

**TRACTEBEL ENGINEERING S.A.**

Boulevard Simón Bolívar 34-36  
 1000 - Brussels - BELGIQUE  
 tel. +32 2 773 99 11 - fax +32 2 773 9900  
 engineering@tractebel.engie.com  
 tractebel-engie.com

## TECHNICAL DOCUMENT



**Our ref.:** CNT-KCD/4NT/0027161/000/01

**TS:**

**Imputation:** P.001199/5001

**INTERNAL**

**Client:**

**Project:** SF2-Spent Fuel Storage Facility

**Subject:** Dossier déchets-démantèlement SF<sup>2</sup> CNT conformément à l'AR du 20/07/01

**Comments:**

La révision 1 de ce document intègre les réponses aux commentaires émis par l'ONDRAF lors de la réunion du 28/11/2018.

01	2018 12 04	PRL	*O. Hervo	*G. Degreef	*C. Bergiers	*D. Vanbellinghen
00	2018 10 30	PRL	*O. Hervo	*G. Degreef	*C. Bergiers	*D. Vanbellinghen
<b>REV.</b>	<b>YY/MM/DD</b>	<b>STAT.</b>	<b>WRITTEN</b>	<b>VERIFIED</b>	<b>APPROVED</b>	<b>VALIDATED</b>

\* This document is fully electronically signed on 2018 12 21.



## Dossier déchets-démantèlement SF<sup>2</sup> CNT conformément à l'AR du 20/07/01

# TABLE DES MATIERES

ACRONYMES .....	5
1. INTRODUCTION.....	6
2. CONCLUSION .....	7
3. FONCTIONNEMENT DU SF <sup>2</sup> .....	8
3.1. Les emballages.....	9
3.2. Implantation et configuration conceptuelle du bâtiment .....	9
3.3. Le bâtiment principal .....	10
3.3.1. Hall de manutention.....	12
3.3.2. Hall d'entreposage.....	12
3.3.3. Halls de surveillance.....	13
3.3.4. Locaux auxiliaires .....	14
4. DECHETS RADIOACTIFS.....	14
4.1. Introduction.....	14
4.2. Rejets d'effluents radioactifs liquides suite aux opérations prévues dans le SF <sup>2</sup> .....	15
4.3. Rejets radioactifs dans l'atmosphère suite aux opérations prévues dans le SF <sup>2</sup> .....	15
4.4. Déchets radioactifs solides suite aux opérations prévues dans le SF <sup>2</sup> .....	16
5. DÉMANTÈLEMENT DU SF <sup>2</sup> .....	16
5.1. Informations disponibles dans la littérature .....	17
5.2. Estimation de l'activation du béton du SF <sup>2</sup> après entreposage .....	17

6. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES .....	18
6.1. Démantèlement des emballages .....	18
6.1.1. Contexte .....	18
6.1.2. Procédé .....	18
6.1.3. Informations disponibles dans la littérature .....	19
6.1.4. Evaluation de l'activation .....	19
6.2. Combustible utilisé.....	20
6.2.1. Contexte .....	20
6.2.2. Scénarii.....	20
6.3. Conditions d'entreposage du combustible utilisé .....	21
7. RÉFÉRENCES.....	22

## ACRONYMES

AR	Arrêté Royal
CIPR	Commission Internationale de Protection Radiologique
Cm	Curium
CNT	Centrale Nucléaire de Tihange
Co	Cobalt
DE	Bâtiment de DEsactivation
Eu	Europium
GNS	“ <i>Gesellschaft für Nuklear-Service mbH</i> ” société allemande active dans la gestion des déchets radioactifs et le démantèlement d’installations nucléaires
IAEA	International Atomic Energy Agency
KCD	KernCentrale Doel
ONDRAF	Organisme National des Déchets RAdioactifs et des matières Fissiles enrichies
RGPRI	Règlement Général de la Protection de la population, des travailleurs et de l’environnement contre le danger des Rayonnements Ionisants
SCG	Splijtstof Container Gebouw
SF <sup>2</sup>	Spent Fuel Storage Facility

# 1. INTRODUCTION

Les installations d'entreposage d'assemblages de combustible usé actuellement en service sur les sites de Tihange et Doel vont arriver à saturation avant la fin de vie opérationnelle des unités. Pour éviter que cette situation ne survienne, des nouvelles installations d'entreposage vont être construites sur les sites de Tihange et Doel. Ces installations sont désignées par l'acronyme SF<sup>2</sup> pour Spent Fuel Storage Facility.

