DOSSIER

02

Traitement et conditionnement des déchets radioactifs

GÉNÉRALITÉS SUR LE TRAITEMENT	
ET LE CONDITIONNEMENT	
DES DÉCHETS RADIOACTIFS	95
LES PRINCIPAUX PROCÉDÉS INDUSTRIELS	
DE TRAITEMENT ET DE CONDITIONNEMENT	96
Procédés de traitement	96
Compactage	96
Évaporation	97
Incinération	97
Fusion	98
Procédés de conditionnement	98
Cimentation	98
Bitumage	99
Vitrification	100
Enrobage par des résines polymères	100
LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT	
SUR LE TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT	101
Pivic : vers un nouveau procédé pour traiter les déchets contaminés par des émetteurs alpha	101
Développement d'un liant hydraulique spécifique	
pour les déchets magnésiens	101

GÉNÉRALITÉS SUR LE TRAITEMENT ET LE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Lorsqu'ils sont produits, les déchets radioactifs se trouvent sous une forme brute, qui peut être gazeuse, liquide ou solide. Pour gérer ces déchets, il est le plus souvent nécessaire de les conditionner, c'est-à-dire de fabriquer des « colis de déchets » permettant de les manutentionner et garantissant le confinement des radionucléides. En fonction de la nature physico-chimique des déchets, l'opération de conditionnement peut être précédée d'un traitement qui permet de disposer d'un déchet présentant des caractéristiques adaptées à sa gestion à long terme.

Le conditionnement peut ainsi être défini comme étant l'ensemble des opérations consistant à introduire les déchets, éventuellement traités au préalable, dans un conteneur, où ils peuvent être incorporés ou non dans un matériau d'enrobage ou de blocage, pour former un colis de déchets.

Le choix du traitement, d'une éventuelle matrice (d'enrobage ou de blocage) et du conteneur est principalement lié aux caractéristiques radiologiques et physico-chimiques des déchets bruts. Il vise aussi à optimiser le volume conditionné des déchets, notamment en augmentant leur taux d'incorporation dans la matrice dédiée et/ou en réduisant les dimensions des conteneurs.

Les principales matrices utilisées pour conditionner des déchets liquides ou pulvérulents sont :

- la matrice cimentaire pour les boues, concentrats d'évaporation, cendres d'incinération;
- le bitume notamment pour l'enrobage de boues et de concentrats d'évaporation résultant du traitement des effluents liquides;
- la matrice vitreuse notamment pour les solutions de produits de fission :
- la matrice polymère à base de résines époxy pour les résines échangeuses d'ions (REI).

Pour les déchets solides, deux procédés sont couramment utilisés :

- l'enrobage ou le blocage, notamment par un liant hydraulique, des déchets compactés ou non après leur mise en conteneur;
- l'empilement direct de galettes compactées dans un conteneur, sans ajout de liant hydraulique.

Les conteneurs sont de différentes formes (cylindriques ou parallélépipédiques), adaptées à leur contenu et lieux d'entreposage et de stockage. Différents matériaux sont utilisés pour ces conteneurs. Les plus utilisés aujourd'hui sont le béton, fibré ou non, et l'acier inoxydable.

Pour être pris en charge dans une installation d'entreposage ou de stockage, le colis de déchets doit respecter les spécifications d'acceptation définies pour cette installation. Ces spécifications sont établies à partir des caractéristiques des colis de déchets attendus et de celles de l'installation concernée et précisent les performances attendues du colis en fonction des déchets qu'il contient. Par exemple, elles peuvent interdire la présence de déchets putrescibles ou liquides, ou limiter la quantité de rejet gazeux d'un colis de déchets.



