

La gestion des déchets radioactifs des centrales nucléaires

Généralités sur l'origine et le traitement des diverses sortes de déchets de faible et moyenne activité

Par V. Efremenkov

Dans de nombreux pays, le parc nucléo-électrique assume une part importante de la production énergétique. L'énergie d'origine nucléaire est compétitive sur le plan économique et propre du point de vue de l'environnement si on la compare à la plupart des autres sources d'énergie utilisées pour la production d'électricité. Utilisée conjointement à ces dernières, elle contribue à régulariser cette production. Nul doute qu'à moyen terme, voire à long terme, l'apport croissant de l'énergie d'origine nucléaire demeurera indispensable au maintien des niveaux de vie dans les pays industriels et à l'approvisionnement énergétique des pays en développement.

Les réacteurs nucléaires produisent certes des déchets radioactifs, mais bien moindres en volume que les déchets des centrales thermiques au charbon (*voir le tableau*). Les déchets produits par les centrales nucléaires sont plutôt de faible activité et les radionucléides qu'ils contiennent sont peu toxiques et généralement de courte période. Parmi les installations nucléaires, les centrales sont les plus nombreuses et ce sont elles qui produisent le plus de déchets radioactifs.

La nature et les quantités de ces déchets dépendent du type de réacteur, de ses caractéristiques spécifiques, des conditions d'exploitation et de l'intégrité du combustible. Ces déchets contiennent des radionucléides résultant de l'activation des matériaux de structure, du modérateur et du fluide de refroidissement; des produits de corrosion et des produits de fission provenant du combustible. Les procédés de traitement et de conditionnement de ces déchets sont maintenant extrêmement fiables et efficaces et ne cessent de se perfectionner, car on cherche toujours à améliorer la sûreté et l'économie de tout le système de gestion des déchets.

Déchets des centrales nucléaires

Les déchets de faible et moyenne activité produits par les centrales nucléaires résultent de la contamination de divers matériaux par des radionucléides produits par fission et par activation dans le réacteur ou libérés par

le combustible ou son gainage. Ces radionucléides sont essentiellement recueillis par le circuit de refroidissement du réacteur et on en retrouve, dans une moindre mesure, dans les bassins de stockage du combustible irradié.

Les déchets produits en cours d'exploitation se composent principalement d'articles de matériel extraits du réacteur pendant les opérations de rechargement ou de maintenance (ce sont surtout des solides activés, tels certaines pièces d'acier inoxydable contenant du cobalt 60 et du nickel 63) ou des déchets résultant directement des opérations tels que liquides, filtres et résines échangeuses d'ions devenus radioactifs par contamination due aux produits de fission présents dans le circuit de refroidissement.

Pour réduire les quantités de déchets avant leur emmagasinage provisoire et minimiser le coût de leur élimination, tous les pays appliquent, ou se proposent d'appliquer, des méthodes de réduction du volume des déchets, lorsque cela est faisable. Cette opération est particulièrement intéressante quant il s'agit de déchets de faible activité, généralement volumineux mais peu radioactifs. On peut commencer par appliquer certaines mesures administratives, tels le remplacement des serviettes en papier par des séchoirs à air chaud, la fourniture de vêtements de protection réutilisables, etc., et par une amélioration générale des méthodes d'entretien et de salubrité.

Déchets liquides et déchets solides humides

Les différents types de réacteurs industriels actuellement en exploitation dans le monde produisent des déchets qui diffèrent tant en radioactivité qu'en volume. Les réacteurs refroidis et modérés à l'eau, par exemple, produisent plus de déchets liquides que les réacteurs refroidis par un gaz. De même, les réacteurs à eau bouillante (BWR) produisent sensiblement plus de déchets liquides que les réacteurs à eau sous pression (PWR). En revanche, le système d'épuration utilisé sur les réacteurs à eau lourde (HWR) consiste essentiellement en un recyclage de l'eau lourde par passage unique sur des résines échangeuses d'ions, ce qui ne produit pratiquement pas de concentrés liquides.

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

Les déchets liquides radioactifs proviennent de l'épuration des fluides de refroidissement primaires (PWR, BWR), du nettoyage des bassins de stockage du combustible épuisé, du drainage, des eaux de lavage usées et des fuites. La décontamination à l'occasion des opérations de maintenance sur les conduites et autres matériels produit également des déchets liquides, notamment des liquides chargés (produits de corrosion) et divers liquides organiques du genre acide oxalique ou citrique.

