

DOCUMENT TECHNIQUE

PNGMDR 2022-26**Article N°27****DÉFINITION DE CRITÈRES
DE DISTINCTION DES FILIÈRES DE GESTION
DES DÉCHETS****Identification**
FRPAM2S220083

Mars 2023

Page : 1/22

SOMMAIRE

1. Objet du document	5
2. Contexte	6
3. Démarche suivie pour la définition de critères d'exclusion	7
4. Définition des critères radiologiques d'exclusion de la faible profondeur	8
4.1 <i>Principe de détermination des « activités massiques maximales admissibles par radionucléide »</i>	8
4.2 <i>Définition de l'indice radiologique d'exclusion IRE</i>	9
5. Définition des scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI)	10
5.1 <i>Description des SIHI</i>	10
5.2 <i>Hypothèses associées à la conception du stockage et des choix de conditionnement</i>	11
5.2.1 Implantation et architecture du stockage	11
5.2.2 Taux de remplissage du stockage	11
6. Domaine d'application de l'IRE	12
6.1 <i>Radionucléides exclus du champ d'application de l'IRE</i>	12
6.2 <i>Prise en compte de l'hétérogénéité des activités massiques des colis au sein d'une famille</i>	12
6.3 <i>Prise en compte des modalités de conditionnement, existant ou à venir</i>	13
7. Modalités de calcul de l'IRE et interprétation du résultat	13
7.1 <i>Activités massiques maximales</i>	13
7.2 <i>Calcul de l'IRE</i>	13
7.3 <i>Interprétation des résultats</i>	13
8. Conclusion	14
9. Références	15

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableaux

Tableau 1 :	Liste des radionucléides exclus du champ d'application de l'IRE	12
Tableau 2	Valeurs d'activités maximales définies selon les cas pour un colis de déchets pris individuellement	16
Tableau 3	Valeurs d'activités maximales définies selon les cas pour une famille de déchets	19

Figures

Figure 1	Représentation schématique des scénarios d'intrusion humaine involontaires considérés pour établir les critères d'exclusion	11
Figure 2	Outil de calcul de l'IRE (pour une famille de déchets) – exemple donné pour les premiers radionucléides de la liste par ordre alphabétique	22

1. Objet du document

Les déchets radioactifs produits en France, qu'ils soient produits par l'industrie électronucléaire, les activités médicales ou encore des activités industrielles à vocation non électronucléaire, sont répartis selon différentes grandes catégories définies dans le Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) appelé par l'article L542-1-2 du code de l'environnement, selon leur niveau d'activité et la durée de vie des principaux radionucléides qui les composent.

Les solutions de gestion des déchets associées à ces catégories sont de fait, différentes entre elles : il existe des solutions qui sont actuellement opérationnelles, en particulier pour les déchets de très faible activité et les déchets de faible et moyenne activité à vie courte, c'est-à-dire dont la durée de vie des principaux contributeurs est inférieure ou égale à 31 ans. Les solutions de gestion pour les déchets à vie longue (dont la durée de vie est supérieure à 31 ans) et dont le niveau d'activité va de faible au plus élevé, sont actuellement en développement.

Le PNGMDR [1] a identifié la nécessité de fiabiliser l'inventaire des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL). Ainsi, l'article n°27 de l'arrêté du 9 décembre 2022 établissant les prescriptions du PNGMDR demande que :

« Pour l'application de l'article D. 542-88 du code de l'environnement et de l'action nommée FAVL.1 du PNGMDR, l'Andra, en lien avec le CEA et Orano, transmet au ministre chargé de l'énergie, avant le 31 décembre 2022, un rapport définissant des critères objectifs permettant de discriminer les déchets relevant de la filière des déchets de faible activité à vie longue [(FA-VL)] de ceux relevant de la filière des déchets de moyenne activité à vie longue [(MA-VL)], en particulier pour les déchets bitumés. Sur la base de ces critères, le CEA et Orano évaluent, avant le 30 juin 2023, les quantités de déchets relevant des filières FA-VL et MA-VL, en particulier les déchets bituminés.

Les résultats de cette étude sont transmis au ministre chargé de l'énergie avant le 30 juin 2023.

L'Autorité de sûreté nucléaire est saisie pour avis sur ces rapports. »

Le présent rapport vise à répondre à la partie de cette demande portant sur l'établissement par l'Andra de critères objectifs, en termes d'activité radiologique¹ contenue dans les déchets, permettant de discriminer les déchets relevant de la filière des déchets FA-VL de ceux relevant de la filière des déchets MA-VL. L'Andra a fondé sa démarche sur l'analyse de sûreté d'un stockage à faible profondeur.

A l'issue de ses travaux, l'Andra relève qu'il n'est pas possible de définir des critères radiologiques quantitatifs purement intrinsèques aux déchets sans les rattacher à un site ou un concept. L'Andra propose en conséquence de s'appuyer sur différentes hypothèses liées au concept de stockage à faible profondeur et au conditionnement des déchets, fondées sur le retour d'expérience des études menées à ce jour sur le stockage de déchets FA-VL à faible profondeur dans une formation argileuse affleurante, pour parvenir à la définition de critères radiologiques quantitatifs. Ces critères reposent donc sur les hypothèses retenues pour mener les évaluations quantitatives, et pourront donc être ajustés dans le cas où les concepts seraient amenés à évoluer.

Dans la suite du document l'Andra distingue les colis de déchets considérés de manière individuelle et les regroupements de colis présentant les mêmes caractéristiques (origine, nature physico-chimique et mode de conditionnement des déchets) formant ainsi des « familles de déchets ».

¹ Cette étude s'appuie uniquement sur les caractéristiques radiologiques des déchets. Elle n'examine pas si d'éventuelles spécificités liées par exemple à nature physico-chimiques ou au comportement en stockage, pourraient être de nature à les rendre incompatibles avec un stockage à faible profondeur.

2. Contexte

La catégorie des déchets FA-VL, introduite par le PNGMDR 2007-2009, désignait initialement les déchets radifères, comportant majoritairement des radionucléides des chaînes radioactives 4N et 4N+2, ainsi que les déchets de graphite, caractérisés par leur faible niveau d'activité massique pendant une longue durée. Le périmètre de cette catégorie est en évolution depuis cette date, incluant désormais une partie de déchets bitumés issus du traitement d'effluents aqueux radioactifs et des déchets technologiques contaminés ou activés produits dans les installations nucléaires en exploitation ou en démantèlement. Une solution de gestion dédiée aux déchets FA-VL est à l'étude depuis plusieurs années, axée sur des solutions de stockage à faible profondeur.

La catégorie des déchets MA-VL comporte principalement des déchets de structure issus du traitement des combustibles usés, des déchets résultant du traitement des effluents liquides produits par des installations nucléaires et des déchets technologiques activés ou contaminés issus de l'exploitation ou du démantèlement d'installations nucléaires. La solution de gestion de ces déchets est le stockage en couche géologique profonde, dans l'installation en projet Cigéo.

Des études ont été menées par le passé par l'Andra et les producteurs dans l'objectif d'optimiser les filières de gestion en réponse au PNGMDR 2010-2012. Ainsi, Orano en 2011 et le CEA en 2017 ont proposé des critères radiologiques pour recatégoriser des déchets initialement MA-VL vers la filière FA-VL, fondés sur une détention des limites d'activité en émetteurs alpha à 300 ans et de débit de dose au contact des colis de déchets définis pour l'acceptation de colis de déchets dans le centre de stockage de l'Aube (dédié au stockage des déchets de faible et moyenne activité à vie courte). Les producteurs considéraient que, pour revêtir un intérêt industriel, un stockage de faible profondeur devrait permettre de stocker des déchets d'activités massiques supérieures à celles acceptables en surface. Cette démarche reposait également sur le constat qu'il existe un continuum d'activité radiologique des déchets concernés appelant à réfléchir à une solution à profondeur intermédiaire, plus proportionnée aux enjeux de sûreté de ces déchets, entre la surface et la grande profondeur.

