

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Guide méthodologique pour l'acceptation de déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations classées d'élimination

Partie 1 : Guide méthodologique

DEI/SARG/2006-009



DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DE L'INTERVENTION  
Service d'analyse des risques liés à la géosphère



INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DE L'INTERVENTION**

Service d'analyse des risques liés à la géosphère

BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex France

Demandeur	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (DPPR)				
Référence de la demande	Courrier DPPR 03-472 du 10 décembre 2003				
Numéro de la fiche programme	C02/I-03F0/03-02				
<b>Guide méthodologique pour l'acceptation de déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations classées d'élimination</b>					
Laboratoire d'étude sur le radon et d'analyse des risques (LERAR)					
Charlotte CAZALA, Bruno CESSAC, Didier GAY					
Rapport DEI/SARG/2006-009					
	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur*	Chef du SARG	Directeur de la DEI	Directeur Général de l'IRSN
Noms	C.CAZALA B. CESSAC	Didier GAY J.M. PERES	J.M. PERES	P. B. DU FER D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	11.07.06	11.07.06	11.07.06	18/07/06	
Signatures					

\* rapport sous assurance de la qualité

# Sommaire

1	INTRODUCTION .....	7
2	LA RADIOACTIVITE NATURELLE RENFORCEE OU CONCENTREE DANS LE CONTEXTE DE LA GESTION DES DECHETS .....	9
2.1	VARIABILITE DE LA RADIOACTIVITE NATURELLE .....	9
2.2	NOTION DE RADIOACTIVITE NATURELLE RENFORCEE OU CONCENTREE .....	9
3	CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET ADMINISTRATIF .....	10
3.1	REGLES APPLICABLES EN MATIERE DE GESTION DES DECHETS ET DISPOSITIONS PARTICULIERES RELATIVES A LA RADIOACTIVITE .....	10
3.1	RESPONSABILITES RESPECTIVES DU PRODUCTEUR DE DECHETS ET DE L'ELIMINATEUR .....	12
4	L'EVALUATION DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE DANS LA PROCEDURE D'ELIMINATION DE DECHETS PRESENTANT UNE RADIOACTIVITE NATURELLE EN CENTRE DE STOCKAGE .....	13
4.1	PRINCIPES GENERAUX D'UNE EVALUATION D'IMPACT RADIOLOGIQUE .....	13
4.1.1	<i>Objectifs</i> .....	13
4.1.2	<i>Etude spécifique/générique</i> .....	13
4.2	CARACTERISATION DE BASE DU DECHET PAR LE PRODUCTEUR .....	14
4.2.1	<i>Description du déchet</i> .....	14
4.2.2	<i>Quantités à traiter</i> .....	14
4.2.3	<i>La caractérisation de base</i> .....	14
4.2.4	<i>Interprétation des analyses radiologiques de la caractérisation de base</i> .....	19
4.3	LES ETAPES DE L'EVALUATION DE L'EXPOSITION DES PERSONNELS .....	20
4.3.1	<i>Etat de référence de la radioactivité sur le site de stockage</i> .....	20
4.3.2	<i>Groupe de référence et scénarios d'exposition</i> .....	20
4.3.2.1	Définition du groupe de référence .....	20
4.3.2.2	Description des postes de travail .....	21
4.3.2.3	Situations normales et situations dégradées .....	23
4.3.2.4	Identification des voies d'exposition par poste de travail .....	25
4.3.3	<i>Evaluation de l'impact radiologique</i> .....	26
4.3.3.1	Notion de dose ajoutée .....	26
4.3.3.2	Récapitulatif des paramètres nécessaires .....	27
4.3.3.3	Les outils de calcul de la dose .....	29
4.3.4	<i>Cas particulier de l'exposition par inhalation de radon</i> .....	31
4.3.5	<i>Synthèse des résultats</i> .....	32
4.4	EVALUATION DE L'ACCEPTABILITE DU DECHET .....	33
4.4.1	<i>Prise en compte du cumul des impacts</i> .....	33
4.4.2	<i>Décisions possibles à l'issue de l'étude d'acceptabilité</i> .....	35
4.4.2.1	Sur le plan de l'exposition du personnel .....	35
4.4.2.2	Sur les transferts dans l'environnement .....	35
5	VERIFICATIONS SUR SITE ET SUIVI A LONG TERME .....	36
5.1	AVANT EXPLOITATION : LE POINT ZERO RADIOLOGIQUE .....	36
5.2	EN COURS D'EXPLOITATION .....	37
5.2.1	<i>Vérification du déchet à l'arrivée sur site</i> .....	37
5.2.2	<i>Vérification après acceptation du chargement sur le site</i> .....	37
5.2.3	<i>Vérification dans l'environnement du site</i> .....	37
5.3	SUIVI A LONG TERME .....	38
6	SYNTHESE .....	39

# Liste des figures

FIGURE 1: FAMILLES RADIOACTIVES.....	16
FIGURE 2: EXEMPLE DE SPECTRE OBTENU PAR ANALYSE PAR SPECTROMETRIE GAMMA D'UN ECHANTILLON DE SEDIMENT LACUSTRE.....	18
FIGURE 3: EXEMPLE DE FICHE DE POSTE.....	22
FIGURE 4 : EXEMPLE DE POSTES DE TRAVAIL ENVISAGEABLES DANS UN CENTRE DE STOCKAGE DE DECHETS DANGEREUX EN FONCTION DES MODALITES DE GESTION D'UN DECHET. ....	24
FIGURE 5 : VOIES D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS .....	25
FIGURE 6 : SYNTHESE DES PARAMETRES DESCRIPTIFS D'UNE EXPOSITION PAR INHALATION DE POUSSIERES. ....	30
FIGURE 7 : EXEMPLE DE DESCRIPTION D'UN POSTE DE TRAVAIL D'UN OPERATEUR A PROXIMITE D'UN CAMION CITERNE EN COURS DE DECHARGEMENT .....	31
FIGURE 8 : EXEMPLE DE SCHEMA CONCEPTUEL POUR LA TRANSCRIPTION DU POSTE DE TRAVAIL D'UN OPERATEUR A PROXIMITE D'UN CAMION CITERNE EN COURS DE DECHARGEMENT .....	31
FIGURE 9 : TRANSFERT ET DISPERSION DU RADON AU TRAVERS DES SYSTEMES DE COLLECTE DE BIOGAZ D'UN SITE DE STOCKAGE DE DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES.....	32
FIGURE 10: EXEMPLE DE CALCUL DU CUMUL DES DOSES SUR 12 MOIS.....	34

# Liste des tableaux

TABLEAU 1 : EXEMPLES D'ACTIVITES EN $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ ET $^{40}\text{K}$ ( $\text{BQ}\cdot\text{KG}^{-1}$ ) DE CERTAINS MATERIAUX OU SOUS-PRODUITS . . . . .	9
TABLEAU 2: PRINCIPAUX RADIOELEMENTS DES FAMILLES NATURELLES ANALYSABLES PAR SPECTROMETRIE $\tilde{\gamma}$ . . . . .	19
TABLEAU 3 : EXEMPLES DE SITUATIONS D'EXPOSITION SUIVANT LE MODE DE TRAITEMENT DU DECHET ET PAR POSTE. . . . .	26
TABLEAU 4 : COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE ENGAGEE PAR UNITE INCORPOREE PAR INHALATION ET INGESTION ( $\text{Sv}\cdot\text{BQ}^{-1}$ ) POUR LES TRAVAILLEURS. . . . .	28
TABLEAU 5 : EXEMPLES DE VALEURS DE DEBITS RESPIRATOIRES . . . . .	29

# Liste des annexes

- ANNEXE 1 : Circulaire du 10 juin 2003 relative aux installations de stockage de déchets dangereux (NOR : DEVP0320306C, BO min. écolog. no 21, 15 novembre 2003)
- ANNEXE 2 : Dispositions générales en matière de radioprotection et leur applicabilité aux déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée
- ANNEXE 3 : Exemple de calcul de concentration volumique de  $^{222}\text{Rn}$  dans l'atmosphère à proximité d'un événement d'évacuation de biogaz dans un centre de stockage de déchets ménagers et assimilés
- ANNEXE 4 : Exemple de calcul du temps de transfert des radionucléides à travers une barrière mise en place dans un centre de stockage de déchets dangereux

## 1 INTRODUCTION

La plupart des matériaux sont naturellement radioactifs. Leur radioactivité est due, pour l'essentiel, au potassium 40 et aux radionucléides des familles de l'uranium et du thorium. Cette radioactivité est généralement faible et ne nécessite pas de prendre en compte de façon spécifique le risque radiologique correspondant. Les matériaux sont alors considérés comme non radioactifs et gérés en tant que tels.

Compte tenu de la répartition hétérogène des éléments concernés (K, U et Th), certains déchets arrivant en centre de stockage présentent toutefois des niveaux de radioactivité significativement supérieurs aux valeurs moyennes rencontrées dans l'environnement. Ils peuvent alors être responsables de déclenchements de portiques de détection de radioactivité et éventuellement justifier des dispositions particulières sur le plan de la radioprotection.

C'est évidemment le cas pour les minerais d'uranium et de radium, hors du champ du présent guide, mais également pour certaines matières premières qui, bien que non exploitées pour leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles, sont naturellement riches en radionucléides. C'est également le cas pour certains résidus ou sous-produits industriels dans lesquels les radionucléides naturels se retrouvent concentrés sans que cela soit l'objectif recherché.

Compte tenu de leurs caractéristiques radiologiques, les matières, résidus et sous-produits précédents peuvent poser une difficulté particulière lors de leur élimination en tant que déchets. Il convient en effet de décider s'ils doivent être considérés en tant que déchets radioactifs et orientés vers des filières spécifiques ou s'ils peuvent être acceptés dans des installations d'élimination conventionnelles.

La circulaire du directeur de la prévention des pollutions et des risques en date du 10 juin 2003 fixe la démarche à mettre en œuvre pour répondre à cette question dans le cas des installations de stockage de déchets dangereux. Cette démarche repose sur la réalisation d'une étude démontrant l'absence d'impact radiologique significatif associé à la manipulation ou au stockage des déchets, en préalable à leur réception dans un centre d'élimination.

La réception de déchets fait l'objet d'un accord entre le producteur et l'éliminateur. La démarche est mise en œuvre par l'éliminateur sur la base d'une description des déchets établie par le producteur. La réalisation de l'étude d'acceptabilité nécessite le recours à des compétences particulières qui, si elles n'existent pas chez l'industriel responsable des déchets ou chez l'éliminateur, devront être recherchées auprès de bureaux d'études spécialisés.

L'objectif du présent guide est de décliner pratiquement la démarche précédente en proposant aux différents acteurs concernés une méthode détaillant les étapes à mettre en œuvre pour la réalisation d'études d'acceptabilité. Son champ d'application est limité aux déchets présentant une radioactivité naturelle et s'étend à divers types d'installations de stockage individuelles ou collectives relevant de la réglementation des installations classées.

Le guide est accompagné de 13 fiches « questions/réponses » présentant de manière synthétique les principaux aspects abordés dans le texte. Ces fiches ont vocation à servir de base aux éventuelles actions d'information et de communication mises en place par les acteurs concernés.

Le présent document s'inscrit dans le cadre de la réflexion mise en place par la direction de la prévention des pollutions et des risques (DPPR) du ministère de l'écologie et du développement durable dans le cadre d'un groupe de travail relatif aux moyens de détection de la radioactivité à l'entrée des centres de stockage de déchets (dit « groupe portiques »). La DPPR en a confié la réalisation à l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN). La réalisation du guide s'est effectuée sous le contrôle d'un comité de pilotage composé de représentants d'industriels producteurs de ce type de déchets, d'exploitants de centres de stockages, d'associations de protection de l'environnement, d'experts et de l'administration. Le contenu et la structure du guide et des fiches qui l'accompagnent

résultent des discussions menées au sein de ce comité de pilotage et entre la DPPR et l'IRSN.

#### Liste des fiches « questions/réponses »

- 1 Qu'est ce que la radioactivité et comment la mesure-t-on ?
- 2 Qu'entend-on par radioactivité naturelle renforcée ou concentrée?
- 3 Quelle est l'origine de la radioactivité naturelle en France ?
- 4 Quel est le niveau d'exposition de la population française à la radioactivité ?
- 5 Quels sont les types d'exposition aux rayonnements naturels ?
- 6 Quelles sont la réglementation et la législation en radioprotection?
- 7 Qui sont les acteurs de la gestion des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée?
- 8 Quelles sont les activités industrielles susceptibles de générer des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée ?
- 9 Que sont les centres de stockage des déchets (C.S.D.) ?
- 10 Quelle est la réglementation applicable aux centres de stockage de déchets qui sont des installations classées?
- 11 Quel est le rôle des portiques de détection à l'entrée des centres de stockage ?
- 12 Quel est le principe de l'évaluation de l'impact radiologique de l'élimination d'un déchet présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée en centre de stockage ?
- 13 Comment les déchets conventionnels et les déchets radioactifs sont-ils gérés ?



## 2 LA RADIOACTIVITE NATURELLE RENFORCEE OU CONCENTREE DANS LE CONTEXTE DE LA GESTION DES DECHETS

### 2.1 Variabilité de la radioactivité naturelle

La radioactivité est omniprésente dans notre environnement. Elle est principalement due à la présence des radionucléides des chaînes naturelles ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  et  $^{232}\text{Th}$ ) ainsi qu'au  $^{40}\text{K}$ . La répartition de ces radionucléides est caractérisée par une grande variabilité. Leurs teneurs dans la plupart des matériaux sont faibles. Les processus géochimiques peuvent cependant donner lieu à des phénomènes de concentration et certaines espèces minérales ou formations géologiques présentent des activités significativement plus élevées. Quelques ordres de grandeur sont donnés au tableau 1 pour illustrer cette variabilité.

Tableau 1 : Exemples d'activités en  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  et  $^{40}\text{K}$  ( $\text{Bq.kg}^{-1}$  de matière sèche) de certains matériaux ou sous-produits [1] [2].

	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
croûte terrestre	40	40	400
sols	35	35	370
granite	52	48	1100
calcaire	15	5	90
phosphogypse	200	17	60
phosphate	11300	30	200
zircon	4000	500	20
monazite	10000	600000	10

### 2.2 Notion de radioactivité naturelle renforcée ou concentrée

La transformation industrielle de matières premières naturellement riches en radionucléides (dites à radioactivité naturelle concentrée) à d'autres fins que l'utilisation de leurs propriétés radioactives peut générer des résidus dont l'activité massique peut être plus élevée que celle du matériau d'origine. On parle alors de déchets présentant une radioactivité naturelle technologiquement renforcée.

La gestion et l'élimination de ces déchets peuvent conduire, pour les personnes concernées, à un surcroît d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle par rapport à celle due à la radioactivité de l'environnement. On parle alors d'exposition naturelle renforcée.

⇒ Dans la suite du document, les notions de *radioactivité naturelle concentrée des matières premières* et de *radioactivité naturelle technologiquement renforcée* sont réunies sous la terminologie :

radioactivité naturelle renforcée ou concentrée.

### 3 CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET ADMINISTRATIF

#### 3.1 Règles applicables en matière de gestion des déchets et dispositions particulières relatives à la radioactivité

##### Règles applicables à la gestion des déchets

Les dispositions applicables aux centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, aux centres de stockage des déchets dangereux et aux centres de stockage de déchets inertes provenant d'installations classées sont définies respectivement dans les arrêtés ministériels du 9 septembre 1997 modifié, du 30 décembre 2002 et du 31 décembre 2004<sup>1</sup>. Elles sont précisées dans la circulaire du directeur de la prévention des pollutions et des risques en date du 10 juin 2003 (cf. annexe 1) pour ce qui concerne les installations de stockage de déchets dangereux.

Les trois arrêtés mentionnés précédemment prévoient explicitement l'interdiction du stockage de déchets radioactifs et la mise en place d'un « contrôle de non radioactivité » ou d'une « procédure de détection de la radioactivité » des chargements à l'entrée des centres concernés.

Comme cela a été indiqué au paragraphe 2.2, la notion de radioactivité est une notion relative puisque tout matériau contient naturellement des radionucléides. Les arrêtés précisent à cet égard que, par déchet radioactif, il convient d'entendre tout « déchet contenant un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection ».

La circulaire du 10 juin 2003 - relative aux installations de stockage de déchets dangereux - apporte des précisions sur deux aspects.

En premier lieu, elle indique l'objectif recherché au travers de la procédure de détection de la radioactivité. Celle-ci ne vise pas à définir le caractère radioactif ou non d'un déchet. Le déclenchement d'un portique au passage d'un chargement ne doit pas être interprété comme la preuve du caractère radioactif du chargement et impliquer son refus systématique. La procédure de détection de la radioactivité a pour objectif d'alerter l'exploitant sur l'existence éventuelle d'un risque radiologique vis-à-vis duquel il lui revient d'assurer la protection de son personnel en mettant en œuvre les procédures de mise en sécurité et de vérification du chargement qu'il aura préalablement établies. La démarche s'apparente en ce sens aux dispositifs de détection en vigueur dans les aéroports pour les contrôles de sécurité : ils fournissent un élément de jugement en fonction duquel des vérifications complémentaires peuvent être conduites. Ces vérifications conduisent généralement à une levée de doute ou à des actions de prévention (transfert en soute ou prise en charge par le personnel de bord d'un objet potentiellement dangereux).

Le réglage du portique, qui dépend en partie du bruit de fond radioactif local, ainsi que son utilisation relèvent de la responsabilité de l'exploitant (cf. circulaire DPPR du 30 juillet 2003<sup>2</sup>).

La circulaire du 10 juin 2003 introduit l'idée qu'il est préférable que la réception d'un déchet présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, soit anticipée et qu'une décision puisse être prise dès la caractérisation de base. Pour ce faire, la circulaire précise l'esprit dans lequel le caractère radioactif du déchet doit être évalué. Elle renvoie pour cela à la notion d'activité ou de concentration négligeable du point de vue de la radioprotection. La circulaire précise que l'estimation de ce caractère négligeable doit être établie sur la base d'une étude de l'exposition des membres de la population potentiellement la plus exposée. Elle ajoute que cette population est généralement constituée par le personnel de l'installation de stockage. La circulaire indique enfin que le niveau de référence à prendre en compte pour établir le caractère négligeable des expositions est la limite de dose efficace annuelle de 1 mSv, considérée en valeur ajoutée au rayonnement naturel.