Les différents concepts d'entreposage du combustible ont été comparés techniquement et économiquement. Sur la base de ces comparaisons, Electrabel a choisi d'opter pour une solution d'entreposage à sec.

Le mode d'entreposage du SF<sup>2</sup> est l'entreposage à sec des assemblages de combustible dans des emballages conçus à cet effet. Ces emballages ont la particularité d'être conçus pour permettre à la fois l'entreposage des assemblages de combustible usé et leur transport.

Dans le cadre de la mise-à-jour du cadre législatif et plus particulièrement de l'Arrêté Royal (AR) de 2001 article 5.8 [1], un sous-dossier déchets radioactifs et démantèlement doit être présenté aux autorités. Cette note contient les informations pertinentes sur l'installation SF<sup>2</sup> concernant les sujets déchets et démantèlement conformément à l'article 6.2 au RGPRI [1]. De plus, la note contient des informations supplémentaires sur le démantèlement des emballages et la gestion du combustible usé.

Cette note est à considérer comme le sous-dossier déchets et démantèlement de la demande d'autorisation pour le projet SF<sup>2</sup> à Tihange.

## 2. CONCLUSION

Concernant le SF<sup>2</sup> de CNT, et en rapport avec les déchets radioactifs et le démantèlement, les conclusions sont les suivantes :

- En exploitation normale du bâtiment SF<sup>2</sup>, aucun déchet radioactif n'est produit ;
- Les niveaux d'activation du bâtiment principal, après un entreposage de 100 ans<sup>1</sup>, sont en dessous des seuils de libération. Ainsi le bâtiment peut être démantelé comme un bâtiment conventionnel. La justification sur l'activation de béton est donnée au §5.2.

Ces résultats sont en cohérence avec les informations qui sont disponibles dans la littérature sur le démantèlement de ce type d'installation.

Les études qui ont été réalisées par Tractebel (voir §5.2 et §6.1.4) utilisent les niveaux de libération inconditionnelle qui sont actuellement définis par l'AR du 21 juillet 2001. L'établissement de ceux-ci est basé sur les recommandations de comités internationaux, notamment de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), qui prennent en compte dans celles-ci les nouvelles connaissances scientifiques et développements techniques.

---

<sup>1</sup> Tractebel a réalisé des études spécifiques pour évaluer l'impact que peut avoir le flux neutronique des assemblages de combustible usé sur les emballages et sur les bâtiment SF<sup>2</sup> (béton). Ces études sont données en références [8] et [7]. Pour l'évaluation de l'activation des emballages et du béton des périodes d'entreposage de 50 à 100 ans ont été considérées. Ces intervalles de temps ont été retenus pour évaluer la sensibilité de la durée de l'entreposage sur l'activation des emballages et du béton.

### 3. FONCTIONNEMENT DU SF<sup>2</sup>

L'entreposage temporaire des assemblages de combustible usé est actuellement réalisé dans le bâtiment DE de Tihange (stockage humide en piscines). Sans la mise en œuvre d'une capacité d'entreposage complémentaire, la capacité de l'installations existante sera saturée vers l'horizon 2023. Le « projet SF<sup>2</sup> » (Spent Fuel Storage Facility) vise la construction d'une installation d'entreposage complémentaire afin de pallier le manque de capacité d'entreposage de combustible usé à long terme.

Cette nouvelle installation est conçue pour une durée minimale de 80 ans.

La solution techniquement et économiquement retenue consiste en un entreposage à sec en emballage hermétique à fonction double, à savoir une fonction d'entreposage des assemblages de combustible usé, et une fonction de transport avant et après entreposage. Le projet s'appuie sur l'expérience acquise dans le cadre de l'actuelle installation d'entreposage, bâtiment SCG, de Doel, qui repose sur un concept d'entreposage sec similaire.

Les fonctions de sûreté (maintien de la sous-criticité, confinement des matières radioactives, évacuation de la puissance résiduelle, protection radiologique contre les rayonnements ionisants du combustible, récupérabilité) sont principalement remplies par les emballages mais les bâtiments (protection radiologique, évacuation de la puissance résiduelle) et les équipements associés (pont roulant pour la récupérabilité des emballages) y participent également.