L'approche de l'Andra pour établir des critères permettant de distinguer les orientations des déchets vers les filières de gestion FA-VL et MA-VL est différente ; elle ne s'appuie pas sur les limites existantes pour le CSA mais repose sur le respect des exigences de sûreté après-fermeture pour un centre de stockage à faible profondeur. Elle est présentée dans le chapitre 3 du présent document.

Pour établir les critères, l'Andra a assimilé les catégories FA-VL et MA-VL à leurs modes de gestion, respectivement un stockage à faible profondeur et à grande profondeur. Pour définir un stockage à faible profondeur, l'Andra s'est appuyée sur un « concept de référence » fondé sur le retour d'expérience des études jusqu'alors menées et des échanges avec les évaluateurs sur ces sujets qui ont conduit à retenir les hypothèses d'une implantation à 30 mètres de profondeur dans une formation argileuse affleurante ; les 30 mètres correspondant à une exigence minimale de sûreté (Cf. avis 2016-AV-264 de l'ASN sur le rapport d'étape 2015).

Dans le cadre du PNGMDR, les réflexions sur la stratégie de gestion des déchets FA-VL ainsi que les travaux relatifs au développement d'un concept de stockage à faible profondeur se poursuivent. Dans ce cadre, les hypothèses relatives au stockage et/ou les scénarios de sûreté pourraient être précisés. Les travaux pourraient également mettre en évidence l'intérêt d'étudier d'autres concepts incluant des analyses de sûreté qui devraient leur être adaptées. Ces différents éléments pourraient donc potentiellement conduire à faire évoluer les critères de distinction, sans remettre cependant en cause la démarche proposée.

3. Démarche suivie pour la définition de critères d'exclusion

Afin de définir des « critères objectifs » permettant au mieux de distinguer les déchets relevant de l'une ou l'autre des filières, l'Andra a axé sa démarche vers l'identification de critères intrinsèques aux déchets. Toutefois, le fait de ne pas pouvoir s'appuyer sur un site identifié et un concept défini a conduit l'Andra à statuer sur le fait qu'il n'est pas possible, dans ce cadre, de définir des critères purement intrinsèques de distinction des déchets FA-VL et MA-VL. En effet, une telle approche correspondrait à la définition de critères d'acceptation de déchets dans un stockage à faible profondeur, critères qui sont forcément inhérents au concept de stockage, à savoir les performances géologiques du site, l'architecture de stockage, les dispositions constructives mises en place pour maîtriser les risques associés à son exploitation puis à la phase après-fermeture, ainsi qu'aux modalités de conditionnement des déchets, l'ensemble de ces éléments n'étant pas disponible au stade actuel du projet de développement d'un stockage de déchets FA-VL.

Cependant, en se fondant sur les grands principes de conception d'un stockage à faible profondeur, tels que ceux retenus dans les études précédemment menées par l'Andra pour un stockage à faible profondeur et en s'appuyant sur les orientations générales de sûreté de l'ASN de 2008 [2], l'Andra a construit une démarche de définition des critères radiologiques permettant d'exclure des colis de déchets de la filière à faible profondeur, ou des déchets, lorsque les colis ne sont pas encore constitués, c'est-à-dire dont les caractéristiques radiologiques ne permettent pas de respecter, a minima, certaines exigences de sûreté après-fermeture.

Les grands principes de conception d'un stockage à faible profondeur évoqués ci-avant et posés pour construire la démarche sont :

- Le stockage est implanté dans une formation argileuse affleurante ;
- Le stockage se situe à une profondeur d'implantation minimale de 30 m au toit des déchets.

L'Andra a ainsi établi des critères d'exclusion de la faible profondeur, permettant d'identifier :

- Les déchets/colis de déchets non compatibles avec un stockage à faible profondeur ;
- Les déchets/colis de déchets pouvant être étudiés dans le cadre d'un concept de stockage à faible profondeur.

Lorsque le concept, les choix de conditionnement et les dispositions d'exploitation seront précisés, ces critères pourront être complétés par des spécifications d'acceptation en stockage.

Dans la mesure où des dispositions de conception du stockage à faible profondeur doivent encore être définies et les modalités de son exploitation précisées, l'Andra ne s'est pas appuyée sur l'analyse de sûreté en phase de fonctionnement pour la détermination des critères.

De plus, les scénarios de sûreté, de transfert des radionucléides (scénario d'évolution normale ou altérée) ne sont pas étudiés pour la définition de critères car ils mobilisent l'activité totale stockée (dans le stockage ou un ouvrage) et les résultats dépendent fortement des caractéristiques du site d'accueil et des barrières ouvragées conditionnant les capacités d'accueil du système de stockage.

Ainsi, les scénarios étudiés à ce stade pour l'établissement de critères quantitatifs sont les scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI) historiquement retenus pour les études de stockage des déchets FA-VL par l'Andra.

Les scénarios retenus et présentés au chapitre 5 du présent document retiennent notamment les hypothèses suivantes :

- Les scénarios ne peuvent survenir qu'après la perte de mémoire supposée de l'existence du stockage et des dangers qu'il présente (retenue à 500 ans) ;
- Les scénarios ne font pas intervenir le transfert par la voie eau ;
- Les scénarios considèrent qu'aucune intervention n'est possible pour limiter les conséquences une fois le stockage en phase de post-surveillance.

Ces scénarios permettent de faire le lien entre l'activité massique des déchets conditionnés et l'impact radiologique potentiel, et sont donc adaptés à une démarche d'établissement de critères portant sur l'activité massique des déchets. Ils sont présentés et décrits au chapitre 4 du présent document.

Les critères sont donnés en activité massique :

- Activité massique maximale au niveau d'un colis considéré individuellement,
- Activité massique moyenne au niveau d'une « famille de colis de déchets », correspondant à un regroupement de colis présentant les mêmes caractéristiques (origine des déchets, nature physico-chimique et mode de conditionnement).

La méthode de calcul des activités massiques maximales est présentée au chapitre 4 du présent document. Les résultats s'appuient sur un certain nombre d'hypothèses :

- Définition des scénarios d'intrusion humaine involontaire en lien avec la profondeur d'implantation du stockage dans une formation argileuse affleurante ;
- Teneur en déchets dans le stockage, cohérente avec un stockage industriel.

Par conséquent, toute évolution de tout ou partie de ces hypothèses conduirait à mettre à jour les évaluations.

