

- une bonne résistance à l'irradiation alpha et bêta, gamma susceptible d'être subie au cours des opérations d'entreposage et de stockage;
- une bonne résistance mécanique en traction et en compression après prise, à la température ambiante et en température;
- un bon pouvoir de confinement des radioéléments.

2.2.2. La résistance mécanique doit être au moins égale, après un temps de séchage de 28 jours, aux valeurs ci-après (références : NFP 18406 pour les essais de compression et NFP 18407 pour les essais de traction):

- résistance à la compression : 30 MPa;
- résistance à la traction : 4 MPa.

2.2.3. En tant que de besoin, il peut être fait usage de matériaux d'addition pour améliorer la fluidité du coulis de ciment et faciliter l'enrobage des déchets. Ces matériaux ne doivent pas nuire aux qualités du conditionnement.

2.3. Conteneur

Les pièces massives d'extrémité, les morceaux de gaine, les résidus de cisailage et de dissolution et les fragments de pièces de structure retenus dans un panier de centrage et de coulée et enrobés par un colis de ciment sont disposés dans un conteneur métallique fermé par un double couvercle. Le couvercle intérieur est muni d'une cartouche filtrante.

Les équipements disposés dans des étuis métalliques, les poubelles de laboratoire, les vêtements, les matériaux d'emballage divers disposés dans des fûts métalliques sont placés dans un conteneur muni d'un couvercle et sont bloqués par un coulis de ciment.

Le conteneur doit permettre une manipulation aisée ainsi que le gerbage et la reprise ultérieure des déchets conditionnés entreposés pendant la période s'écoulant jusqu'au stockage à long terme.

2.4. Déchet conditionné

2.4.1. Le déchet conditionné est constitué par les déchets enrobés par le coulis de ciment solidifié et disposés dans le conteneur.

Le conteneur doit être rempli aussi complètement que possible.

La distribution des déchets à l'intérieur du panier ou du fût doit être aussi homogène que possible.

L'épaisseur de ciment disposée entre le panier, les étuis ou le fût métallique contenant les déchets et l'extérieur du colis doit être suffisante pour assurer la résistance mécanique du colis et le confinement des radioéléments.

Pour chaque colis de déchets, l'exploitant doit indiquer la nature et les caractéristiques des déchets contenus, notamment l'inventaire radioactif.

L'activité massique des déchets conditionnés doit être inférieure à :

- 2,5 Ci/t pour les radioéléments émetteurs-alpha et 3.500 Ci/t pour les radioéléments émetteurs bêta-gamma de fission pour ce qui concerne les déchets définis au paragraphe 2.1.1 ci-dessus;
- 5 Ci/t pour les radioéléments émetteurs alpha et 25 Ci/t pour les radioéléments émetteurs bêta-gamma pour ce qui concerne les déchets définis au paragraphe 2.1.2 ci-dessus;
- 0,1 Ci/t pour les radioéléments émetteurs alpha et 20 Ci/t pour les radioéléments émetteurs bêta-gamma pour ce qui concerne les déchets définis au paragraphe 2.1.3 ci-dessus.

2.4.2. Pour chaque type de déchet conditionné, l'exploitant évalue les éventuelles fissurations ou fracturations du ciment pouvant survenir lors de la sise et de l'entreposage.

2.4.3. Pour chaque type de déchet conditionné, l'exploitant doit faire la démonstration qu'il n'y a pas de dégagement calorifique significatif ou fournir une courbe indiquant le dégagement calorifique, par unité de volume, en fonction du temps. Il doit préciser la température à cœur du colis à ne pas dépasser au cours de l'entreposage, sa capacité calorifique et sa conductibilité thermique.

2.4.4. a) Pour chaque type de déchet enrobé homogène, l'exploitant doit indiquer en précisant les modes opératoires, les résultats des mesures de lixiviation à l'eau en faisant abstraction du conteneur, pour les principaux nucléides contenus de période supérieure à 5 ans, en fonction de la température et de la pression de l'eau, de son taux de renouvellement et de la durée de lixiviation. Ces résultats doivent également faire mention de la nature physicochimique des principaux nucléides lixiviés et du taux de dissolution de la matrice de ciment.

Ces résultats doivent faire l'objet d'essais de confirmation sur des témoins ayant la composition retenue.

b) Dans le cas des déchets enrobés hétérogènes l'exploitant doit fournir un dossier analogue où sont évaluées les performances du conteneur et de son système de fermeture en terme de confinement des radioéléments.

Le cas échéant, d'autres essais de lixiviation pourront être demandés en fonction des conditions de stockage à long terme.

2.4.5. Pour chaque type de déchet conditionné, l'exploitant doit évaluer l'effet des rayonnements, en particulier des rayonnements alpha, sur la stabilité du déchet conditionné et les vitesses de lixiviation des radioéléments et de dissolution de la matrice, notamment, en ce qui concerne l'évolution des gaz de radiolyse et s'assurer que cette évolution est compatible avec l'exigence de qualité citée au paragraphe 2.2 ci-dessus. Cette évaluation doit faire l'objet d'essais représentatifs.

2.4.6. L'exploitant précise la résistance du déchet conditionné aux agents chimiques et biologiques susceptibles d'être au contact avec celui-ci.

2.4.7. La radioactivité labile de la surface extérieure du conteneur doit être inférieure 10^{-4} microCi/cm² pour les radioéléments émetteurs bêta-gamma et 10^{-5} microCi/cm² pour les radioéléments émetteurs alpha.

2.4.8. Le déchet conditionné doit résister à la chute maximale correspondant aux conditions d'entreposage et de manutention sans présenter de défaillance du système de confinement.

2.5. Contrôles de fabrication

Les contrôles de fabrication suivants doivent être effectués :

2.5.1. Contrôle de réception.

- Contrôle de réception par sondage de la qualité des constituants du mortier et de celle des matériaux d'addition visés en 2.2.
- Contrôle de spécifications du mortier par échantillonnage avant coulée.
- Contrôle de réception des conteneurs.

2.5.2. Contrôle des déchets avant conditionnement.

Avant enrobage dans le conteneur :

- contrôle du positionnement des déchets,
- contrôle de la radioactivité alpha et bêta-gamma.

2.5.3. Contrôle de l'enrobage.

- Au cours de la cimentation contrôle du niveau supérieur du mortier.
- Contrôle de la bonne prise du ciment et de l'absence d'eau de ressuage.

2.5.4. Contrôle du colis.

a) Contrôle de la radioactivité.

• Avant sortie de l'atelier de conditionnement, un contrôle de radioactivité labile est fait par lavage sur la surface extérieure du conteneur ; les valeurs doivent être inférieures aux seuils fixés au paragraphe 2.4.7. Dans le cas contraire, il est procédé à un lavage du conteneur.

- Mesure du débit d'équivalent de dose.

b) Mesure de la masse totale et vérification de l'absence de cavité.

2.6. Entreposage

L'entreposage sur le site des déchets conditionnés visés en 2.1.1 et 2.1.2 ci-dessus doit se faire hors gel, à l'abri de la pluie, et le cas échéant, dans des conditions garantissant que leur température à cœur reste, en toutes circonstances, inférieure à la température définie en 2.4.3.

3. Énoncé de la règle

3.1. Pour répondre aux dispositions réglementaires rappelées en 1, la transmission par la Compagnie générale des matières nucléaires du document intitulé « spécifications des déchets cimentés issus des usines de retraitement UP2 et UP3-A de La Hague » de juillet 1984, est acceptée dans les conditions générales définies en 3 de la règle fondamentale de sûreté n° III.2.a en date du 24 septembre 1982, et dans les conditions particulières ci-après.

3.2. La Compagnie générale des matières nucléaires applique les dispositions particulières exposées en 2 ci-avant.

3.3. La Compagnie générale des matières nucléaires poursuit les études relatives, en particulier, aux dispositions suivantes :

3.3.1. Traitement séparé des pièces massives d'extrémités avec conditionnement adapté.

3.3.2. Traitement des morceaux de gaines avec les opérations ci-après :

- traitement particulier de réduction de volume, par exemple par fusion métallique avec, si possible, purification de ce métal en radioéléments émetteurs alpha ou par compactage ;
- conditionnement adapté.