Il est prévu que les assemblages de combustible usé soient entreposés dans le SF<sup>2</sup> après une certaine période refroidissement :

- Après une période de refroidissement d'au moins 2 ans dans les piscines de désactivation des unités, les assemblages de combustibles usés sont transférés et entreposés dans les piscines du bâtiment DE. Le bâtiment DE est l'actuelle installation d'entreposage du site de Tihange, constituée d'un bâtiment bunkerisé qui comporte huit piscines de désactivation, et situé dans le périmètre technique de Tihange 3 ;
- Après une période de refroidissement dans les piscines du bâtiment DE, les assemblages de combustibles usés peuvent ensuite être transférés vers le bâtiment SF<sup>2</sup> pour entreposage. Les opérations de chargement et de décontamination des emballages se font dans le bâtiment DE.
- Les effluents et autres déchets qui peuvent être générés lors du chargement des emballages par des assemblages usés sont traités dans les installations déjà existantes et ayant déjà les agréments adéquats. Les déchets ainsi générés ne sont donc pas considéré comme faisant partie de l'exploitation du SF<sup>2</sup>.

### 3.1. Les emballages

Les emballages sont conçus pour le transport et l'entreposage d'un nombre prédéfinis d'assemblages (entre 21 et 32 assemblages par emballage) de combustible usé (UOX). Des emballages similaires sont déjà autorisés en Belgique pour leur utilisation dans le bâtiment SCG implanté sur le site de Doel.

Différents types d'emballages sont susceptibles d'être entreposés dans le bâtiment SF<sup>2</sup>. Les dimensions maximales des emballages sont de l'ordre de ~2.5 m de diamètre, ~6 m de hauteur et pour un poids ~120 tonnes.

Un système de surveillance est installé sur chaque emballage afin de procéder au contrôle continu de l'étanchéité des joints des emballages. L'espace inter-joint est mis sous pression avec un gaz et si l'un des joints de l'emballage n'assure plus sa fonction alors le gaz fuit à travers le joint fuitard et le problème est identifié par changement de pression dans l'espace surveillé.

En cas de perte d'une des deux barrières d'étanchéité, l'emballage sera évacué pour réparation. La réparation est effectuée dans le bâtiment DE dont la conception permet ce type d'opération.

De par leur conception, les emballages assurent le confinement des matières radioactives aussi bien en conditions normales d'exploitation qu'en conditions incidentelles et accidentelles.

La conception des emballages garantit leur étanchéité vis-à-vis de l'environnement et assure la protection des assemblages de combustible usé..

### 3.2. Implantation et configuration conceptuelle du bâtiment

La configuration conceptuelle du bâtiment SF<sup>2</sup> est la suivante :

- Un bâtiment principal abritant un hall de manutention des emballages, un hall d'entreposage, deux halls de surveillance (SFB)
- Un bâtiment attenant au bâtiment principal, abritant le local d'accès, les vestiaires et sanitaires et les locaux auxiliaires (AUX) ;
- Un bâtiment extérieur pour l'entreposage des accessoires utilisés lors des opérations de manutention et d'entreposage des emballages (ASB) ;
- Une structure légère abritant le générateur électrique de secours utilisé en cas de perte de la source d'alimentation électrique normale.