Les centrales nucléaires produisent en outre des déchets solides humides constitués par des résines échangeuses d'ions épuisées, des matières filtrantes et des boues, les résines représentant la fraction la plus importante. Les résines en perles sont communément utilisées dans les colonnes de déminéralisation. Les résines en poudre ne sont que rarement utilisées dans les PWR, mais le sont couramment dans les déminéralisateurs à filtre à couche qui équipent les BWR. Dans de nombreux modèles de ce type de réacteurs, les épurateurs de condensat servant à parfaire l'épuration de l'eau condensée après évaporation des déchets liquides produisent beaucoup de déchets à base de cette forme de résine.

Les filtres à couche donnent un autre genre de déchets solides humides: les boues formées par la matière filtrante, généralement diatomite ou fibres cellulósiques, et les substances extraites du courant de déchets liquides. Certains systèmes n'utilisent pas de filtres à couche de sorte que les boues produites ne sont constituées que par les matières en suspension dans le liquide filtré.

Traitement et conditionnement des déchets liquides/solides

Les déchets liquides des centrales nucléaires se composent généralement de substances solubles et insolubles radioactives (produits de fission et de corrosion) et de substances non radioactives. Leur traitement a pour objet de les décontaminer suffisamment pour que le volume global du déchet aqueux puisse être rejeté dans

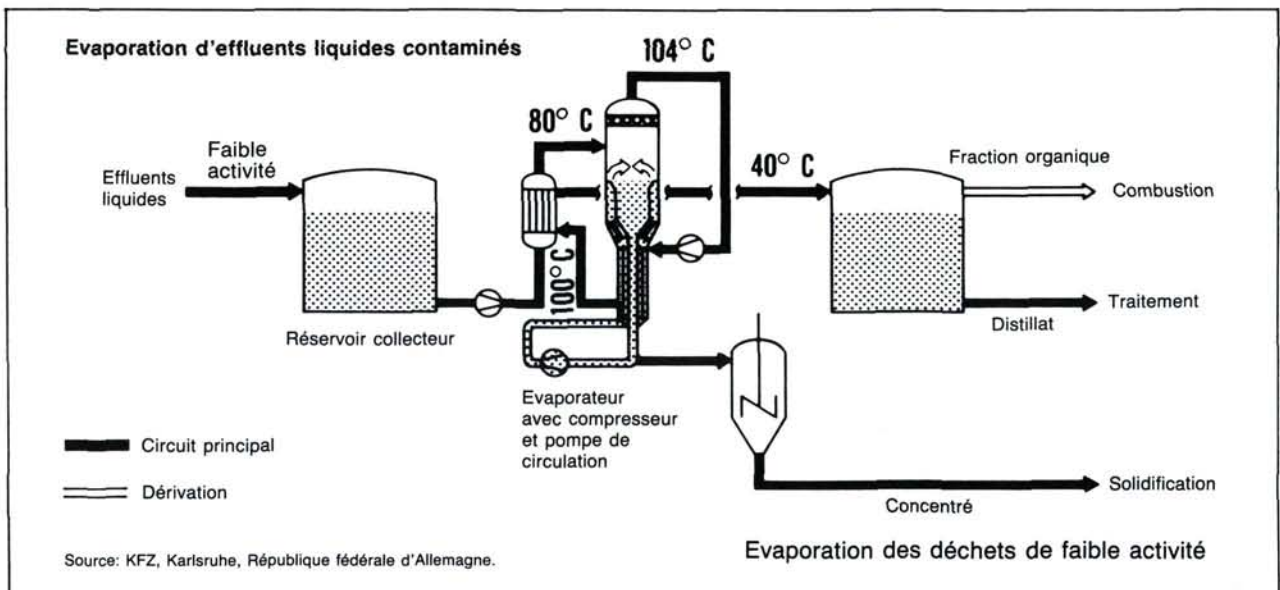
l'environnement ou recyclé. Les résidus concentrés de ce traitement sont ensuite conditionnés, stockés et évacués. Vu la grande variété d'effluents liquides radioactifs qu'elles produisent, les centrales nucléaires ont recours à pratiquement tous les procédés de traitement. Les techniques habituelles sont couramment utilisées pour décontaminer les fûts de déchets liquides. Chaque procédé agit différemment sur le contenu radioactif. Les différents procédés peuvent être combinés selon la quantité et la source de la contamination. Quatre procédés principaux servent au traitement des déchets liquides: l'évaporation, la précipitation/floculation chimique, la séparation de la phase solide et l'échange d'ions.

