

---

# Norme internationale



# 6961

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

---

## Essai de lixiviation de longue durée des formes de déchets radioactifs solidifiés

*Long-term leach testing of solidified radioactive waste forms*

Première édition — 1982-10-15

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 6961:1982](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/45366cdd-b388-4149-980d-1cf82884ca44/iso-6961-1982)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/45366cdd-b388-4149-980d-1cf82884ca44/iso-6961-1982>

---

CDU 621.039.7

Réf. n° : ISO 6961-1982 (F)

Descripteurs : matière radioactive, déchet, essai, percolation, spécimen d'essai, préparation de spécimen d'essai, résultats d'essai.

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme internationale ISO 6961 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire*, et a été soumise aux comités membres en décembre 1979.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée : [ISO 6961:1982](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/45366cdd-b388-4149-980d-1cf8220674/iso-6961-1982)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/45366cdd-b388-4149-980d-1cf8220674/iso-6961-1982>

Afrique du Sud, Rép. d'	Finlande	Pologne
Allemagne, R. F.	France	Suède
Australie	Hongrie	Suisse
Autriche	Italie	Tchécoslovaquie
Belgique	Japon	Turquie
Brésil	Mexique	URSS
Canada	Pays-Bas	

Les comités membres des pays suivants l'ont désapprouvée pour des raisons techniques :

Royaume-Uni  
USA

# Essai de lixiviation de longue durée des formes de déchets radioactifs solidifiés

## 0 Introduction

La présente Norme internationale propose une méthode permettant de vérifier et d'évaluer la résistance à la lixiviation dans des conditions contrôlées des produits de solidification des déchets radioactifs.

Cette méthode doit servir de base pour une comparaison inter-laboratoires visant à examiner la cohérence des résultats d'essais de lixiviation effectués par différents laboratoires sur des échantillons représentant diverses compositions de matrice, diverses compositions de flux de déchets et diverses techniques de traitement et de solidification. Ces échantillons seront exposés à des solutions lixiviantes de différentes compositions représentant différents degrés de salinité et de pH, à savoir, eau désionisée, eau de mer de synthèse et autres solutions aqueuses de pH divers; leur résistance à la lixiviation sera vérifiée à diverses températures, comme indiqué ci-après.

Il est à noter que sous sa forme actuelle, le présent essai se limite à une évaluation de la résistance des produits de solidification à la lixiviation dans des conditions contrôlées, et à la comparaison des résultats obtenus, mais qu'il ne permet pas encore les extrapolations quantitatives à long terme qui permettraient de déterminer la durabilité de ces produits dans les stockages définitifs. L'essai n'est donc pas valable sous sa forme actuelle pour évaluer les risques à long terme dans les conditions réelles d'exploitation.

La méthode d'essai ne fait référence à aucun lieu ni à aucune forme de stockage particulier, en raison de la diversité des conditions possibles de température, pression et concentrations des ions dissous dans les eaux souterraines du lieu de stockage définitif. Elle ne prend pas en particulier en compte les essais effectués à hautes pressions et avec des liquides à haute température. Tous les détails intéressants l'usage du présent essai figurent dans l'annexe A.

## 1 Objet et domaine d'application

Divers procédés permettant une immobilisation des radionucléides par solidification des déchets radioactifs sont actuellement mis au point. Les produits de solidification qui en résultent se caractérisent par une forte résistance à la lixiviation, et donc par un faible taux de relâchement des radionucléides dans l'environnement.

L'essai de lixiviation à long terme permet de mesurer la résistance à la lixiviation des substances solidifiées telles que : verre, vitro-céramiques, céramiques, bitume, ciment, béton, matières plastiques.

Cet essai vise

- à comparer différentes sortes ou compositions de formes de déchets solidifiés;
- à permettre une comparaison des résultats d'essais de lixiviation effectués par différents laboratoires sur un même produit;
- à permettre une comparaison des résultats d'essais de lixiviation effectués sur des produits de différents procédés.

Les températures de l'essai couvriront une gamme suffisante pour donner une indication du comportement à la lixiviation jusqu'à 90 °C. Les températures de l'essai sont choisies ainsi : 313 K (40 °C), 343 K (70 °C) et 363 K (90 °C).