- Un déchet conditionné est un déchet qui :
- soit est accepté sans traitement complémentaire dans un centre de stockage en exploitation;
- soit est conforme aux spécifications d'acceptation en stockage du centre en exploitation auquel il est destiné ;
- soit pour lequel aucun traitement complémentaire n'est envisagé par son producteur avant stockage dans le cas où il n'existe pas de centre de stockage en exploitation pour ce déchet.
- Un déchet préconditionné est un déchet qui n'est pas en vrac et pour lequel un traitement complémentaire (décontamination, blocage, compactage, vitrification, fusion, injection, incinération, etc.) est envisagé
- Un déchet non conditionné est un déchet qui est en vrac, notamment s'il se trouve dans des cuves, des fosses ou des silos.

Ces définitions sont issues de l'arrêté du 9 octobre 2008 modifié par les arrêtés du 4 avril 2014 et du 16 mars 2017

LES PRINCIPAUX PROCÉDÉS INDUSTRIELS DE TRAITEMENT ET DE CONDITIONNEMENT

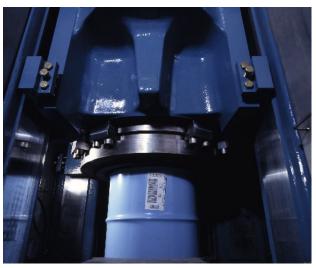
Depuis les années 1950 et la mise en service des premiers réacteurs nucléaires en France, de nombreux procédés de traitement et de conditionnement ont été étudiés et développés pour gérer les déchets produits par l'ensemble des installations nucléaires. Les principaux procédés de traitement et de conditionnement mis en œuvre sont présentés ci-après.

PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

COMPACTAGE

Le compactage est destiné à réduire le volume de certains déchets solides, notamment métalliques ou plastiques. Ce procédé utilise des presses de différentes technologies et de capacités allant de quelques centaines de tonnes à quelques milliers de tonnes, en fonction de la nature des déchets à compacter. Après compactage, les déchets sont mis en conteneur et éventuellement bloqués par un liant hydraulique.

Le compactage est généralement mis en œuvre par les producteurs de déchets (sur les sites de La Hague, de Cadarache, etc.), mais également par l'Andra sur les centres de stockage en exploitation [Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de déchets de très faible activité et Centre de stockage de l'Aube (CSA) dédié aux déchets de faible et moyenne activité à vie courte].



Presse à compacter du Centre de stockage de l'Aube (CSA)



LES COLIS DE DÉCHETS COMPACTÉS

Les éléments des structures des assemblages de combustibles usés des réacteurs de la filière à eau légère : tubes de gainage, pièces d'extrémité d'assemblage, grilles, ressorts, etc., sont compactés et conditionnés dans l'Atelier de compactage des coques (ACC) de La Hague, mis en service en 2002. Les colis contiennent également des déchets solides métalliques d'exploitation compactés.

Ces colis de déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL), qui relèvent de la famille F2-3-02, se présentent sous la forme d'un conteneur en acier inoxydable d'environ 1,4 m de hauteur et 43 cm de diamètre contenant de l'ordre de 600 kg de déchets compactés.

ÉVAPORATION

Avant conditionnement, les déchets liquides sont parfois, lorsque leurs caractéristiques chimiques le permettent, concentrés par chauffage et évaporation, ce qui permet d'en réduire le volume. Les concentrats ainsi obtenus sont ensuite conditionnés directement, par cimentation ou bitumage par exemple.

L'évaporation est généralement intégrée, sur le site des producteurs, à l'installation mettant en œuvre le conditionnement retenu pour les concentrats.

INCINÉRATION

L'incinération permet de réduire de façon significative la masse et le volume des déchets et de concentrer leur radioactivité dans les cendres. Elle est particulièrement adaptée aux déchets liquides aqueux et organiques, aux solvants ou aux liquides de scintillation ainsi qu'aux déchets solides organiques, de très faible activité (TFA) ou de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC). L'installation Centraco de Cyclife à Codolet, en service depuis 1999, permet ainsi par exemple d'incinérer des déchets liquides et solides.