4. Définition des critères radiologiques d'exclusion de la faible profondeur

4.1 Principe de détermination des « activités massiques maximales admissibles par radionucléide »

La méthodologie appliquée pour déterminer l'activité massique maximale associée à chacun des radionucléides retenus est la suivante :

1. Définition des scénarios d'intrusion humaine involontaire (objet du chapitre 5 du présent document) ;
 - a. Scénarios prenant en compte un petit nombre de colis de déchets (forage et scénarios associés), dont les résultats serviront notamment à établir les critères pour les colis considérés individuellement.
 - b. Scénarios prenant en compte un grand nombre de colis de déchets (chantier routier et scénarios associés, résidence/jeux d'enfants sur stockage sans couverture) dont les résultats permettront de compléter les précédents et couvrir l'appréciation de la compatibilité des regroupements de colis en « familles de déchets ».
2. Définition de valeurs limites de référence considérées comme acceptables et cohérentes avec les textes réglementaires et les principes directeurs fournis dans le projet de guide de sûreté pour un stockage à faible profondeur [4] :
 - a) La contrainte de dose a été prise égale à 20 mSv/an pour l'ensemble des scénarios sur la base des recommandations de la SSR n°5 (AIEA) [3]² ;
 - b) Le niveau de référence pour l'impact lié à la présence de radon dans les habitations des scénarios « résidence » est pris égale à 300 Bq/m³ ([4],[5]).
3. Pour chaque scénario retenu : calcul de l'activité massique du radionucléide « i » dans le stockage, induisant à lui seul un impact radiologique égal à la contrainte de dose définie au point 2. Cette action revient à supposer, pour chaque scénario, que le déchet ne contient que le radionucléide « i ». Pour les déchets comportant des précurseurs du radon, un traitement spécifique est retenu conduisant à évaluer l'activité maximale conduisant à l'atteinte de la concentration d'activité volumique maximale acceptable en radon.

Cela conduit à identifier pour chaque scénario et pour chaque radionucléide « i », l'activité massique maximale à la mise en stockage au-delà de laquelle le déchet/colis de déchets ne peut prétendre à être étudié pour un stockage à faible profondeur. L'activité massique maximale admissible d'un radionucléide correspond au rapport entre la contrainte de dose du scénario et le maximum de dose calculé sur la période de temps considérée par le SIHI, dans la mesure où le maximum de dose a été calculé sur la base d'une activité massique initiale de 1 Bq par gramme de déchet ou de colis selon

² La valeur de la borne haute de la gamme de référence a été retenue en lien avec le choix de définir des critères d'exclusion et non pas des critères d'acceptation.

les modalités définies au chapitre 6.3 du présent document. En synthèse, cette valeur maximale de dose intègre :

- a) La dose issue d'un radionucléide considéré seul dans le stockage à une activité massique de 1 Bq/g à un temps $T=0$ (correspondant au début de la phase de fermeture du stockage, la décroissance radiologique entre la mise en stockage et le début de la phase de fermeture est négligée) ;
 - b) La dose issue des radionucléides de filiation par décroissance radioactive.
4. Pour un radionucléide donné, la plus petite activité massique acceptable obtenue pour l'ensemble des scénarios étudiés est appelée « activité massique maximale admissible » ;
 5. Définition d'un indice radiologique d'exclusion (nommé IRE), calculé selon une somme pondérée des activités massiques contenues dans les déchets (Cf. chapitre 4.2 du présent document).

4.2 Définition de l'indice radiologique d'exclusion IRE

Pour un déchet dont le contenu radiologique comprend n radionucléides, l'indice radiologique d'exclusion (IRE) pour les activités massiques est défini, par la formule suivante.

$$\text{Indice radiologique d'exclusion} = \sum_i^n \frac{Am_i}{A_{maxi}}$$

Avec :

Am_i : activité massique du radionucléide i dans le déchet ou le colis de déchets considéré, évaluée à la date potentielle de mise en stockage

A_{maxi} : activité massique maximale admissible pour le radionucléide i dans le déchet ou le colis de déchets,

Ainsi, l'IRE de chaque colis doit rester inférieur à la valeur de 1 pour être éligible aux études dans le cadre d'un stockage à faible profondeur.

Dans la mesure où les calculs des critères s'appuient d'une part, sur des hypothèses enveloppes pour les concepts envisagés à ce stade et d'autre part, sur le fait que ces concepts peuvent être amenés à évoluer, les résultats des indices radiologiques sont à apprécier avec prudence. Dans ce cadre, un dépassement de la valeur de 1 jusqu'à une valeur de 2 n'est pas considéré comme nécessitant une exclusion du colis.

Compte tenu de ces éléments, l'exclusion du champ de la faible profondeur ne serait effective que dans le cas où l'IRE d'un colis de déchets dépasserait la valeur de 2. La valeur de 2 est considérée comme référence dans la suite du document.

Pour ce qui concerne les colis regroupés en « famille », la même formule s'applique au niveau de l'activité moyenne de la famille ainsi constituée. Dans ce cadre, la valeur de l'indice radiologique obtenu ne constitue pas un critère d'exclusion de la famille, mais constitue un indicateur de la compatibilité de ce regroupement de colis avec un stockage en faible profondeur.

5. Définition des scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI)

5.1 Description des SIHI

Dans l'hypothèse d'un stockage implanté dans une formation argileuse affleurante à 30 mètres de profondeur (au toit des déchets) et sur la base des SIHI traités pour le rapport d'étape de 2015 établi dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 du projet de stockage FA-VL [6], les scénarios d'intrusion suivants sont retenus :

- ***Entre 500 et 10 000 ans : Forage géotechnique destructif associé à une résidence et des jeux d'enfants sur déblais.***
 - ✓ L'épaisseur de la couverture du stockage est prise égale à sa valeur initiale, soit 30 m.
 - ✓ Ce scénario considère que le stockage est traversé par un forage géotechnique destructif qui va remonter des matériaux de stockage contaminés en surface (déchets, couverture, matériaux de remplissage de l'alvéole). De manière conservative, le forage est supposé s'arrêter à la base de l'alvéole de stockage. L'objectif est d'évaluer l'impact radiologique dû à un tel forage sur le foreur par inhalation et ingestion de poussières contaminées ainsi que par exposition radiologique externe.
 - ✓ Le scénario considère ensuite qu'une résidence est construite sur le sol contaminé par les déblais remontés en surface lors du forage. Cette résidence est composée d'une habitation et d'un jardin. L'objectif est d'évaluer l'impact sur l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, par inhalation et ingestion de poussières contaminées ainsi que par exposition radiologique externe. La concentration volumique en radon dans l'habitation (^{222}Rn) est également évaluée.
 - ✓ Il est également considéré une variante alternative où les gravats contaminés issus du forage ne se répartissent pas sur le sol et que des enfants les utilisent comme terrain de jeux occasionnels (vélo cross par exemple). L'objectif est d'évaluer l'impact radiologique sur l'enfant de 10 ans par inhalation et ingestion de poussières contaminées ainsi que par exposition radiologique externe. L'impact sur l'enfant de 10 ans associé à ce scénario n'est pas cumulé avec celui de la résidence (budget horaire associé indépendant).
- ***Entre 10 000 ans et 50 000 ans : Le scénario « forage » ainsi que les scénarios « résidence » et « jeux d'enfants sur déblais » associés sont reconduits avec, comme différence, l'épaisseur de couverture résiduelle amputée de 10 m du fait de l'érosion, soit une épaisseur totale de couverture de 20 m.***
- ***A 50 000 ans : Chantier routier associé à une résidence et à des jeux d'enfants sur déblais***
 - ✓ L'épaisseur de couverture résiduelle est égale à l'épaisseur initiale amputée de 20 m du fait de l'érosion, pour un total de 10 m de couverture ;
 - ✓ Dans ce cas, il est considéré que le stockage est traversé par un chantier de construction d'une route qui ramène en surface des matériaux constitués de déchets mélangés aux matériaux de la couverture du stockage. Le chantier routier est supposé traverser le stockage sur sa plus grande longueur. L'objectif est d'évaluer l'impact radiologique sur le travailleur associé à ce scénario par inhalation et ingestion de poussières contaminées ainsi que par exposition radiologique externe.
 - ✓ L'impact associé à la résidence et aux jeux d'enfants est évalué de la même manière que dans le scénario précédent, seul le modèle de contamination du sol est différent (chantier routier au lieu d'un forage géotechnique).
- ***A 50 000 ans : Implantation d'une résidence avec jeux d'enfants sur le stockage sans couverture à partir de 50 000 ans de manière conventionnelle.***
 - ✓ Ce scénario considère l'érosion totale de la couverture du stockage et l'implantation d'une résidence directement sur le stockage ainsi mis à nu. Des jeux d'enfants sont également évalués en considérant le stockage sans couverture comme terrain de jeux.