Il n'est pas indispensable d'exécuter des essais avec toutes les combinaisons possibles des variables, mais un jeu de conditions standard devrait être réalisé pour assurer la comparabilité interlaboratoire. Ces conditions sont :

A : Formes HA (voir 3.1.1) et échantillons ciment ou béton (voir 3.1.2); lixiviation dans l'eau désionisée à 40 °C et 70 °C, pendant 1, 3, 7, 10, 14, 21 et 28 jours. Trois éléments de la matrice et trois constituants de déchet doivent être analysés.

B : Échantillons bitumes et plastiques (polymères) (voir 3.1.3); lixiviation dans l'eau désionisée à 40 °C pour le bitume et 40 °C et 70 °C pour les plastiques pendant 1, 3, 7, 10, 14, 21 et 28 jours. Au moins trois importants constituants du déchet doivent être analysés.

## 2 Échantillons, matériaux et appareillage

### 2.1 Échantillon

L'échantillon peut être préparé en laboratoire ou être prélevé sur les produits de solidification de déchets radioactifs naturels.

**2.1.1 Échantillons de laboratoire**

L'échantillon sur lequel doit être prélevée l'éprouvette doit être représentatif du matériau obtenu par le procédé de solidification des déchets :

- a) Le mélange de déchets peut être défini comme une composition moyenne de déchets existants ou comme une composition moyenne de déchets non radioactifs simulés, dopés par des isotopes. Des traceurs radioactifs doivent être utilisés simultanément avec des entraîneurs. La concentration de l'entraîneur doit être donnée. Pour la simulation des déchets radioactifs, on suivra les indications de l'annexe B.
- b) Pour préparer l'échantillon de laboratoire, il faut que la composition moyenne et la formule chimique des constituants des déchets et des additifs soient les mêmes.
- c) La vitesse de lixiviation de l'échantillon n'est pas seulement fonction de la composition moyenne, mais aussi du procédé de fabrication telle que l'histoire thermique. On doit donc s'efforcer de reproduire aussi fidèlement que possible en laboratoire, les séquences chronologiques et thermiques des différentes phases du processus de solidification.

**2.1.2 Échantillons de formes de déchets réels solidifiés**

Les échantillons doivent être prélevés sur des formes de déchets réels solidifiés, soit par carottage, soit sur le circuit préparation des déchets solidifiés.

**2.2 Lixiviant**

Pour permettre les comparaisons, on utilisera les lixiviants suivants :

- a) Essai avec de l'eau désionisée.
- b) Essai avec de l'eau de mer de synthèse ayant la composition donnée dans le tableau.
- c) Eaux représentatives des sites d'évacuation.

Dans tous les cas, l'eau désionisée doit avoir avant emploi une conductivité maximale de 150  $\mu\text{Sm}^{-1}$  avant utilisation.

Il faut souligner que le haut niveau de rayonnement émis par les déchets solides réels hautement radioactifs peut affecter les propriétés de la solution-tampon [voir aussi 3.4.3 a)].

**2.3 Conteneur du lixiviant**

Le conteneur doit être fabriqué en matière ne réagissant pas avec le lixiviant et suffisamment résistant pour supporter la dose de rayonnement reçue pendant l'essai. Pour permettre de faire également d'autres analyses que celles de l'activité  $\gamma$  lixiviée, le conteneur ne doit pas absorber les constituants extraits de l'échantillon par le lixiviant, et dont la présence doit être contrôlée dans le lixiviant ayant été utilisé.

On doit évaluer l'action du conteneur sur la solution-tampon en essayant à chaque température, des conteneurs-témoins con-

tenant à chaque fois une solution-tampon différente. Le pH de la solution en question doit être vérifiée avec la même fréquence que pour les échantillons. Si l'on s'aperçoit que le pH de la solution-témoin varie de plus de  $\pm 0,2$  unité, il convient d'utiliser un conteneur en matière plus inerte.

Sont recommandés pour leur inertie chimique, pour la fabrication des conteneurs de lixiviants, le polytétrafluoroéthylène, le polyméthylpentène et le polypropylène. Les dimensions du conteneur doivent être choisies de telle sorte que le rapport

$$\frac{\text{Volume de lixiviant}}{\text{Surface «géométrique» exposée de l'échantillon}}$$

se situe entre 0,1 et 0,2 m. On entend par surface «géométrique», la surface calculée à partir des dimensions macroscopiques hors tout mesurées de l'échantillon. Si, pour une raison quelconque, les dimensions de l'échantillon utilisé pour un essai diffèrent des dimensions spécifiées, mention doit en être faite dans le procès-verbal d'essai, avec les raisons motivant cet écart.