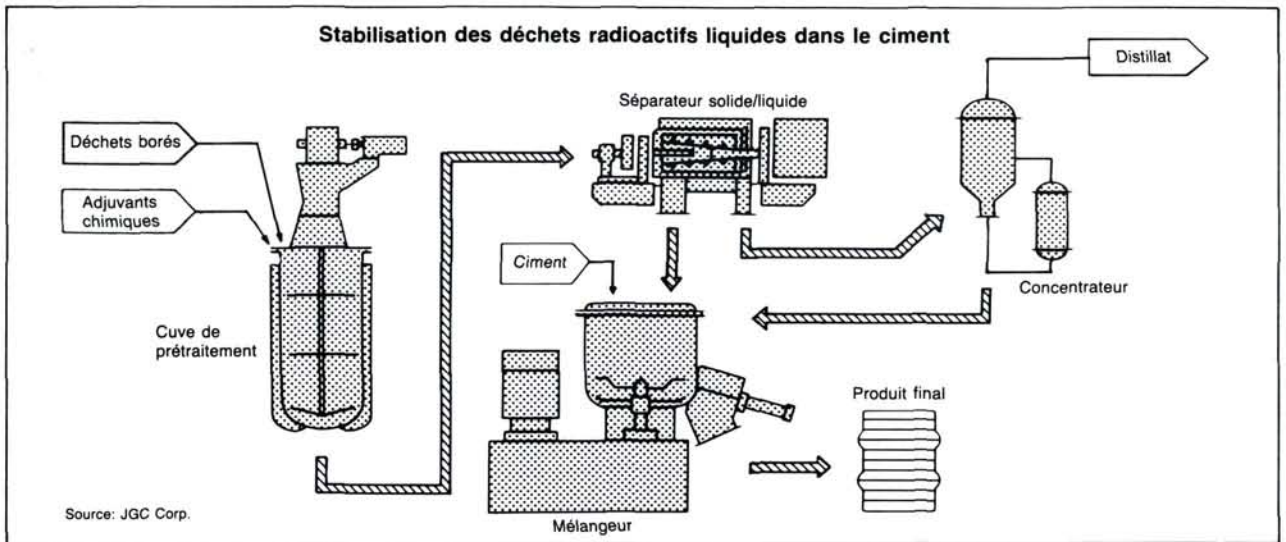
Ces techniques sont bien au point et d'un usage universel. On cherche toujours, néanmoins, à améliorer la sûreté et l'économie en se fondant sur les technologies nouvelles.

La meilleure technique de réduction en volume reste l'évaporation. Selon la composition de l'effluent et le type d'évaporateur, on obtient des facteurs de décontamination de 10^4 à 10^6 .

L'évaporation est une méthode bien éprouvée qui assure à la fois une bonne décontamination et une forte réduction de volume. L'eau passe en phase vapeur abandonnant les composants non volatiles, tels les sels, qui contiennent la plupart des radionucléides. C'est probablement le meilleur procédé à utiliser pour traiter les déchets de composition chimique très hétérogène et à teneur relativement élevée en sels (*voir la figure*).

L'évaporation peut être considérée comme une opération assez simple qui donne de bons résultats depuis des années dans l'industrie chimique classique, mais son application aux déchets radioactifs peut donner lieu à des phénomènes de corrosion, d'entartrage ou d'effervescence, qui sont autant de problèmes que l'on peut résoudre par des moyens appropriés. Il est possible par exemple d'ajuster le pH pour réduire la corrosion; on peut réduire l'effervescence en extrayant les produits organiques ou en ajoutant des agents antimoussants; le nettoyage de l'appareil peut se faire à l'acide azotique pour éliminer le tartre; on traite ensuite les surfaces.





Source: JGC Corp.

Le procédé de réduction volumique par évaporation des effluents de faible activité est si efficace que l'on a toujours pu évacuer le condensat dans l'environnement sans nécessité de le soumettre à un traitement complémentaire.