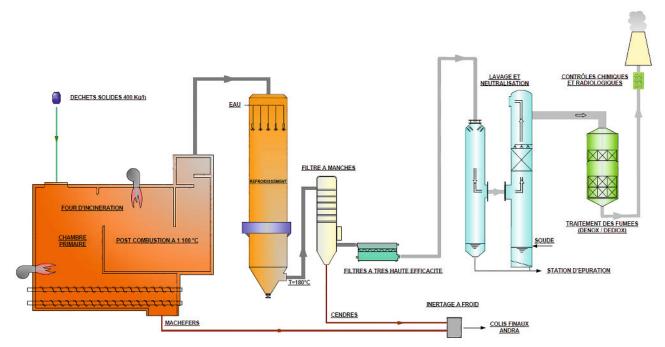


Schéma de principe du procédé d'incinération © Centraco de Cyclife



LES COLIS DE DÉCHETS DE RÉSIDUS D'INCINÉRATION CIMENTÉS

Les résidus d'incinération se présentent sous la forme de mâchefers, de scories et de cendres. Ces résidus d'incinération bruts sont broyés et mélangés avec un matériau à base de ciment, pour être coulés dans un fût en acier non allié dont le couvercle est ensuite soudé. Ils constituent ainsi des colis de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC), rattachés à la famille F3-7-01.

La masse du colis fini est d'environ 1,5 t pour un volume de 450 l. Un tel colis contient environ 370 kg de résidus bruts d'incinération.

FUSION

Comme l'incinération, la fusion permet de réduire le volume de déchets et de décontaminer partiellement ces déchets qui peuvent ensuite éventuellement être recyclés au sein de la filière électronucléaire. La fusion est utilisée pour le traitement de déchets métalliques.

La fusion est pratiquée, par exemple, sur l'installation Centraco de Cyclife pour traiter des déchets en acier ou en métal non ferreux provenant des opérations de maintenance ou de démantèlement des installations nucléaires.

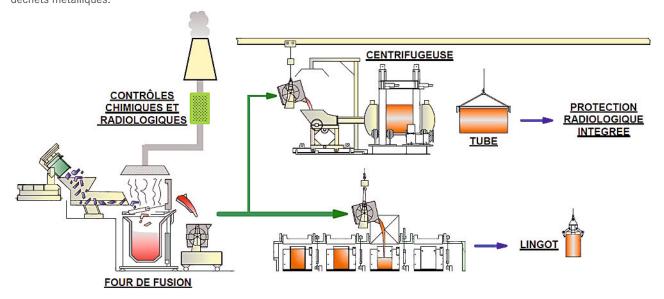


Schéma de principe du procédé de fusion © Centraco de Cyclife

PROCÉDÉS DE CONDITIONNEMENT

CIMENTATION

Le procédé de cimentation est utilisé pour:

- bloquer des déchets solides tels que des déchets technologiques, des déchets activés et des déchets de structure. Il produit dans ce cas des colis de déchets dits hétérogènes;
- enrober des déchets en solution ou sous forme pulvérulente : concentrats d'évaporation, boues de traitements chimiques, résines échangeuses d'ions, etc. Les colis de déchets ainsi fabriqués sont dits homogènes.

Il s'agit du procédé de conditionnement le plus largement utilisé. En effet, les matrices cimentaires réunissent de nombreux facteurs favorables : disponibilité, coût modeste, simplicité de mise en œuvre, bonne résistance mécanique et, en général, stabilité dans le temps.

La cimentation est ainsi largement mise en œuvre sur les sites des producteurs de déchets (sur les sites de La Hague, de Cadarache, de Marcoule, etc.). Ce procédé est également pratiqué sur les sites de l'Andra au Cires et au CSA.