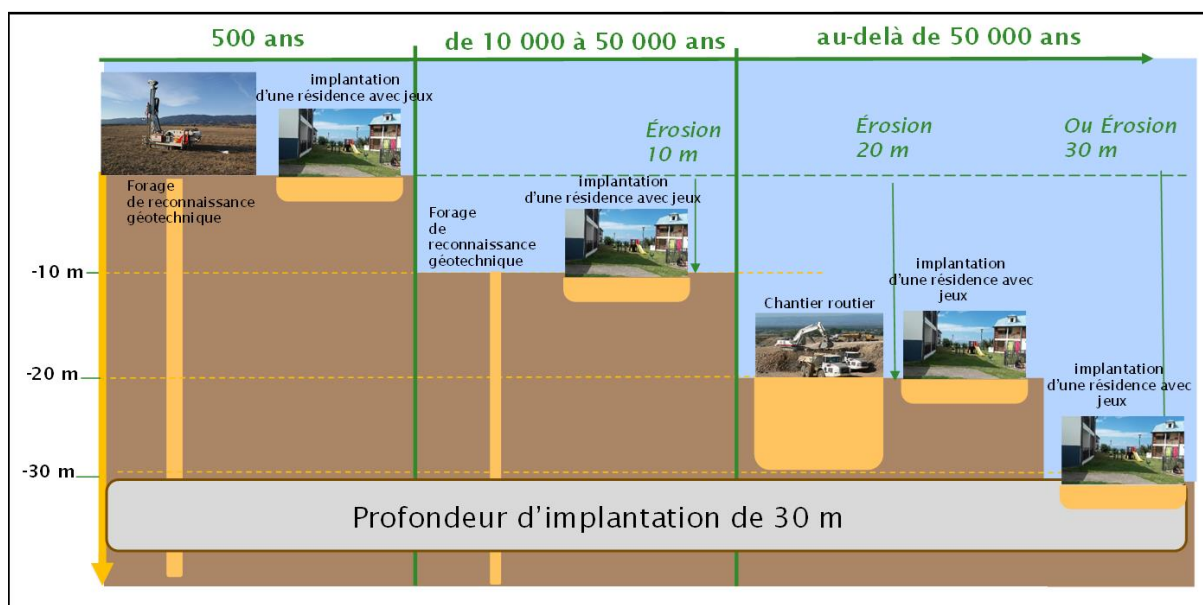


Figure 1 Représentation schématique des scénarios d'intrusion humaine involontaires considérés pour établir les critères d'exclusion

5.2 Hypothèses associées à la conception du stockage et des choix de conditionnement

5.2.1 Implantation et architecture du stockage

Une profondeur d'implantation du stockage de 30 m (au toit du stockage) est retenue, ce qui revient à considérer une couverture initiale de 30 m d'épaisseur.

La hauteur d'alvéole de stockage retenue est de 6 m (valeur conservative parmi les valeurs étudiées pour les différents concepts à ciel ouvert ou en galeries souterraines).

La longueur maximale de plateforme retenue pour le scénario « chantier routier » est de 1 200 mètres, valeur conservative parmi les longueurs des différentes plateformes de stockage étudiées dans le cadre du rapport d'étape 2015 [6]. Cela conduit à considérer une durée d'exposition de 120 heures pour le scénario « chantier routier ».

5.2.2 Taux de remplissage du stockage

Le taux de remplissage en déchets du stockage intervient dans le calcul des activités maximales admissibles. Pour rendre compte du caractère industriel du futur stockage au regard de sa capacité d'accueil, il est retenu un taux de remplissage en colis dans l'alvéole de 60 %. Cette valeur représente une estimation « réaliste » fondée d'une part sur les études menées en 2015 et d'autre part sur le retour d'expérience du CSA. Ce taux de 60% est utilisé pour l'ensemble des évaluations et notamment celles menées pour le cas 1 (Cf. chapitre 6.3).

L'Andra a choisi de distinguer deux modes de conditionnement, selon que les déchets sont déposés en vrac dans des emballages métalliques (conditionnement retenu de manière historique pour les déchets radifères) ou qu'ils soient bloqués à cœur dans des emballages comprenant une épaisseur en béton (conditionnement retenu de manière historique pour les déchets de graphite).

Ainsi, selon le mode de conditionnement retenu comme hypothèse de calcul, le taux de remplissage en déchets dans le stockage est différent :

- Déchet conditionné en vrac : 50% (taux utilisé pour le cas 2 Cf. chapitre 6.3)
- Déchets bloqués à cœur : 20% (taux utilisé pour le cas 3 Cf. chapitre 6.3)

6. Domaine d'application de l'IRE

6.1 Radionucléides exclus du champ d'application de l'IRE

Pour les 29 radionucléides de période inférieure à 5 ans de la liste des radionucléides retenus par l'Andra, les évaluations portant sur des scénarios intervenant à 500 ans n'ont pas permis d'obtenir des résultats exploitables. En effet, en considérant une activité initiale de 1 Bq/g, l'outil de décroissance utilisé (DARWIN) indique une activité totale égale à zéro à partir d'un certain pas de temps où l'activité résiduelle est extrêmement faible (au moins 10^{-40} Bq). Il s'agit des radionucléides présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Liste des radionucléides exclus du champ d'application de l'IRE

Isotope	Période [an]	Isotope	Période [an]
Tl-204	3,788E+00	Ru-106	1,020E+00
Lu-174	3,559E+00	Pm-144	9,939E-01
Rh-101	3,200E+00	V-49	9,035E-01
Rh-102	2,902E+00	Mn-54	8,546E-01
Sb-125	2,759E+00	Sn-119M	8,022E-01
Fe-55	2,735E+00	Ce-144	7,803E-01
Pm-147	2,623E+00	Co-57	7,442E-01
Na-22	2,603E+00	Ge-68	7,418E-01
Cs-134	2,065E+00	Pm-143	7,283E-01
Tm-171	1,917E+00	Ag-110M	6,839E-01
Th-228	1,913E+00	Zn-65	6,685E-01
Hf-172	1,870E+00	Gd-153	6,582E-01
Ta-179	1,610E+00	Rh-102M	5,695E-01
Lu-173	1,336E+00	Au-195	5,095E-01
Cd-109	1,267E+00		

Il n'est donc pas présenté de valeurs d'activités massiques maximales pour ces radionucléides. Pour ceux-ci, des valeurs limites seront définies ultérieurement, au travers notamment des études de sûreté en exploitation, une fois les modalités d'exploitation définies.

6.2 Prise en compte de l'hétérogénéité des activités massiques des colis au sein d'une famille

Au sein d'une famille, des colis peuvent présenter des niveaux d'activité supérieurs au niveau moyen de la famille. La démarche suivie vise à prendre en compte ces hétérogénéités en définissant deux jeux de valeurs d'activités massiques maximales admissibles, selon que l'on s'intéresse à l'activité maximale que peut présenter un colis considéré de manière individuelle ou à l'activité moyenne présentée par une famille (moyenne des activités des colis qui la composent).

Pour le cas d'un colis considéré de manière individuelle, les activités maximales admissibles sont déduites (Amax « colis ») de l'étude de scénario prenant en compte un faible nombre de colis, typiquement les scénarios « forages » et « résidences et jeux d'enfants » qui leur sont associés.