Outre les déchets ménagers et assimilés et les déchets dangereux mentionnés précédemment, il existe en France une troisième catégorie de déchets. Cette catégorie correspond aux déchets inertes - c'est-à-dire des déchets qui ne sont pas susceptibles de subir une modification physique, chimique ou biologique importante, et qui ne sont pas biodégradables.

Deux types d'installations de stockage existent suivant la provenance des déchets à éliminer :

<sup>1</sup> Arrêtés consultables sur le site :

[http://aida.ineris.fr/sommaires\\_textes/sommaire\\_chronologique/cadre\\_chronologique.htm](http://aida.ineris.fr/sommaires_textes/sommaire_chronologique/cadre_chronologique.htm)

<sup>2</sup> Circulaire consultable sur le site : <http://aida.ineris.fr/textes/circulaires/text4328.htm>

- Dans le cas des déchets en provenance de l'activité du bâtiment et des travaux publics, les installations sont soumises au code de l'environnement mais ne sont pas des installations classées. Ce type d'installation n'est pas visé par le présent guide.
- Certaines autres installations destinées au stockage de déchets inertes sont habilitées à accueillir des déchets industriels provenant d'installations classées à condition, évidemment, que les déchets concernés aient bien les caractéristiques des déchets inertes. C'est le cas, par exemple, de certains sables de fonderies. Les installations de stockage correspondantes sont alors réglementées en tant qu'installations classées, en application du code de l'environnement. De la même façon que les stockages de déchets dangereux et les stockages de déchets ménagers et assimilés, elles font l'objet d'une autorisation préfectorale et de contrôles par l'inspection des installations classées.

#### Champ d'application du guide en regard du contexte réglementaire et administratif

Conformément aux instructions de la DPPR, le présent guide tient pleinement compte du contexte réglementaire rappelé ci-avant. Il repose en particulier sur la précision introduite entre déchets radioactifs et déchets contenant des radionucléides mais dont l'impact radiologique peut être considéré comme négligeable.

Le guide s'inscrit dans le cadre direct de la démarche définie par la circulaire du 10 juin 2003. Il vise en effet à définir la méthodologie à appliquer pour évaluer l'impact ajouté associé à des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée pour lequel une acceptation en centre de stockage est envisagée. Il définit le contenu de l'étude à effectuer en préalable à la réception d'un chargement de déchets.

Le guide est plus restreint dans son champ d'application que la circulaire du 10 juin 2003 dans la mesure où il ne s'intéresse qu'aux seuls déchets à radioactivité naturelle. Il est en même temps plus large, puisqu'il concerne également les installations de stockage de déchets dangereux, les installations de stockage de déchets ménagers et assimilés ainsi que les installations de stockage de déchets inertes provenant d'installations classées.

En préalable à la réalisation de l'étude d'acceptabilité radiologique objet du présent guide, les producteurs doivent mener une réflexion approfondie sur le type de stockage le plus adapté pour l'élimination des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée en fonction de leur nature physico-chimique, des garanties concernant la gestion du personnel et la protection de l'environnement et ce, dans le respect de la réglementation en vigueur.

#### Dispositions particulières relatives à la radioactivité

Il n'existe pas à l'heure actuelle de dispositions propres au stockage de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée. Toutefois, les dispositions générales en matière de radioprotection, tant dans le code de la santé publique que dans le code du travail, fournissent des références à retenir pour apprécier le caractère négligeable de l'impact ajouté au rayonnement naturel dans la démarche d'évaluation de l'acceptabilité de ces déchets en centres de stockage. Les textes correspondants et leur applicabilité aux déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée sont rappelés en détail dans l'annexe 2.

Au vu de l'annexe 2, les références à retenir sont respectivement :

- ⇒ 1 mSv.an<sup>-1</sup> pour la dose efficace annuelle ajoutée au rayonnement naturel local pour le groupe de population le plus exposé. Compte tenu de la situation particulière envisagée (réception et stockage) et des voies de transfert correspondantes, le groupe concerné sera en général le personnel du centre de stockage ;
- ⇒ 400 Bq.m<sup>-3</sup>, en valeur moyenne annuelle, pour l'exposition au radon. En atmosphère ouverte, cette voie d'exposition devrait être en général négligeable et les activités observées bien inférieures à cette valeur.

Il est à noter que le caractère négligeable du risque radiologique ne fait pas obstacle aux dispositions de précaution et de protection que l'exploitant peut être amené à prendre du fait des autres risques et nuisances générés par l'activité du centre de stockage (ex : port d'un masque en milieu empoussiéré).

### 3.2 Responsabilités respectives du producteur de déchets et de l'éliminateur

Les procédures d'acceptation et de réception de déchets prévoient des responsabilités distinctes et complémentaires pour le producteur/détenteur de déchets et pour l'exploitant du centre de stockage qui en assure l'élimination.

La procédure d'acceptation en centre de stockage comprend trois niveaux de vérification plus ou moins développés selon le type d'installation : la caractérisation de base, la vérification de la conformité, la vérification sur place.

#### La caractérisation de base

Le producteur, ou détenteur, des déchets doit, en premier lieu, faire procéder à une caractérisation de base. Cette caractérisation est à renouveler à chaque évolution importante de process.

Dans le cas des stockages de déchets ménagers et assimilés, cette caractérisation n'est pas exigée par la réglementation.

#### La vérification de conformité

Le producteur, ou détenteur, des déchets doit ensuite, et au plus tard un an après la réalisation de la caractérisation de base, faire procéder à une vérification de conformité. Cette vérification de conformité est à renouveler au minimum une fois par an. L'exploitant du centre de stockage délivre au producteur, ou détenteur, un certificat d'acceptation préalable. Ce certificat est établi au vu des résultats de la caractérisation de base et, si celle-ci a été réalisée il y a plus d'un an, de la vérification de conformité. La durée de validité d'un tel certificat est d'un an au maximum.

Dans le cas des stockages de déchets ménagers et assimilés, la vérification se réduit généralement à une information préalable de l'éliminateur par le producteur. Elle peut cependant prendre la forme d'un certificat d'acceptation, délivré par l'exploitant, dans le cas où l'arrêté d'exploitation de l'installation fixe au moins un critère d'admission.

#### La vérification sur place

Chaque chargement de déchets fait l'objet d'une inspection visuelle et, le cas échéant, d'analyses.

Dans le cadre du stockage des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, il est nécessaire que le partage des responsabilités soit généralisé et s'applique à l'ensemble des catégories de déchets. Dans le cas du présent guide, il aboutit aux implications suivantes :

### Partage des responsabilités pour la mise en œuvre du présent guide

- quel que soit le type de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée et le type de stockage envisagé, le producteur a la responsabilité de faire réaliser une caractérisation physico-chimique et radiologique des déchets (caractérisation de base), soit en préalable à la réception des déchets, soit à la suite du déclenchement d'un portique. Il transmet les résultats des analyses à l'éliminateur ;
- à partir de ces données, l'éliminateur conduit l'étude visant à apprécier l'acceptabilité des déchets, notamment en termes de radioprotection. La réalisation de l'étude d'acceptabilité est de la responsabilité de l'éliminateur.

Dans la mesure où l'étude ou la caractérisation dépasse son champ de compétence habituel, le producteur ou l'exploitant peut s'adjoindre les services de bureaux d'études ou d'experts compétents. Ceux-ci interviennent alors sous la responsabilité directe du producteur ou de l'éliminateur sans que leurs responsabilités respectives ne soient modifiées.

Dans le cas de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, il est souhaitable que le laboratoire en charge de la caractérisation radiologique pour l'analyse de conformité soit indépendant de celui ayant fait la caractérisation de base du déchet.

## 4 L'ÉVALUATION DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE DANS LA PROCEDURE D'ÉLIMINATION DE DÉCHETS PRÉSENTANT UNE RADIOACTIVITÉ NATURELLE EN CENTRE DE STOCKAGE

### 4.1 Principes généraux d'une évaluation d'impact radiologique

#### 4.1.1 Objectifs

L'objectif de l'évaluation de l'impact radiologique associé à l'élimination de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée en centre de stockage est, d'une part d'estimer les doses maximales susceptibles d'être reçues ou engagées par le personnel du fait du traitement de ces déchets et, d'autre part, d'apprécier l'adéquation des barrières de confinement présentes sur l'installation, avec la nécessité de protection du public, notamment après la fermeture du stockage. Les résultats de cette évaluation constitue une base de décision sur l'acceptabilité des déchets.

L'évaluation de l'impact radiologique s'appuie sur :

- la caractérisation physique, chimique et radiologique des déchets ;
- la description des opérations de traitement et de manutention des déchets depuis leur réception jusqu'à leur stockage ;
- la description du concept de stockage exploité et l'analyse de l'efficacité des barrières de confinement mises en œuvre.

#### 4.1.2 Etude spécifique/générique

Une étude est dite spécifique lorsque, pour un producteur et une installation de stockage donnés, elle ne concerne qu'un seul type de déchets. Par type de déchets, il est entendu des déchets présentant des caractéristiques physico-chimiques et radiologiques homogènes. Chaque type de déchets à éliminer doit faire l'objet d'une étude d'impact spécifique.

Il peut être noté qu'une nouvelle étude devra être réalisée lorsqu'un élément nouveau (évolution du procédé industriel par exemple ou des caractéristiques des matières premières) laisse envisager un changement des caractéristiques physico-chimiques et radiologiques du déchet ou lorsque la vérification de la conformité par l'éliminateur ou la vérification sur place révèlent une évolution significative de l'un des paramètres par rapport aux déclarations initiales du producteur.

L'étude d'acceptabilité devra également être revue en fonction de l'évolution des procédés de traitement et de manutention des déchets au sein du centre de stockage.

Lorsque l'exploitant d'un centre de stockage est sollicité par un producteur pour l'élimination de déchets dont l'activité massique est susceptible de varier significativement d'un lot à l'autre, il est possible de réaliser une étude dite générique. Une étude générique est la synthèse d'études spécifiques couvrant, pour un déchet donné, une gamme de compositions radiologiques. Ainsi, à la réception de la demande d'élimination, l'exploitant des installations de stockage est en mesure de déterminer la dose induite par l'élimination du déchet à partir de sa caractérisation radiologique initiale et du tonnage du lot à prendre en charge (informations transmises par le producteur) sans repasser par une étude spécifique.

Une étude générique peut être menée pour l'ensemble des déchets provenant d'un groupement de producteurs, dans la mesure où chacun des déchets concernés présente des caractéristiques physico-chimiques identiques.

Qu'elle soit spécifique ou générique, l'étude doit être conduite suivant la base méthodologique présentée dans la suite du chapitre 4.

#### 4.2 Caractérisation de base du déchet par le producteur

La caractérisation de base est la première étape de la procédure d'acceptabilité d'un déchet. Elle est assurée par le producteur et contrôlée par l'éliminateur (exploitant du centre de stockage). Elle consiste à caractériser globalement le déchet en rassemblant toutes les informations destinées à montrer qu'il remplit les critères correspondant au stockage.

Dans le cas d'un déchet à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, la caractérisation de base doit satisfaire à la réglementation en vigueur pour les installations de stockage concernées et fournir des informations complémentaires sur les radionucléides d'intérêt présents dans le déchet. Les thématiques présentées ci-dessous doivent, au minimum, y être renseignées.

##### 4.2.1 Description du déchet

Le producteur doit fournir une description détaillée du mode de production du déchet (activité génératrice du déchet, matières premières mises en œuvre s'il s'agit d'un déchet de fabrication, caractéristiques du produit s'il s'agit d'un déchet d'utilisation).

##### 4.2.2 Quantités à traiter

**Chaque producteur doit établir les quantités de chacun des types de déchet qu'il souhaite voir pris en charge par une installation de stockage. Un calendrier des prévisions de livraison doit également être défini et respecté dans la mesure du possible.**

##### 4.2.3 La caractérisation de base

Dans le cas d'un déchet à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, les informations complémentaires à fournir lors de la caractérisation de base portent sur la nature et l'activité des radionucléides d'intérêt présents dans le déchet. Cette caractérisation radiologique devra être conduite par un laboratoire compétent dans le domaine de la mesure de la radioactivité.

La caractérisation de base doit être réalisée pour chaque type de déchet. Si l'ensemble des déchets n'est pas produit dans le cadre d'un même procédé, chaque lot de déchet doit faire l'objet d'une caractérisation de base.

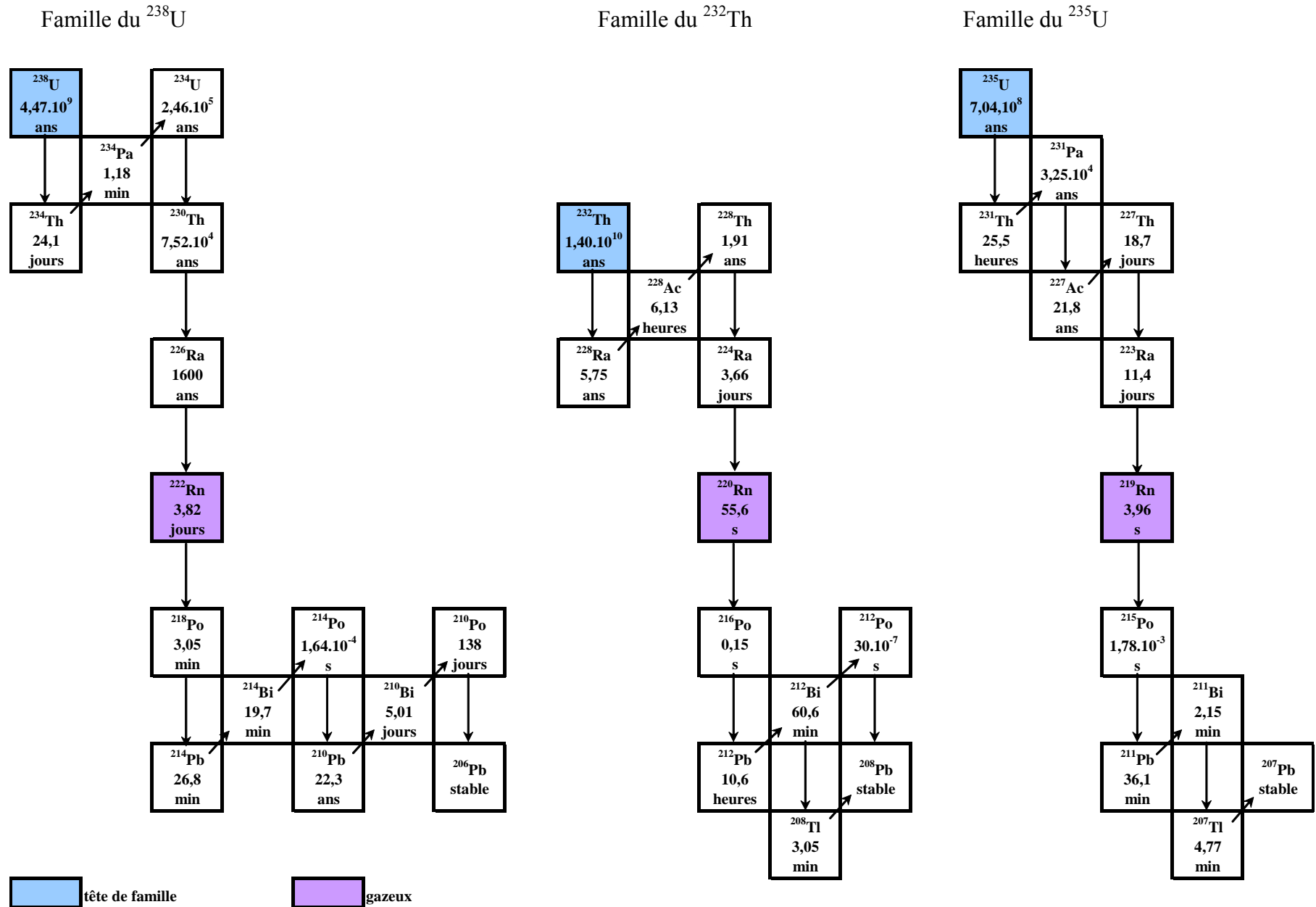
La radioactivité naturelle renforcée ou concentrée des déchets est généralement due à la présence d'un isotope radioactif du potassium ( $^{40}\text{K}$ ) et/ou à des radioéléments des chaînes de l'uranium ( $^{238}\text{U}$  et  $^{235}\text{U}$ ) et du thorium ( $^{232}\text{Th}$ ) (Figure 1). Ceux-ci devront être pris en compte lors de la caractérisation.

L'analyse devra aussi confirmer l'absence de contamination radioactive artificielle à des niveaux supérieurs à ce qui est habituellement rencontré dans l'environnement en raison des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl ( $^{137}\text{Cs}$  en particulier)<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Pour aller plus loin le lecteur pourra se reporter au livre IPSN, « le césium, de l'environnement à l'homme » aux éditions EDP Sciences (ISBN 2-86883-471-X) ainsi qu'aux diverses données consultables sur le site <http://www.irsn.org/>

Figure 1 : Familles radioactives





Dans le cas de chaînes radioactives, la mesure ne peut pas concerner qu'un seul radioélément. Il convient de déterminer les activités des principaux radionucléides à vie longue de chaque chaîne, soit directement, soit à partir de la connaissance des radionucléides à vie plus courte, en équilibre séculaire avec ces derniers.

Chaîne de l'uranium 238 : La mesure devra porter au minimum sur l' $^{238}\text{U}$ , le  $^{226}\text{Ra}$  et le  $^{210}\text{Pb}$ . Si ces radioéléments sont à l'équilibre séculaire, on peut alors considérer que tous les radioéléments de la chaîne sont à l'équilibre. Si au contraire, on constate des déséquilibres significatifs, des mesures complémentaires devront être entreprises ( $^{230}\text{Th}$  et  $^{234}\text{U}$ ).