Les procédés de séparation par précipitation chimique fondés sur la coagulation/floculation sont utilisés le plus souvent dans les centrales nucléaires pour traiter les effluents liquides de faible activité à forte teneur en sels et en boues. Leur efficacité dépend évidemment dans une large mesure de la composition chimique et radiochimique du liquide traité. La plupart des radionucléides peuvent être précipités, coprecipités et adsorbés par des composés insolubles, par exemple les hydroxydes, les carbonates, les phosphates et les ferrocyanures, et être ainsi extraits de la solution. La précipitation peut aussi entraîner des particules en suspension dans la solution. La séparation n'est cependant pas totale pour plusieurs raisons et les facteurs de décontamination que l'on peut obtenir sont relativement modestes. Aussi le traitement chimique est-il généralement complété par un traitement plus efficace.

La séparation de la phase solide consiste à extraire du déchet liquide les matières solides en suspension ou déposées. Il existe plusieurs types de séparateurs, tous fondés sur le même principe que les matériels régulièrement utilisés dans l'industrie pour le traitement classique des eaux et des effluents. Les plus couramment employés sont les filtres, les centrifugeuses et les hydrocyclones. La plupart des installations nucléaires ont recours à des dispositifs mécaniques pour séparer les solides en suspension dans les déchets liquides. Cette opération est indispensable pour extraire les particules qui pourraient gêner le traitement ultérieur de ces déchets, par exemple l'échange d'ions, ou empêcher la réutilisation de l'eau.

Les filtres de type courant, et notamment les filtres à couche, peuvent extraire des particules d'une granulométrie inférieure au micron. Lorsqu'il est colmaté, le filtre est soit lavé à contre-courant, ce qui donne une boue contenant entre 20 et 40% de matières solides, soit remplacé, s'il s'agit d'une cartouche.

Les procédés par échange d'ions sont très souvent utilisés. Ils servent notamment à l'épuration des circuits primaires et secondaires de refroidissement des réacteurs à eau, au traitement de l'eau des bassins de stockage du combustible et au traitement des condensats après évaporation.

Pour que le traitement par échange ionique puisse être appliqué aux déchets radioactifs liquides, il faut généralement que ceux-ci répondent aux conditions suivantes: faible concentration de solides en suspension; teneur en sels généralement inférieure à 1 g/l; les radionucléides doivent être présents sous la forme ionique qui convient. (Les filtres à couche de résine en poudre peuvent servir à extraire les colloïdes.)

La plupart des dispositifs à échange ionique consistent en une colonne contenant une substance échangeuse d'ions que l'effluent traverse de haut en bas ou inversement. La substance échangeuse d'ions peut être régénérée lorsque la limite de saturation des groupes actifs est atteinte. Certains types d'échangeur d'ions peuvent aussi être éliminés comme déchets concentrés à solidifier ultérieurement. Le procédé par échange d'ions est donc semi-continu car il est interrompu par les opérations indispensables de maintenance-chasse, régénération, rinçage et remplissage.

Les solides humides issus du traitement des déchets liquides doivent être stabilisés avant leur stockage définitif. Les procédés utilisés consistent à donner à ces déchets des formes chimiquement et physiquement stables qui réduisent les risques de migration ou de dispersion des radionucléides résultant des processus qui peuvent se développer en cours de stockage, de transport et après évacuation. Si possible, le conditionnement de ces déchets devrait comporter aussi une réduction de volume.

Les procédés de stabilisation les plus couramment utilisés sont l'incorporation à du ciment, à du bitume ou à des polymères. L'incorporation au ciment est utilisée depuis des années dans de nombreux pays (voir la figure page 39). Le ciment a entre autres avantages celui d'être bon marché et de ne pas exiger un matériel trop compliqué pour sa préparation. Sa densité relativement

élevée en fait une protection très efficace, ce qui réduit d'autant les barrières à prévoir par ailleurs dans l'emballage. Dans certains cas, pour obtenir un produit de qualité acceptable, on procède à un prétraitement chimique ou physique. On ajoute aussi parfois d'autres matériaux, tels que cendres ou scories pulvérisées, dont les propriétés sont analogues à celles du ciment.

L'incorporation au bitume est également pratiquée depuis nombre d'années dans divers pays pour solidifier les solides humides. Il s'agit d'un procédé à chaud qui sèche les déchets avant leur stabilisation et leur emballage. Il permet de réduire considérablement le volume des déchets conditionnés à évacuer, ce qui est économique. En revanche, le bitume est inflammable et doit donc être manipulé avec beaucoup de précautions. Le procédé n'en bénéficie pas moins de la faveur des producteurs de déchets qui, tant aux Etats-Unis qu'au Japon, en Suède, en URSS, en Suisse et dans d'autres pays encore, l'utilisent pour conditionner les déchets radioactifs des centrales nucléaires.