Pour le cas d'une famille, représentée par la moyenne des activités massiques des colis qui la composent, les activités maximales admissibles sont déduites (Amax « famille ») de l'étude de l'ensemble des scénarios traités.

Dans ce cadre :

- Amax « colis » : correspondent aux activités maximales admissibles pour un colis considéré individuellement, et sont fondées sur la prise en compte des scénarios « forages » et scénarios « résidence » et « jeux d'enfants » qui leur sont associés ;
- Amax « famille » : correspondent aux activités massiques moyennes admissibles pour les colis regroupés en famille, et reposent sur les activités massiques maximales admissibles obtenues pour l'ensemble des scénarios traités.

Par construction, les Amax « colis » sont donc supérieures ou égales aux Amax « familles ».

Comme stipulé au paragraphe 4.2, l'IRE doit ainsi dépasser la valeur de 2 pour que le colis pris individuellement soit exclu de la faible profondeur. Au niveau d'un regroupement de colis constituant une famille, l'indice ne constitue qu'un indicateur : de ce fait, dans le cas où sa valeur dépasse la valeur de 2, cela ne conduit pas à exclure la famille du champ de la faible profondeur.

6.3 Prise en compte des modalités de conditionnement, existant ou à venir

Les critères ont été établis pour tenir compte du conditionnement existant ou à venir des déchets, en appliquant des teneurs en déchets spécifiques selon le cas de figure considéré (Cf. chapitre 5.2.2).

Cela permet d'établir les 3 jeux de critères (Cas 1 à 3) suivants selon l'objet considéré :

- Pour les colis déjà constitués ou les déchets non conditionnés mais dont les hypothèses de conditionnement sont déjà connues³, les critères ont été établis pour évaluer l'activité massique du colis et s'appliquent donc à l'activité en Bq par gramme de colis constitué (Cas 1).
- Pour les déchets non encore conditionnés, les critères ont été établis pour évaluer les activités massiques des déchets et s'appliquent donc à l'activité massique du déchet non conditionné. Deux cas de figure ont été traités :
 - ✓ Le premier cas considère un conditionnement sans blocage des déchets dans des emballages de faible épaisseur (Cas 2) ;
 - ✓ Le second cas considère un conditionnement dans un conteneur épais de type coque béton et comprenant un blocage des déchets (Cas 3).

7. Modalités de calcul de l'IRE et interprétation du résultat

7.1 Activités massiques maximales

Les activités massiques maximales définies au niveau du colis pris individuellement pour chacun des 3 cas sont présentées en annexe 1 du document.

Les activités massiques maximales définies au niveau de la famille pour chacun des 3 cas sont présentées en annexe 2 du document.

7.2 Calcul de l'IRE

L'Andra a développé un outil de calcul (Excel) permettant, pour chacun des cas, de calculer l'IRE d'un colis ou d'une famille de colis. Cet outil, dont la « notice » d'utilisation est présentée en annexe 3, a été fourni en complément de ce rapport aux producteurs.

Les activités à saisir correspondent aux activités à la date supposée de mise en stockage.

7.3 Interprétation des résultats

Comme indiqué au chapitre 4.2, la méthode suivie par l'Andra conduit à calculer l'indice radiologique d'exclusion d'un colis (ou d'une famille de déchets à titre d'indicateur). La valeur obtenue est comparée à 2.

Pour le cas de calcul d'un IRE portant sur un colis de déchets pris de manière individuelle :

- Si $IRE \leq 2$, le colis de déchets est éligible aux études de stockage à faible profondeur ;
- Si $IRE > 2$, le colis est exclu des études de stockage en faible profondeur.

Ainsi chaque colis présentant un IRE dépassant la valeur de 2 est exclu du champ de la faible profondeur.

Les indices établis pour les familles peuvent être utilisés par les producteurs à des fins de constitution de regroupement de colis présentant des caractéristiques similaires.

³ Ce cas peut aussi être appliqué par l'utilisateur pour étudier des hypothèses de conditionnement.

8. Conclusion

Les réflexions menées par l'Andra pour répondre à la demande du PNGMDR formulée dans l'article n°27 du projet d'arrêté PNGMDR [1] ont conduit au constat qu'en l'absence de définition d'un site d'accueil et d'un concept de stockage, il n'est pas possible de définir des critères absolus de distinction des déchets FA-VL et MA-VL. L'Andra a donc axé sa démarche vers l'identification de critères qui ne soient pas dépendants d'un site ou d'un concept spécifique de stockage, mais qui reposent sur des hypothèses compatibles avec un stockage à faible profondeur.

A partir de ce constat, l'Andra a construit une démarche permettant de définir des critères radiologiques pour identifier les colis de déchets dont les caractéristiques radiologiques ne permettent pas de respecter les exigences de sûreté après-fermeture et pouvant de ce fait être exclus de la filière à faible profondeur. Pour cela, l'Andra a fondé sa démarche sur le respect des objectifs de protection radiologique associées aux scénarios d'intrusion humaine involontaire pour un stockage situé à 30 m de profondeur en formation argileuse affleurante.

Les résultats de cette étude ont conduit à définir des valeurs d'activité massiques, permettant de calculer des indices radiologiques d'exclusion IRE, et ainsi de définir si un colis de déchets est éligible aux études pour un stockage à faible profondeur ou doit en être exclu. Les résultats permettent également de donner des orientations sur la compatibilité de regroupements possibles de colis en « familles » avec un stockage à faible profondeur, regroupements que le producteur de déchets jugerait pertinent.

Ces évaluations reposent sur des hypothèses : stockage implanté à 30 mètres de profondeur en formation argileuse affleurante, accueillant 60% de colis. Les résultats présentés dans cette étude sont donc dépendants de ces hypothèses et seraient à réévaluer si celles-ci devaient évoluer. A contrario la démarche de définition de critères ne constitue pas une analyse complète de l'acceptabilité des colis dans un stockage dédié.

Les outils de calculs sont mis à disposition des producteurs afin qu'ils puissent définir des listes de déchets pouvant être étudiés en stockage à faible profondeur, conformément à l'article 27 précité.

9. Références

- [1] PNGMDR 2022-2026
- [2] Orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité à vie longue – mai 2008
- [3] Normes de sûreté de l'AIEA - Prescriptions de sûreté particulières SSR n°5 pour le Stockage définitif des déchets radioactifs
- [4] Rapport IRSN N° 2020-00962 – « Elaboration d'un guide pour le stockage des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) – Synthèse des travaux du groupe de travail sur la mise à jour de la note d'orientations de 2008 de l'ASN »
- [5] Décret n°2018-434 du 04 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire
- [6] FRPADPG150010 – « PNGMDR 2013-2015 – Projet de stockage de déchets radioactifs de faible activité massive à vie longue (FA-VL) – Rapport d'étape 2015 »

Annexe1 : Activités massiques maximales admissibles définies pour chaque radionucléide au niveau du colis pris individuellement (Amax « colis »)

Tableau 2 *Valeurs d'activités maximales définies selon les cas pour un colis de déchets pris individuellement*