LES COLIS DE DÉCHETS CIMENTÉS

Les déchets générés lors du fonctionnement courant des différents ateliers et laboratoires, d'opérations de maintenance ou de démantèlement des installations du site de La Hague sont conditionnés dans des conteneurs cylindriques en béton-fibres. Sur la base de l'activité des déchets, ces colis sont soit stockés au CSA (pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte, FMA-VC, qui relèvent de la famille F3-3-11) soit entreposés dans l'attente de la disponibilité d'un centre de stockage adapté (pour les déchets de moyenne activité à vie longue MA-VL, et de faible activité à vie longue FA-VL, qui relèvent respectivement des familles F2-3-08 et F9-3-03).

La masse du colis fini est d'environ 2,5 t pour un volume de 1,18 m 3 . Un tel colis contient environ 450 kg de déchets.

BITUMAGE

Le procédé d'enrobage par bitumage consiste à mélanger, à chaud, des déchets se présentant sous forme de boues à du bitume. Le mélange obtenu est déshydraté et coulé dans un conteneur où il est refroidi. Le bitume présente des propriétés intéressantes au regard de son pouvoir agglomérant élevé, sa grande inertie chimique, son imperméabilité, sa faible solubilité dans l'eau, son pouvoir de confinement important, son coût modéré et, enfin, sa disponibilité.

Ce procédé est mis en œuvre sur les sites des producteurs de déchets essentiellement pour conditionner les boues de précipitation résultant du traitement des effluents liquides. Il est aujourd'hui remplacé en grande partie par la cimentation ou la vitrification en fonction de la nature des déchets à traiter.

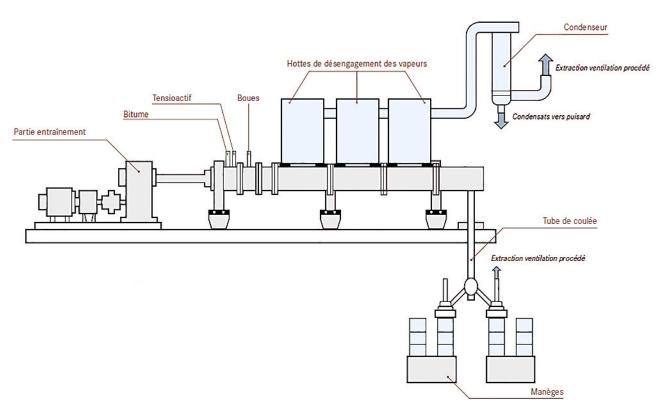


Schéma de principe du procédé de bitumage

VITRIFICATION

La vitrification consiste à mélanger dans un creuset et à haute température des déchets radioactifs généralement liquides, préalablement calcinés, à une fritte de verre dont la composition est adaptée à la nature chimique des déchets afin d'intégrer, à l'échelle atomique, tous les radionucléides présents dans les déchets au réseau vitreux de manière homogène. Le mélange ainsi obtenu est ensuite coulé dans un conteneur en acier inoxydable. Du fait de sa composition chimique et de sa structure amorphe, le verre se révèle particulièrement résistant à l'échauffement et à l'irradiation, et présente une bonne durabilité chimique sur de longues durées.

Mis en œuvre depuis plusieurs décennies sur les sites de Marcoule et de La Hague, ce procédé est aujourd'hui la référence industrielle pour le conditionnement des solutions de produits de fission issues du retraitement des combustibles usés. Des développements technologiques, notamment autour de l'utilisation d'un creuset froid, ont permis, d'une part, de limiter les déchets induits par le procédé et, d'autre part, d'élargir le champ d'application à d'autres types de déchets.

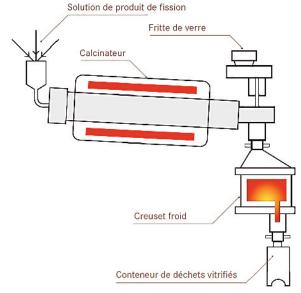


Schéma de principe du procédé de vitrification



LES COLIS DE DÉCHETS VITRIFIÉS

La première mise en œuvre industrielle de la vitrification s'est faite sur le site de Marcoule, en 1978. L'atelier dédié à la vitrification, qui est arrêté depuis 2012, a produit les colis de déchets vitrifiés de haute activité relevant de la famille F1-4-01.