Chaîne du thorium 232 : La mesure devra porter sur le  $^{232}\text{Th}$ , le  $^{228}\text{Ra}$  et le  $^{228}\text{Th}$ .

Chaîne de l'uranium 235 : L'activité des radioéléments constitutifs de cette chaîne peut être soit mesurée directement, soit déduite des mesures conduites sur les radioéléments de la chaîne de l'uranium 238. Dans ce dernier cas, l'activité est déduite du rapport isotopique des activités des pères de famille ( $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 22$ ). Quand la famille de l'uranium 238 présente un déséquilibre, le rapport d'activité mentionné ci-dessus sera appliqué à l'activité maximale déterminée dans cette famille.

Les laboratoires compétents en charge des analyses sont libres du choix des techniques de mesurage. Pour les radioéléments recherchés, la mesure par spectrométrie gamma est la technique la plus employée à l'heure actuelle.

Chaque radioélément émetteur gamma émet à une (ou des) énergie(s) caractéristique(s). La figure 2 présente un exemple de spectre obtenu par spectrométrie gamma bas bruit de fond. Sur ce spectre, on peut identifier les principaux pics représentatifs des radioéléments constitutifs des familles naturelles ainsi que le  $^{137}\text{Cs}$ . La surface d'un pic d'énergie donnée est proportionnelle à l'activité du radioélément conduisant à une émission de rayonnements gamma de cette énergie.

Le facteur de proportionnalité intègre :

- le pourcentage d'émission du radioélément pour l'énergie considérée [3] ;
- le rendement de détection pour l'énergie considérée ;
- la masse (ou le volume) de l'échantillon ;
- le temps de comptage ;
- le bruit de fond du comptage.

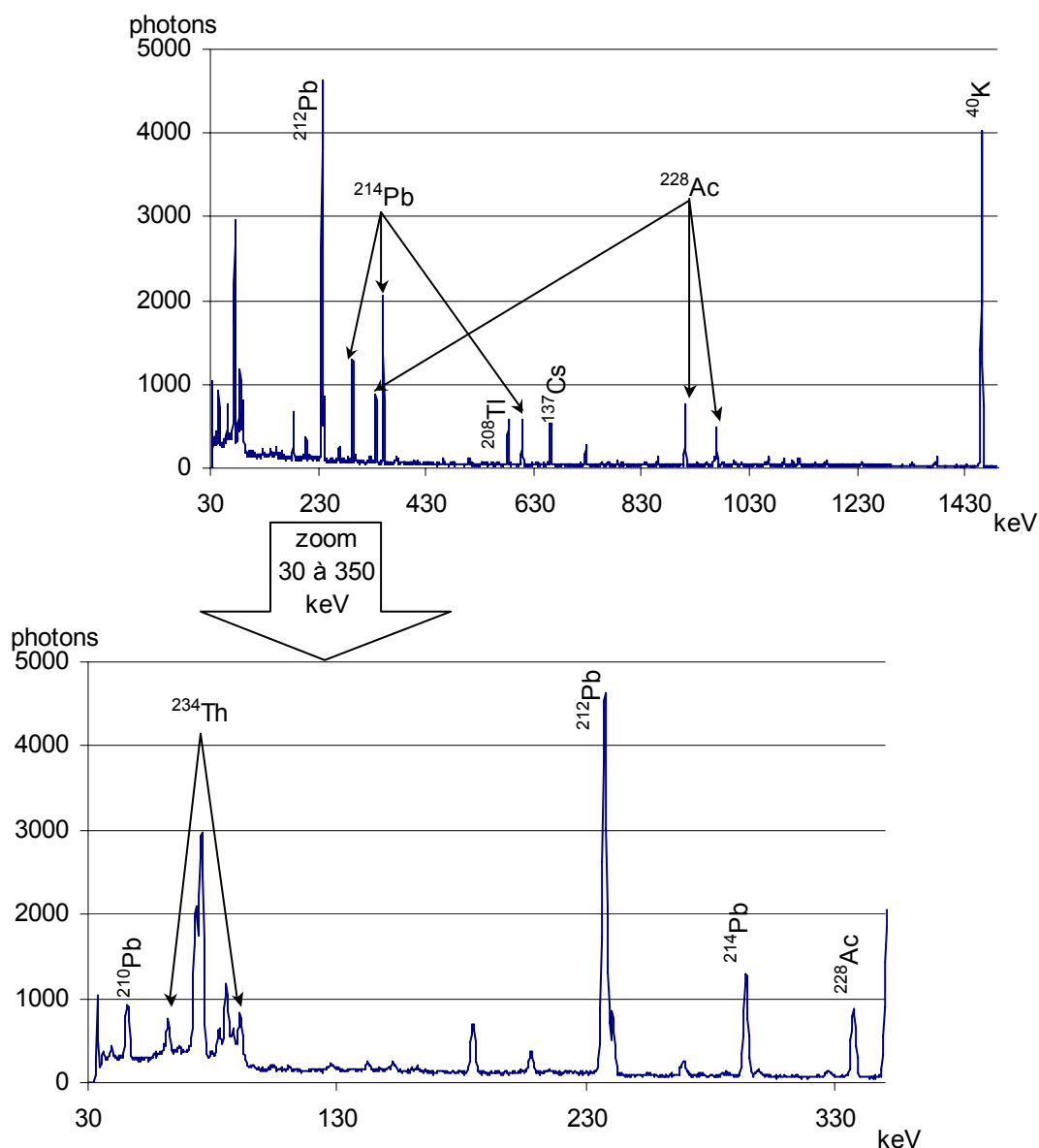


Figure 2: Exemple de spectre obtenu par analyse par spectrométrie gamma d'un échantillon de sédiment lacustre.

La quantification des radioéléments non émetteurs gamma peut être réalisée par l'intermédiaire de leurs descendants à vie courte émetteurs gamma, dès lors que l'équilibre radioactif père/fils est atteint (tableau 2) ou par une autre technique d'analyse (par exemple spectrométrie alpha :  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ...).

Tableau 2: Principaux radioéléments des familles naturelles analysables par spectrométrie  $\gamma$ .

Famille du $^{238}\text{U}$			Famille du $^{232}\text{Th}$		
recherché	analysé	$T_{1/2}$	recherché	analysé	$T_{1/2}$
$^{238}\text{U}$	$^{234}\text{Th}$	24,1 j	$^{228}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ac}$	6,13 h
$^{234}\text{Th}$	$^{234}\text{Th}$	24,1 j	$^{228}\text{Th}$	$^{212}\text{Pb}$	10,6 h
$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Pb}$	22,3 ans		$^{208}\text{Tl}$	3,05 min
$^{226}\text{Ra}$	$^{214}\text{Pb}$	26,8 min	Famille du $^{235}\text{U}$		
	$^{214}\text{Bi}$	19,7 min	recherché	analysé	$T_{1/2}$
			$^{235}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$7,04 \cdot 10^{10}$ ans
			$^{231}\text{Pa}$	$^{231}\text{Pa}$	$3,25 \cdot 10^4$ ans
			$^{227}\text{Ac}$	$^{223}\text{Ra}$	18,7 j
				$^{227}\text{Th}$	11,4 j

D'autres radioéléments naturels peuvent être détectés par spectrométrie gamma. On peut citer, comme exemples, le  $^{40}\text{K}$  et le  $^7\text{Be}$  (béryllium). Le  $^7\text{Be}$  est produit dans l'atmosphère et peut se retrouver dans certains compartiments de l'environnement (sol et plantes essentiellement). Compte tenu de sa courte période (53 j) et de sa faible radiotoxicité, ce radioélément ne sera que secondaire dans le calcul des doses. Certains radioéléments artificiels, comme le  $^{137}\text{Cs}$ , sont également détectables par spectrométrie gamma.

#### 4.2.4 Interprétation des analyses radiologiques de la caractérisation de base

Les activités retenues pour le calcul de l'impact radiologique sont issues des analyses radiologiques conduites sur le déchet.

Qu'il s'agisse d'une famille radioactive présentant un équilibre séculaire ou un déséquilibre, une estimation approximative peut être effectuée en appliquant à chaque radionucléide de la famille considérée la même valeur d'activité. La valeur retenue correspond alors à la valeur maximale déterminée pour les différents radionucléides de la famille.

Pour une estimation plus fine en cas de déséquilibre, on pourra raisonner sur les sous-familles en appliquant aux radionucléides de courte période (inférieure à quelques jours) la valeur de l'activité de leur père à vie longue.

Compte tenu des incertitudes associées à toute mesure, la notion d'équilibre doit être appréciée en tenant compte des intervalles de précision associés à chaque valeur mesurée.

Deux exemples sont présentés ci-après pour la famille de l'uranium, l'un correspond à un cas d'équilibre séculaire, l'autre à un cas de déséquilibre. Les valeurs retenues pour le calcul sont repérées en gras.

Cas 1 : équilibre

$$\begin{aligned} ^{238}\text{U} &= 644 \pm 103 \text{ Bq.kg}^{-1} \\ ^{226}\text{Ra} &= 723 \pm 79 \text{ Bq.kg}^{-1} \\ ^{210}\text{Pb} &= 712 \pm 150 \text{ Bq.kg}^{-1} \end{aligned}$$

## Cas 2 : déséquilibre

Estimation approximative

$$^{238}\text{U} = 582 \pm 25 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{234}\text{U} = 602 \pm 19 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{230}\text{Th} = 610 \pm 80 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{226}\text{Ra} = 350 \pm 40 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{210}\text{Pb} = 848 \pm 123 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

Estimation fine

$$^{238}\text{U} = ^{234}\text{Th} = ^{234}\text{Pa} = 582 \pm 25 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{234}\text{U} = 602 \pm 19 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{230}\text{Th} = 610 \pm 80 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{226}\text{Ra} = ^{214}\text{Pb} = ^{214}\text{Bi} = 350 \pm 40 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

$$^{210}\text{Pb} = ^{210}\text{Bi} = ^{210}\text{Po} = 848 \pm 123 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

### 4.3 Les étapes de l'évaluation de l'exposition des personnels

L'étude d'acceptabilité concerne en premier lieu les personnes exposées du fait de la manipulation des déchets sur le site de stockage. L'éliminateur est en charge de la constitution d'un dossier permettant de conduire l'étude (spécifique ou générique). Ce dossier devra comporter les résultats de l'ensemble des analyses conduites sur le déchet (composition chimique, radiologique et propriétés physiques) et les informations nécessaires à l'identification et la caractérisation des personnels potentiellement exposés (ou groupe de référence), qui seront propres au site de stockage.

Il revient ensuite à l'éliminateur et, si nécessaire avec l'aide de services ou bureaux d'études compétents qu'il aura saisis, d'établir les scénarios d'exposition correspondants.

Le niveau de détail de l'étude est à mettre en relation avec l'activité manipulée et le tonnage des déchets à stocker (cf. 4.4.1). Ainsi, une évaluation simplifiée des risques pourra être conduite lorsque les éléments disponibles (activités massiques des radionucléides très faibles, tonnages peu importants...) indiquent que la réception d'un déchet ne devrait induire qu'une exposition des individus du groupe de référence de l'ordre de quelques microsievert, quelle que soit la situation considérée. A l'opposé, pour des déchets susceptibles d'induire un impact plus important, des évaluations plus détaillées seront nécessaires.

#### Quid du transport ?

- ⇒ Conformément au décret n°98-679 du 30 juillet 1998 relatif au transport par route, au négoce et au courtage de déchets, le transport de déchets entre un site de production et un site de stockage doit être assuré par des transporteurs dûment déclarés ou autorisés. L'expéditeur doit dans ce cadre s'assurer du respect des règles de l'ADR (l'Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route).
- ⇒ L'exposition des personnes qui assurent le transport est exclue du champ de l'étude d'acceptabilité qui fait l'objet du présent guide.

#### 4.3.1 Etat de référence de la radioactivité sur le site de stockage

En préalable à la réception de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, l'exploitant des installations de stockage doit établir un état de référence du rayonnement ambiant et des concentrations de radon au niveau des installations du site.

Le résultat de ces mesures est de nature à fournir un niveau initial pour la comparaison avec d'éventuelles analyses réalisées ultérieurement sur le site.

#### 4.3.2 Groupe de référence et scénarios d'exposition

##### 4.3.2.1 *Définition du groupe de référence*

Un groupe de référence est défini dans l'annexe 13-8 du code de la santé publique comme un groupe constitué des individus dont l'exposition à une source est assez uniforme et représentative

de celle des individus qui, parmi la population considérée, sont les plus particulièrement exposés à la dite source.

Dans le cas particulier de l'étude d'acceptabilité, comme demandé dans la circulaire du 10 juin 2003, le groupe de référence est composé des personnels prenant en charge les déchets sur le centre de stockage, y compris les personnes extérieures aux installations de stockage dans le cas où leur rôle dépasserait le simple transport des déchets.

Les calculs de doses sont, dans un premier temps, effectués aux divers postes de travail identifiés au sein de l'installation de stockage. L'exposition d'un membre du groupe de référence est ensuite évaluée en pondérant l'exposition caractéristique de chaque poste de travail en tenant compte de l'occupation de ces postes par le personnel prenant en charge les déchets. Les hypothèses d'occupation sont choisies représentatives des conditions d'exposition maximales envisageables.

#### *4.3.2.2 Description des postes de travail*

Les scénarios retenus lors des évaluations doivent s'attacher à traduire la réalité des opérations de traitement et de manutention des déchets tout en veillant à conserver un caractère raisonnablement pénalisant.

Les postes de travail doivent être décrits dans le dossier constitué par l'éliminateur. Si le choix est fait de ne pas retenir un poste particulier en raison de la faiblesse supposée du niveau d'exposition associé, le dossier devra comporter tous les éléments justificatifs nécessaires.

En tout état de cause, les éléments justificatifs minimaux nécessaires comportent la description détaillée des opérations se déroulant sur le site de stockage et ayant trait au déchet. Parmi celles-ci, il est possible de citer :

- l'échantillonnage et l'analyse du déchet réceptionné ;
- les opérations de transport du déchet à l'intérieur du site ;
- les éventuelles opérations de traitement et de stabilisation ;
- l'analyse des déchets après stabilisation, le cas échéant ;
- les opérations de manipulation ;
- la mise en place dans le stockage ;
- le recouvrement final des aires de stockage.

Pour chaque poste de travail retenu les points suivants devront être renseignés :

- la description des opérations effectuées ;
- le temps d'exposition lié à l'opération ;
- le nombre de personnes concernées ;
- la position (distance) du travailleur par rapport au déchet ;
- les éventuelles mesures de protection des travailleurs employées en routine pour maîtriser les risques autres que radiologiques (ex : port d'un masque en milieu empoussiéré) ;
- les autres protections imposées par la configuration du poste de travail (vitre de protection, paroi de conteneur,...) et susceptibles d'influer sur l'exposition radiologique des personnes.

En aucun cas, des mesures à des fins strictement de protection radiologique ne doivent être considérées dans les évaluations, ni même préconisées pour la réduction des expositions calculées. Seuls des déchets ne nécessitant pas de protection radiologique pourront être acceptés.

A titre indicatif, la figure 3 présente une fiche de renseignements type que l'on peut exploiter pour le recueil des informations nécessaires. L'exemple traité est celui d'un conducteur de camion.

POSTE 1			
INTITULE DU POSTE		Conducteur de camion de déchet sur site	
<u>Description :</u> Le conducteur assure le transfert du déchet vers la zone de stockage. Arrivé sur la zone de stockage, le conducteur effectue le dépotage du produit dans l'alvéole.			
<u>Géométrie :</u> Le conducteur est dans la cabine durant le transport et le dépotage.			
<u>Caractéristiques</u>			
Nbre de personnes à ce poste	4	Nbre de personnes par équipe	2
Nbre d'heures par jour par personne à ce poste	2	Rotation des équipes (3 x 8...)	
Nbre de jours par an par personne à ce poste	240		
<u>Remarques</u> Le conducteur participe également aux formalités requises lors de la vérification sur place, à l'arrivée sur l'installation de stockage			
<u>Protection individuelle :</u> chaussures de sécurité ; gants ; lunettes...			
<u>Protection supplémentaire liée à la configuration du poste de travail :</u>			
Protection physique liée au poste de travail:			
Description : Cabine de conduite conforme à la réglementation travaux publics Enveloppe métallique de la benne		Matériau :  Epaisseur :	
Autres (ventilation...)			
Description : Climatisation de la cabine		Efficacité :	
<u>Commentaires :</u>			
<u>Autres points à renseigner :</u>			
<u>Situations accidentelles envisagées pour ce poste :</u>			
Description :			
Points à renseigner :			

Figure 3: Exemple de fiche de poste

#### 4.3.2.3 Situations normales et situations dégradées

Pour le calcul de l'impact radiologique, les situations d'exposition prises en compte doivent décrire aussi bien les opérations de traitement des déchets en fonctionnement normal que les éventuelles situations dégradées. Ces dernières doivent être définies en ne retenant que les situations les plus significatives pouvant entraîner une exposition radiologique des intervenants et en fournissant :

- une estimation de leur fréquence ;
- la description des conséquences sur l'exposition des employés par rapport à la situation normale (par exemple, une augmentation du niveau d'empoussièrement dans le cas de la défaillance d'un système d'arrosage) ;
- la description d'éventuelles opérations de réparation entraînant une exposition des travailleurs (par exemple, la réparation de la rupture d'un flexible sur un engin de déchargement).

Pour chaque situation dégradée, il est important de prendre en compte :

- le nombre de personnes concernées ;
- le temps nécessaire au retour à la normale ;
- la configuration géométrique d'exposition des employés (position par rapport au déchet) ;
- les éventuelles mesures de protection.

Si le choix est fait de ne pas retenir une situation dégradée (tant pour les postes de travail classiques que pour les opérations de réparation nécessaires), le dossier devra comporter tous les éléments justificatifs nécessaires.

La figure 4 présente un exemple de description possible des différents postes de travail que l'on peut rencontrer sur un centre de stockage de déchets dangereux en fonction des modalités de gestion d'un déchet. Pour chaque poste, sont mentionnées le cas échéant les situations dégradées envisagées.