3.3.3. Traitements des autres déchets avec :

- récupération des matières fissibles, par exemple, par broyage et lixiviation ou par digestion acide ;
- réduction du volume, par exemple par incinération ou par fusion métallique avec conditionnement adapté.

3.3.4. Caractérisation des déchets conditionnés conformément au paragraphe 2.4 ci-dessus.

3.4. La Compagnie générale des matières nucléaires transmettra à la fin de chaque année, au Service central de sûreté des installations nucléaires, un dossier faisant le point des travaux mentionnés en 3.3 en application des paragraphes 3.6 et 3.8 de la règle fondamentale de sûreté n° III.2.a en date du 24 septembre 1982.

4. Commentaires

(Les valeurs numériques énoncées dans ce paragraphe sont fournies à titre indicatif)

4.1. Les volumes des pièces massives d'extrémités et des morceaux de gaines et fragments de pièces de structures résultant du traitement d'une tonne d'uranium sont respectivement de 40 et 360 litres. L'activité totale est de 13 300 Ci pour les radioéléments émetteurs bêta-gamma et de 2 Ci pour les radioéléments émetteur alpha.

La quantité de déchet conditionné est de 0,5 colis de 4 000 kg par tonne d'uranium traité.

4.2. Le volume des équipements rebutés en provenance des zones 4 et des poubelles en provenance des laboratoires d'analyse résultant du traitement d'une tonne d'uranium est de 600 litres. L'activité correspondante est de 20 Ci pour les radioéléments émetteurs bêta-gamma et de 2 Ci pour les radioéléments émetteurs alpha.

La quantité de déchet conditionné est de 1 colis de 2 000 kg par tonne d'uranium traité.

4.3. Le volume des équipements, vêtements et matériaux d'emballage en provenance des différents ateliers résultant du traitement d'une tonne d'uranium est de 1 000 litres après compactage. L'activité correspondante est de 10 Ci pour les radioéléments émetteurs bêta-gamma et de 0,1 Ci pour les radioéléments émetteurs alpha.

La quantité de déchet conditionné est de 5,2 colis de 1 300 kg par tonne d'uranium traité.

RÈGLE N° III.2.e

(31 octobre 1986)

(Texte non paru au Journal officiel)

Révision du 29 mai 1995

Tome III : Production, contrôle et traitement des effluents et déchets.

Chapitre 2 : Déchets radioactifs.

OBJET : Conditions préalables à l'agrément des colis de déchets radioactifs solides destinés à être stockés en surface.

Domaine d'application : Installations destinées au stockage en surface de déchets radioactifs solides de période courte ou moyenne, et de faible ou moyenne activité massique.

1. Objet de la règle

La présente règle a pour objet de préciser les conditions jugées nécessaires par la direction de la sûreté des installations nucléaires, relatives à l'agrément, par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), des colis de déchets radioactifs solides destinés au stockage en surface.

Elle complète la règle fondamentale de sûreté I.2, révision n° 1, en date du 19 juin 1984, relative aux objectifs de sûreté et bases de conception pour les centres de surface destinés au stockage à long terme de déchets radioactifs solides de période courte ou moyenne et de faible ou moyenne activité massique.

Elle ne préjuge pas des éventuelles dispositions complémentaires particulières de sûreté prises pour tenir compte des caractéristiques de chaque installation de stockage à long terme de déchets radioactifs, ni des prescriptions techniques imposées à l'exploitant à la suite de l'examen des rapports de sûreté correspondants.

Elle ne préjuge pas non plus des conditions supplémentaires à celles de l'agrément requises par l'ANDRA pour l'acceptation des colis de déchets radioactifs sur ses sites de stockage en surface.

Toute divergence d'appréciation entre l'ANDRA et les producteurs de déchets, dans l'application de cette règle fondamentale de sûreté, peut être soumise aux ministres chargés de l'industrie et de l'environnement (direction de la sûreté des installations nucléaires).

D'autre part, la présente règle ne concerne pas les opérations de transport, manutention et entreposage des colis de déchets radioactifs.

Outre le respect des dispositions de la présente règle, les déchets radioactifs doivent être conformes aux prescriptions applicables aux installations dont ils proviennent, et, notamment, pour les installations nucléaires de base, aux prescriptions contenues dans les décrets d'autorisation de création, et à celles imposées par les ministres chargés de l'industrie et de l'environnement.

2. Objectifs de sûreté

Les colis participent à la sûreté des centres de stockage en surface, en particulier, en tant que premier système de confinement tel qu'il est défini dans la règle fondamentale de sûreté I.2. Leurs performances doivent être compatibles avec les exigences de sûreté prises en compte dans la démonstration de sûreté des centres de stockage en surface.

3. Rôle des différents intervenants

3.1. L'ANDRA

L'ANDRA doit notamment :

- aux termes de la loi du 30 décembre 1991 (art. 13) « définir, en conformité avec les règles de sûreté, des spécifications de conditionnement et de stockage des déchets radioactifs » ;
- définir les épreuves techniques associées ;
- en application de la règle fondamentale de sûreté I.2, prononcer un agrément de chaque type de colis de déchets destiné à être stocké en site de surface. Ces colis doivent être fabriqués suivant des procédés dont l'ANDRA « accepte la mise en œuvre pour le contrôle, le traitement et le conditionnement des déchets » ;
- s'assurer du respect, par les producteurs, des conditions fixées par les agréments.

L'ANDRA a la responsabilité, dans le respect des prescriptions techniques de ses INB (installations nucléaires de base), de juger de la pertinence des preuves apportées par les producteurs pour montrer que les objectifs de sûreté visés par la présente règle sont atteints. Dans le cas où les modalités prévues dans la règle ne sont pas respectées, elle doit faire part des conclusions de son examen au directeur de la sûreté des installations nucléaires pour approbation, avant acceptation des colis concernés.

3.2. Les producteurs

Dans le cadre de leur responsabilité d'élimination des déchets, les producteurs doivent notamment mettre en œuvre les moyens permettant de satisfaire les exigences qui découlent de la présente règle.

4. Déchets visés par la règle

Les déchets visés par la présente règle sont tous les déchets radioactifs conditionnés sous forme de colis, destinés au stockage de surface à long terme.

Seuls les déchets solides, ou rendus tels, peuvent être acceptés dans un centre de stockage en surface.

Leur activité résulte principalement de la présence de radionucléides émetteurs bêta ou gamma à période courte ou moyenne : leur teneur en radionucléide à période longue est très faible.

Les déchets sont divisés en deux catégories :

- les déchets radioactifs pour lesquels l'activité massique par radionucléide est inférieure à la limite d'enrobage prescrite ou spécifiée pour l'installation de stockage.

Ces déchets seront appelés par la suite : « déchets non enrobés ». Il s'agit pour cette catégorie des déchets immobilisés ou bloqués ;

- les déchets radioactifs pour lesquels l'activité massique par radionucléide est comprise entre la limite précédente (limite d'enrobage) et la limite maximale d'acceptabilité prescrite ou spécifiée pour l'installation de stockage.

Ces déchets seront appelés par la suite : « déchets enrobés ».

Il peut s'agir pour cette catégorie :

- soit de déchets qui, une fois enrobés dans une matrice, se présentent sous la forme d'une dispersion sensiblement homogène de produits radioactifs dans un conteneur ; le confinement à long terme de la radioactivité est apporté par la résistance à la lixiviation, par l'eau, du déchet dans sa matrice d'enrobage.

Ces déchets seront appelés dans la suite : « déchets enrobés homogènes » ;

- soit de déchets immobilisés dans un conteneur, de manière à former un solide non dispersable comportant le moins de vide possible : le confinement à long terme de la radioactivité est essentiellement assuré par le conteneur et/ou le surenrobage qui entoure le bloc de déchets, mais le déchet immobilisé peut y participer.