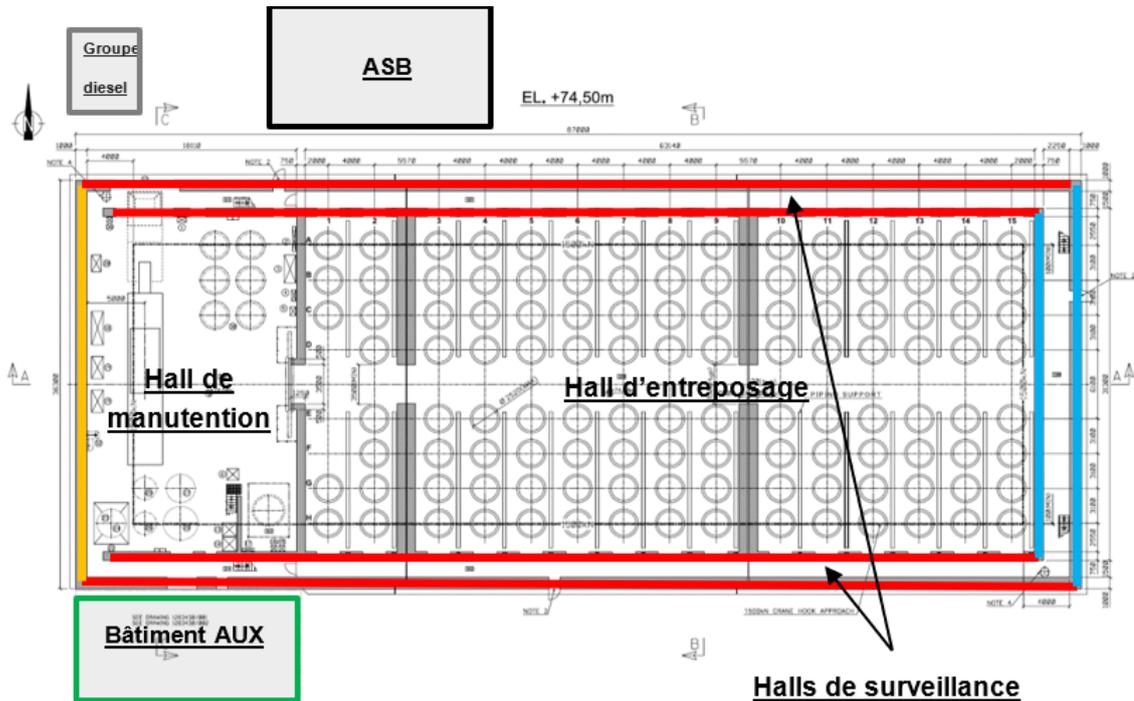


Figure 1: Configuration conceptuelle du bâtiment SF<sup>2</sup>

La Figure 1 donne une vue schématique de l'installation SF<sup>2</sup>, l'agencement et l'orientation des différentes zones peut varier d'un site à l'autre mais le fonctionnement reste le même. La zone contrôlée se limite au bâtiment principal. La zone est considérée contrôlée de par les débits de dose élevés (sans risque de contamination).

### 3.3. Le bâtiment principal

Le bâtiment est constitué de :

- Un mur extérieur d'épaisseur 1m ;
- Un mur intérieur d'épaisseur 0.75m ;
- Un radier uniforme de 1.5m d'épaisseur ;
- Une toiture qui comprend des poutres en béton et des dalles ayant une épaisseur de 0.2m.

Le mur intérieur supporte le pont roulant et sépare le hall d'entreposage des halls de surveillance et de manutention.

Les épaisseurs de parois (indiqué en rouge) et l'agencement du bâtiment sont donnés en Figure 2.