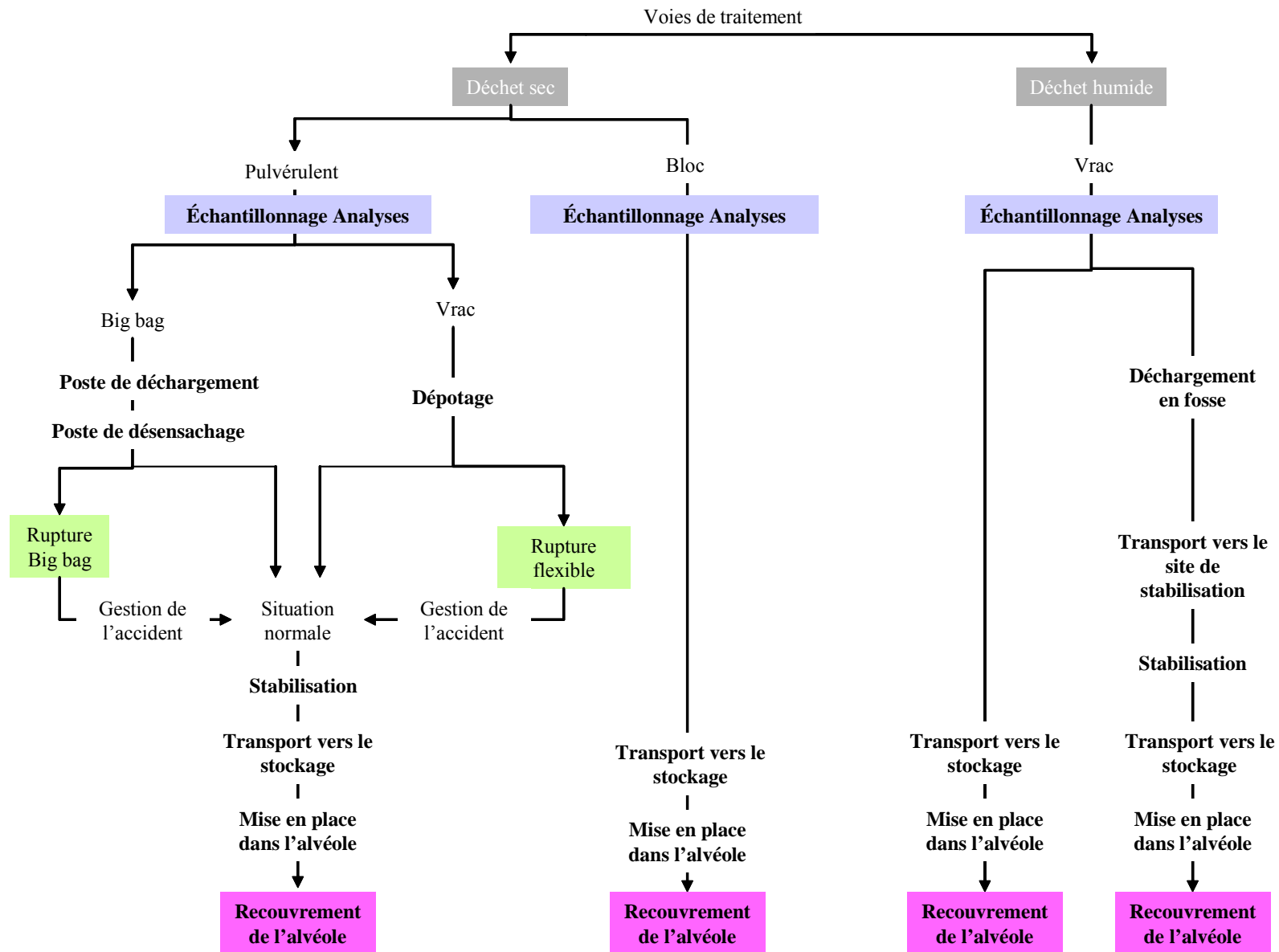


Figure 4 : Exemple de postes de travail envisageables dans un centre de stockage de déchets dangereux en fonction des modalités de gestion d'un déchet.



#### 4.3.2.4 Identification des voies d'exposition par poste de travail

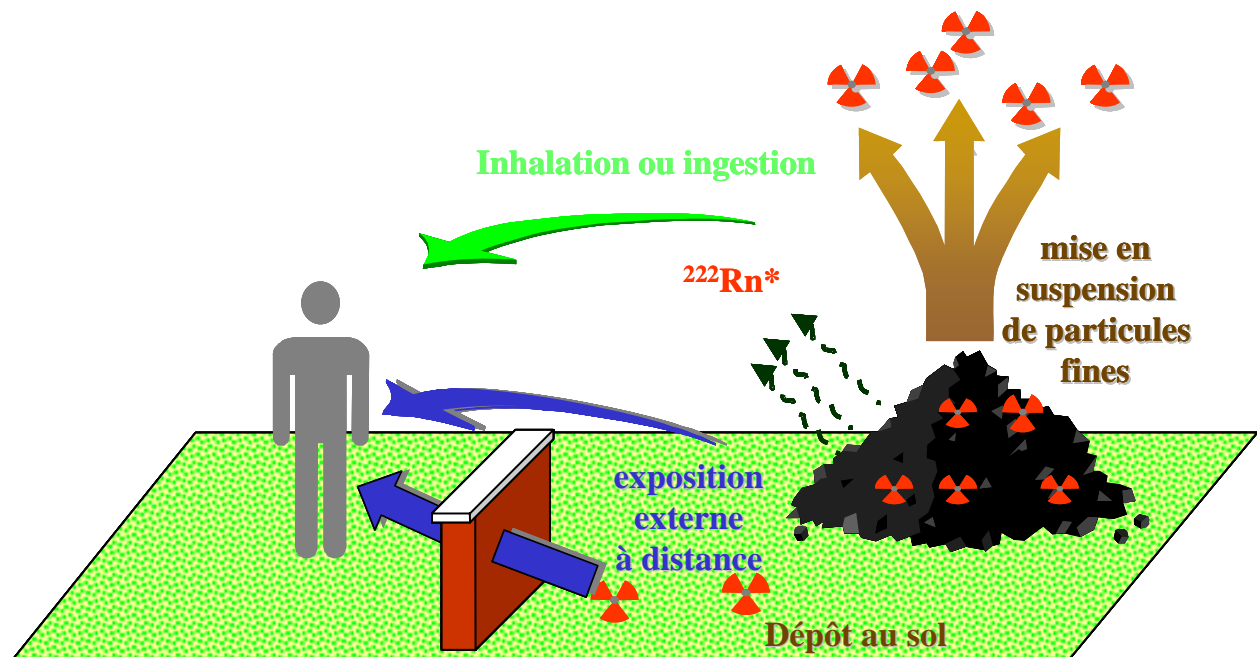
Les voies d'exposition à considérer, en général, pour les employés d'un centre de stockage susceptible de recevoir des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée sont (figure 5) [4] :

- l'exposition externe due aux rayonnements émis par les radionucléides présents dans le déchet ;
- l'exposition interne par incorporation de radionucléides dans l'organisme du fait :
  - des émetteurs  $\alpha$  à vie longue ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$  pour la chaîne de  $^{238}\text{U}$  et  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{224}\text{Ra}$  pour la chaîne du  $^{232}\text{Th}$ ) présents dans les poussières inhalées et potentiellement ingérées.
  - des émetteurs  $\alpha$  à vie courte produits par désintégration du  $^{220}\text{Rn}$  (chaîne du  $^{232}\text{Th}$ ) et du  $^{222}\text{Rn}$  (chaîne de  $^{238}\text{U}$ ) inhalés\*.

#### Cas particulier du radon

Le risque lié à l'inhalation de radon n'est pas évalué en terme de dose mais en référence à l'activité volumique de  $400 \text{ Bq.m}^{-3}$  (cf. § 3.2.2.). Cette voie d'exposition n'est donc pas à considérer dans le calcul de dose mais reste une voie d'exposition que l'exploitant du centre de stockage ne doit pas négliger.

Le paragraphe 4.3.4 traite spécifiquement de l'impact lié au radon



\* L'exposition au radon n'est pas prise en compte dans l'évaluation de la dose. Le risque correspondant est apprécié en fonction de la concentration en radon dans l'air en référence à la valeur de  $400 \text{ Bq.m}^{-3}$ . En atmosphère extérieure, cette voie d'exposition est généralement négligeable. Cela peut être vérifié par le calcul ou la mesure.

Figure 5 : Voies d'exposition aux rayonnements ionisants

L'identification des voies d'exposition par poste de travail nécessite la connaissance précise :

- des différents processus de gestion des déchets sur le site ;
- des équipements de protection individuelle employés ;

- des mesures mises en place pouvant limiter certaines voies d'exposition (arrosage pour limiter la quantité de poussière), leur fréquence et leur efficacité ;
- de la nature du déchet pris en charge (conditionnement, état solide ou pâteux, stabilisé ou non stabilisé...);
- des éventuels événements accidentels.

Les poussières que peuvent générer certaines opérations pratiquées sur les déchets justifient que l'on puisse être amené à s'intéresser à leur accumulation et à leur mise en suspension. Le dossier doit présenter des arguments permettant de quantifier le phénomène (estimation d'un taux d'accumulation, fréquence des nettoyages...).

Le tableau 3 présente des exemples de situations d'exposition en fonction des postes de travail et des modes de traitement des déchets.

Tableau 3 : Exemples de situations d'exposition suivant le mode de traitement du déchet et par poste.

Description du poste		Exposition
TRAITEMENT DU DECHET HUMIDE		
Poste 1 : Conducteur du camion de déchet	Transport du produit Déchargement	$\gamma$ $\gamma$ poussières + radon
Poste 2 : Conducteur de pelle sur l'aire d'arrivée	Déchargement, mélange des déchets	$\gamma$ poussières + radon
Poste 3 : Echantillonnage	Prélèvement	$\gamma$
Poste 4 : Intervention en cas d'incident	Intervention sur bande transporteuse	$\gamma$ poussières + radon
TRAITEMENT DES DECHETS PULVERULENTS		
Poste 5 : Conducteur du camion de déchet	Transport du produit (citerne) Déchargement pneumatique Déchargement pneumatique avec rupture de flexible	$\gamma$ $\gamma$ $\gamma$ poussières + radon
TRAITEMENT DES DECHETS STABILISES		
Poste 6 : Conducteur de camion de déchet stabilisé	Echantillonnage, transport, et mise en place des déchets stabilisés	$\gamma$
Poste 7 : Conducteur de pelle sur le stockage	Mise en place de la coulée ou du déchet dans son alvéole de stockage	$\gamma$

#### 4.3.3 Evaluation de l'impact radiologique

Ce paragraphe a pour but d'aider les experts à calculer les doses susceptibles d'être reçues par l'individu type du groupe de référence identifié au paragraphe 4.3.2.1.

##### 4.3.3.1 *Notion de dose ajoutée*

La dose à prendre en compte dans l'évaluation de l'impact radiologique est une dose ajoutée. Il faut donc faire abstraction de l'exposition liée au rayonnement ambiant (rayonnement cosmique, sol...) pour ne considérer que celle liée à la manipulation des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée. Cette notion de dose ajoutée permet de s'affranchir de la

variabilité naturelle de la radioactivité dans l'environnement dès lors que le bruit de fond radioactif du site a été correctement évalué (cf. § 5.1).

#### 4.3.3.2 Récapitulatif des paramètres nécessaires

Le calcul de la dose efficace ajoutée s'effectue, pour chaque poste de travail, à partir de la connaissance du terme source, des scénarios d'exposition, des paramètres radiologiques et de quelques paramètres complémentaires.

##### a) Le terme source

La radioactivité des déchets à prendre en compte découle des résultats de la caractérisation de base réalisée par le producteur du déchet. Les règles de prise en compte des équilibres séculaires dans les chaînes naturelles doivent être clairement établies. Il y a lieu également de considérer les éventuelles transformations subies par le déchet initial (ex : ajout d'un liant hydraulique lors de la stabilisation).

Dans le cas d'études génériques, le terme source à prendre en compte doit couvrir les activités massiques de chacun des lots de déchets à éliminer.

Chaque déchet doit être considéré comme une source d'exposition tant que l'alvéole n'est pas recouverte. Lors du calcul, on devra donc différencier la dose liée à la manipulation du déchet entre sa réception et sa mise en place dans l'alvéole de celle induite lors de son stockage dans l'alvéole en attente du recouvrement. L'évaluation de l'impact devra également présenter un calcul d'atténuation de l'impact en surface après recouvrement (débit de dose) à partir de la description des matériaux susceptibles de venir se superposer aux déchets à radioactivité naturelle (autres déchets, couverture finale de l'alvéole (cf. annexe 4).

Ce calcul doit être de nature à justifier que les pratiques mises en œuvre pour le recouvrement des alvéoles de stockage conduisent à négliger l'influence des stocks de déchets en place pour l'évaluation des expositions potentielles ultérieures des personnels.

##### b) Les paramètres des scénarios

Les scénarios d'exposition à considérer sont ceux des différents postes de travail au sein du centre de stockage. Quelques exemples sont présentés dans le paragraphe 4.3.2.2. Ils doivent être aussi réalistes que possible tout en restant raisonnablement majorants.

##### c) Les paramètres radiologiques

Pour un radionucléide donné, l'évaluation de l'exposition d'un individu à une source de radioactivité se fait par le biais de coefficients de dose qui expriment la dose que reçoit cet individu lorsqu'il est exposé à une activité unitaire de la source (volumique ou massique). Ces coefficients de dose peuvent être tabulés ou calculés.

##### ▷ Cas de l'exposition interne

Pour les voies d'exposition par inhalation et ingestion, les méthodes et facteurs de pondération ainsi que les valeurs des coefficients de dose fixés par l'arrêté du 1<sup>er</sup> septembre 2003, pris en application de l'article R. 1333-10 du Code de la santé publique et de l'article R. 231-80 du Code du travail, doivent être utilisés.

Tableau 4 : Coefficients de dose efficace engagée par unité incorporée par inhalation et ingestion (Sv.Bq<sup>-1</sup>) pour les travailleurs.

	famille de l' <sup>238</sup> U		famille de l' <sup>235</sup> U		famille de l' <sup>232</sup> Th			
	inhalation	ingestion	inhalation	ingestion	inhalation	ingestion		
<sup>238</sup> U	1,6E-06	7,6E-09	<sup>235</sup> U	1,8E-06	8,3E-09	<sup>232</sup> Th	1,2E-05	9,2E-08
<sup>234</sup> Th	5,8E-09	3,4E-09	<sup>231</sup> Th	4,0E-10	3,4E-10	<sup>228</sup> Ra	1,7E-06	6,7E-07
<sup>234</sup> Pa	5,5E-10	5,1E-10	<sup>231</sup> Pa	8,9E-05	7,1E-07	<sup>228</sup> Ac	2,9E-08	4,3E-10
<sup>234</sup> U	2,1E-06	8,3E-09	<sup>227</sup> Ac	6,3E-04	1,1E-06	<sup>228</sup> Th	3,2E-05	3,5E-08
<sup>230</sup> Th	7,2E-06	8,7E-08	<sup>227</sup> Th	7,6E-06	8,4E-09	<sup>224</sup> Ra	2,4E-06	6,5E-08
<sup>226</sup> Ra	2,2E-06	2,8E-07	<sup>223</sup> Ra	5,7E-06	1,0E-07	<sup>212</sup> Pb	3,3E-08	5,9E-09
<sup>214</sup> Pb	4,8E-09	1,4E-10	<sup>211</sup> Pb	5,6E-09	1,8E-10	<sup>212</sup> Bi	3,9E-08	2,6E-10
<sup>214</sup> Bi	2,1E-08	1,1E-10						
<sup>210</sup> Pb	1,1E-06	6,8E-07						
<sup>210</sup> Bi	6,0E-08	1,3E-09	<sup>40</sup> K	3,0E-09	6,2E-09			
<sup>210</sup> Po	7,1E-07	2,4E-07						

Les coefficients de dose reportés, pour l'inhalation, dans le tableau 4 correspondent à une taille de particules de 5 µm et une vitesse d'absorption pulmonaire prise par défaut (F (fast) : Pb, Po, Ac ; M (medium) : U, Pa, Ra, Bi et S (slow) : Th). Si les services et bureaux d'études compétents en charge de la réalisation des calculs de dose disposent d'informations plus pertinentes sur ce paramètre, d'autres valeurs peuvent être utilisées après justification.

#### ▷ Cas de l'exposition externe

Dans le cas de l'exposition externe, le coefficient de dose permettant de relier l'activité massique ou surfacique de la source à la dose reçue par l'individu exposé est extrêmement dépendant des caractéristiques non radiologiques de la source (en particulier de sa géométrie) et varie donc d'un scénario à un autre. Dans ce cas, les coefficients de dose doivent être déterminés au cas par cas.

Les évaluations radiologiques liées à l'exposition externe peuvent s'appuyer soit sur des débits de dose mesurés, soit sur des calculs prédictifs. Le cas d'une utilisation de codes de calcul est développé dans le paragraphe 4.3.3.3. Etant donné le caractère prédictif de l'étude d'acceptabilité, les mesures de débits de dose ne peuvent être réalisées que chez le producteur du déchet. Elles ne sont donc pas représentatives stricto sensu d'une éventuelle exposition à un poste de travail sur le site de l'éliminateur. Si de telles mesures devaient être exploitées dans l'étude, il serait donc indispensable que les conditions de mesure chez le producteur soient directement transposables à une situation d'exposition chez l'éliminateur, à savoir :

- même déchet, avec caractéristiques radiologiques et physico-chimiques identiques ;
- même conditionnement du déchet ;
- même situation d'exposition

A titre d'exemple, on peut citer le cas d'une mesure de débit de dose réalisée au contact d'une benne de camion chez le producteur. Celle-ci pourrait être extrapolée au cas d'un technicien de laboratoire effectuant un prélèvement sur une benne identique chez l'éliminateur, mais uniquement dans le cas de conditions d'exposition similaires (position par rapport à la benne, chargement identique en termes de tonnage et de radioactivité,...).

En pratique, étant donné la spécificité des postes de travail considérés sur un site de stockage, il y a lieu de limiter l'extrapolation de mesures directes. Il est à noter également que l'utilisation de la mesure nécessite la connaissance du bruit de fond naturel pour déterminer la dose ajoutée.