L'incorporation de solides humides à des matières plastiques ou des polymères est un procédé relativement nouveau par rapport aux deux précédents. On a recours à des polymères tels que le polyester, l'ester vinylique ou les résines époxydes, mais seulement dans les cas où le ciment ou le bitume ne conviennent pas techniquement. Ces substances sont beaucoup plus chères et leur utilisation exige un matériel relativement complexe. Elles ont l'avantage, néanmoins, d'être plus imperméables aux radionucléides et d'être en général chimiquement inertes.

Depuis peu, l'intérêt se porte vers les unités mobiles de conditionnement des déchets radioactifs des centrales nucléaires. Leur principal attrait réside dans le fait qu'elles épargnent un investissement aux installations qui ne produisent que de petites quantités de déchets. Il en existe notamment aux Etats-Unis, en République fédérale d'Allemagne et en France. La plupart d'entre elles utilisent le procédé au ciment, mais plusieurs possibilités ont été étudiées pour l'emploi des polymères.

Déchets gazeux et aérosols radioactifs

En régime normal, les centrales nucléaires produisent aussi des déchets gazeux et des aérosols radioactifs. Les particules solides ou liquides radioactives qui forment ces aérosols ont une granulométrie très variable et sont parfois mélangées à des particules non radioactives. Ces aérosols proviennent de trois sources principales: l'émission de produits de corrosion activés et de produits de fission, la désintégration de gaz radioactifs en éléments non volatiles, et l'adsorption de radionucléides volatiles produits par les phénomènes de fission sur des poussières en suspension.

Ces radionucléides volatiles qui apparaissent en temps normal sont en général des halogènes, des gaz nobles, du tritium et du carbone 14. La composition et la radioactivité des aérosols ainsi formés dépendent dans une large mesure du type de réacteur et des voies d'émission.

Tous les effluents gazeux d'une centrale nucléaire sont traités avant leur rejet dans l'atmosphère afin d'en extraire la plupart des éléments radioactifs.

Traitement des effluents gazeux

Dans toutes les centrales nucléaires, la pratique courante consiste à filtrer les gaz contaminés et l'air de ventilation des locaux pour en extraire les particules radioactives avant leur rejet dans l'atmosphère. Les systèmes de ventilation et d'épuration de l'air comportent en général des préfiltres grossiers associés à des filtres absolus dont le rendement d'extraction atteint normalement 99,9% ou même plus, pour des particules de 0,3 mm.

L'iode radioactif est extrait à l'aide des filtres au charbon de bois imprégné associés à des filtres à poussière. L'imprégnation du charbon est nécessaire pour retenir les composés organiques iodés.

Quant aux gaz nobles radioactifs, généralement de courte période, qui se dégagent des éléments combustibles, on retarde leur rejet dans l'atmosphère de façon à leur laisser le temps de se désintégrer, ce qui réduit considérablement leur radioactivité. Deux méthodes sont utilisées à cette fin: leur stockage dans des réservoirs spéciaux ou leur passage à travers plusieurs couches de charbon de bois.

Pour le stockage, les gaz nobles et le gaz porteur sont d'abord introduits par pompage dans des réservoirs hermétiques où ils sont conservés pendant 30 à 60 jours; le contenu est ensuite libéré dans l'atmosphère. Si l'on juge qu'il est encore trop tôt pour autoriser le rejet, la période de stockage est prolongée en conséquence.