Ces déchets seront appelés par la suite : « autres déchets enrobés ».

Dans tous les cas les déchets peuvent être mis dans des conteneurs dits « périssables » ou dans des conteneurs dits « durables ». Si le conteneur durable assure à lui seul le confinement, il est dit : « durable confinant ».

5. Contenu radioactif et non radioactif à respecter pour les colis

5.1. Contenu radioactif des colis

Le producteur doit déterminer et déclarer l'activité des radionucléides présents dans chacun des colis et respecter les limites d'activité massique spécifiées par l'ANDRA.

Il doit également décrire, dans le cadre de la procédure d'agrément des colis et du suivi de cet agrément, les méthodologies de mesure employées, les moyens mis en œuvre ainsi que la qualification de ces derniers et les incertitudes associées.

5.2. Contenu non radioactif des colis

Le producteur doit identifier les déchets contenant en quantité notable des agents complexants. Ces déchets doivent faire l'objet d'un traitement propre à détruire ces agents ou à inhiber leurs propriétés complexantes, dès lors qu'il n'est pas démontré que le conditionnement immobilise efficacement les complexes dans l'enrobé.

Le producteur de déchets doit également s'assurer que les déchets ne contiennent pas de substances dont la nuisance potentielle principale n'aurait pas pour origine la radioactivité, et en particulier de substances toxiques chimiques ou biologiques, ou de substances susceptibles de donner lieu spontanément à une réaction chimique exothermique.

Dans tous les cas, le contenu des déchets en éléments toxiques chimiques devra être identifié afin de déterminer si les quantités contenues dans ces déchets sont compatibles avec les limites fixées dans les études d'impact des centres de stockage.

Les déchets conditionnés ne doivent pas, par ailleurs, contenir de liquide organique, ni de liquide aqueux libre, ni de substances réagissant avec la matrice d'immobilisation ou d'enrobage.

Pour ce qui concerne les déchets primaires susceptibles d'avoir un certain degré d'humidité intrinsèque (matériaux absorbants), ils doivent être traités de manière spécifique pour éliminer au maximum l'eau éventuellement retenue.

6. Modalités d'agrément des colis

L'ANDRA traduit les caractéristiques à satisfaire pour les colis, notamment celles qui sont visées dans la présente règle, en critères spécifiés. Cet ensemble de critères fait partie des spécifications techniques établies par l'ANDRA selon l'état des techniques et connaissances du moment.

Chaque type de colis doit faire l'objet d'un dossier d'agrément soumis par le producteur à l'ANDRA, en vue de son acceptation par cet organisme.

L'instruction de la demande d'agrément est réalisée selon une procédure établie par l'ANDRA.

Le dossier de demande d'agrément doit notamment comprendre :

- une description du procédé d'élaboration du colis ;
- une description des méthodes de détermination de l'activité présente dans les colis et les éléments de qualification de ces méthodes ;
- un dossier technique de caractérisation destiné à apporter la preuve que les colis de déchets conditionnés suivant un procédé déterminé répondent aux conditions fixées dans les spécifications techniques correspondantes ;
- les dispositions d'assurance de la qualité prises par le producteur et applicables à l'ensemble des opérations liées à la fabrication et à la détermination des caractéristiques des colis de déchets.

7. Caractéristiques visées pour les colis de déchets

7.1. Caractéristiques communes à tous les colis

Les performances de confinement des colis s'expriment en termes de fraction annuelle d'activité relâchée (FAR).

De plus, le conditionnement des colis de déchets doit assurer :

- la compacité des déchets ;
- la fixation de l'humidité résiduelle ;
- les conditions pour que les déchets ne soient pas dispersables ;
- le remplissage aussi complet que possible du volume utile.

Par ailleurs, tout colis de déchets doit posséder des caractéristiques mécaniques compatibles avec la tenue mécanique de l'ouvrage dans lequel il est stocké afin de

ne pas altérer la stabilité de ce dernier durant toute la période de surveillance. En tout état de cause, tout colis de déchets doit pouvoir supporter une charge correspondant à une contrainte de 0,35 MPa sans présenter de déformation relative verticale supérieure à 3 %.

7.2. Caractéristiques spécifiques aux colis de déchets enrobés

Les colis complets ou leurs éléments constitutifs doivent présenter certaines caractéristiques spécifiques relatives :

- au confinement des matières radioactives qu'ils contiennent ;
- à leur résistance aux cycles thermiques ;
- à leur tenue sous rayonnement.

7.2.1. Confinement des radionucléides.

a) Résistance à la lixiviation des déchets enrobés homogènes :

Pour ces déchets, les fractions annuelles d'activité relâchée (FAR) sont déterminées à partir des essais de résistance à la lixiviation qui doivent être effectués sur des échantillons de déchets enrobés actifs suivant la procédure décrite en annexe II.1 de la présente règle, l'eau utilisée comme lixiviant ayant la composition indiquée en annexe II.2.

La limite supérieure fixée pour la fraction d'activité relâchée correspondant à une année d'essai au régime donnant le flux maximum après 90 jours (FAR limite) pour un colis est de :

- $1 \cdot 10^{-1}$ an⁻¹ pour chaque radionucléide émetteur bêta-gamma (¹⁴³), hors tritium, lorsque l'activité massique du déchet pour ce radionucléide est comprise entre le seuil d'enrobage et 37 MBq/kg (1 Ci/t) ;
- $2 \cdot 8 \cdot 10^{-2}$ an⁻¹ pour chaque radionucléide émetteur bêta-gamma (¹⁴³), hors tritium, lorsque l'activité massique du déchet pour ce radionucléide est comprise entre 37 et 370 MBq/kg (entre 1 et 10 Ci/t) ;
- $7 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ an⁻¹ pour chaque radionucléide émetteur bêta-gamma (¹⁴³), hors tritium, lorsque l'activité massique du déchet pour ce radionucléide est supérieure à 370 MBq/kg (10 Ci/t) ;
- $2 \cdot 10^{-4}$ an⁻¹ pour chacun des radionucléides émetteurs alpha (¹⁴³).

La masse prise en compte dans le calcul de l'activité massique comprend, outre le déchet lui-même, les matériaux de confinement qui l'enveloppent pour former le colis destiné à être mis en place dans l'ouvrage de stockage, à l'exclusion des matériaux utilisés pour assurer la protection biologique ou la tenue mécanique et qui ne jouent pas de rôle de confinement.

b) Performances de confinement des autres déchets enrobés :

Pour ces déchets, les fractions annuelles d'activité relâchée (FAR) doivent être appréciées à l'aide d'un programme d'évaluation, défini pour chaque cas dans le dossier d'agrément soumis à l'ANDRA, en prenant éventuellement en compte le temps nécessaire à l'établissement effectif du relâchement pour apporter la correction due à la décroissance radioactive.

Ce programme peut éventuellement comprendre :

- une évaluation de l'activité mobilisable, en fonction du temps, pour le transfert de chaque radionucléide (¹⁴³) contenu dans le déchet enrobé à partir de son activité totale et de sa forme physico-chimique ;

(143) Liste fixée dans les prescriptions techniques du centre de stockage.

des essais réalisés, conformément à la procédure ou au principe décrits en annexes II et III de la présente règle, sur éprouvettes représentatives suivant les cas : du conteneur, du surenrobage ou du matériau intervenant dans la réalisation du colis lorsque ceux-ci participent au confinement ; ces essais visent à fournir les éléments nécessaires au calcul du transfert des radionucléides émetteurs bêta-gamma⁽¹⁴⁴⁾, hors tritium et émetteurs alpha⁽¹⁴⁴⁾.

Les résultats de ces essais doivent conduire à l'évaluation des fractions d'activité relâchables annuellement au régime correspondant au flux maximum de transfert, ainsi qu'à celle du temps nécessaire à l'établissement de ce régime.