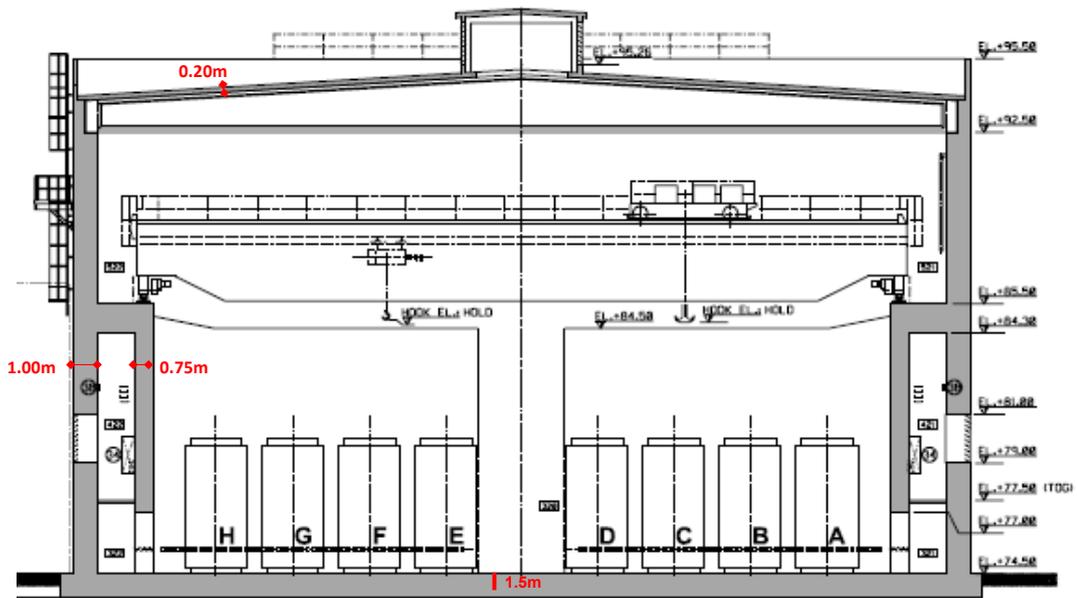


Figure 2 : Agencement du SF<sup>2</sup> (coupe vertical)

Une évaluation du volume total de béton à démanteler dans le bâtiment SF<sup>2</sup> a été réalisée. Le volume ainsi évalué est d'environ 13500 m<sup>3</sup> de béton armé.

Dans le cadre de l'évaluation de l'activation du béton (voir note [7]), les caractéristiques retenues pour ce béton sont les suivantes :

- Densité de 2.32 g.cm-3 ;
- Composition :

Élément	Ratio
O	0.498
Ca	0.257
Si	0.155
C	0.06
Al	0.014
Fe	0.01
H	0.004
S	0.002

- Concentration de 1 ppm pour <sup>151</sup>Eu et de 10 ppm pour le <sup>59</sup>Co.

En plus du béton, la note [7] s'intéresse aussi à l'activation du système de drainage de kérosène<sup>2</sup> du bâtiment, cas enveloppe choisi afin de quantifier l'activation potentielle de tout équipement métallique. La composition chimique de deux aciers (AISI 308 et AISI 314 L) standards a été retenue. La composition est donnée ci-dessous :

Elément	SST AISI 308 Ratio [%]	SST AISI 304 L Ratio [%]
C	0.08	0.08
N	0.1	0.1
Si	0.6	0.75
P	0.03	0.03
S	0.03	0.03
Cl	0.013	0.013
Cr	22	19
Mn	2.5	2
Fe	64.15	65.50
Co	0.12	0.12
Ni	11	11
Cu	0.8	0.8
Nb	0.03	0.03
Mo	0.55	0.55
Ag	1E-04	1E-04

### 3.3.1. Hall de manutention

La réception des camions / remorques transportant les emballages vides ou chargés se fera dans le hall de manutention.

A leur arrivée dans le hall de manutention, les emballages seront déchargés de la remorque, inspectés et préparés avant d'être transférés vers le hall d'entreposage où ils seront connectés au système de surveillance de leur étanchéité.

### 3.3.2. Hall d'entreposage

La capacité d'entreposage additionnelle doit permettre, tenant compte des capacités d'entreposage existantes, l'évacuation complète des assemblages de combustible usé contenus dans les piscines de désactivation des unités après leur arrêt définitif.

La capacité d'entreposage maximale prévue pour le SF<sup>2</sup> est de 117 emballages, soit un maximum de 3744 assemblages de combustible. La capacité minimale actuelle projetée est de 53 emballages.

<sup>2</sup> Système de tubes métalliques fixés dans le sol, ayant pour objectif de drainer le kérosène en cas de chute d'avion sur le bâtiment.

Le hall d'entreposage, délimité par un épais mur de béton assurant une protection contre les rayonnements ionisants vis-à-vis de l'environnement, présente deux zones distinctes d'entreposage des emballages séparées par une aire de manutention centrale.

Dans la paroi en béton séparant le hall de manutention du hall d'entreposage, une porte blindée obture l'ouverture pratiquée dans cette paroi afin de permettre le transfert des emballages du hall de manutention vers le hall d'entreposage au moyen d'un pont-roulant d'une capacité de 1 500 kN. Cette porte reconstitue à la fois la protection radiologique et la séparation physique assurée par la paroi.

La ventilation passive du hall d'entreposage, assurant le refroidissement des emballages, repose sur le concept schématisé ci-après.