Pendant tout essai de lixiviation, le conteneur doit être maintenu fermé avec un couvercle pour empêcher que la perte de lixiviant par vaporisation ou radiolyse ne dépasse pas 10 % du volume total.

Un «blanc» doit être exécuté en parallèle avec l'échantillon et traité de la même manière.

**2.4 Température de l'essai de lixiviation**

Les essais de lixiviation doivent être conduits aux quatre températures indiquées ci-après. Pour chacune, la température du conteneur doit être maintenue constante et correspondre à  $\pm 1$  K près à la température spécifiée. Les températures spécifiées sont :

- a) 313 K (40 °C);
- b) 343 K (70 °C);
- c) 363 K (90 °C).

Ces températures ont été choisies pour le test général. Cependant, certains échantillons de produits de solidification ne supportent pas les températures élevées.

Dans certaines circonstances, des essais supplémentaires peuvent être exécutés à des températures supérieures dans un autoclave, ou à des températures inférieures telles que la température ambiante, celle des eaux de nappes et/ou la température de l'eau de mer.

**3 Méthode d'essai**

**3.1 Préparation de l'échantillon**

Les dimensions des échantillons doivent être choisies de telle manière que la surface géométrique apparente exposée au lixiviant ne varie pas de plus de 5 % pendant toute la durée de l'essai.

### 3.1.1 Échantillons en verre, vitro-céramique ou céramique

Les échantillons doivent être monolithiques et avoir une surface coupée, non polie (utiliser une lame «grit 200» pour le sciage). La surface géométrique doit être de  $0,5 \times 10^{-2}$  à  $1 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>. La forme doit être cubique ou cylindrique. (Diamètre et hauteur doivent être identiques.)

### 3.1.2 Échantillons en ciment ou béton

Les mélanges ciment-déchets ou béton-déchets doivent être versés dans les moules cylindriques en matière plastique et soumis à un traitement d'élimination des bulles d'air de la même manière qu'un échantillon réel. Dès que le mélange commence à prendre, on retire le bloc de ciment ou de béton du moule et on le laisse durcir pendant au moins 28 jours, de préférence à une température de  $298 \pm 5$  K ( $23 \pm 5$  °C) dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau, d'humidité relative ( $65 \pm 5$  %). Les surfaces supérieure et inférieure du bloc cylindrique sont ensuite polies à l'émeri sec, nettoyées à l'air sous pression pour chasser les particules de poussière et obtenir une surface lisse bien définie, avant de passer à l'essai de lixiviation. La surface doit être de  $5 \times 10^{-1}$  à  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup> (le rapport du diamètre à la hauteur doit être proche de l'unité).

### 3.1.3 Échantillons de bitume et de plastique

Du fait que la distribution et la dimension granulométriques des déchets hydrophiles à incorporer dans une matrice organique hydrophobe dépendent étroitement de la technologie du processus de fixation, les échantillons doivent être prélevés à partir d'échantillons plus grands. La préparation des échantillons se fait par coulée ou par prélèvement d'une forme appropriée par carottage ou sciage en utilisant une lame «200 grit». La surface doit être de  $5 \times 10^{-1}$  à  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>. La forme doit être celle décrite en 3.1.2.

### 3.2 Préparation du conteneur de lixiviant

L'échantillon est suspendu à l'aide d'un dispositif adéquat en un matériau inerte. Il est recommandé d'utiliser un tube de polytétrafluoroéthylène. Le volume approprié de lixiviant est introduit dans le réservoir de telle sorte que l'échantillon soit entouré d'au moins 1 cm de lixiviant dans toutes les directions, pour le plus petit, et de 10 cm pour le plus gros. Les conteneurs à lixiviant doivent être convenablement nettoyés à l'eau désionisée avant l'usage. Il ne doit pas y avoir de dispositif d'agitation.

### 3.3 Renouvellement du lixiviant

À intervalles donnés (voir 3.4), on retire l'échantillon du conteneur à lixiviant où il se trouve et on le transfère immédiatement dans un autre conteneur renfermant du lixiviant neuf. L'échantillon ne doit pas sécher pendant le transfert. Le conteneur renfermant le lixiviant usagé et les matières lixiviées est soigneusement bouché pour ne laisser échapper aucune substance dissoute, en suspension, déposée ou absorbée.

### 3.4 Fréquence de renouvellement

La fréquence de renouvellement, qui peut ne pas être identique à la fréquence d'analyse, dépend à la fois de l'échantillon et de son activité volumique.