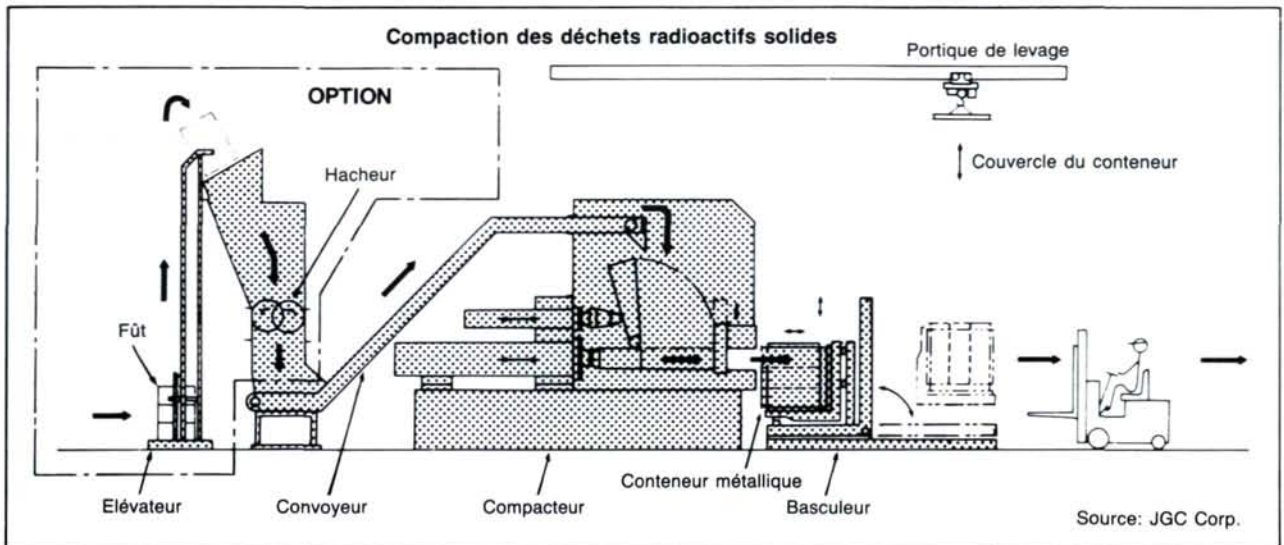
L'autre procédé consiste à faire passer l'effluent dans une série de colonnes de charbon de bois qui freinent le cheminement des gaz nobles par rapport aux gaz porteurs, facilitant ainsi leur décroissance radioactive.

Traitement et conditionnement des déchets solides

Les centrales nucléaires produisent aussi plusieurs types de déchets solides secs contenant des matières radioactives. La nature de ces déchets varie considérablement d'une installation à l'autre; ce peut être des articles de matériel enlevés du réacteur, des filtres du système de ventilation, des revêtements de sol, de l'outillage contaminé, etc. Il peut s'agir aussi de divers papiers, plastiques et caoutchoucs, de chiffons et de vêtements, ou de petits objets de métal ou de verre utilisés en cours d'exploitation de la centrale et pendant les opérations de maintenance. Selon leur nature physique et leur traitement ultérieur, les déchets solides secs sont généralement séparés en quatre catégories: combustibles, non combustibles, compactables et non compactables. Cette classification peut d'ailleurs varier selon les centrales en fonction des conditions particulières.

Le traitement de ces déchets vise essentiellement à réduire le plus possible le volume à stocker et à éliminer, et à concentrer et stabiliser le plus possible le contenu radioactif.

Comme la composition et la forme de ces déchets sont extrêmement variables, il n'existe pas de procédé de traitement universel et l'on a généralement recours à une combinaison de plusieurs techniques. Le procédé de base le plus communément utilisé pour traiter les déchets les plus volumineux est la compaction. Il permet de réduire l'encombrement dans une mesure raisonnable en vue du stockage, mais n'améliore pas sensiblement les



propriétés des déchets pour leur gestion à plus long terme.

L'expérience montre que de 50 à 80% des déchets solides radioactifs des centrales nucléaires peuvent être considérés comme combustibles. Leur incinération présente un certain nombre d'avantages par rapport à la simple compaction. Elle permet en effet de réduire considérablement le volume et la masse des déchets. Le produit final est une cendre homogène qui peut être placée sans conditionnement préalable dans des conteneurs en vue du stockage et de l'élimination. L'incinération a en outre l'avantage de détruire des liquides organiques tels que les huiles, les graisses et les solvants qu'il serait par ailleurs difficile de traiter (voir les figures).