#### d) Les paramètres complémentaires

En complément de la description des postes de travail, les paramètres caractéristiques de la physiologie des individus doivent également être pris en compte. Il en est ainsi du débit respiratoire pour l'exposition par inhalation. Le tableau 5 ci-après présente les valeurs de débits respiratoires horaires recommandées par la Commission Internationale de Protection Radiologique [5] pour le modèle dosimétrique, selon le type d'activité et le sexe de l'individu concerné.

Tableau 5 : Exemples de valeurs de débit respiratoire (ICRP, 2003 ; [5]).

Activité	Homme (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Femme (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
Travail en intérieur <sup>a</sup>	1,2	0,99
Travail en extérieur <sup>b</sup>	1,69	1,48

<sup>a</sup> débit respiratoire correspondant à une activité type caractérisée par 1/3 du temps en position assise et 2/3 du temps en exercice léger

<sup>b</sup> débit respiratoire correspondant à 7/8 de temps en exercice léger et 1/8 en exercice intense

#### 4.3.3.3 Les outils de calcul de la dose

Le calcul de la dose efficace reçue par un individu peut se faire soit littéralement, à partir d'équations simplifiées, soit à l'aide d'outils de calcul de complexité variable. Pour un type de déchet donné, la dose efficace individuelle calculée pour chaque poste de travail correspond à la somme des doses efficaces calculées pour chaque voie d'exposition.

##### ▷ Dose efficace par ingestion ou inhalation de poussières

La dose efficace par inhalation ou ingestion de poussières est obtenue par les équations suivantes :

$$E_{inh} = \sum_j A_j \cdot e \cdot tp \cdot dr \cdot h_{j,inh}$$

$$E_{ing} = \sum_j A_j \cdot q \cdot h_{j,ing}$$

avec :

E : dose efficace annuelle par inhalation (*inh*) ou ingestion (*ing*) (Sv.an<sup>-1</sup>)

A<sub>j</sub> : activité massique des poussières pour le radionucléide j (Bq.kg<sup>-1</sup>)

e : empoussièrément au poste de travail (kg.m<sup>-3</sup>)

q : quantité de poussières ingérées (kg.an<sup>-1</sup>)

tp : temps de présence de l'opérateur (h.an<sup>-1</sup>)

dr : débit respiratoire de l'opérateur (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>)

h<sub>j,inh</sub> : dose efficace engagée par unité d'incorporation du radionucléide j (Sv.Bq<sup>-1</sup>) inhalé. La valeur de ce paramètre dépend de la granulométrie.

h<sub>j,ing</sub> : dose efficace engagée par unité d'incorporation du radionucléide j (Sv.Bq<sup>-1</sup>) ingéré

La figure 6 présente, à titre d'illustration, une synthèse des paramètres à prendre en compte pour un calcul d'exposition par inhalation de poussières.

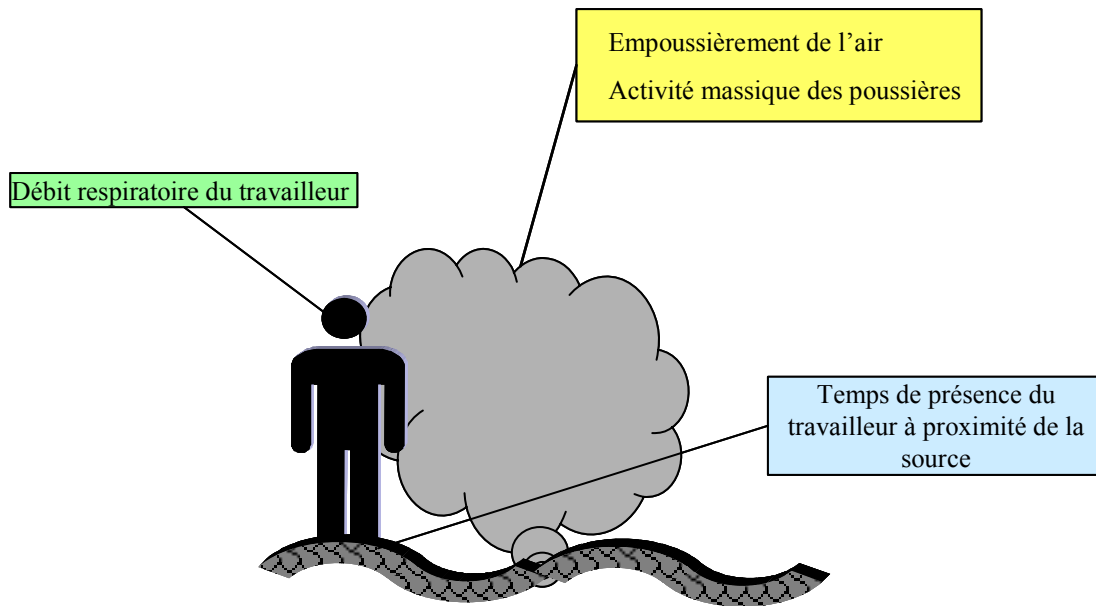


Figure 6 : Synthèse des paramètres descriptifs d'une exposition par inhalation de poussières.

▷ Débit de dose lié au rayonnement  $\gamma$

Le calcul des débits de dose à distance ou au contact d'une source de radioactivité fait souvent appel à des outils informatiques du fait de la relative complexité des phénomènes à prendre en compte.

Les outils exploités peuvent être tout logiciel de calcul commercialisé ou tout outil développé en interne par les services et bureaux d'études compétents réalisant les évaluations d'impact radiologique.

Les calculs sont basés sur l'ensemble des données collectées dans les phases précédentes de la réalisation de l'étude d'acceptabilité. Pour chaque poste de travail, il faut ainsi définir :

- le terme source ;
- la densité et le taux d'humidité du déchet ;
- la masse du déchet ;
- la géométrie de la source ;
- les coordonnées du point de calcul du débit de dose (opérateur dans l'axe médian de la source, opérateur en bordure de la source...)
- les écrans pris en compte entre la source et l'opérateur qui se traduisent sous forme de facteurs d'atténuation.

Les figures 7 et 8 schématisent l'exposition d'un opérateur à proximité d'un camion citerne chargé d'un déchet pulvérulent naturellement radioactif et sa transcription sous forme de schéma conceptuel sur la base d'une source cylindrique. La source d'exposition apparaît en jaune, les écrans entre la source et l'individu exposé, en vert. Le point de calcul est matérialisé en rouge sur le second schéma.

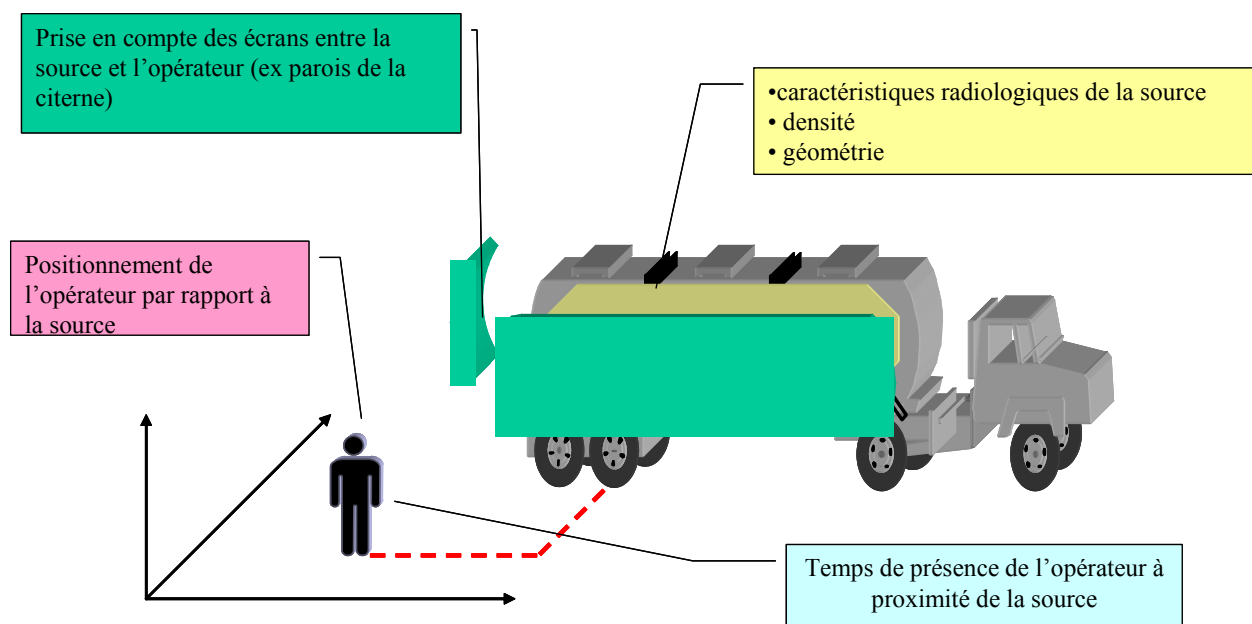


Figure 7 : Exemple de description d'un poste de travail d'un opérateur à proximité d'un camion citerne en cours de déchargement

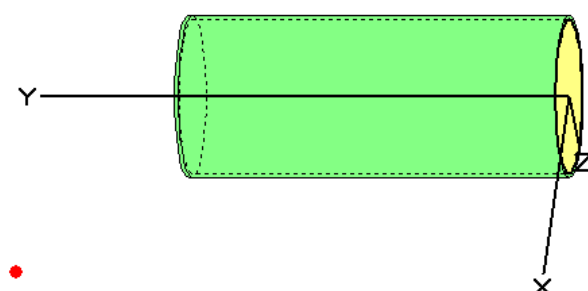


Figure 8 : Exemple de schéma conceptuel pour la transcription du poste de travail d'un opérateur à proximité d'un camion citerne en cours de déchargement

#### 4.3.4 Cas particulier de l'exposition par inhalation de radon

Les deux principaux isotopes du radon sont le 222 (famille de l'uranium) et le 220 (famille du thorium). En raison de la courte période (55,6s), le  $^{220}\text{Rn}$  (aussi appelé thoron) est généralement négligeable ; il n'est donc pas considéré dans la suite de ce paragraphe. Néanmoins, lorsqu'elle est pertinente, la problématique du thoron doit être traitée au cas par cas.

Pour des installations de stockage, cinq sources principales d'exposition potentielle des personnels au radon peuvent être identifiées :

- l'accumulation dans les bâtiments durant les opérations de manutention et de traitement éventuelles des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée ;
- l'accumulation dans les bâtiments à proximité des alvéoles de stockage des déchets ;
- l'exhalation à partir des déchets stockés, soit sous forme diffuse soit au travers de systèmes d'extraction, de collecte de gaz et autres événements ;
- le rejet de radon combiné à l'extraction et la valorisation des biogaz dans le cas particulier des centres de stockage de déchets ménagers ou assimilés ;

- le radon potentiellement rejeté par des événements présents sur le stockage.

L'étude d'acceptabilité devra alors démontrer que :

- le recouvrement des déchets par d'autres matériaux ou par une couverture définitive et les éventuels systèmes d'aération mis en œuvre sont de nature à assurer que les stocks de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée en place n'induisent pas des concentrations en radon significativement supérieures au niveau de référence du site ;
- dans le cas particulier des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, l'exposition due à l'inhalation de radon potentiellement rejeté avec les effluents gazeux résultant de la combustion des biogaz reste également négligeable ;
- l'implantation de bâtiments à proximité des alvéoles de stockage ou l'entreposage temporairement des déchets dans des lieux clos préalablement à leur stockage, n'entraîne pas une accumulation de radon à des teneurs significative.

L'exposition au radon est appréhendée au travers de l'activité volumique de ce gaz. Celle-ci peut être mesurée ou estimée par calculs. L'estimation par calculs nécessite des outils spécifiques prenant en compte la migration de ce gaz dans les sols et/ou sa dilution et sa dispersion atmosphérique (figure 9).

Lorsque des calculs sont a priori trop complexes à mettre en œuvre, il relève alors de la responsabilité de l'exploitant de mettre en place un système de surveillance, par la mesure de l'activité volumique en radon sur le site ou de ne pas accepter ces déchets sur le site.

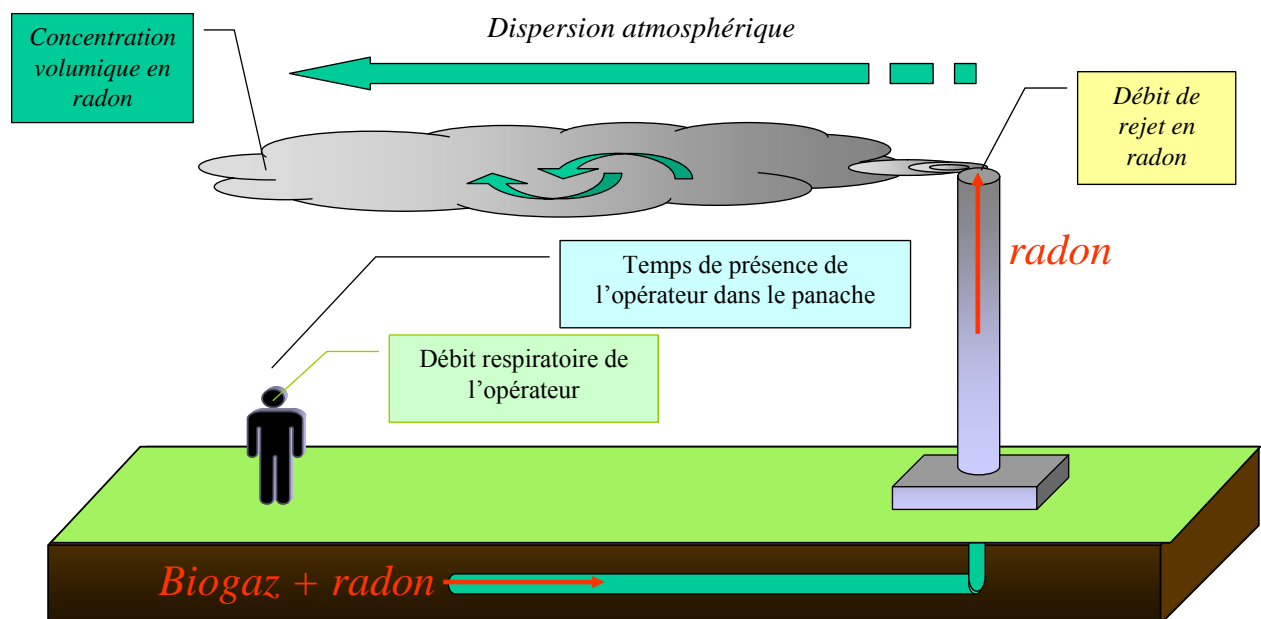


Figure 9 : Transfert et dispersion du radon au travers des systèmes de collecte de biogaz d'un site de stockage de déchets ménagers et assimilés.

#### 4.3.5 Synthèse des résultats

Pour un déchet donné, la dose efficace individuelle totale est calculée à partir des doses efficaces calculées à chaque poste de travail en tenant compte de la succession des postes de travail occupé et du temps passé en moyenne sur chacun par un individu de référence (cf. § 4.3.2.1).

Tous les résultats des calculs intermédiaires relatifs aux évaluations de dose efficace ajoutée pour les différents postes de travail doivent être explicités. Cette présentation exhaustive vise à permettre une vérification indépendante lors d'une tierce expertise, par exemple.



#### 4.4 Evaluation de l'acceptabilité du déchet

A l'issue des calculs de dose précédents, il est possible de disposer d'une indication quantifiée de l'impact potentiel associé à la réception d'un type de déchet. Cette indication est un élément fondamental pour apprécier le caractère négligeable du point de vue de la radioprotection du déchet et décider de son acceptabilité. Elle donne en effet une information sur le niveau d'exposition maximal susceptible d'être reçu du fait de la prise en charge du déchet concerné.

Cette indication n'est cependant pas la seule à prendre en compte dans le cadre de la décision d'acceptation. Il convient également de veiller à ce que l'impact cumulé associé à la réception successive de plusieurs chargements de déchets sur un même centre de stockage ne peut pas conduire à modifier l'appréciation du risque tant sur le plan du personnel que de l'environnement. Il convient pour cela de s'interroger :

- sur les impacts cumulés sur une période annuelle (année glissante) pour le personnel du centre ;
- sur les impacts résiduels associés à l'ensemble des déchets reçus après fermeture du stockage et sur les possibilités de transfert de la radioactivité dans l'environnement.

La méthode selon laquelle peuvent être estimés les impacts cumulés reçus par les personnels du centre de stockage sur une période donnée est présentée au § 4.4.1. ci-après.

La méthode selon laquelle peuvent être appréhendées les possibilités de transfert de la radioactivité du centre de stockage vers l'environnement est présentée au § 5.2.3. ci-après.

Dans la plupart des cas, les résultats des calculs de dose obtenus pour le personnel du centre de stockage à l'issue de l'étude d'acceptabilité devraient permettre d'aboutir à une perception claire du caractère négligeable de l'impact. Compte tenu des caractéristiques des déchets concernés par le présent guide, la dose calculée devrait en général être de l'ordre de quelques dizaines de microsievert. En regard de la valeur de  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$ , la décision d'acceptation devrait alors pouvoir être prise sans difficulté particulière, sous réserve toutefois que le centre de stockage ne soit pas amené à voir se multiplier les réceptions de déchets à radioactivité naturelle au point qu'ils finissent par constituer une part notable du volume total de déchets stockés.

Dans certains cas, qui devraient rester exceptionnels, il est possible que l'impact calculé dans le cadre de l'étude d'acceptabilité ou l'impact cumulé, du fait des chargements successifs reçus, s'approche de la valeur de  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$ . La décision d'acceptation pourra alors s'avérer plus délicate et nécessitera une justification plus attentive. Un impact calculé fournit une information indicative, forcément entachée d'une certaine imprécision. Approcher la valeur de  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$  amène alors à s'interroger sur la nécessité de mettre en place des dispositions particulières en matière de surveillance ou de réduction des expositions et rend évidemment difficile la justification a priori du caractère négligeable de l'impact.

Quelques principes susceptibles de guider et justifier cette décision sont exposés au § 4.4.2 ci-après.