	Amax au niveau du colis		
RN	Cas 1 Colis constitué (Bq/g de colis)	Cas 2 Déchets non bloqués (Bq/g de déchets)	Cas 3 Déchets bloqués (Bq/g de déchets)
Ac227	8,8E+09	1,1E+10	2,6E+10
Ag108m	2,7E+03	3,3E+03	8,1E+03
Al26	3,1E+03	3,7E+03	9,2E+03
Am241	4,4E+04	5,3E+04	1,3E+05
Am242m	8,1E+04	9,7E+04	2,4E+05
Am243	1,7E+04	2,0E+04	5,0E+04
Ar39	7,5E+12	9,0E+12	2,2E+13
Ar42	1,6E+09	2,0E+09	4,9E+09
Ba133	1,0E+18	1,2E+18	3,0E+18
Be10	9,0E+06	1,1E+07	2,7E+07
Bi207	7,2E+07	8,6E+07	2,2E+08
Bi208	3,3E+03	3,9E+03	9,8E+03
Bi210m	2,3E+04	2,8E+04	6,9E+04
Bk247	1,1E+04	1,4E+04	3,4E+04
Bk249	5,9E+06	7,1E+06	1,8E+07
C14	7,1E+07	8,5E+07	2,1E+08
Ca41	1,1E+08	1,4E+08	3,4E+08
Cd113m	8,7E+16	1,0E+17	2,6E+17
Cf248	1,3E+08	1,5E+08	3,8E+08
Cf249	1,5E+04	1,8E+04	4,5E+04
Cf250	7,6E+06	9,1E+06	2,3E+07
Cf251	1,4E+04	1,7E+04	4,2E+04
Cf252	3,5E+08	4,2E+08	1,1E+09
Cl36	1,5E+07	1,8E+07	4,4E+07
Cm242	1,9E+08	2,2E+08	5,6E+08
Cm243	1,3E+07	1,6E+07	3,9E+07
Cm244	6,4E+06	7,7E+06	1,9E+07
Cm245	1,1E+04	1,3E+04	3,3E+04
Cm246	2,1E+04	2,5E+04	6,3E+04
Cm247	4,1E+03	4,9E+03	1,2E+04
Cm248	2,7E+03	3,2E+03	8,0E+03
Cm250	5,1E+02	6,1E+02	1,5E+03
Co60	1,7E+32	2,1E+32	5,2E+32
Cs135	3,1E+07	3,7E+07	9,4E+07
Cs137	2,1E+09	2,6E+09	6,4E+09
Dy154	1,9E+04	2,3E+04	5,6E+04

	Amax au niveau du colis		
RN	Cas 1 Colis constitué (Bq/g de colis)	Cas 2 Déchets non bloqués (Bq/g de déchets)	Cas 3 Déchets bloqués (Bq/g de déchets)
Es252	1,1E+08	1,3E+08	3,4E+08
Es254	1,3E+08	1,6E+08	4,0E+08
Eu150	3,7E+07	4,5E+07	1,1E+08
Eu152	3,5E+13	4,2E+13	1,0E+14
Eu154	3,0E+21	3,6E+21	9,0E+21
Eu155	1,2E+34	1,4E+34	3,6E+34
Fe60	3,4E+03	4,1E+03	1,0E+04
Gd148	2,7E+04	3,2E+04	8,1E+04
Gd150	1,9E+04	2,3E+04	5,7E+04
H3	1,4E+21	1,7E+21	4,3E+21
Hf178n	1,9E+07	2,2E+07	5,6E+07
Hf182	6,1E+03	7,4E+03	1,8E+04
Hg194	5,7E+02	6,8E+02	1,7E+03
Ho163	2,8E+02	3,4E+02	8,4E+02
Ho166m	3,5E+02	4,2E+02	1,0E+03
I129	2,5E+05	3,0E+05	7,6E+05
Ir192n	1,1E+03	1,3E+03	3,3E+03
K40	5,5E+04	6,6E+04	1,6E+05
Kr81	1,9E+05	2,3E+05	5,6E+05
Kr85	2,6E+16	3,1E+16	7,8E+16
La137	1,6E+06	2,0E+06	4,9E+06
Lu176	2,6E+04	3,1E+04	7,8E+04
Mn53	4,8E+08	5,8E+08	1,4E+09
Mo93	1,2E+07	1,4E+07	3,6E+07
Nb91	4,3E+02	5,2E+02	1,3E+03
Nb92	5,0E+03	6,0E+03	1,5E+04
Nb93m	2,5E+17	3,0E+17	7,6E+17
Nb94	7,2E+03	8,6E+03	2,1E+04
Ni59	2,5E+08	3,0E+08	7,4E+08
Ni63	4,0E+09	4,8E+09	1,2E+10
Np235	5,5E+11	6,6E+11	1,6E+12
Np236	1,9E+04	2,3E+04	5,7E+04
Np237	1,0E+04	1,2E+04	3,0E+04
Os194	3,2E+27	3,8E+27	9,5E+27
Pa231	8,0E+02	9,6E+02	2,4E+03
Pb202	2,2E+04	2,6E+04	6,5E+04
Pb205	8,6E+07	1,0E+08	2,6E+08
Pb210	5,3E+10	6,4E+10	1,6E+11
Pd107	3,7E+08	4,4E+08	1,1E+09
Pm145	8,3E+10	9,9E+10	2,5E+11
Pm146	2,6E+12	3,1E+12	7,7E+12
Po208	2,3E+13	2,7E+13	6,8E+13
Po209	7,6E+03	9,1E+03	2,3E+04

	Amax au niveau du colis		
RN	Cas 1 Colis constitué (Bq/g de colis)	Cas 2 Déchets non bloqués (Bq/g de déchets)	Cas 3 Déchets bloqués (Bq/g de déchets)
Pt193	2,7E+05	3,2E+05	8,0E+05
Pu236	1,6E+07	1,9E+07	4,7E+07
Pu238	9,5E+05	1,1E+06	2,9E+06
Pu239	1,6E+04	1,9E+04	4,9E+04
Pu240	1,8E+04	2,1E+04	5,3E+04
Pu241	1,3E+06	1,6E+06	3,9E+06
Pu242	1,3E+04	1,6E+04	4,0E+04
Pu244	3,5E+03	4,2E+03	1,1E+04
Ra226	5,4E+03	6,5E+03	1,6E+04
Ra228	3,6E+29	4,3E+29	1,1E+30
Rb87	1,1E+07	1,3E+07	3,2E+07
Re186m	4,1E+05	4,9E+05	1,2E+06
Se79	3,8E+06	4,6E+06	1,1E+07
Si32	3,6E+03	4,3E+03	1,1E+04
Sm145	1,5E+12	1,8E+12	4,5E+12
Sm146	4,8E+04	5,8E+04	1,5E+05
Sm151	6,0E+09	7,1E+09	1,8E+10
Sn121m	1,4E+05	1,7E+05	4,2E+05
Sn126	4,1E+03	4,9E+03	1,2E+04
Sr90	1,8E+11	2,2E+11	5,4E+11
Tb157	8,6E+03	1,0E+04	2,6E+04
Tb158	1,8E+03	2,1E+03	5,3E+03
Tc97	4,1E+07	5,0E+07	1,2E+08
Tc98	5,6E+03	6,7E+03	1,7E+04
Tc99	2,2E+07	2,7E+07	6,7E+07
Th229	6,6E+03	8,0E+03	2,0E+04
Th230	3,1E+03	3,8E+03	9,4E+03
Th232	2,0E+03	2,4E+03	6,1E+03
Ti44	8,4E+04	1,0E+05	2,5E+05
U232	6,6E+05	8,0E+05	2,0E+06
U233	5,1E+03	6,1E+03	1,5E+04
U234	8,1E+03	9,7E+03	2,4E+04
U235	9,8E+02	1,2E+03	2,9E+03
U236	1,2E+05	1,4E+05	3,5E+05
U238	4,9E+04	5,9E+04	1,5E+05
Zr93	4,0E+07	4,9E+07	1,2E+08

Annexe2 : Activités massiques maximales admissibles définies pour chaque radionucléide au niveau de la famille de déchets (Amax « famille »)