Dans le cas où le confinement serait assuré à la fois par le matériau de blocage et par un surenrobage ou un conteneur, et de manière générale, par plusieurs matériaux confinants, l'effet global des matériaux peut être pris en compte dans l'évaluation de la fraction annuelle d'activité relâchable.

Pour ce type de colis, la limite supérieure fixée pour la fraction annuelle d'activité relâchable (FAR limite) est de $7.3.10^{-3}$ an⁻¹ pour chaque radionucléide émetteur bêta-gamma⁽¹⁴⁴⁾.

c) Cas du tritium.

Pour tous les colis de déchets enrobés, le taux global de relâchement potentiel du tritium, sous forme liquide ou gazeuse, ne doit pas conduire à une fraction annuelle d'activité relâchable supérieure à 5.10^{-2} an⁻¹.

d) Propriétés du conteneur :

Le producteur de déchets doit fournir les éléments permettant à l'ANDRA de vérifier la stabilité dans le temps des propriétés du conteneur, avec son système de fermeture, et du surenrobage éventuel. Dans la suite, le terme « enveloppe » désignera l'ensemble du conteneur et du surenrobage éventuel.

7.2.2. Continuité de l'enveloppe.

Dans le cas des autres déchets enrobés, des essais doivent être effectués, pour permettre d'apprécier l'homogénéité et la continuité de l'enveloppe.

7.2.3. Résistance aux cycles thermiques.

L'enveloppe, lorsqu'elle est appelée à jouer un rôle dans le confinement à long terme des radionucléides, dans la tenue mécanique du colis et dans la protection contre l'irradiation externe, doit conserver ses propriétés dans les domaines précédents, après recyclage thermique.

De même, les déchets enrobés ne doivent pas être affectés de manière telle que cela ait une action significative sur leur fraction d'activité relâchable.

Les essais à réaliser comportent 5 cycles thermiques entre -20 °C et +5 °C, et 5 cycles thermiques entre +5 °C et +40 °C après aspersion d'eau, suivant une procédure définie en annexe IV de la présente règle fondamentale de sûreté.

a) Cas des déchets enrobés homogènes :

Des échantillons de déchets enrobés homogènes réels ou simulés sont soumis à des essais de cyclage thermique, sauf si le producteur apporte la démonstration du pouvoir d'isolant thermique du conteneur.

Après essais, si ces échantillons présentent des défauts (fissures, gonflement, etc.) susceptibles d'altérer le pouvoir de confinement des radionucléides contenus, des essais complémentaires de lixiviation doivent être effectués dans les conditions définies dans les épreuves techniques de l'ANDRA.

(144) Liste fixée dans les prescriptions techniques du centre de stockage.

D'autre part, la variation de la résistance mécanique, considérée comme représentative de la qualité de l'enrobé et définie ci-dessous, doit être inférieure à 20 %. Pour les déchets enrobés dans un liant hydraulique, ce contrôle doit porter sur la résistance mécanique à la compression, à déterminer sur des éprouvettes par une méthode s'inspirant de la norme NF P 18-406 ; pour les déchets enrobés dans un polymère, il doit porter sur la résistance mécanique à la compression ou à la traction, à déterminer sur des éprouvettes par une méthode s'inspirant de la norme NF T 51-101 ou NF T 51-034 (respectivement) ; enfin, pour les déchets enrobés dans d'autres matrices, il doit porter sur la mise en œuvre d'un test approprié.

Par ailleurs, lorsque le conteneur (durable ou durable confinant) apporte une étanchéité au déchet enrobé, ou participe à la tenue mécanique du colis ou à la protection contre l'irradiation externe, le colis complet ou les parties du colis réputées les plus sensibles aux effets des variations de température doivent être soumis à l'essai et ne doivent pas présenter à son issue :

- de réseau généralisé de fines fissures ;
- de fissure de largeur supérieure à 0,3 millimètre ;
- d'amorce de rupture localisée.

b) Cas des autres déchets enrobés :

Les colis de déchets réels ou simulés complets, ou parties de colis réputées les plus sensibles aux effets des variations de température, doivent être soumis à l'essai, ils ne doivent pas présenter à son issue :

- de réseau généralisé de fines fissures ;
- de fissure de largeur supérieure à 0,3 millimètre ;
- d'amorce de rupture localisée.

D'autre part, la variation de la résistance mécanique, considérée comme représentative de la qualité du colis et définie ci-dessous, doit être inférieure à 20 %. Ce contrôle doit porter sur la résistance mécanique en flexion, à déterminer sur des éprouvettes prélevées dans les parties réputées les plus sensibles aux efforts mécaniques du colis de déchets par une méthode normalisée. L'étude de la courbe effort-déformation doit être conduite jusqu'à la rupture.

7.2.4. Résistance à l'irradiation bêta-gamma.

a) Cas des déchets enrobés homogènes :

Pour les déchets enrobés homogènes dont le débit de dose au contact est supérieur ou égal à $1,4 \times 10^{-4}$ Gy/s (50 rad/h), le déchet, réel ou simulé, ou un échantillon représentatif, doit être soumis à une exposition dans un irradiateur dont le débit de dose est inférieur ou égal à $5,6 \times 10^{-2}$ Gy/s (2×10^4 rad/h), jusqu'à une dose de 1×10^5 Gy (1×10^7 rad). Si l'activité contenue dans le déchet est supposée engendrer une dose supérieure à cette valeur à 300 ans, les essais doivent être effectués au minimum à la dose supposée engendrée.

Après irradiation, la variation de la résistance mécanique, considérée comme représentative de la qualité de l'enrobé et définie en 7.2.3.a ci-dessus, doit être inférieure à 20 %.

Après essais, si ces échantillons présentent des défauts (fissures, gonflement, etc.) susceptibles d'altérer le pouvoir de confinement des radionucléides contenus, des essais complémentaires de lixiviation doivent être effectués dans les conditions définies en annexe II de la présente règle fondamentale de sûreté.

b) Cas des autres déchets enrobés :

Concernant les autres déchets enrobés dont le débit de dose au contact est supérieur ou égal à $1,4 \times 10^{-4}$ Gy/s (50 rad/h), le matériau de remplissage, le surenrobage éventuel et le conteneur doivent être soumis à des essais représentatifs d'irradiation qui doivent mettre en évidence un comportement satisfaisant de ces éléments.

Après irradiation, la variation de la résistance mécanique, considérée comme représentative de la qualité du colis et définie en 7.2.3.b ci-dessus, doit être inférieure à 20 %.

Après essais, si les éléments éprouvés présentent des défauts susceptibles d'altérer le pouvoir de confinement des radionucléides contenus, une évaluation complémentaire des performances de confinement doit être effectuée dans des conditions analogues à celles définies dans le programme d'évaluation du confinement (§ 7.2.1.b).

c) Cas général :

Dans tous les cas, les caractéristiques des déchets doivent être telles que la production de gaz de radiolyse en puisse pas affecter l'intégrité de l'enveloppe.

8. Assurance et contrôle de la qualité

Le colis de déchets est un élément important pour la sûreté des centres de stockage de surface.

En conséquence, l'ANDRA, dans le cadre des dispositions prévues dans l'arrêté du 10 août 1984 et notamment de l'article 4, devra considérer les producteurs de déchets comme prestataires.

L'ANDRA s'assurera, notamment au moyen d'audits et de contrôles, qu'une organisation qualité existe chez les producteurs de déchets, leur permettant de garantir la conformité des colis de déchets produits aux spécifications correspondantes qu'elle a définies.

L'ANDRA devra établir, chaque année, au titre du retour d'expérience :

- le bilan des actions menées en matière d'agrément ;
- le bilan des audits et des contrôles exercés sur les producteurs concernant l'application des spécifications techniques, en particulier, le bilan des non-conformités ;
- le bilan des opérations d'expertise qu'elle réalise sur des colis prélevés dans la production industrielle (opérations appelées « supercontrôles ») ;
- le bilan de la méthodologie de détermination de l'activité.