##### 4.4.1 Prise en compte du cumul des impacts

La démarche conduisant à l'acceptation de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée dans un centre de stockage impose de vérifier que l'impact radiologique reçu par les groupes de population susceptibles d'être exposés, et en premier lieu par les membres du personnel, est négligeable. Ce caractère négligeable est évalué en comparant la dose efficace annuelle calculée à la valeur de référence de  $1 \text{ mSv}$ . L'impact éventuel associé au radon est lui évalué en regard d'une concentration volumique de  $400 \text{ Bq.m}^3$  en valeur moyenne annuelle dans l'air.

Pour l'évaluation de la dose efficace annuelle, la notion d'année ne doit pas être rattachée à l'année calendaire mais à une période de douze mois consécutifs qui précède la réception du déchet.

Comme indiqué au chapitre 4.3 du présent guide, l'évaluation doit prendre en compte, pour chaque lot de déchet dont la réception est programmée, les expositions du personnel du centre de stockage du fait de l'ensemble des opérations de prise en charge des déchets (de la réception du lot, à la

mise en place de la couverture finale du casier de stockage concerné). Afin d'aborder la question de l'impact lié à l'acceptation de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée d'une façon globale à l'échelle d'un centre de stockage, l'évaluation précédente doit être ensuite complétée par la prise en compte du cumul des doses associées aux lots de déchets déjà réceptionnés, tous producteurs confondus. Le délai entre la réalisation d'une étude d'acceptabilité pour un déchet et sa réception effective peut être plus ou moins important. Il convient alors d'intégrer dans le calcul de la dose reçue sur douze mois, les doses correspondant aux autres lots de déchets dont la prise en charge est prévue avant la réception effective du lot concerné.

*Exemple* : La démarche selon laquelle le cumul peut être effectué est illustrée dans la figure 10 ci-après en supposant la réception de cinq lots de déchets (D1 à D5), le déchet D3 arrivant en recouvrement du déchet D2, dans la même alvéole.

La réception du déchet D1 au mois de juin induit une dose de 0,013 mSv, tous postes de travail confondus, entre sa réception et sa mise en place dans l'alvéole. Pour ce lot de déchets, entre la mise en place dans l'alvéole et la fermeture de celle-ci, qui n'intervient qu'en septembre, le déchet a induit une dose de 0,001 mSv par mois pour les individus type considérés. La dose totale liée à la manipulation du déchet D1 est donc de 0,016 mSv.

De même, les études d'acceptabilité réalisées pour les déchets D2, D3 et D4 conduisent à des impacts totaux calculés de respectivement 0,017 ; 0,018 et 0,013 mSv. L'étude d'acceptabilité conduite en mars pour l'élimination d'un déchet (D5) conduit à une exposition initiale (de la réception à la mise en place dans l'alvéole) de 0,005 mSv puis 0,001 mSv par mois (en attente du recouvrement de l'alvéole). La dose cumulée calculée pour une réception programmée en juin sera alors de 0,048 mSv (dose cumulée en juin sur les 12 dernier mois intégrant la réception des déchets D1 à D3, mais également D4, non reçu, en mars, au moment de l'étude d'acceptabilité) + 0,005 mSv (dose induite par la manipulation du déchet D5 entre sa réception et sa mise en place dans l'alvéole) soit 0,053 mSv.

	déchet				Σmois	Σ12 mois	
	D1	D2	D3	D4			
mai							
juin	0,013				0,013	0,013	
juil	0,001				0,001	0,014	
août	0,001				0,001	0,015	
sept	0,001				0,001	0,016	
oct					0,000	0,016	
nov					0,000	0,016	
déc		0,017	0,015		0,032	0,048	
jan			0,001		0,001	0,049	
fév			0,001		0,001	0,050	
mars			0,001		0,001	0,051	
avr					0,000	0,051	→ 0,051 mSv = cumul sur les mois de mai à
mai				0,009	0,009	0,060	→ 0,06 mSv = cumul sur les mois de juin à
juin				0,001	0,001	0,048	
juil				0,001	0,001	0,048	
août				0,001	0,001	0,048	
sept				0,001	0,001	0,048	
oct				0,000	0,000	0,048	
nov				0,000	0,000	0,048	

**demande d'élimination pour un déchet D5**

Le calcul de dose conduit à une valeur de  
0,005 mSv +  
0,001 mSv/mois.

Figure 10 : Exemple de calcul du cumul des doses sur 12 mois.

#### 4.4.2 Décisions possibles à l'issue de l'étude d'acceptabilité

##### 4.4.2.1 *Sur le plan de l'exposition du personnel*

Comme indiqué précédemment, la décision d'acceptation repose en premier lieu sur le résultat du calcul d'impact mais également sur l'impact cumulé, estimé selon la méthode précisée au § 4.4.1. L'appréciation de ces impacts doit être faite en regard de la valeur de  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$  qui constitue la référence retenue pour juger du caractère négligeable de la radioactivité du déchet du point de vue de la radioprotection. Cette appréciation pourra s'effectuer en distinguant trois situations et en s'appuyant sur les principes suivants :

1<sup>er</sup> cas (le cas de référence sur lequel est basé le guide) :

- l'impact calculé pour le personnel à l'issue de l'étude d'acceptabilité et l'impact cumulé conduisent tous les deux à des valeurs très inférieures à  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$  (typiquement de l'ordre de la dizaine de  $\mu\text{Sv}$ )
- Dans ce cas, l'acceptation est possible.

2<sup>ème</sup> cas (le centre ne tend-il pas à devenir un stockage de déchets à radioactivité naturelle ?) :

- l'impact calculé pour le personnel à l'issue de l'étude d'acceptabilité conduit à une valeur très inférieure à  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$  (typiquement de l'ordre de la dizaine de  $\mu\text{Sv}$ ), mais l'impact cumulé est proche de  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$ .

Dans ce cas, considérer le risque radiologique comme négligeable devient plus délicat. L'acceptation peut rester cependant envisageable dans le cas où l'importance relative de l'impact cumulé ne traduit qu'un concours de circonstance appelé à rester exceptionnel et non une tendance de fond. Il convient de s'assurer qu'elle ne traduit pas une multiplication excessive des réceptions de déchets à radioactivité naturelle. Dans l'esprit du guide, la réception de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée n'a pas vocation à représenter une part significative du volume total des déchets reçu sur un stockage. Si tel était le cas, la démarche proposée pour apprécier le caractère négligeable de l'impact aurait été différente. Elle aurait en particulier davantage reposé sur la prise en compte de l'impact cumulé et du risque différé après cessation d'activité du centre de stockage.

3<sup>ème</sup> cas (le déchet est-il bien négligeable du point de vue de la radioprotection ?) :

- l'impact calculé pour le personnel pour un lot de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée conduit à une valeur proche (inférieure) de  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$ .

Dans ce cas, la décision d'acceptation est a priori à exclure ou à étudier au cas par cas en relation avec l'inspecteur des installations classées. Elle ne peut être envisagée que dans la mesure où le résultat est lié à un choix d'hypothèses de calculs excessivement pénalisantes. Ce peut être par exemple le cas lorsque les scénarios d'exposition ont été estimés, dans une première approche, de manière très majorante. L'acceptation ne pourra alors intervenir que sur la base d'une réévaluation plus détaillée et évidemment dûment justifiée.

Dans tout autre cas, le déchet ne pourra pas être accepté et son détenteur devra rechercher une filière d'élimination spécifique pour ce type de déchets.

Dans tous les cas, même si l'étude d'acceptabilité démontre un impact négligeable du point de vue de la radioprotection, l'exploitant du centre de stockage a la possibilité de refuser le déchet, au regard de l'étude ou d'autres critères.

##### 4.4.2.2 *Sur les transferts dans l'environnement*

En préalable à l'acceptation d'un déchet à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, il est nécessaire, au-delà du simple calcul d'impact radiologique, de vérifier que les caractéristiques du stockage et les dispositions déjà prévues vis-à-vis des risques et nuisances associés aux déchets usuellement pris en charge, limitent toute possibilité d'exposition résiduelle ou de transfert de radioactivité dans l'environnement. Cette vérification pourra rester qualitative et/ou reposer sur une surveillance. Elle pourra être considérée comme acquise dans la mesure où :

- le mode de stockage assure un recouvrement des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée par des déchets d'autre nature et prévoit la mise en place d'une

couverture après remplissage des alvéoles ou des zones de stockage. Ces conditions sont de nature à réduire fortement toute possibilité d'exposition résiduelle par irradiation externe et inhalation de poussières et de radon ;

- des servitudes d'utilisation sont prévues sur le site en fin d'exploitation. Cette disposition est de nature à réduire fortement tout risque d'exposition, en particulier au radon dans le cas où des locaux fermés seraient implantés, dans le futur, sur ou à proximité immédiate des déchets ;
- le dispositif de stockage comporte des barrières imperméables autour des déchets ou la forme physico-chimique des déchets assure une faible lixivibilité de la radioactivité. Ces conditions sont de nature à réduire fortement toute possibilité de mise en solution et de transfert des radionucléides dans l'environnement.
- un suivi environnemental des restrictions d'usage et des servitudes d'utilisation sont prévues sur le site en fin d'exploitation

Dans le cas où les critères précédents ne seraient pas rencontrés, l'exploitant devra être en mesure de justifier que des dispositions d'autre nature ont été prises pour limiter toute possibilité d'exposition résiduelle ou de transfert de radioactivité dans l'environnement. Une situation contraire serait de nature à mettre en cause la réception de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée.

## 5 VERIFICATIONS SUR SITE ET SUIVI A LONG TERME

Dans l'esprit de la démarche présentée ci avant, la décision d'acceptation équivaut à considérer le déchet et son stockage comme présentant un risque négligeable du point de vue radiologique. Il devient alors inutile d'envisager des dispositions particulières pour mesurer, prévenir ou limiter les expositions aux rayonnements ionisants.

Les vérifications proposées dans le présent chapitre sont conçues dans un objectif différent. Elles visent d'une part à vérifier que le dispositif mis en place pour s'assurer du caractère négligeable de l'impact est efficace, d'autre part à fournir des éléments objectifs destinés à éviter que toute présence de radioactivité naturelle dans l'environnement du site ne soit abusivement attribuée à la présence de déchets à radioactivité naturelle dans le stockage.

### 5.1 Avant exploitation : le point zéro radiologique

Dans le cadre du suivi l'impact radiologique d'un site sur son environnement, il est nécessaire de s'affranchir de la radioactivité naturelle ou anthropique ambiante. Pour ce faire, un état de référence - ou point zéro radiologique - doit être établi. Cette opération relève de la responsabilité de l'exploitant du site de stockage qui devra s'appuyer pour cela sur ses services ou des bureaux d'études compétents dans le domaine de la mesure radiologique.

L'état de référence pourra intervenir avant l'ouverture du centre de stockage dans le cas des installations nouvelles et avant la réception des premiers déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée pour les installations existantes.

Lors de la réalisation d'un point zéro radiologique sur un centre de stockage existant, deux situations peuvent se présenter :

- aucun déchet à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée n'est stocké sur le site. Dans ce cas le point zéro radiologique est établi à partir des mesures directement réalisées sur le centre de stockage ;
- il existe des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée stockés sur le site. Dans ce cas, le niveau de radioactivité naturel ambiant sera évalué à partir du bruit de fond mesuré sur une zone de référence à proximité du site. La zone considérée sera choisie en respectant les règles suivantes :
  - être dans un contexte géologique similaire à celui du site du centre de stockage,
  - être en amont du centre de stockage par rapport aux vents dominants,
  - être en amont hydrographique du centre de stockage.

Des mesures dans l'environnement du site porteront sur les cibles potentielles pour une hypothèse de transfert de radionucléides depuis le centre de stockage. On pourra s'intéresser aux cours d'eau (eau, sédiments, poissons et mousses aquatiques) et au milieu terrestre (sol, mousses terrestres et produit de la chaîne alimentaire humaine) des zones potentiellement sous influence. Une surveillance de l'exposition au radon peut également être envisagée à travers des mesures d'Energie Alpha Potentielle (énergie générée par les descendants émetteurs alpha du radon).

## 5.2 En cours d'exploitation

### 5.2.1 Vérification du déchet à l'arrivée sur site

A l'arrivée sur site, la conformité du déchet est vérifiée à plusieurs niveaux. Les vérifications imposées à l'arrivée des chargements sur les centres de stockage des déchets ménagers et assimilés, les centres de stockage des déchets dangereux et les centres de stockage de déchets inertes provenant d'installations classées sont définies respectivement dans les arrêtés ministériels du 9 septembre 1997 modifié, du 30 décembre 2002 et du 31 décembre 2004.

Ces vérifications comportent notamment :

- un contrôle administratif : certificat d'acceptation et bordereau de suivi des déchets ;
- un examen visuel du chargement ;
- le prélèvement éventuel d'échantillons pour analyse sur place (cas des stockages de déchets dangereux, en particulier).

Dans le cas des déchets à radioactivité naturelle renforcée et concentrée, les vérifications précédentes devront également comporter la détection de la radioactivité (portiques, détecteurs portables, éventuellement spectrométrie gamma).

Compte tenu de la nature même des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, la réception d'un chargement peut conduire au déclenchement des portiques de détection de la radioactivité implantés à l'entrée de certains centres de stockage. Dans l'hypothèse de tels déclenchements, l'exploitant doit se conformer aux procédures existantes pour la gestion de ce type d'incident<sup>4</sup>. Toutefois, l'existence d'une étude d'acceptabilité doit généralement permettre de faciliter la prise en charge du déchet. La vérification sur place devra dans ce cas permettre simplement de vérifier l'absence de source ponctuelle (homogénéité de la radioactivité) et la cohérence entre le débit de dose mesuré et celui attendu compte tenu de la caractérisation de base et des déclarations faites par le producteur du déchet lors de la demande d'élimination. L'étude d'acceptabilité pourra fournir les éléments nécessaires à cette vérification.

### 5.2.2 Vérification après acceptation du chargement sur le site

La démarche d'acceptation des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée assure a priori l'absence de risque radiologique pour le personnel du centre de stockage.

Comme indiqué au chapitre 4, le risque d'exposition au radon nécessite un traitement spécifique. Son évaluation dans le cadre de l'étude d'acceptabilité peut être rendue difficile par l'absence d'outils de calculs adaptés. Dans ce cas, si la possibilité d'accumulation dans certains bâtiments du site situés à proximité des alvéoles de stockage ne peut pas être écartée a priori, une mesure de radon dans les bâtiments concernés devra être mise en place. Cette surveillance aura pour but de veiller à ce que les concentrations moyennes annuelles restent inférieures à la valeur de 400 Bq.m<sup>-3</sup>.

Après réception de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, l'exploitant du centre de stockage devra par ailleurs assurer la traçabilité des études d'acceptabilité afin de pouvoir faire la démonstration auprès des autorités publiques que la gestion de tels déchets sur son centre de stockage s'inscrit bien dans l'esprit de la méthodologie décrite dans le présent guide.

### 5.2.3 Vérification dans l'environnement du site

Les dispositions prises pour la vérification de l'absence d'impact radiologique pour le personnel du centre de stockage permettent généralement d'assurer la vérification de l'absence d'impact pour les populations riveraines du site à partir d'éléments quantitatifs.

<sup>4</sup> voir circulaire sur le site <http://aida.ineris.fr/textes/circulaires/text4328.htm>

Pour l'exposition liée au transfert potentiel des radioéléments par le vecteur « eau », l'étude d'acceptabilité ne fournira cependant que des éléments qualitatifs basés sur l'efficacité des barrières assurant le confinement des déchets ou sur l'absence de risque de lixiviation des déchets du fait de leur caractère inerte (en particulier dans le cas des installations de stockage de déchets industriels inertes provenant d'installations classées).

La prise en compte de cette voie d'exposition se distingue du calcul de dose décrit dans le chapitre 4 par le fait qu'elle implique la prise en compte :

- du stock total de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée présent sur le centre (et non des flux entrants) ;
- de cibles variées. Il peut s'agir des riverains du site mais aussi des différents compartiments de l'écosystème (eaux superficielles et souterraines, sols, atmosphère, flore et faune).

La vérification de l'efficacité des barrières ou de la très faible lixivabilité des radionucléides constitue un élément important qui est généralement suffisant, en particulier lorsque le tonnage de déchets à radioactivité naturelle ou concentrée sera négligeable par rapport au volume total reçu par l'installation.

Dans certains cas particuliers, les informations qualitatives précédentes pourront cependant mériter d'être complétées par une surveillance de la qualité des eaux dans les piézomètres de contrôle. Cela peut être en particulier utile afin de garantir qu'un éventuel marquage radioactif observé dans l'environnement du site de stockage ne peut pas être imputé à la présence de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée.

Indépendamment de l'enfouissement de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, la réglementation relative aux centres de stockage impose, pour les centres recevant des déchets dangereux et ceux habilités à recevoir des déchets ménagers ou assimilés, un isolement hydrologique du site et une surveillance de la qualité des eaux, cela se traduit par l'implantation d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines constitué de piézomètres dont le nombre, la profondeur, la disposition et la fréquence de prélèvement sont préalablement déterminés sur la base d'une étude hydrogéologique et hydrologique. L'exploitant doit effectuer une surveillance, au minimum semestrielle, du niveau des eaux souterraines, en périodes de hautes et basses eaux. Les paramètres à analyser sur les eaux souterraines sont définis lors de cette étude. La fréquence d'analyse de la composition des eaux souterraines doit permettre de disposer de résultats dans un délai autorisant une intervention efficace au cas où l'analyse révélerait un changement significatif de la qualité de l'eau. Cette fréquence doit être déterminée sur la base de la connaissance du contexte hydrogéologique et les analyses adaptées aux déchets enfouis.

Pour les centres ayant reçu des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, le contrôle de la qualité radiologique des eaux pourrait être intégré aux dispositions déjà mises en place pour le suivi des autres polluants. La détermination des éventuelles anomalies se fera alors par rapport à l'état de référence radiologique dans l'environnement du site.

### 5.3 Suivi à long terme

A l'issue de l'exploitation, les centres de stockage sont réaménagés. Les objectifs des opérations de réaménagement sont généralement destinés à :

- assurer l'isolement des déchets vis-à-vis des eaux de pluie ;
- intégrer le site dans son environnement ;
- permettre un suivi facilité des éventuels rejets dans l'environnement.