Ces colis de déchets se présentent sous la forme d'un conteneur en acier inoxydable d'environ 1 m de hauteur et 50 cm de diamètre contenant de l'ordre de 360 kg de déchets vitrifiés.

ENROBAGE PAR DES RÉSINES POLYMÈRES

En fonction de leurs caractéristiques radiologiques et physicochimiques, les déchets solides peuvent également être enrobés par une résine polymère. Ce procédé est notamment mis en œuvre pour conditionner les résines échangeuses d'ions (REI) qui sont utilisées dans les circuits de contrôle volumétrique et chimique du circuit primaire des réacteurs nucléaires, de traitement et purification des eaux de piscines et de traitement des effluents usés.

Ce procédé consiste à mélanger les résines échangeuses d'ions avec une matrice époxy puis à les conditionner dans des conteneurs cylindriques en béton.

Certaines REI sont peu transportables en raison de leurs caractéristiques radiologiques ou physico-chimiques. Il est alors préférable de déplacer le procédé de traitement plutôt que les déchets. En ce sens, les machines mobiles conçues par Centraco de Cyclife permettent de les conditionner dans le respect des spécifications de l'Andra.

LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LE TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT

PIVIC : VERS UN NOUVEAU PROCÉDÉ POUR TRAITER LES DÉCHETS CONTAMINÉS PAR DES ÉMETTEURS ALPHA

Orano et le CEA, en lien avec l'Andra, développent un nouveau procédé pour traiter les déchets contaminés par des émetteurs alpha. Ce projet porte sur le traitement et le conditionnement des déchets technologiques solides, mélange de métaux et de matières organiques (vinyles, polyéthylène, gants en polymères) issus principalement du fonctionnement de l'usine Melox qui produit le combustible MOX, à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium.

Beaucoup moins radioactifs que les déchets issus du retraitement des combustibles usés, ils doivent cependant être stockés dans des colis adaptés. C'est là qu'interviendrait un procédé innovant, appelé Pivic (Procédé d'incinération-vitrification in can), qui vise à les traiter et les conditionner en une seule étape.

Panier d'introduction

Torche à plasma

Evacuation du gaz

Couche de verre renfermant les cendres

Couche métallique

Schéma de principe du procédé Pivic

Le principe consiste à introduire les déchets dans une chambre de combustion et à les incinérer par une torche à plasma placée au-dessus du module de fusion-vitrification. Les cendres résultantes sont ainsi incorporées au verre. Le conteneur de déchets contiendra ainsi une phase métallique en fond de conteneur et une phase verre sur le dessus. Ce colis sera ensuite introduit dans un conteneur adapté pour son stockage.

Ce procédé, aujourd'hui à l'étude, rassemble plusieurs procédés et notamment l'incinération par torches à plasma, la vitrification, la fusion par induction et le traitement des gaz.

Si sa faisabilité est démontrée, la mise en œuvre industrielle du procédé Pivic pourrait avoir lieu au-delà de 2035.

DÉVELOPPEMENT D'UN LIANT HYDRAULIQUE SPÉCIFIQUE POUR LES DÉCHETS MAGNÉSIENS

Les déchets magnésiens entreposés sur le site de Marcoule se présentent sous forme de gaines de magnésium métallique en vrac, broyées ou compactées. Des développements d'un liant hydraulique spécifique (dénommé géopolymère) sont actuellement conduits pour maîtriser les interactions physicochimiques entre le matériau d'enrobage et les déchets.

Le CEA étudie cette solution de conditionnement en lien avec l'Andra. Si la faisabilité est démontrée, et si l'acceptabilité de mise en stockage est délivrée, le CEA vise un déploiement de ce procédé à court terme sur les déchets magnésiens les plus anciens et les moins actifs (catégorie faible et moyenne activité à vie courte).