ANNEXE I Glossaire

Agrément de colis :

Décision préalable à la prise en charge des colis correspondants, par laquelle l'ANDRA prend acte que les colis sont fabriqués et mesurés suivant des procédés dont elle « accepte la mise en œuvre pour le contrôle, le traitement et le conditionnement des déchets ». (Extrait de la règle fondamentale de sûreté I.2.)

Colis :

Ensemble formé d'un emballage non récupérable rempli de son contenu de déchets radioactifs, conditionnés ou non⁽¹⁴⁵⁾.

Confinement :

Maintien de matières radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé, grâce à un ensemble de dispositions visant à empêcher leur dispersion en quantités inacceptables au-delà de cet espace. Par extension, ensemble des dispositions prises pour assurer ce maintien⁽¹⁴⁶⁾.

(145) Extrait du projet d'arrêté de terminologie d'avril 1993 relatif à l'enrichissement de la terminologie de l'industrie nucléaire.

(146) Extrait de l'arrêté du 30 novembre 1989 relatif à l'enrichissement de la terminologie de l'ingénierie nucléaire.

Conteneur :

Récipient fermé destiné au transport, à l'entreposage ou au stockage de matières radioactives.

Conteneur durable :

Se dit d'un conteneur destiné à résister durant 300 ans aux contraintes mécaniques imposées et qui protège, pendant cette durée, le bloc de déchets d'une agression par les eaux d'infiltration (fonction d'isolement).

Conteneur durable confinant :

Se dit d'un conteneur durable présentant un caractère confinant (maintien durant 300 ans de la rétention de la radioactivité « fonction de confinement »).

Conteneur périssable :

Se dit d'un conteneur dont les caractéristiques physiques (matériau constitutif, épaisseur...) sont telles qu'on ne puisse pas garantir sa durée de vie dans les conditions de stockage.

Enrobage :

L'enrobage des déchets consiste en un conditionnement dont la qualité permet d'assurer le confinement à long terme de la radioactivité.

Enveloppe :

L'enveloppe désigne l'ensemble du conteneur et du surenrobage éventuel.

Epreuves techniques :

Protocoles relatifs aux essais permettant d'évaluer les caractéristiques des colis en vue de la comparaison de celles-ci avec les caractéristiques techniques imposées dans les spécifications techniques.

Immobilisation ou blocage :

L'immobilisation ou le blocage consiste à emprisonner les déchets en un bloc solide, compact et stable, physiquement non dispersable, remplissant aussi complètement que possible l'enveloppe dans laquelle il est contenu et possédant la tenue mécanique requise.

Limite d'enrobage :

Valeur d'activité massique, définie pour l'installation de stockage par les prescriptions techniques (limites prescrites) ou les spécifications techniques de l'ANDRA (limites spécifiées), au-dessus de laquelle les déchets doivent être obligatoirement enrobés.

Limite maximale d'acceptabilité :

Valeur d'activité massique, définie pour l'installation de stockage par les prescriptions techniques (limites prescrites) ou les spécifications techniques de l'ANDRA (limites spécifiées), au-dessus de laquelle les déchets ne peuvent être stockés dans cette installation.

Prescriptions techniques :

Contraintes réglementaires imposées à l'exploitant par les autorités de sûreté.

Spécifications techniques :

Ensemble des conditions et caractéristiques techniques que doivent satisfaire les différents types de colis contenant des déchets radioactifs pour être admis sur un centre de surface.

Surenrobage :

Couche continue de matériau entourant les déchets bloqués (immobilisés) assurant le confinement.

ANNEXE II

Procédure type d'essais de lixiviation par l'eau des déchets enrobés homogènes

ANNEXE II.1

1. Objet.
2. Domaine d'application.
3. Principe.
4. Conditions d'essai.
5. Echantillons.
6. Mode opératoire.
7. Expression des résultats.
8. Procès-verbal d'essai.

ANNEXE II.2

Définition de l'eau de lixiviation à utiliser.

ANNEXE II.1

Rappel :

La FAR est une généralisation de la FAL à tous les types de colis.

La FAR déterminée dans la présente annexe correspond au cas $FAR_{lixiviation} = FAL$.

1. Objet

L'annexe II.1 a pour objet de décrire les conditions opératoires de lixiviation types permettant d'obtenir des résultats d'essais applicables à des déchets enrobés homogènes destinés à être stockés en surface. Cette procédure dérive de la norme ISO 6961.

2. Domaine d'application

Ces conditions s'appliquent à des échantillons de déchets enrobés homogènes de petite taille, et aux blocs à l'échelle 1.

3. Principe

Il est basé sur une lixiviation par l'eau définie en annexe II.2, statique, à la pression atmosphérique, à la température de $20^{\circ}\text{C} = 3^{\circ}\text{C}$ et pendant une durée déterminée, de l'échantillon.

4. Conditions d'essai

Le matériau de constitution de la cuve d'essais doit satisfaire aux conditions suivantes :

- ne pas réagir chimiquement avec le liquide de lixiviation ;
- résister aux doses d'irradiation reçues pendant la durée de l'essai ;
- absorber le moins possible d'ions ou de particules actifs ou inactifs présents dans le liquide de lixiviation.

Les dimensions de la cuve sont choisies de telle sorte que l'on ait :

$$0,1 \text{ m} < \frac{\text{Volume du lixiviant (Q1)}}{\text{Surface géométrique exposée de l'échantillon}} < 0,2 \text{ m}$$

Pendant toute la durée de l'essai, la cuve doit être couverte afin d'éviter une perte de liquide de lixiviation par évaporation supérieure à 10 % du volume total. La température du liquide de lixiviation doit être régulée et contrôlée.

Dans tous les cas, les dimensions de la cuve doivent être telles que les petits échantillons soient entourés d'au moins 1 centimètre de liquide de lixiviation dans toutes les directions et de 10 centimètres pour les échantillons à l'échelle 1. D'autre part, le support de l'échantillon est tel que sa surface de contact avec ce dernier soit la plus faible possible.

5. Echantillons

5.1. Définitions

5.1.1. Echantillons de petite taille.

Les échantillons se présentent sous la forme de cylindres droits de diamètre compris entre 50 et 200 millimètres.

La dimension de 80 millimètres = 5 millimètres pour le diamètre et la hauteur est recommandée.

5.1.2. Echantillons à l'échelle 1.

Les échantillons à l'échelle 1, mis en lixiviation, sont des enrobés de la dimension des blocs industriels.

5.2. Mode d'obtention

Les échantillons destinés aux essais de lixiviation sont :

- soit fabriqués en laboratoire avec des proportions des différents constituants dans l'échantillon et des conditions d'élaboration représentatives de celles de la fabrication industrielle ;
- soit prélevés sur des colis réels provenant de la chaîne de fabrication ou du pilote.

5.2.1. Echantillons de petite taille.

Ils sont obtenus :

- soit par préparation en laboratoire ;
- soit par prélèvement avant solidification d'un volume d'enrobé sur la chaîne de fabrication ou sur le pilote ;
- soit par carottage dans un enrobé réel solidifié.

5.2.2. Echantillons à l'échelle 1.

Dans ce cas, un colis est prélevé à la sortie de la chaîne de fabrication pilote ou industrielle. L'essai est effectué sur le déchet enrobé, extrait de son conteneur.

5.3. Activité initiale (A_0)

A_0 est déterminée pour chaque radionucléide, ou famille de radionucléides, sur les éprouvettes (ou des aliquotes représentatives de ces éprouvettes) par des méthodes d'analyse et de mesure adaptées à la nature et au niveau d'intensité des rayonnements émis, en s'assurant que la précision des résultats est au moins égale à celle obtenue sur les mesures de l'activité extraite par lixiviation.

5.4. Préparation

5.4.1. Echantillons de ciment et de béton.

Nota : Cette procédure s'applique également aux échantillons de liants composites (ciment-bitume, ciment polymère, etc.).