Tableau 3 Valeurs d'activités maximales définies selon les cas pour une famille de déchets

	Amax au niveau de la famille		
RN	Cas 1 Colis constitué (Bq/g de colis)	Cas 2 Déchets non bloqués (Bq/g de déchets)	Cas 3 Déchets bloqués (Bq/g de déchets)
Ac227	8,8E+09	1,1E+10	2,6E+10
Ag108m	2,7E+03	3,3E+03	8,1E+03
Al26	1,9E+02	2,2E+02	5,6E+02
Am241	4,4E+04	5,3E+04	1,3E+05
Am242m	8,1E+04	9,7E+04	2,4E+05
Am243	1,7E+04	2,0E+04	5,0E+04
Ar39	7,5E+12	9,0E+12	2,2E+13
Ar42	1,6E+09	2,0E+09	4,9E+09
Ba133	1,0E+18	1,2E+18	3,0E+18
Be10	7,3E+05	8,7E+05	2,2E+06
Bi207	7,2E+07	8,6E+07	2,2E+08
Bi208	1,6E+02	1,9E+02	4,8E+02
Bi210m	2,3E+03	2,8E+03	7,0E+03
Bk247	1,1E+04	1,4E+04	3,4E+04
Bk249	5,9E+06	7,1E+06	1,8E+07
C14	7,1E+07	8,5E+07	2,1E+08
Ca41	1,5E+07	1,9E+07	4,6E+07
Cd113m	8,7E+16	1,0E+17	2,6E+17
Cf248	1,3E+08	1,5E+08	3,8E+08
Cf249	1,5E+04	1,8E+04	4,5E+04
Cf250	7,6E+06	9,1E+06	2,3E+07
Cf251	1,4E+04	1,7E+04	4,2E+04
Cf252	5,5E+07	6,7E+07	1,7E+08
Cl36	9,2E+05	1,1E+06	2,8E+06
Cm242	5,3E+07	6,3E+07	1,6E+08
Cm243	9,3E+06	1,1E+07	2,8E+07
Cm244	6,4E+06	7,7E+06	1,9E+07
Cm245	1,1E+04	1,3E+04	3,3E+04
Cm246	2,1E+04	2,5E+04	6,3E+04
Cm247	9,4E+02	1,1E+03	2,8E+03
Cm248	4,2E+02	5,0E+02	1,3E+03
Cm250	5,1E+02	6,1E+02	1,5E+03
Co60	1,7E+32	2,1E+32	5,2E+32
Cs135	2,5E+06	3,0E+06	7,6E+06
Cs137	2,1E+09	2,6E+09	6,4E+09
Dy154	3,0E+03	3,6E+03	9,1E+03

	Amax au niveau de la famille		
RN	Cas 1 Colis constitué (Bq/g de colis)	Cas 2 Déchets non bloqués (Bq/g de déchets)	Cas 3 Déchets bloqués (Bq/g de déchets)
Es252	1,1E+08	1,3E+08	3,4E+08
Es254	1,3E+08	1,6E+08	4,0E+08
Eu150	3,7E+07	4,5E+07	1,1E+08
Eu152	3,5E+13	4,2E+13	1,0E+14
Eu154	3,0E+21	3,6E+21	9,0E+21
Eu155	1,2E+34	1,4E+34	3,6E+34
Fe60	2,1E+02	2,6E+02	6,4E+02
Gd148	2,7E+04	3,2E+04	8,1E+04
Gd150	3,1E+03	3,7E+03	9,4E+03
H3	1,4E+21	1,7E+21	4,3E+21
Hf178n	1,9E+07	2,2E+07	5,6E+07
Hf182	4,3E+02	5,1E+02	1,3E+03
Hg194	5,7E+02	6,8E+02	1,7E+03
Ho163	2,8E+02	3,4E+02	8,4E+02
Ho166m	3,5E+02	4,2E+02	1,0E+03
I129	2,6E+04	3,1E+04	7,7E+04
Ir192n	1,1E+03	1,3E+03	3,3E+03
K40	3,2E+03	3,8E+03	9,6E+03
Kr81	1,9E+05	2,3E+05	5,6E+05
Kr85	2,6E+16	3,1E+16	7,8E+16
La137	7,7E+05	9,2E+05	2,3E+06
Lu176	2,2E+03	2,6E+03	6,5E+03
Mn53	2,6E+07	3,2E+07	7,9E+07
Mo93	1,2E+07	1,4E+07	3,6E+07
Nb91	4,3E+02	5,2E+02	1,3E+03
Nb92	3,5E+02	4,2E+02	1,0E+03
Nb93m	2,5E+17	3,0E+17	7,6E+17
Nb94	2,0E+03	2,4E+03	6,1E+03
Ni59	2,2E+07	2,6E+07	6,5E+07
Ni63	4,0E+09	4,8E+09	1,2E+10
Np235	1,0E+11	1,3E+11	3,1E+11
Np236	2,3E+03	2,8E+03	7,0E+03
Np237	2,3E+03	2,8E+03	7,0E+03
Os194	3,2E+27	3,8E+27	9,5E+27
Pa231	3,5E+02	4,2E+02	1,1E+03
Pb202	3,0E+03	3,5E+03	8,9E+03
Pb205	5,8E+06	7,0E+06	1,7E+07
Pb210	5,3E+10	6,4E+10	1,6E+11
Pd107	2,1E+07	2,5E+07	6,2E+07
Pm145	8,3E+10	9,9E+10	2,5E+11
Pm146	5,9E+11	7,1E+11	1,8E+12
Po208	1,1E+12	1,3E+12	3,3E+12
Po209	7,6E+03	9,1E+03	2,3E+04

	Amax au niveau de la famille		
RN	Cas 1 Colis constitué (Bq/g de colis)	Cas 2 Déchets non bloqués (Bq/g de déchets)	Cas 3 Déchets bloqués (Bq/g de déchets)
Pt193	2,7E+05	3,2E+05	8,0E+05
Pu236	1,6E+07	1,9E+07	4,7E+07
Pu238	2,7E+05	3,2E+05	8,0E+05
Pu239	1,2E+04	1,4E+04	3,5E+04
Pu240	1,8E+04	2,1E+04	5,3E+04
Pu241	1,3E+06	1,6E+06	3,9E+06
Pu242	3,1E+03	3,8E+03	9,4E+03
Pu244	5,3E+02	6,3E+02	1,6E+03
Ra226	5,4E+03	6,5E+03	1,6E+04
Ra228	3,6E+29	4,3E+29	1,1E+30
Rb87	5,7E+05	6,9E+05	1,7E+06
Re186m	4,3E+04	5,1E+04	1,3E+05
Se79	2,3E+05	2,7E+05	6,8E+05
Si32	3,6E+03	4,3E+03	1,1E+04
Sm145	1,5E+12	1,8E+12	4,5E+12
Sm146	1,1E+04	1,3E+04	3,4E+04
Sm151	6,0E+09	7,1E+09	1,8E+10
Sn121m	1,4E+05	1,7E+05	4,2E+05
Sn126	3,4E+02	4,1E+02	1,0E+03
Sr90	1,8E+11	2,2E+11	5,4E+11
Tb157	8,6E+03	1,0E+04	2,6E+04
Tb158	1,8E+03	2,1E+03	5,3E+03
Tc97	7,8E+06	9,4E+06	2,3E+07
Tc98	4,1E+02	4,9E+02	1,2E+03
Tc99	1,4E+06	1,7E+06	4,2E+06
Th229	6,6E+03	8,0E+03	2,0E+04
Th230	4,9E+01	5,9E+01	1,5E+02
Th232	1,9E+02	2,3E+02	5,8E+02
Ti44	8,4E+04	1,0E+05	2,5E+05
U232	6,6E+05	8,0E+05	2,0E+06
U233	1,2E+03	1,5E+03	3,6E+03
U234	9,5E+01	1,1E+02	2,9E+02
U235	1,9E+02	2,2E+02	5,6E+02
U236	2,7E+04	3,2E+04	8,1E+04
U238	1,3E+03	1,5E+03	3,9E+03
Zr93	2,9E+06	3,5E+06	8,8E+06

Annexe 3 : Outil de calcul de l'Indice Radiologique d'Exclusion (IRE)

Pour calculer un IRE au niveau d'un colis de déchets ainsi que pour calculer un IRE au niveau d'une famille de déchets, un outil de calcul de l'IRE pour chacun des 3 cas présentés au chapitre 6 est fourni aux producteurs.

