la gestion des déchets baisseront grâce à une technologie qui permettra de mieux intégrer le contrôle des émissions dans le processus de production d'électricité. En ce qui concerne les centrales à combustible fossile, il se peut aussi qu'intervienne une réglementation relative aux émissions de CO<sub>2</sub>, ce qui pourrait impliquer la mise au point de solutions techniques telles que l'évacuation du CO<sub>2</sub> dans des gisements de gaz épuisés, sous les fonds marins, ou le prélèvement d'un impôt sur le carbone, deux initiatives qui pourraient accroître sensiblement les coûts de gestion des déchets d'origine fossile.

Dans les deux cas qui nous occupent, il est également possible que les réglementations en vigueur soient renforcées. Il se peut que les coûts résiduels au titre de l'environnement doivent alors être assumés par les compagnies d'électricité, ce qui, une fois encore, ferait augmenter les coûts.