5.4.1.1. Moulage.

Dans le cas où l'échantillon est préparé par moulage, les conditions de prise et de conservation (temps de prise, température, humidité) sont rapportées dans le procès-verbal d'essai.

5.4.1.2. Carottage.

Dans le cas où l'échantillon est obtenu à partir d'un bloc à l'échelle 1, le prélèvement est effectué, après solidification, par carottage à sec de préférence.

5.4.2. Echantillons de polymère.

5.4.2.1. Moulage.

Les échantillons de petite taille sont préparés dans des moules après malaxage de l'enrobé en laboratoire, ou par prélèvement sur la chaîne industrielle, puis ils sont portés à l'étuve dans les mêmes conditions de temps et de température de polymérisation que celles des blocs industriels.

5.4.2.2. Carottage.

En cas d'utilisation d'un lubrifiant tel que l'eau pour faciliter le prélèvement, l'effet éventuel du lubrifiant sur la carotte est contrôlé.

5.4.3. Echantillons de bitume.

5.4.3.1. Moulage.

Pour éviter l'adhérence de l'enrobé sur les parois du moule, ce dernier est soit porté préalablement à la température de coulée du bitume, soit tapissé intérieurement de papier sulfurisé.

Dans le cas où la consistance de l'enrobé fait craindre un fluage, il n'est procédé qu'à une mise à nu partielle de l'enrobé. L'aire de la surface prise en compte lors des essais de lixiviation correspond à celle de la partie dépouillée.

5.4.3.2. Carottage.

Le prélèvement de l'échantillon est effectué de la même manière que pour les polymères et les liants hydrauliques.

6. Mode opératoire

6.1. Nombre d'échantillons testés

6.1.1. Echantillons de petite taille.

Les essais de résistance à la lixiviation sont effectués sur au moins trois échantillons de petite taille. Ceux-ci sont prélevés sur un minimum de deux fabrications différentes.

6.1.2. Echantillons à l'échelle 1.

Les essais de résistance à la lixiviation sont réalisés sur deux échantillons au moins provenant de deux fabrications différentes.

6.2. Renouvellement du liquide de lixiviation

Au début de chaque opération de lixiviation, l'échantillon est immergé dans un récipient contenant le liquide de lixiviation dont les caractéristiques sont définies en annexe II.2.

A la fin de chaque opération de lixiviation, dont la durée est précisée au paragraphe 6.3 ci-dessous, l'échantillon est retiré du récipient et transféré immédiatement, sans séchage, dans un récipient identique pour y subir l'opération suivante. Le liquide de lixiviation est recueilli de façon à récupérer les matières en suspension. Des rin-

çages ou toute autre méthode de décontamination sont effectués afin de prendre en compte les matières déposées ou absorbées sur les parois de l'appareillage. Un contrôle de la contamination radioactive de surface permet de vérifier l'efficacité de ces opérations.

6.3. Durée des opérations de lixiviation

Le nombre d'opérations doit être suffisant pour atteindre un régime quasi permanent du phénomène de relâchement en fonction du temps, et déterminer ainsi une vitesse unique de lixiviation.

La première opération est au maximum de 15 jours. La durée totale de l'essai de lixiviation est d'au moins 365 jours.

L'exploitant pourra réduire, le cas échéant, la durée totale de l'essai dès que les progrès dans la compréhension des mécanismes de lixiviation en apporteront les justifications.

6.4. Analyses

Les différents radionucléides contenus dans les déchets sont généralement lixiviés avec des vitesses différentes. Il convient donc de doser les principaux radionucléides ou familles de radionucléides présents dans l'échantillon et dans les liquides et suspensions récupérés après chaque opération.

Dans tous les cas, un bilan global est effectué sur les produits solubles et insolubles ou déposés sur les parois de l'appareillage de lixiviation.

Le cas échéant, des mesures complémentaires sont effectuées sur les solutions récupérées telles que pH, salinité, force ionique, etc.

7. Expression des résultats

7.1. Présentation des résultats

Pour chaque radionucléide analysé les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de graphiques.

Les unités du système international sont utilisées et complétées éventuellement par des unités d'usage courant mises entre parenthèses.

Les caractéristiques suivantes sont étudiées, en particulier :

- la fraction d'activité lixiviée (FL) ;
- la fraction annuelle d'activité lixiviée (FAL).

7.1.1. Fraction d'activité lixiviée ou taux de lixiviation.

La fraction d'activité lixiviée est calculée au terme de chaque séquence de rang i .

Son expression, pour chaque radionucléide, est donnée après un temps de lixiviation Δt , par la formule :

$$FL = \frac{a_i}{A_i}$$

dans laquelle :

a_i est l'activité relâchée pendant l'opération de rang i ;
 A_i est l'activité initiale de l'échantillon calculée au temps $t_0 + \Delta t$
 où t_0 représente le temps initial de l'essai de lixiviation.

Si la période du radionucléide considéré est supérieure à 10 ans, on fait l'approximation $A_i = A_0$ où A_0 représente l'activité de l'échantillon au temps t_0 .

7.1.2. Fraction annuelle d'activité lixiviée.

La fraction annuelle d'activité lixiviée est exprimée par la relation approchée suivante :

$$FAL = \sum \frac{a_i}{A_i}$$

qui somme les fractions relâchées pendant une année de lixiviation en régime permanent ou quasi permanent.

La phase initiale de lixiviation (régime transitoire), parfois irrégulière, n'est donc pas prise en considération dans la détermination de la fraction annuelle d'activité lixiviée. Sa durée n'excède pas, en général, 90 jours. Par ailleurs, la fraction d'activité relâchée au cours de cette phase initiale doit rester inférieure à la fraction annuelle d'activité relâchée fixée par la présente règle fondamentale de sûreté (FAR limite).

Dans le cas où la fraction annuelle d'activité lixiviée est obtenue à partir d'un échantillon de taille différente de celle du bloc d'enrobé réel, cette dernière est affectée d'une correction basée sur l'hypothèse d'une vitesse de lixiviation identique du bloc d'enrobé réel et de l'échantillon.

$$FAL = \left(\sum \frac{a_i}{A_i} \right) \cdot \frac{V_1}{S_1} \cdot \frac{S}{V}$$

dans laquelle :

- V_1 est le volume initial de l'échantillon.
- S_1 est l'aire de la surface initiale de l'échantillon, exposée au liquide de lixiviation.
- S est la surface du bloc d'enrobé réel.
- V est le volume du bloc d'enrobé réel.

7.1.3. Vitesse de lixiviation moyenne en régime quasi permanent.

La vitesse moyenne de lixiviation est calculée après la phase de lixiviation initiale (cf. paragraphe 7.1.2 ci-dessus). Elle s'exprime pour chaque radionucléide par la formule approchée suivante :

$$R_0 = \left(\sum \frac{a_i}{A_i} \right) \cdot \frac{V}{S \cdot \sum \Delta t_i}$$

dans laquelle :

- R_0 est la vitesse de lixiviation moyenne de l'échantillon à l'échelle 1.
- $\sum \frac{a_i}{A_i}$ est la fraction annuelle d'activité lixiviée (FAL) corrigée éventuellement de l'effet d'échelle (cf. remarque du paragraphe 7.1.2 ci-dessus).
- V est le volume initial de l'enrobé.
- S est la surface géométrique initiale de l'enrobé exposée au liquide de lixiviation.
- $\sum \Delta t_i$ est la durée totale de lixiviation (un an).

7.2. Précision des mesures

Le nombre de mesures, le volume du prélèvement et le temps de comptage sont déterminés de façon à assurer environ une même erreur relative sur chaque détermination.

7.3. Interprétation des résultats

La valeur retenue pour l'essai est la moyenne arithmétique des résultats obtenus pour les différents échantillons. Dans le cas où un de ces résultats dépasse la valeur

limite pour la fraction annuelle d'activité relâchée spécifiée dans la règle fondamentale de sûreté, des essais complémentaires doivent être entrepris en vue de préciser la valeur à retenir pour l'essai, ou pour montrer que le résultat de l'essai n'est pas représentatif.