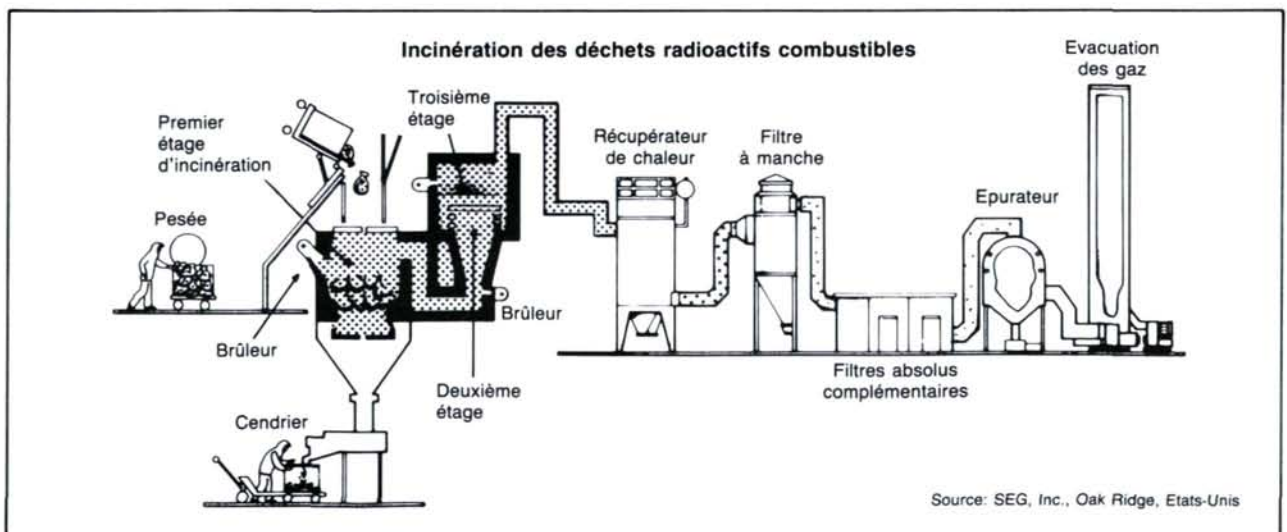
L'incinération de petites quantités de déchets solides est couramment pratiquée; elle se fait dans des installations relativement simples dont sont maintenant pourvues les centrales nucléaires des Etats-Unis, du Japon, du Canada et d'autres pays encore. Des installations plus

perfectionnées permettant d'incinérer des déchets d'activité spécifique relativement élevée se trouvent dans certains centres de traitement qui reçoivent les déchets des centrales nucléaires du pays et même de l'étranger. Il en existe en Suède, en Belgique, en France et dans d'autres pays.

Avant la compaction ou l'incinération, les déchets, en vue d'être réduits, sont découpés, déchiquetés ou broyés, selon leur composition. Le papier, les matières plastiques, les chiffons, le carton, le bois et le métal peuvent être débités en lanières et les matières cassantes, comme le verre ou le béton, peuvent être broyées. Ces techniques à elles seules réduisent déjà le volume.

Perfectionnement des procédés

La plupart des procédés de traitement et de conditionnement des déchets de faible et moyenne activité sont maintenant bien au point et s'utilisent à l'échelle industrielle. La technologie est suffisamment avancée



pour assurer une gestion efficace des déchets des centrales, mais des améliorations sont toujours possibles et souhaitables. Le budget croissant de cette gestion incite à adopter des procédés et des techniques permettant de réduire au minimum les quantités produites et à étudier de nouveaux moyens de réduire encore les volumes au stade du traitement et du conditionnement. Il n'est pas possible d'énumérer ici toutes les améliorations et autres nouveautés qui sont à l'actif des différents Etats Membres.

A titre d'exemple, citons néanmoins l'emploi de sorbants minéraux spécifiques pour améliorer le traitement des déchets liquides; la technique de la membrane, également pour le traitement des déchets liquides; le séchage des résines en perles et des boues de filtres; l'incinération des résines échangeuses d'ions épuisées; le nettoyage à sec des vêtements et autres matières textiles de protection pour réduire le volume des eaux de lessive; l'emploi de conteneurs hermétiques très résistants pour l'emballage des boues de filtres séchées; la vitrification de certains déchets de moyenne activité pour réduire les volumes à éliminer; et la surcompaction des déchets non combustibles.

Ces techniques nouvelles ne seront peut-être pas toutes universellement appliquées à la gestion des déchets, en particulier au niveau des centrales nucléaires, mais cet effort de recherche et de développement témoigne du grand soin que l'industrie nucléaire et les exploitants de centrales apportent à la sûreté et à l'économie de la gestion des déchets et annonce des perfectionnements.



A l'atelier de vitrification de Marcoule (France), les conteneurs de verre de haute activité sont provisoirement stockés dans des puits ventilés. (Photo ANDRA)