**3.4.1** Initialement, le lixiviant doit être changé après 1, 3 et 7 jours, à compter du démarrage de l'essai.

**3.4.2** Ensuite, les conditions selon 3.4.1 étant remplies, deux fois par semaine pendant la deuxième semaine, une fois par semaine pendant les troisième, quatrième, cinquième et sixième semaines suivantes, enfin tous les mois.

**3.4.3** Si, pour une raison ou une autre, la fréquence s'écarte par rapport à la fréquence spécifiée, mention doit en être faite dans le procès-verbal d'essai, avec les raisons motivant cet écart.

**3.4.4** L'essai de lixiviation n'est pas terminé tant que le taux de lixiviation n'est pas virtuellement constant, compte tenu de l'erreur limite analytique admise. Il doit durer au moins 6 mois à 313 K (40 °C).

**3.4.5** Toutes les substances restant dans le conteneur de lixiviant après transfert de l'échantillon doivent être prises en compte lors du dosage analytique du lixiviant. Si ce n'est pas possible dans tous les cas, les raisons en seront rapportées.

## 4 Analyses

**4.1** Les différents éléments dans les déchets peuvent être lixiviés avec des vitesses différentes. Dans le cas de déchets faiblement radioactifs, il convient donc de doser tous les radionucléides concernés, tant dans l'échantillon initial, que dans la solution de lixiviation. Les éléments de la matrice doivent eux aussi être analysés.

**4.2** Dans le cas de déchets fortement radioactifs, la concentration de tous les radionucléides concernés doit être déterminée, tant dans l'échantillon initial, que dans la solution de lixiviation. Les éléments de la matrice doivent être déterminés comme en 4.1.

**4.3** On détermine immédiatement après enlèvement de l'échantillon le pH de chacune des solutions de lixiviation, usagée ou témoin et on laisse refroidir le lixiviant à température ambiante. Le «blanc» est traité de la même manière.

## 5 Procès-verbal d'essai

### 5.1 Partie concernant l'échantillon

**5.1.1** La procédure d'échantillonnage doit faire l'objet d'un procès-verbal, qu'elle porte sur des produits de solidification de déchets réels ou sur des échantillons préparés en laboratoire. Toute information utile doit être fournie concernant les traitements préalables spéciaux subis par les échantillons (traitement thermique ou irradiation, par exemple) et sur leur homogénéité.

Le gonflement et la fissuration éventuels des échantillons dans le lixiviant pendant ou après l'expérience doivent être mentionnés.

**5.1.2 Type et composition du matériau solidifié**

- a) verre, vitro-céramique et céramique : composition chimique du matériau de base; taux de déchet dans le produit final;
- b) ciment et béton : composition chimique du matériau de base, y compris teneur en eau et type ainsi que fonction, composition et proportion des additifs éventuels, et taux de déchet dans le produit final;
- c) bitume : type de bitume; rapport déchets secs/bitume; point de ramollissement; teneur en eau et température maximale atteinte pendant le traitement;
- d) matières plastiques : type et composition; propriétés physiques caractéristiques, catalyseurs et promoteurs; type de polymérisation; température maximale atteinte pendant le traitement et rapport des teneurs en déchets séchés et en eau dans le produit final.

**5.1.3 Type et composition des déchets incorporés dans l'échantillon**

De manière aussi détaillée que possible. La composition chimique du déchet doit être donnée. Pour les déchets hautement radioactifs, activité spécifique  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

**5.1.4 Propriétés physiques spécifiques de l'échantillon.**

**5.1.5 Masse volumique et poids de l'échantillon avant l'essai.**

**5.1.6 Dimensions, surface géométrique et volume de l'échantillon avant et après l'essai de lixiviation.**

**5.2 Partie concernant le lixiviant**

**5.2.1** Valeur de pH et solution-tampon utilisée s'ils s'écartent de la spécification et, si nécessaire autres propriétés physiques, telles que conductivité et potentiel d'oxydo-réduction pour chaque solution de lixiviation, avant et après l'essai, et pour chaque solution-témoin.

**5.2.2** Si le rapport

$$\frac{\text{Volume de lixiviant}}{\text{Surface géométrique exposée de l'échantillon}}$$

s'écarte de la valeur recommandée qui est de 0,1 à 0,2 m, mention doit en être faite au procès-verbal d'essai, avec les raisons motivant cet écart.

**5.2.3** Tout écart par rapport à la fréquence de renouvellement spécifiée doit également être rapportée, avec les raisons le motivant.