Il se présente sous la forme d'un tableau de calcul Excel (figure n°2 ci-dessous) représenté ici pour exemple pour le calcul de l'IRE au niveau d'une famille (pour les 1ers radionucléides de la liste à titre d'exemple).

Calcul IRE au niveau du colis individuel									
R ⁿ	Activité massique du colis individuel (Bq/g de colis)	IRE colis total CAS 1		R ⁿ	Activité massique des déchets du colis individuel (Bq/g de déchet)	IRE déchets non bloqués total CAS 2		IRE déchets bloqués total CAS 3	
		Activité massique maximale d'exclusion de la famille de colis (Bq/g de colis)	IRE des colis de la famille par radionucléide			Activité massique maximale d'exclusion des déchets non bloqués (Bq/g de déchets)	IRE déchets non bloqués par radionucléide	Activité massique maximale d'exclusion des déchets bloqués (Bq/g de déchets)	IRE déchets bloqués par radionucléide
Ac227		8.8E+09	0.0E+00	Ac227		1.1E+10	0.0E+00	2.6E+10	0.0E+00
Ag108m		2.7E+03	0.0E+00	Ag108m		3.3E+03	0.0E+00	8.1E+03	0.0E+00
Au198		3.1E+03	0.0E+00	Au198		3.7E+03	0.0E+00	9.2E+03	0.0E+00
Am241		6.4E+04	0.0E+00	Am241		5.3E+04	0.0E+00	1.3E+05	0.0E+00
Am242m		8.7E+04	0.0E+00	Am242m		8.7E+04	0.0E+00	2.4E+05	0.0E+00
Am243		1.7E+04	0.0E+00	Am243		2.0E+04	0.0E+00	5.0E+04	0.0E+00
Ar39		7.5E+12	0.0E+00	Ar39		9.0E+12	0.0E+00	2.2E+13	0.0E+00
As42		1.6E+09	0.0E+00	As42		2.0E+09	0.0E+00	4.8E+09	0.0E+00
Ba133		1.0E+18	0.0E+00	Ba133		1.2E+18	0.0E+00	3.0E+18	0.0E+00
Be10		9.0E+06	0.0E+00	Be10		1.1E+07	0.0E+00	2.7E+07	0.0E+00
Bi207		7.2E+07	0.0E+00	Bi207		8.6E+07	0.0E+00	2.2E+08	0.0E+00
Bi208		3.3E+03	0.0E+00	Bi208		3.9E+03	0.0E+00	9.8E+03	0.0E+00
Bi210m		2.3E+04	0.0E+00	Bi210m		2.8E+04	0.0E+00	6.9E+04	0.0E+00
Bk247		1.1E+04	0.0E+00	Bk247		1.4E+04	0.0E+00	3.4E+04	0.0E+00
Bk249		5.9E+06	0.0E+00	Bk249		7.1E+06	0.0E+00	1.8E+07	0.0E+00
C14		7.1E+07	0.0E+00	C14		8.3E+07	0.0E+00	2.1E+08	0.0E+00
Ca41		1.1E+08	0.0E+00	Ca41		1.4E+08	0.0E+00	3.4E+08	0.0E+00
Ca113m		8.7E+16	0.0E+00	Ca113m		1.0E+17	0.0E+00	2.6E+17	0.0E+00
Ce148		1.3E+08	0.0E+00	Ce148		1.5E+08	0.0E+00	3.8E+08	0.0E+00
Ce149		1.5E+04	0.0E+00	Ce149		1.8E+04	0.0E+00	4.5E+04	0.0E+00
Ce150		7.6E+06	0.0E+00	Ce150		9.1E+06	0.0E+00	2.3E+07	0.0E+00
Ce151		1.4E+04	0.0E+00	Ce151		1.7E+04	0.0E+00	4.2E+04	0.0E+00
Ce152		3.3E+08	0.0E+00	Ce152		4.3E+08	0.0E+00	1.1E+09	0.0E+00
Ce156		1.5E+07	0.0E+00	Ce156		1.8E+07	0.0E+00	4.4E+07	0.0E+00
Ce162		1.9E+08	0.0E+00	Ce162		2.3E+08	0.0E+00	5.8E+08	0.0E+00
Ce163		1.3E+07	0.0E+00	Ce163		1.6E+07	0.0E+00	3.9E+07	0.0E+00
Ce164		6.4E+06	0.0E+00	Ce164		7.7E+06	0.0E+00	1.9E+07	0.0E+00
Ce165		1.1E+04	0.0E+00	Ce165		1.3E+04	0.0E+00	3.3E+04	0.0E+00
Ce166		2.1E+04	0.0E+00	Ce166		2.5E+04	0.0E+00	6.3E+04	0.0E+00
Ce167		6.1E+03	0.0E+00	Ce167		6.9E+03	0.0E+00	1.7E+04	0.0E+00
Ce168		2.7E+03	0.0E+00	Ce168		3.2E+03	0.0E+00	8.0E+03	0.0E+00

Figure 2 Outil de calcul de l'IRE (pour une famille de déchets) – exemple donné pour les premiers radionucléides de la liste par ordre alphabétique

Étapes à réaliser pour calculer un IRE

- Choisir l'onglet ad hoc en fonction du type de calcul voulu pour l'IRE :
 - Au niveau de l'activité moyenne d'une famille ou,
 - Pour un colis de déchets individuel.
- Définir le cas selon que les déchets sont déjà conditionnés ou non, et selon le mode de conditionnement envisagé. Pour mémoire :
 - Cas 1 : colis déjà constitués ou déchets non conditionnés mais dont les hypothèses de conditionnement sont déjà connues⁴ ;
 - Cas 2 : déchets non encore conditionnés, avec un conditionnement envisagé sans blocage des déchets et dans un emballage de faible épaisseur ;
 - Cas 3 : déchets non encore conditionnés, avec un conditionnement envisagé dans un conteneur épais de type coque béton et comprenant un blocage des déchets.
- Vérifier l'adéquation des données disponibles
 - Pour le cas 1 : activités massiques en Bq/g de colis ;
 - Pour les cas 2 et 3 : activités massiques en Bq/g de déchets.
- Renseigner les valeurs d'activités massiques (décrues à la date supposée de mise en stockage) dans les colonnes de couleur saumon de l'outil de calcul (les cellules de cette colonne n'étant pas verrouillées, il est recommandé à l'utilisateur de faire attention aux procédures de type « couper-coller » ou « déplacement de cellules » qui peuvent entraîner un risque d'erreur de calcul dans les cases adjacentes « #Ref ») ;
- Interpréter les résultats de l'IRE obtenu (Cf. chapitre 7.3).

⁴ Ce cas peut aussi être appliqué par l'utilisateur pour étudier des hypothèses de conditionnement.



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex

www.andra.fr