Dans le cas des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, le réaménagement doit également assurer le maintien de la radioactivité ambiante au même niveau que celui mesuré au cours de la définition de l'état de référence radiologique du site et de son environnement.

Les conditions du suivi à long terme sont définies par arrêté préfectoral. Pendant la phase de surveillance, il est recommandé à l'exploitant d'assurer des contrôles complémentaires de la radioactivité de l'eau (lixiviats et eaux souterraines) et du rayonnement ambiant (dosimètres). Dans



le cas particulier des centres de stockage de déchets ménagers ou assimilés, il est également souhaitable d'assurer des contrôles complémentaires sur la qualité de l'air (radon). L'emplacement des points de surveillance devra être choisi en fonction de l'implantation des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée sur le site. Des contrôles en dehors du site peuvent être envisagés si des anomalies radiologiques sont détectées sur le site.

Etant donné les longues périodes radioactives des radioéléments présents dans les déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, il est souhaitable que le stockage de ces déchets soit mentionné dans une servitude d'utilité publique attachée au site après sa période de surveillance. Cette mesure est de nature à limiter les risques d'exposition pour le futur.

## 6 SYNTHESE

La démarche volontaire qui permet d'accepter la réception de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée issus de l'industrie non nucléaire dans les centres de stockage de déchets conventionnels est basée, pour les centres de stockage de déchets dangereux, sur les recommandations de la circulaire du 10 juin 2003. Elle repose sur la réalisation d'une étude d'acceptabilité permettant de déterminer si l'élimination de ce déchet présente un impact radiologique acceptable sur les personnes les plus exposées, en l'occurrence le personnel de l'installation d'élimination.

La limite annuelle d'exposition qui doit être considérée dans ce cadre pour définir le caractère négligeable de point de vue de la radioprotection des déchets est de 1 mSv par an, en valeur ajoutée au rayonnement naturel. L'exposition au radon doit être appréciée indépendamment du calcul de dose en regard d'une valeur de concentration dans l'air de 400 Bq.m<sup>-3</sup>.

Malgré l'impact négligeable qu'elle présente, la présence même de matière radioactive naturelle dans ces déchets peut susciter des interrogations diverses et doit donc être tracée et l'information conservée. C'est notamment le cas pour les quantités stockées et les caractéristiques radiologiques des déchets à radioactivité naturelle concentrée ou renforcée reçus.

L'étude d'acceptabilité est fondée sur la caractérisation physico-chimique et radiologique du déchet, l'élaboration de scénarios d'exposition et l'évaluation des impacts correspondants. La pertinence du résultat de l'étude repose sur l'implication des différents acteurs. Le producteur est responsable de la caractérisation de base des déchets tandis que les études de poste et l'étude d'acceptabilité incombent à l'éliminateur. La réalisation des mesures ou des évaluations est du ressort, si nécessaire, des services ou bureaux d'études compétents intervenant sous la responsabilité du producteur et de l'éliminateur.

La méthodologie présentée dans ce document ne constitue qu'une base de travail. Les spécificités des différentes situations devront être appréhendées par les services ou bureaux d'études compétents chargés de la réalisation des études d'acceptabilité. Le niveau de détail de ces études est à mettre en relation avec les enjeux dosimétriques, sociaux et économiques.

A long terme, après fermeture du site, la population cible à prendre en compte dans les évaluations sera constituée des riverains et de l'environnement au sens large. La démarche proposée dans le guide ne repose pas sur un calcul d'impact radiologique pour ce groupe de référence mais sur une vérification essentiellement qualitative. Elle doit permettre de s'assurer que les dispositions mises en œuvre sur le site pour prévenir les risques et nuisances propres à chacun des stockages (confinement, surveillance, servitudes...) apportent également une réponse adaptée aux possibilités d'expositions radiologiques résiduelles et de transfert dans l'environnement des radionucléides.

## REFERENCES

- [1] L'uranium de l'environnement à l'Homme. Collection IPSN. ISBN : 2-86883-530-9. EDP sciences 2001
- [2] Cours post-universitaire de radioprotection volume 1. collection cours de formation n°5, AIEA, Vienne 1995
- [3] Radionuclides transformations. Energy and Intensity of Emissions. Annals of ICRP Pergamon Press Oxford-New-York-Frankfurt. ISBBN 0 08 030760 4
- [4] Sources and effects of ionizing radiation United Nation scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly
- [5] ICRP, ICRP, (2003) ICRP Publication No. 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection : Reference Values Vol. 32, No. 3-4. Pergamon
- [6] <http://guyclua.free.fr/biogaz.html>
- [7] <http://www.bsdv.com/french/valorisa/valori.php>
- [8] <http://www.aes-biogaz.com/references1.htm>
- [9] <http://www.veoliaenvironnement.com/visites/bouqueval/enjeux/economie.htm>
- [10] Doury A., Gerard R., Picol M. (1980) Abaques d'évaluation directe des transferts atmosphériques d'effluents gazeux. Rapport DSN n° 84.
- [11] Guide du scénariste « environnement » pour la préparation des exercices de crise. Rapport interne IRSN
- [12] Arrêté du 18 décembre 1992 relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installations nouvelles.
- [13] <http://www.ulg.ac.be/urap/cours/chim-sdts/chim-sdts-chap2.pdf>
- [14] <http://www.lebailly.com/fr/argiles.htm>
- [15] Agence Internationale de l'Energie Atomique, Handbook of parameters values for prediction of radionuclide transfer in temperate environments, AIEA Technical Reports series, 1994, n° 364
- [16] Cécile Ferry (1996) Le code GEOS-Version 2.0 Calculs des transferts dans la géosphère. Théorie et utilisation. IPSN rapport 96/19



# ANNEXES

# Annexe 1

Circulaire du 10 juin 2003

Objet : relative aux installations de stockage de déchets dangereux  
(NOR : DEVPO320306C)  
(BO min. écolog. no 21, 15 novembre 2003)

Référence: arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux (JO du 18 avril 2003).

*La ministre de l'écologie et du développement durable à  
Mesdames et Messieurs les préfets de département.*

L'arrêté ministériel du 30 décembre 2002 (JO du 16 avril 2003) transpose la directive 1999/31/CE du 26 avril 1999 dans le cas des déchets dangereux. Cet arrêté abroge les arrêtés du 18 décembre 1992 modifiés relatifs au stockage de certains déchets industriels et la circulaire du 16 mars 1993. Il m'apparaît utile d'appeler votre attention sur les points suivants du nouveau texte.

## 1 - Catégories de déchets admis

Dans un souci de cohérence réglementaire, le nouveau texte fait référence aux déchets dangereux définis par le décret 2002-540 du 18 avril 2002 modifié pris en application de l'article L. 541-24 du code de l'environnement.

Toutefois, tous les déchets dangereux ne peuvent être admis en l'état en installation de stockage pour déchets dangereux. Les déchets couverts par les interdictions de l'article 7 ne sont pas admissibles et, en tout état de cause, les critères d'acceptation de l'annexe I doivent être respectés. En revanche, les déchets non dangereux peuvent être admis selon les mêmes critères.

## 2 - Détection de la radioactivité

Les déchets radioactifs sont interdits, sur la base de la définition de la directive 96/29/EURATOM du 13 mai 1996 qui caractérise un déchet radioactif comme un déchet contenant un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection (art. 7 de l'arrêté). Il est clair que la protection des personnes travaillant dans le stockage suffit en général très largement à garantir la protection des riverains. L'arrêté prévoit que l'exploitant du centre définisse une procédure de détection de la radioactivité (art. 28). Cette détection ne vise pas à définir le caractère radioactif ou non d'un déchet, mais a pour objet de prévenir l'exploitant de la nécessité de porter une attention particulière au chargement et de le gérer dans le respect des procédures qu'il aura établies dans cet objectif en vue d'assurer la protection du personnel du stockage.

Si un déchet ayant une certaine activité doit être admis, il est préférable de prendre une décision au moment de la caractérisation de base. Un tel déchet pourra être accepté dans le centre de stockage si une étude montre que l'activité ou la concentration en radionucléides de la totalité des déchets en cause peut être négligée du point de vue de la radioprotection. Cette étude devra prendre en compte comme population cible, celle dont l'exposition est la plus significative, en l'occurrence le personnel de l'installation de stockage. La limite annuelle d'exposition qui doit être considérée pour définir le caractère négligeable du point de vue de la radioprotection des déchets sur le personnel est de 1mSv en valeur ajoutée au rayonnement naturel.

La procédure que l'exploitant doit mettre en place pour détecter la radioactivité doit prévoir les mesures à prendre en cas de détection d'une activité non prévue lors de la caractérisation de base. Des fiches guide sur les actions à mener en cas de déclenchement de portique ont été élaborées et pourront servir de base à la rédaction des procédures de l'exploitant.

### 3 - Procédure d'acceptation des déchets

L'arrêté prévoit, pour l'acceptation des déchets, une procédure en trois temps définie à l'article 8 et précisée au point 1 de l'annexe I.

La caractérisation de base et la vérification de la conformité doivent faire l'objet d'un test de potentiel polluant visant à vérifier les critères du point 3 de l'annexe I.

L'arrêté permet de ne pas systématiquement analyser tous les paramètres repris au point 3 de l'annexe I lors de la vérification de la conformité et a fortiori pour le contrôle sur place (1.3 de l'annexe I) dès lors que la caractérisation de base établit la non-pertinence de l'analyse du paramètre en question pour un déchet donné. La vérification sur place a uniquement pour objet de vérifier que le déchet réceptionné correspond bien à celui présenté lors de la caractérisation de base ou de la vérification de la conformité. L'exploitant doit mettre en place une méthode rapide qu'il porte à la connaissance de l'inspection des installations classées.

Toute acceptation définitive d'un lot de déchets doit donner lieu à l'émission d'un bordereau de suivi dans le cas de déchets dangereux (BSDI ou BSDA). Si les déchets réceptionnés sont non dangereux, un ticket de pesée suffit; celui-ci doit toutefois être suffisamment renseigné et préciser au moins le type de déchet, le producteur et le transporteur. En cas de refus, le producteur du déchet doit être informé dans les meilleurs délais. Il sera rendu compte par ailleurs à l'inspection des installations classées.

### 4 - Critères d'acceptation

Les modalités d'analyse et les seuils appliqués à chaque paramètre changent. La norme utilisée pour le test de lixiviation des déchets granulaires est désormais la X 30 402-2. Pour les déchets solides massifs, l'ancienne norme XP X 31-211 est toujours applicable. Dans les précédents textes relatifs au stockage de déchets dangereux, il était imposé trois lixiviations successives de 16 heures quel que soit le type de déchet, granulaire ou massif. Dans le nouvel arrêté, une seule lixiviation de 24 heures est imposée; de plus, les nouveaux seuils sont exprimés en masse de déchet sec et non plus sur déchet brut.

La liste des paramètres à analyser est modifiée. Le phénol, les cyanures, le chrome VI ne sont pas repris. D'autres paramètres apparaissent, le baryum, le cuivre, le molybdène, l'antimoine, le sélénium, le COT (sur lixiviat et sur déchet brut), les fluorures. A l'exception du COT, le respect des valeurs limites associées aux nouveaux paramètres sera d'application obligatoire au 16 juillet 2005.

Le tableau au 2.2. de l'annexe I donne les méthodes normalisées les plus couramment utilisées. L'exploitant peut proposer d'autres méthodes normalisées, celles-ci devant être adaptées à la nature du déchet analysé et aux seuils du point 3 de l'annexe I.

Pour la caractérisation de base, l'arrêté impose l'évaluation de la capacité de neutralisation acide (CNA), reprenant ainsi une obligation de la directive 1999/31/CE. La méthode d'évaluation est en cours d'élaboration dans les instances européennes de normalisation. Une première version devrait être soumise à la consultation dans le courant de l'année 2004.

L'article 4 du projet d'arrêté prévoit la possibilité d'effectuer par arrêté préfectoral une modification des seuils de certains paramètres, dans la limite d'un facteur trois et uniquement en ce qui concerne les éléments métalliques et les fluorures. L'autorisation ne pourra concerner qu'une quantité précise d'un déchet et l'exploitant d'un site de stockage donné. Cette demande de modification des seuils pour certains paramètres devra être faite par l'exploitant de l'installation de stockage. L'étude demandée pourra faire référence à la norme XP ENV 12920 «Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées» (AFNOR 1998).

Un rapport annuel doit être envoyé à la Commission européenne sur l'emploi de cette disposition. Aussi je vous serais reconnaissant de bien vouloir m'informer chaque fois que vous en aurez fait usage. Vous pourrez, si vous le jugez utile, solliciter l'avis de mes services sur ce point.

### 5 - Aménagement du stockage

Un casier de stockage est subdivisé en alvéoles. Les digues périmétriques du casier ont pour but d'assurer l'indépendance hydraulique et peuvent contribuer à limiter à 30 centimètres la charge hydraulique en fond de stockage. Elles ne sont pas destinées à séparer des déchets de nature incompatible ni à être un élément assurant la stabilité de la couverture finale; leur hauteur est de la responsabilité de l'exploitant.

L'article 25 impose que la couverture finale dispose d'une couche drainante permettant la mise en dépression du stockage. Il n'est pas demandé de système permanent de mise en dépression qui fragiliserait l'ensemble de la couverture.

#### 6 - Possibilité d'adaptation de certaines contraintes techniques

L'organisation de l'installation de stockage et son mode d'exploitation sont très proches de celles déjà requises par les arrêtés de 1992.

Toutefois, l'article 46 de l'arrêté relatif au stockage de déchets dangereux prévoit la possibilité d'adapter les contraintes techniques. Cette possibilité est limitée aux installations de stockage mono-déchet internes ou collectives définies dans l'arrêté.

Cette définition concerne donc des déchets homogènes dont les caractéristiques et la variabilité sont connues et évaluées. Dans ce cas, sous réserve d'une évaluation spécifique des risques potentiels pour l'environnement, les dispositions applicables en matière de barrière passive, barrière active, gestion des lixiviats et couverture du site peuvent être adaptées. L'étude spécifique doit montrer que l'effet combiné des dispositions prises en termes de protection du sol, des eaux souterraines, de l'environnement et de la santé est au moins équivalent, sur le court et long terme, à celui résultant des exigences fixées au 1er alinéa de l'article 13.

La notion de déchet homogène n'est pas à interpréter dans un sens restrictif. Une installation produisant des scories métalliques de différentes natures, stockées en mélange, peut être considérée comme un stockage mono-déchets sous réserve que le potentiel polluant d'une partie des déchets ne soit pas aggravé par le mélange.

L'étude spécifique peut s'appuyer sur les recommandations du «Guide pour l'implantation de stockages de déchets monoproducts» du BRGM - RP 50417 FR de janvier 2001 ainsi que de la méthodologie développée par l'ADEME «Évaluation de l'écocompatibilité de scénarios de stockage et de valorisation des déchets» réf. 4445 de décembre 2002.

#### 7 - Visite initiale et dossier technique prévus à l'article 49

L'article 49 s'applique uniquement aux casiers dont les travaux d'aménagement n'ont pas commencé à la publication de l'arrêté relatif au stockage de déchets dangereux.

#### 8 - Admission des déchets contenant de l'amiante

Pour les déchets contenant de l'amiante, le contrôle visuel demandé pour tous les autres types de déchets entraînerait un risque que l'opérateur qui réalise ce contrôle inhale des fibres d'amiante.

Un protocole de suivi des déchets amiantés visant à impliquer l'ensemble des acteurs et à définir la responsabilité de chacun a été mis en place par les représentants de toutes les parties prenantes du désamiantage. Un contrôle aléatoire pourra être mis en place par l'exploitant afin de s'assurer du respect de ce protocole avec les mesures de protections adaptées.

Le rôle de l'inspection des installations classées n'est pas de vérifier que l'ensemble des intervenants ont effectué leur tâche conformément à ce protocole qui doit rester un engagement contractuel entre les différents acteurs. Il est cependant nécessaire de s'assurer du suivi des déchets, BSDA et marquage des conditionnements.

#### 9 - Mise en conformité des installations existantes

L'exploitant doit remettre au préfet au plus tard le 16 avril 2004 une étude permettant de vérifier la conformité de l'installation de stockage aux exigences de l'arrêté ou de mettre en évidence les points pour lesquels une mise en conformité est nécessaire, assortie d'une proposition d'échéancier.

Sur la base de cette étude, le préfet fixe, s'il y a lieu, les conditions de la poursuite de l'exploitation, intégrant éventuellement un échéancier, qui ne pourra aller au-delà du 1er juillet 2009, pour la réalisation des mesures nécessaires, à l'exclusion des conditions d'acceptation des déchets pour lesquelles la date limite est fixée au 16 juillet 2005.

De manière à préserver une homogénéité dans les conditions d'admission des différentes installations de stockage de déchets dangereux, il me paraît important d'adapter rapidement les modalités d'acceptation afin que les certificats d'acceptation préalables qui arrivent à échéance soient renouvelés selon les dispositions de l'arrêté du 30 décembre 2002. L'arrêté préfectoral d'autorisation pourra, à cette fin, être modifié dans les formes prévues à l'article 18 du décret no 77-1133 du 21 septembre 1977 sans nécessiter d'enquête publique et demander également l'étude prévue à l'article 47.

Je vous remercie de me tenir informé sous le présent timbre des difficultés éventuelles que vous pourriez rencontrer dans la mise en oeuvre de ces dispositions et de vos suggestions pour l'évolution de cette réglementation.

## Annexe 2

### Dispositions générales en matière de radioprotection et leur applicabilité aux déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée

#### 1 - Dispositions applicables aux membres du public

Les dispositions relatives à la protection de la population contre les dangers des rayonnements ionisants sont définies aux articles L. 1333-1 à L. 1333-20 et aux articles R. 1333-1 à R. 1333-93 du code de la santé publique<sup>5</sup>.

Ces dispositions différencient explicitement plusieurs catégories d'exposition : les expositions liées aux « activités nucléaires », les expositions résultant d'une intervention, les expositions aux rayonnements d'origine naturelle et les expositions d'origine médicale.