**5.2.4** Température d'essai en kelvins.

**5.3 Partie concernant les déterminations analytiques**

On doit donner une description détaillée des méthodes analytiques utilisées. On doit également indiquer la méthode de comptage utilisée pour chaque nucléide, ainsi que sa précision et sa fidélité.

**5.4 Partie concernant les résultats de l'essai de lixiviation**

**5.4.1** Toutes les données acquises au cours de l'essai doivent être présentées sous forme de tableaux. Les résultats doivent être exprimés pour chaque constituant, sous forme de graphique donnant les incréments de la vitesse de lixiviation  $R_n^i$ , en fonction de la durée,  $t$ , de lixiviation, sous la forme :

$$R_n^i = \frac{a_n^i}{A_o^i \times F \times t_n}$$

où  $R_n^i$  est l'incrément de la vitesse de lixiviation, en kilogrammes par mètre carré, par seconde, pour le  $i^{\text{ème}}$  constituant;

$a_n^i$  est la radioactivité, par seconde, ou la masse, en kilogrammes, de chaque constituant lixivié pendant chaque période de lixiviation;

$A_o^i$  est la radioactivité, par seconde kilogramme, ou concentration en fraction massique initialement présente dans le constituant;

$F$  est la surface exposée de l'échantillon, en mètres carrés;

$t_n$  est la durée, en secondes, de la  $n^{\text{ème}}$  période de lixiviation;

$t$  est le temps cumulé de lixiviation, en secondes.

$A_o^i$  et  $a_n^i$  doivent subir les corrections nécessaires de décroissance radioactive.

$n$  est l'incrément de temps.

**5.4.2** Avec des formes de déchets convenables, le taux de lixiviation,  $R_n$ , devient constant après un certain temps de renouvellement du lixiviant, comme l'indique la courbe de  $R_n$  en fonction de  $t$ . Le procès-verbal doit indiquer la valeur moyenne de  $R_n$  et la précision sur toute la plage virtuellement constante.

## Annexe A

### Considérations sur le mode opératoire

La conduite de l'essai doit tenir compte des considérations suivantes.

L'essai est prévu pour servir de base pour comparer le comportement à la lixiviation des produits contenant les déchets solidifiés dans des conditions contrôlées. Il n'est pas

- a) propre à fournir des données pour des modèles mathématiques de prédiction à long terme (centaines ou milliers d'années) des taux de lixiviation, ou,
- b) propre à définir le comportement à la lixiviation dans des conditions représentatives d'une évacuation en couche géologique profonde.

Cependant, par suite de la souplesse permise dans les compositions de lixiviant et dans les températures, l'essai fournit une bonne indication préliminaire du comportement probable à la lixiviation sur une base relative. Ainsi, il peut être considéré valable comme partie d'un processus de sélection d'un produit de solidification des déchets.

La précision et le biais de l'essai n'ont pas été établis. L'expérience, avec des essais semblables, a montré que tandis que la précision d'un laboratoire peut être bonne, la précision et le biais interlaboratoire est probablement beaucoup plus grande; ainsi la comparaison des résultats de l'essai entre les laboratoires doit être faite avec grande précaution, jusqu'à ce que plus d'expérience soit acquise avec l'essai. Une comparaison interlaboratoire de l'essai sur des échantillons de référence de produits solidifiés spécialement préparés est recommandée.

La valeur des résultats obtenus au moyen du présent mode opératoire est limitée, pour des extrapolations à long terme, parce qu'elle est basée sur des estimations de la seule surface géométrique et que le changement intervenant à long terme sur la rugosité et la structure de la surface exposée n'est pas pris en compte. Motif encore plus sérieux, on a observé que les taux de lixiviation dépendent non seulement du temps total d'exposition depuis le début de l'essai, mais aussi depuis le temps écoulé depuis le plus récent changement de lixiviant.

De plus, il n'est pas toujours possible de conduire les essais de lixiviation selon les rapports volume-surface spécifiés de  $0,1 \pm 0,02$  m, soit parce que l'obtention d'une sensibilité suffisamment élevée dans la détection des composants lixiviés

nécessite une réduction de ce rapport, soit par suite des limitations de taille des échantillons très radioactifs utilisés dans le mode opératoire. Dans ce cas, une normalisation directe des résultats de lixiviation à des fins de comparaison avec les taux de lixiviation mesurés avec les rapports volume-surface spécifiés n'est pas possible, parce que l'on sait que le rapport volume-surface a une influence considérable sur les taux de lixiviation et que cet effet n'a pas encore été complètement et quantitativement caractérisé.