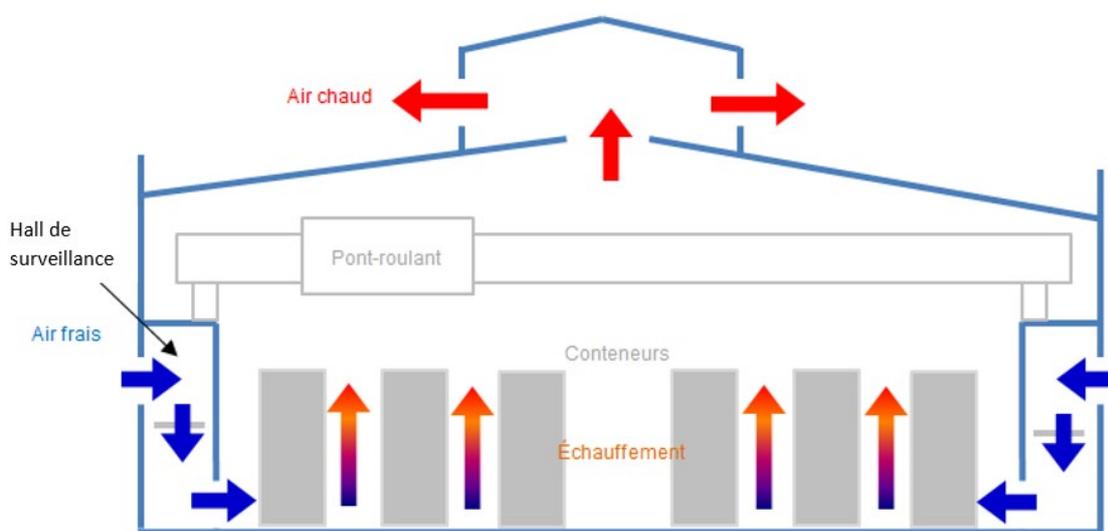


Figure 3: Ventilation passive du bâtiment SF<sup>2</sup>

### 3.3.3. Halls de surveillance

Les deux halls de surveillance, situés de part et d'autre du hall d'entreposage, remplissent la fonction de 'plenum' d'entrée de l'air frais dans le hall d'entreposage.

Chacun de ces deux halls abrite également le dispositif d'appoint en gaz hélium et l'instrumentation de contrôle faisant partie du système de surveillance à distance de l'étanchéité de chaque emballage. Le contrôle individuel de l'étanchéité des emballages est permanent pendant toute la durée de leur entreposage et repose sur la mesure de la variation de pression du gaz hélium injecté dans l'espace entre les deux joints d'étanchéité des emballages (voir aussi § 3.1).

### 3.3.4. Locaux auxiliaires

Les locaux auxiliaires (zone non contrôlée au sens de l'article 2 de l'Arrêté Royal du 20 juillet 2001) comprennent les installations nécessaires aux alimentations en énergie électrique et les divers espaces destinés au personnel d'exploitation :

- Local d'accès ;
- Local des batteries ;
- Local des transformateurs ;
- Local électrique et de contrôle ;
- Locaux des serveurs pour la sécurisation du site ;
- Vestiaires et sanitaires (douche et toilette), respectivement pour les hommes et les femmes.

Le bâtiment, accolé au bâtiment principal, permettra l'accès du personnel à la zone contrôlée (i.e. halls de manutention, d'entreposage et de monitoring). Les locaux auxiliaires sont climatisés pour assurer le bon fonctionnement des équipements et les conditions de travail adéquates pour le personnel en termes de températures et d'aération, bien que l'occupation des locaux soit peu fréquente.

## 4. DECHETS RADIOACTIFS

### 4.1. Introduction

L'hypothèse principale retenue pour cette note est de considérer que le bâtiment DE est opérationnel.

Seule l'exploitation normale est considérée, les situations accidentelles sont hors contexte dans le cadre du sous-dossier déchets et démantèlement requis par l'AR de 2001 [1].

Un déchet dont le rayonnement est supérieur à la radioactivité naturelle est considéré comme déchet radioactif<sup>3</sup>. Des déchets radioactifs sont produits au sein de l'îlot nucléaire.

Les déchets radioactifs sont regroupés en trois catégories, fonction du débit de dose au contact :

- Les déchets à caractère faiblement radioactif (débit de dose  $< 5$  mSv/h) ;
- Les déchets à caractère moyennement radioactif (débit de dose  $\geq 5$  mSv/h et  $\leq 2$  Sv/h) ;
- Les déchets à caractère hautement radioactif (débit de dose  $> 2$  Sv/h).