#### Expositions associées aux activités nucléaires

Une activité nucléaire est définie à l'article L. 1333-1 comme toute activité comportant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants émanant soit d'une source artificielle, soit d'une source naturelle lorsque les radionucléides naturels sont traités ou l'ont été en raison de leurs propriétés radioactives fissiles ou fertiles. En application de cette définition, les activités d'extraction et de transformation de minerais d'uranium et de radium, ainsi que la gestion des résidus et déchets qui en résultent constituent des activités nucléaires. Par contre, l'extraction et la transformation d'autres catégories de minerais naturellement riches en radionucléides échappent à cette dénomination et tombent dans le champ des expositions aux rayonnements naturels, dès lors que les propriétés radioactives des minerais ne sont pas à l'origine de leur utilisation.

Les expositions auxquelles peuvent être soumises les personnes du public du fait de l'ensemble des activités nucléaires font l'objet de limites définies à l'article R. 1333-8 du code de la santé publique. Ainsi, la somme des doses efficaces reçues par une personne du public du fait de l'ensemble des activités nucléaires ne doit pas dépasser 1 mSv.an<sup>-1</sup>.

Il est à noter que par personne du public, il convient d'entendre également les travailleurs, dès lors que ceux-ci ne sont pas considérés comme travailleurs exposés aux rayonnements ionisants et soumis à ce titre aux dispositions particulières prévues par le code du travail (voir section 2 ci-après).

#### Exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle

Les dispositions applicables aux expositions aux rayonnements ionisants d'origine naturelle sont définies aux articles R. 1333-13 à R. 1333-16 du code de la santé publique. Ces articles et leurs textes d'application disposent en particulier que :

- certaines activités professionnelles impliquant l'emploi ou le stockage de matières naturellement radioactives mais non utilisées pour leurs propriétés radioactives, doivent être soumis à une surveillance de l'exposition aux rayonnements d'origine naturelle et à une estimation des doses. Cette disposition n'est aujourd'hui pas directement applicable au cas du stockage de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée. Elle est cependant de nature à permettre une meilleure identification des catégories de déchets concernées par leur producteur et donc une meilleure prise en compte du niveau de risque radiologique en amont de leur envoi sur les centres de stockage ;
- certaines catégories d'établissement recevant du public, doivent faire l'objet de contrôles de la concentration volumique en radon et d'actions de réduction de l'exposition des personnes dès lors que cette concentration y est supérieure à 400 Bq.m<sup>-3</sup>, en valeur

<sup>5</sup> codification de l'ordonnance 2001-270 et des décrets n°2002-460, 2003-270 et 2003-295 pris dans le cadre de la transposition de la directive EURATOM n°96-29

moyenne annuelle. Cette disposition n'est pas non plus directement applicable aux centres de stockage objet du présent guide. Elle fournit cependant une référence exploitable pour apprécier le caractère acceptable d'une exposition au radon.

## 2 - Dispositions applicables aux travailleurs

Les dispositions relatives à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants sont définies aux articles R. 231-73 à R. 231-116 du code du travail<sup>6</sup>.

### Expositions associées aux activités nucléaires

Pour les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants résultant d'une activité nucléaire telle que définie par le code de la santé publique (cf. la section 1 ci avant), les dispositions applicables différencient deux catégories de personnel :

- les personnels de catégorie B correspondant aux individus susceptibles de recevoir, en conditions normales de travail, une dose efficace supérieure à 1 mSv.an<sup>-1</sup> et en tout état de cause inférieure à une limite de 6 mSv.an<sup>-1</sup>.
- les personnels de catégorie A correspondant aux individus susceptibles de recevoir, en conditions normales de travail, une dose supérieure à 6 mSv.an<sup>-1</sup> mais en tout état de cause inférieure à la limite de 20 mSv.an<sup>-1</sup>.

Les travailleurs de catégorie A ou B sont soumis à une surveillance médicale spécifique. Ils bénéficient d'un examen médical ou moins une fois par an.

Comme précisé dans la section précédente, les travailleurs n'entrant dans aucune des deux catégories précédentes sont considérés comme personnes du public et soumis aux dispositions générales du code de la santé publique. Les employeurs des travailleurs concernés ne sont alors tenus à aucune obligation de suivi médical spécifique pour ce qui concerne leur éventuelle exposition professionnelle aux rayonnements ionisants. La dose efficace maximale à laquelle les travailleurs concernés peuvent être soumis est, comme pour l'ensemble des membres du public, de 1 mSv.an<sup>-1</sup> pour les expositions résultant des activités nucléaires.

Par ailleurs, le code du travail impose la délimitation et la signalisation des zones dans lesquelles les travailleurs sont susceptibles de recevoir une dose efficace dépassant 1 mSv.an<sup>-1</sup> et 6 mSv.an<sup>-1</sup> (zones dénommées respectivement « zones surveillées » et « zones contrôlées »). Ces zones sont soumises à des règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien spécifiques. Les travailleurs appelés à y intervenir font l'objet d'un suivi dosimétrique.

### Expositions aux rayonnements ionisants d'origine naturelle

Les expositions des travailleurs du fait de la radioactivité naturelle de matériaux non utilisés pour leurs propriétés radioactives ne relèvent pas des dispositions mentionnées ci avant applicables aux activités nucléaires. Elles sont par contre soumises, par le code du travail, à des dispositions particulières comparables à celles prévues par le code de la santé publique. Ces dispositions sont les suivantes :

- pour certaines catégories d'activités, le chef d'établissement est tenu de réaliser une évaluation des doses reçues par les travailleurs du fait de l'emploi ou du stockage de matières, non utilisées en raison de leurs propriétés radioactives, mais contenant naturellement des radionucléides (article R. 231-114) ;
- lorsque les résultats de l'évaluation précédente indiquent que les expositions individuelles sont susceptibles d'atteindre ou de dépasser une dose efficace de 1 mSv.an<sup>-1</sup>, le chef d'établissement est tenu de communiquer les résultats à l'IRSN et d'étudier les possibilités d'éviter ou de réduire l'exposition des travailleurs (article R. 231-114) ;
- pour certains établissements dans lesquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés au radon, le chef d'établissement est tenu de procéder à des mesures de l'activité volumique en radon de l'air (article R. 231-115) ;

---

<sup>6</sup> codification du décret n° 2003-296 du 31 mars 2003 pris dans le cadre de la transposition de la directive EURATOM n°96-29

- lorsque les mesures mettent en évidence une concentration moyenne annuelle supérieure ou égale à  $400 \text{ Bq.m}^{-3}$ , le chef d'établissement est tenu de mettre en œuvre les actions nécessaires pour réduire l'exposition à un niveau aussi bas que raisonnablement possible (article R. 231-115).

En l'état actuel de la réglementation, les stockages susceptibles de recevoir des déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée n'entrent pas dans les catégories d'activités ou d'établissements mentionnés ci avant. Les dispositions précédentes fournissent cependant des références utiles pour replacer la démarche explicitée dans la circulaire du directeur de la prévention des pollutions et des risques en date du 10 juin 2003 dans le contexte général de gestion du risque radiologique.

Elles fournissent, en particulier, des références quantitatives pour apprécier les niveaux d'exposition ajoutée et de concentration en radon au-delà desquels une activité devrait nécessiter une vigilance particulière ou un traitement spécifique. Les valeurs correspondantes ( $1 \text{ mSv.an}^{-1}$  et  $400 \text{ Bq.m}^{-3}$ ) sont identiques dans le code de la santé publique et le code du travail.

## Annexe 3

*Exemple de calcul de concentration volumique de  $^{222}\text{Rn}$ <sup>7</sup> dans l'atmosphère à proximité d'un événement d'évacuation de biogaz dans un centre de stockage de déchets ménagers et assimilés.*

Le calcul présenté ci-après constitue une évaluation volontairement majorante de la quantité de radon qui pourrait être rejetée par le système de collecte des biogaz d'un stockage de déchets ménagers et assimilés. Pour adopter une approche conservatrice, il a été décidé de raisonner sur le tonnage total de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée, que pourrait recevoir un stockage de déchets ménagers et assimilés, sur les 30 années de sa période d'exploitation. L'accumulation des déchets au fur et à mesure de l'exploitation n'est donc pas prise en compte :

- Etant donnée la courte période du radon (3,8 jours) et la mise en dépression du stockage, le radon issu de la présence de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée ne peut s'accumuler, d'une année sur l'autre, au sein du stockage ;
- Le radon produit est supposé être éliminé immédiatement au travers de la collecte des biogaz ;
- La quantité maximale de radon est présente en fin d'exploitation du site, date à laquelle la quantité de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée est maximale.

Pour une année d'exploitation donnée, le stock de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée étant plus faible qu'en fin de vie du site, les concentrations de radon rejetées seront donc plus faibles.

### Les paramètres

Pour réaliser ce type de calcul, il est nécessaire de connaître :

- la masse de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée ;
- l'activité massique moyenne en  $^{226}\text{Ra}$  de ces déchets ;
- le débit de production de biogaz. On suppose le système à l'équilibre, c'est-à-dire que le débit de production de biogaz est équivalent au débit d'extraction.
- les constantes de désintégration du  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{222}\text{Rn}$  ;
- les coefficients de transfert atmosphérique ;
- le coefficient de battement du vent.

### La démarche

Il faut calculer :

- l'activité totale de radium présent sur le site
- la production de radon par unité de temps à partir de ce stock
- l'activité volumique du radon dans le biogaz collecté

A l'aide des coefficients de transfert atmosphérique et de battement du vent, on peut alors calculer l'activité volumique du radon dans l'atmosphère à une distance X du point d'émission.

### Choix des valeurs utilisées dans l'application numérique présentée ci-après

Masse de déchets : Elle correspond au tonnage de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée sur un centre en fin d'exploitation. En considérant que celle-ci a duré 30 ans et que le tonnage moyen annuel de réception de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée est de l'ordre de 1 000 tonnes, on obtient 30 000 tonnes.

Activité massique moyenne en  $^{226}\text{Ra}$  : La valeur retenue, dans cet exemple, est de l'ordre de grandeur de la teneur en  $^{226}\text{Ra}$  de la monazite (de l'ordre de  $10 \text{ Bq.g}^{-1}$  de  $^{226}\text{Ra}$ ), valeur

<sup>7</sup> Le  $^{220}\text{Rn}$  n'est pas considéré dans le calcul. En raison de sa courte période (55,6 s), la majeure partie décroît avant d'atteindre la torchère.



majorante pour la plupart des déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée.

Débit de production de biogaz : Les valeurs mentionnées dans la littérature varient entre  $350 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et  $13\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  [6-9]. La valeur la plus pénalisante a été conservée pour l'application numérique.

Les constantes de désintégration : Elles sont issues de [3].

Les coefficients de transfert atmosphérique : [10] Les coefficients ont été sélectionnés pour des distances de 100, 200 et 500m du point d'émission. Les hypothèses majorantes suivantes ont été retenues : rejet au sol ; vitesse du vent  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et diffusion faible.

Le coefficient de battement de vent : [11] Ce coefficient traduit les variations de la direction du vent durant le rejet dans l'atmosphère. Pour un rejet de courte durée (30 minutes) aucun facteur n'est appliqué pour un rejet de plus de trois heures, le coefficient appliqué est de 5. L'hypothèse du rejet « instantané » étant la plus pénalisante, le facteur retenu est 1.

Le tableau suivant présente les activités volumiques atmosphériques en  $^{222}\text{Rn}$  en fonction de la distance au point d'émission et du tonnage de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée sur le centre de stockage.

Activité volumique en radon 222 dans l'atmosphère à 100, 200 et 500 m du point de rejet du biogaz en fonction du tonnage de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée ou concentrée stocké sur le centre (stockage de déchets ménagers et assimilés). Le détail du calcul pour une masse de 30 000 tonnes est présenté à la page suivante.

tonnage de déchets à radioactivité naturelle (tonnes)	radon dans l'atmosphère ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )		
	100m	200m	500m
5000	0,3	0,1	0,04
10000	0,6	0,2	0,07
20000	1,2	0,5	0,14
30000	1,8	0,7	0,2
50000	3,0	1,2	0,4
100000	6,0	2,4	0,7

Etablissement de la formule littérale du calcul de l'activité volumique de radon dans l'atmosphère à la sortie d'une cheminée de biogaz dans un centre de stockage de déchets ménagers et assimilés.

tonnage (ton)		coefficient de transfert atmosphérique	100m (CTA100)
activité massique du radium (AmRa)			200m (CTA200)
débit de production de biogaz (debit)			500m (CTA500)
facteur d'émanation (E)			
$\lambda_{Ra}$ (Lra)		battement de vent (Bv)	
$\lambda_{Rn}$ (LRn)			
<hr/>			
Activité totale de radium (AtRa) =ton.AmRa		activité volumique dans l'atmosphère	100m =AvRn.CTA100/Bv/3600
atomes de radon produits en 1h (NRn) =(AtRa.(1-EXP(-Lra.3600)))/LRa			200m =AvRn.CTA200/Bv/3600
activité radon correspondante (ARn) =NRn.LRn			500m =AvRn.CTA500/Bv/3600
activité radon qui émane (ARne) =Arn.E			
activité volumique du radon dans le gaz (AvRn) =ARne/debit			

Application numérique : un exemple majorant

tonnage	30000 tonnes	coef de transfert atm	100m	2,5E-03 s.m <sup>-3</sup>
activité massique du radium	1,E+07 Bq.tonne <sup>-1</sup>		200m	1,0E-03 s.m <sup>-3</sup>
débit de production de biogaz	350 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>		500m	3,0E-04 s.m <sup>-3</sup>
facteur d'émanation	0,4			
$\lambda_{Ra}$	1,37E-11 s <sup>-1</sup>	battement de vent	1	
$\lambda_{Rn}$	2,10E-06 s <sup>-1</sup>			
<hr/>				
Activité total de radium	3,0E+11 Bq	activité volumique dans l'atmosphère	100m	<b>1,8 Bq.m<sup>-3</sup></b>
atomes de radon produits en 1h	1,E+15 atomes		200m	<b>0,7 Bq.m<sup>-3</sup></b>
activité radon correspondante	2,E+09 Bq		500m	<b>0,2 Bq.m<sup>-3</sup></b>
activité radon qui émane	9,E+08 Bq			
activité volumique du radon dans le gaz	3,E+06 Bq.m <sup>-3</sup>			

## Annexe 4

### *Exemple de calcul du temps de transfert des radionucléides à travers une barrière mise en place dans un centre de stockage*

Le temps de transfert d'une substance à travers une barrière dépend des caractéristiques de cette dernière et des propriétés chimiques de la substance considérée. Les paramètres nécessaires au calcul du temps de transfert à travers la barrière sont :

- la vitesse d'infiltration de l'eau
- l'épaisseur de la barrière
- la porosité du milieu
- le niveau de saturation
- la densité du matériau constitutif de la barrière
- le coefficient de distribution de la substance considérée entre l'eau et le matériau constitutif de la barrière.

#### La démarche

- 1) Calculer le facteur de retard qui traduit le retard de la substance par rapport au flux d'eau.
- 2) Calculer la vitesse de transfert de la substance
- 3) Calculer le temps de transfert

#### Sélection des valeurs pour l'application numérique

##### La barrière

L'exemple retenu pour l'application numérique correspond à une couche d'argile d'une épaisseur de 5 m et de perméabilité de  $10^{-9}$  m.s<sup>-1</sup>. Les caractéristiques de cette barrière correspondent aux caractéristiques minimales requises pour la formation géologique sur laquelle un centre de stockage de déchets dangereux peut être implanté [12].

La porosité des argiles est de l'ordre de 45% [13] et leur densité de 1,5 [14].

Afin de considérer la situation la plus défavorable, un niveau de saturation de 100% a été retenu.

##### Les radionucléides

Les radionucléides retenus sont l'uranium 238 et le radium 226. Le coefficient de distribution de l'uranium entre l'eau et l'argile est de l'ordre de  $1,5 \cdot 10^3$  [15] et sa période radioactive ( $4,47 \cdot 10^9$  ans) est suffisamment longue pour ne pas considérer la décroissance radioactive au cours du transfert. Les valeurs de ces deux paramètres pour le radium sont respectivement  $9 \cdot 10^3$  [15] et 1600 ans.

Il est important de noter que les valeurs retenues pour les coefficients de distribution correspondent aux valeurs moyennes recommandées par l'AIEA mais que la variabilité de ces coefficients est très élevée (4 à  $9 \cdot 10^5$  pour l'uranium et  $6,7 \cdot 10^2$  à  $1,2 \cdot 10^5$  pour le radium).

#### Formules littérales

##### Le facteur de retard R

Il est défini par [16] :

$$R = S + ((\rho \cdot K_d) / \omega)$$

où S est le niveau de saturation

$\rho$  est la densité

$K_d$  est le coefficient de distribution

$\omega$  est la porosité

La vitesse de transfert

Elle est définie par [16] :

$$V_i = V / (\omega \cdot R)$$

où  $V_i$  est la vitesse de transfert de l'élément considéré

$V$  est la vitesse d'infiltration (perméabilité)

$\omega$  est la porosité

$R$  est le facteur de retard

Le temps de transfert

Il correspond à :

$$T = e / V_i$$

où  $e$  est l'épaisseur de la barrière

$V_i$  est la vitesse de transfert de l'élément considéré à travers la barrière

Applications numériques

Paramètre	unité	Uranium	Radium
Facteur de retard (R)	-	5001	30001
Vitesse de transfert ( $V_i$ )	m.an <sup>-1</sup>	1,4.10 <sup>-5</sup>	2,37.10 <sup>-6</sup>
Temps de transfert (T)	ans	351633	2109445

Remarque 1 : Pour le radium, le temps de transfert est très élevé devant sa période radioactive. Il convient alors pour estimer le transfert à travers la barrière de considérer le processus de production et de décroissance radioactive [16].

Remarque 2 : Ces résultats ont été obtenus avec des valeurs de porosité et de coefficients de distribution choisies par défaut. Il est indispensable lors des études de cas d'évaluer correctement ces paramètres afin d'avoir une estimation réaliste de l'efficacité des barrières.