Les résultats de l'essai ne s'appliquent pas directement aux conditions d'évacuation géologique pour des raisons évidentes : hautes pressions, hautes températures et hautes concentrations en solutés peuvent prédominer à des degrés différents dans un site d'évacuation, selon son emplacement et le temps écoulé depuis la mise en place des produits contenant les déchets solidifiés. Les différentes fugacités de l'oxygène et la concentration en  $\text{CO}_2$  dissous qui peuvent prédominer aux différentes profondeurs du site d'évacuation peuvent aussi affecter significativement le taux de lixiviation. Le présent essai n'est pas défini pour étudier ces paramètres d'évacuation géologique.

Le présent essai peut être utilisé pour l'étude d'échantillons radioactifs de produits de solidification des déchets et, dans certains cas, la sensibilité de l'essai peut être sensiblement améliorée si des échantillons radioactifs sont utilisés. Quelques considérations doivent cependant être prises en compte lorsque l'on utilise des échantillons radioactifs. Les conteneurs de lixiviant en plastique sont sujets à une dégradation due aux radiations. On doit s'assurer que leur dégradation n'introduit pas de contaminants dans le lixiviant qui faussent les résultats de l'essai. Les radiations peuvent aussi affecter le lixiviant, par exemple, en convertissant l'azote dissous en  $\text{HNO}_3$  et rendant ainsi le lixiviant plus acide. En outre, des changements significatifs peuvent être induits à la surface en cours de lixiviation, telle la génération de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Dans les matériaux poreux, des gaz générés par les radiations peuvent empêcher l'accès du lixiviant dans les pores et causer ainsi une diminution réelle du taux apparent de lixiviation. Bien que les radiations puissent amener des considérations spéciales, telles que celles mentionnées ici, et bien d'autres, qui doivent être bien comprises, l'emploi d'échantillons radioactifs avec cet essai est très fortement recommandé chaque fois qu'il est possible, puisque, finalement, c'est le taux de lixiviation des radionucléides dans le déchet qui présente le plus d'intérêt.

## Annexe B

## Éléments radioactifs et leur simulation

Élément radioactif	Éléments de substitution				
	Verres français	Vitro-céramiques allemandes	Verres allemands	Verres britanniques	Verres américains
Tc	Mo	Mn	Mn	Mo	Mo
Ru	—	Ti	—	—	Fe
Rh	Pd	Co	—	Pd	Co
Pm, Sm, Eu, Gd	Nd	Nd	Ce	Nd	RE <sup>1)</sup>
Np, Pu, Am, Cm	U	U	U	U	RE <sup>1)</sup>
U	—	—	—	—	RE <sup>1)</sup>

1) Terres rares — Un mélange commercial de terres rares contient généralement 0,2 % en poids de  $Y_2O_3$ , 24 % en poids de  $La_2O_3$ , 48,0 % en poids de  $CeO_2$ , 5,0 % en poids de  $Pr_6O_{11}$ , 17,0 % en poids de  $Nd_2O_3$ , 3,0 % en poids de  $Sm_2O_3$ , 0,8 % en poids de  $Eu_2O_3$  et 2,0 % en poids de  $Gd_2O_3$ .

L'eau de mer synthétique est préparée à partir de composés inorganiques purs (principalement des sels) et d'eau pure, l'objectif étant de produire des solutions ayant la même teneur en chlorure et la même salinité que l'eau de mer standard. Pour beaucoup de mesures physico-chimiques, il est encore plus important que la force ionique ait la valeur correcte d'environ 0,71 mol/kg. Une formule qui satisfait largement ces exigences est donnée dans la colonne 1 du tableau<sup>1)</sup>.

ISO 6961:1982

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/45366cdd-b388-4149-9800-1c6288-4ca4-780-07651982>

Tableau — Formule pour eau de mer synthétique

Composé	I	II	III
NaCl	23,497 g	23,538 g	23,538 g
MgCl <sub>2</sub>	4,981	4,985	5,934
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,917	4,087	4,087
CaCl <sub>2</sub>	1,102	1,108	—
KCl	0,664	0,665	0,665
NaHCO <sub>3</sub>	0,192	—	—
KBr	0,096	0,096	0,096
Total	34,449	34,379	34,321

NOTE — Compléter à 1 000 g avec H<sub>2</sub>O.

1) Voir Fichtner — Handbook, Hömig, H. E., *Seawater and seawater distillation*, Vulkan-Verlag, Essen.