La fraction annuelle d'activité lixiviée (FAL) ne doit pas excéder la fraction annuelle d'activité relâchée (FAR limite) spécifiée dans la présente règle.

8. Procès-verbal d'essai

Un procès-verbal d'essai est établi par le laboratoire concerné.

Il comprend :

- l'identification précise de l'échantillon ;
- le mode de préparation ou d'obtention de l'échantillon ;
- les méthodes de mesures mises en œuvre ;
- les résultats obtenus présentés sous forme de tableaux et de graphiques faisant apparaître les marges d'incertitude ;
- la date de dernier étalonnage des installations d'essais et de mesures ;
- le nom de la (ou des) personne(s) ayant réalisé l'essai ;
- la date et la signature du responsable des essais.

Enfin, tout détail opératoire, ou toute modification dans les méthodes d'essai, non conforme aux conditions générales, ou susceptibles d'avoir une incidence sur les résultats obtenus est consigné dans le procès-verbal.

ANNEXE II.2

Caractéristiques de l'eau à utiliser

Caractéristiques à respecter :

- pH : 7,5 = 0,5 ;
- résistivité à 20 °C : 1,10³ Ω.cm environ ;
- extrait sec à 110 °C : 450 = 45 mg/l.

Composition :

- cations (valeurs a = 10 %) :
 - Ca²⁺ : 3 meq/l ou 60 mg/l ;
 - Mg²⁺ : 0,5 meq/l ou 6 mg/l ;
 - Na⁺ : 2 meq/l ou 46 mg/l ;
 - K⁺ : 1 meq/l ou 39 mg/l ;
 - NH₄⁺ : 0,02 meq/l ou 0,4 mg/l.
 - anions (valeurs à = 10 %) :
 - HCO⁻ : 2,5 meq/l ou 152 mg/l ;
 - Cl⁻ : 2 meq/l ou 71 mg/l ;
 - SO₄²⁻ : 1,7 meq/l ou 81,6 mg/l ;
 - NO₃⁻ : 0,3 meq/l ou 19 mg/l.
- Equivalent SiO₂ soluble : 0,08 meq/l ou 3 mg/l.

ANNEXE III

Principe des essais de diffusion par l'eau des autres déchets enrobés

1. Objet.
2. Principe.
3. Expression des résultats.

Rappel :

La FAR est une généralisation de la FAL à tous les types de colis.

La FAR déterminée dans la présente annexe correspond au cas FAR_{diffusion} alors que la FAR déterminée dans l'annexe II.1 correspond au cas FAR_{lixiviation} = FAL.

1. Objet

Les essais de diffusion sont appliqués aux colis de déchets enrobés autres que les déchets enrobés homogènes, d'activité massique supérieure au seuil d'enrobage, dont le confinement est assuré par un surenrobage (conditionnés en conteneur périssable ou durable) ou par un conteneur durable confinant.

2. Principe

La méthode consiste à mesurer le coefficient de diffusion de l'eau tritiée (³H₂O), à travers une éprouvette du matériau assurant le confinement des déchets, appelé matériau confinant. Cette éprouvette est placée dans une cellule de diffusion. Un dispositif expérimental de mesure est présenté en figure 1.

La quantité de radionucléides qui diffuse à travers l'échantillon est mesurée en fonction du temps. Cette mesure permet de déduire le coefficient de diffusion effectif du radionucléide dans le matériau étudié. Ce coefficient de diffusion est indépendant de l'épaisseur de celui-ci.

3. Expression des résultats

3.1. Relation entre la fraction annuelle d'activité relâchée et le coefficient de diffusion

La quantité d'éléments qui diffuse à travers une paroi est comparable, en régime permanent, aux quantités relâchées par lixiviation en régime permanent ou quasi permanent (voir paragraphe 7.1.2 de l'annexe II).

La considération des lois de relâchement permet d'en déduire l'équivalence :

$$\frac{De}{L} = R$$

avec :

- D_e [cm² J⁻¹] : coefficient de diffusion effectif.
- L [cm] : épaisseur de la paroi (épaisseur du matériau confinant dans le cas du colis).
- R [cm. J⁻¹] : vitesse de lixiviation équivalente.

Le paragraphe 7.1.3 de l'annexe II montre comment la vitesse de lixiviation d'un enrobé homogène est reliée à la FAL (fraction annuelle d'activité lixiviée).

De façon analogue, la mesure du coefficient de diffusion du matériau confinant permet de calculer l'équivalent de la FAL.

On obtient alors :

$$FAR = \frac{De}{L} \frac{S}{V} 365 \quad (\text{voir paragraphe 7.1.3 de l'annexe II})$$

avec :

- FAR [an⁻¹] : équivalent de la fraction annuelle d'activité lixiviée ou fraction annuelle d'activité relâchée.
- V [cm³] : volume contenant initialement l'activité du colis (volume actif).
- S [cm²] : surface diffusante du colis, calculée en considérant le volume actif V et l'épaisseur du matériau confinant.

3.2. Interprétation des résultats

La fraction annuelle d'activité relâchée (FAR), ainsi calculée, ne doit pas excéder la fraction annuelle d'activité relâchée (FAR limite) spécifiée dans la présente règle.

(⁴⁰) Suivant la nature du matériau, le choix de l'eau tritiée ou d'un autre radionucléide est fixé, pour chaque cas, en accord avec l'ANDRA, dans le cadre du programme d'évaluation défini au paragraphe 7.2.1 b du texte de la présente règle.

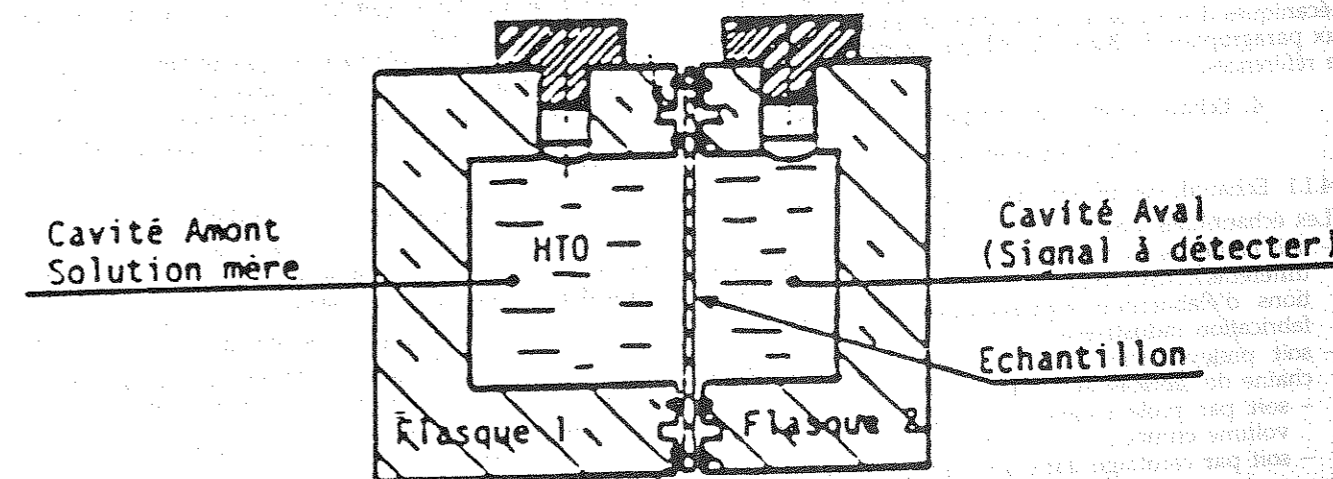


FIGURE 1

ANNEXE IV

Procédure type de détermination de la résistance aux cycles thermiques des colis de déchets

- Objet.
- Domaine d'application.
- Principe.
- Echantillons, colis ou parties de colis.
- Mode opératoire.
- Expression des résultats.
- Procès-verbal d'essai.

1. Objet

La présente annexe a pour objet de décrire les conditions opératoires des essais destinés à évaluer le comportement, sous l'action de cycles thermiques avec aspersion d'eau, des déchets visés par la règle.

2. Domaine d'application

Dans le cas des déchets homogènes, cet essai s'applique à des échantillons de déchets enrobés, réels ou simulés, sauf s'il est démontré que le conteneur procure une isolation thermique suffisante. Par ailleurs, lorsque le conteneur est appelé à procurer une étanchéité aux déchets enrobés, ou à contribuer à la tenue mécanique des colis ou à la protection contre l'irradiation externe, le colis entier de déchets, réels ou simulés, ou les parties du colis réputées les plus sensibles aux effets des variations de température doivent être soumis à l'essai.

Dans le cas des autres déchets enrobés, l'essai porte sur le colis entier de déchets, réels ou simulés, ou sur les parties du colis réputées les plus sensibles aux effets des variations de température.

3. Principe

L'essai consiste à faire subir aux échantillons, aux colis ou aux parties de colis de déchets, une série de 10 cycles thermiques avec aspersion d'eau. A la fin de cet essai, sont effectués :

a) Un contrôle de l'intégrité des échantillons, des colis ou des parties de colis (aspect, dimensions, présence de fissures).

Dans le cas où les échantillons de déchets enrobés homogènes présentent des défauts apparents à la fin de l'essai, une mesure de la fraction annuelle d'activité relâçable est effectuée sur trois éprouvettes actives.

Dans le cas où les colis ou les parties de colis de déchets présentent des défauts apparents ou des gonflements, le produit est réputé ne pas satisfaire à l'essai.

b) Une évaluation de la variation des caractéristiques mécaniques des éléments considérés, définies dans la règle aux paragraphes 7.2.3 a et 7.2.3 b par rapport aux valeurs de références.

4. Echantillons, colis ou parties de colis

4.1. Mode d'obtention

4.1.1. Echantillons de déchets enrobés homogènes.

Les échantillons destinés aux essais sont :

- soit fabriqués en laboratoire avec des proportions des différents constituants dans l'échantillon et des conditions d'élaboration représentatives de celles de la fabrication industrielle ;
- soit prélevés sur des colis réels provenant de la chaîne de fabrication ou du pilote :
 - soit par prélèvement avant sa solidification d'un volume enrobé ;
 - soit par carottage dans un enrobé réel solidifié.

Le mode d'obtention des éprouvettes est décrit dans les normes NF P 18-406 et NF T 51-101 qui concernent respectivement les résistances mécaniques à la compression des matières pures de liants hydrauliques et de polymères.

4.1.2. Colis de déchets ou parties de colis de déchets.

Les colis de déchets sont réalisés dans des conditions opératoires représentatives de celles de la fabrication industrielle.

Dans le cas où les déchets radioactifs sont simulés, les proportions des différents constituants sont également représentatives.

Les parties de colis de déchets (partie supérieure incluant le couvercle et le joint de scellement ou partie inférieure incluant le fond et le point de scellement) proviennent soit du découpage d'un colis, soit de la fabrication d'une réplique dans des conditions représentatives. Les parties extrêmes sont obturées par une section rigide conçue pour restituer l'étanchéité et permettre l'essai de tenue sous charge.

4.2. Nombre d'échantillons ou de colis

4.2.1. Echantillons de déchets enrobés homogènes.

Les essais sont effectués sur un minimum de trois échantillons.

4.2.2. Colis de déchets ou parties de colis de déchets.

L'essai est au moins effectué sur trois colis de déchets ou sur trois parties de colis de déchets.

5. Mode opératoire

5.1. Opérations préliminaires

Chaque échantillon, colis ou partie de colis soumis à l'essai des cycles thermiques avec aspersion d'eau subit les opérations suivantes :

- pesée ;
- relevé des dimensions ;
- prises de vue photographiques ;
- contrôle de l'homogénéité par au moins une technique non destructive appropriée.

5.2. Conditions d'essai

Les échantillons, colis ou parties de colis sont mis en place pour essai dans l'enceinte climatique. Les conditions initiales sont : température de $5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ et humidité relative de 100 %.

L'essai de résistance aux cycles thermiques avec aspersion d'eau est effectué suivant les diagrammes ci-après.

5.3. Examen et mesures

Après l'essai, sont effectuées sur l'échantillon, le colis ou la partie de colis, les opérations suivantes :

- prises de vue photographiques dès l'ouverture de l'enceinte ;
- contrôle de l'homogénéité par une technique non destructive adaptée ;
- contrôles visuel et photographique de l'état de surface en repérant les éventuelles dégradations apparentes ;
- mesures dimensionnelles et pondérales ;
- contrôle de la variation des caractéristiques mécaniques.

6. Expression des résultats

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux et de photographies, accompagnés du compte rendu des observations effectuées sur les échantillons.

7. Procès-verbal d'essai

Le procès-verbal d'essai est établi par le laboratoire concerné. Il comprend les informations suivantes :

- numéro de référence ;
- date de l'essai ;
- nature de l'essai ;
- moyens utilisés (matériel, appareil, méthode...) ;
- identité de l' (ou des) opérateur(s) ;
- identification des échantillons (nature, nombre, référence...) ;

- photographies ;
- résultats des examens, contrôles non destructifs et essais mécaniques ;
- date et signature.

Enfin, tout détail opératoire, ou toute modification des méthodes d'essai, non conforme aux conditions générales ou susceptible d'avoir une incidence sur les résultats obtenus, est noté dans le procès-verbal.

Diagramme des cycles gel-dégel

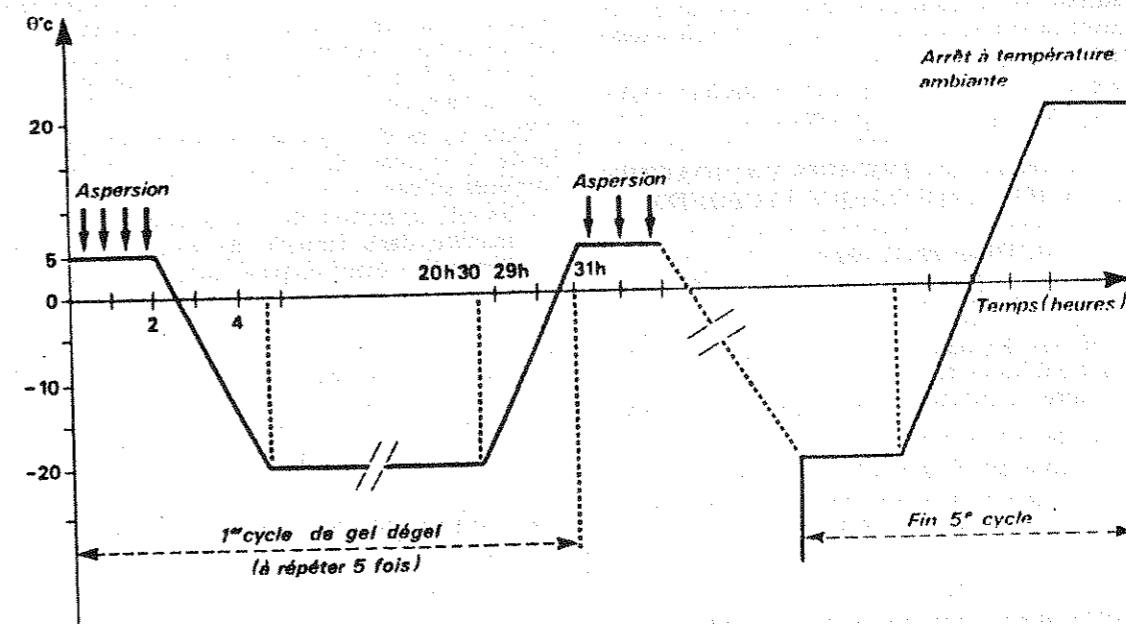


Diagramme des cycles en température