<sup>3</sup>

La définition réglementaire (arrêté royal du 20 juillet 2001) est : « déchets radioactifs : toutes substances radioactives provenant d'une pratique autorisée ou d'une activité professionnelle, traitée en tout ou en partie, comme une pratique non exemptée en vertu de l'article 9.3, et pour laquelle aucun usage ultérieur n'est prévu au sein de l'établissement, ainsi que les substances radioactives provenant d'une intervention mise en œuvre en application de l'article 72bis ».

D'un point de vue réglementaire, les assemblages de combustible usé présents dans le SF<sup>2</sup> ne sont pas considérés comme des déchets.

En effet, lorsqu'ils sont retirés définitivement du réacteur au bout d'environ 54 mois, les assemblages contiennent en effet encore de l'ordre de 95% de matière valorisable.

## 4.2. Rejets d'effluents radioactifs liquides suite aux opérations prévues dans le SF<sup>2</sup>

Les emballages de combustible usé sont décontaminés extérieurement dans l'installation existante (bâtiment DE) avant leur transfert vers le SF<sup>2</sup>.

Les opérations menées dans le bâtiment SF<sup>2</sup> sont la manutention des emballages (vides et chargés), le transfert des emballages vers le stand d'inspection et de préparation, puis vers le hall d'entreposage, l'entreposage à sec des emballages et la surveillance de leur étanchéité durant toute la durée de l'entreposage.

La préparation des emballages pour transport hors site sera également réalisée dans le bâtiment SF<sup>2</sup>. **Les opérations dans le bâtiment SF<sup>2</sup> ne génèrent pas d'effluents radioactifs liquides.**

## 4.3. Rejets radioactifs dans l'atmosphère suite aux opérations prévues dans le SF<sup>2</sup>

La conception des emballages garantit leur étanchéité vis-à-vis de l'environnement et assure la protection des assemblages de combustible usé contre les chocs. La seule fuite de radioéléments possible se situe au niveau du dispositif d'étanchéité du couvercle primaire de l'emballage. C'est pourquoi l'étanchéité de l'emballage est surveillée pendant toute la durée de l'entreposage grâce à un système reposant sur la mesure en continu de la pression d'hélium entre les deux joints d'étanchéité des emballages.

En cas de perte d'étanchéité, la variation de la pression en gaz en dehors des seuils prédéfinis actionne une alarme. L'emballage défectueux est alors retiré du hall d'entreposage pour inspection. Si la perte d'étanchéité est confirmée, l'emballage est transféré vers le bâtiment DE pour qu'il soit reconditionné.

Il n'y a donc aucune opération de chargement ou de déchargement des assemblages de combustibles usés qui se déroule dans le bâtiment SF<sup>2</sup>. Ces opérations sont menées dans le bâtiment DE dont les installations permettent la réception, la manutention, la préparation, le conditionnement et la décontamination de différents types d'emballages.

**En conclusion, le bâtiment SF<sup>2</sup> ne produiront pas d'effluent radioactif gazeux en fonctionnement normal.**

## 4.4. Déchets radioactifs solides suite aux opérations prévues dans le SF<sup>2</sup>

**En exploitation normale, aucun déchet radioactif n'est généré dans le bâtiment SF<sup>2</sup>.**

Dans le cas (relativement peu probable) où la perte d'étanchéité d'un emballage était confirmée, l'emballage serait transféré vers le bâtiment DE pour reconditionnement.

De manière la plus probable, une perte d'étanchéité se situera au niveau du plan d'étanchéité du couvercle primaire, qui pourra être restaurée. Dans le cas (très peu probable) où l'étanchéité ne pourrait pas être restaurée, l'emballage serait vidé, rincé, séché, refermé, décontaminé et à nouveau transféré (vide) vers le bâtiment SF<sup>2</sup> ou toute autre zone contrôlée sur le site, pour autant que les moyens de manutention soient présents.

Notons que des places de réserve seront disponibles en suffisance dans le bâtiment SF<sup>2</sup>. Le détail du démantèlement des emballages est présenté au §6.1.

## 5. DÉMANTÈLEMENT DU SF<sup>2</sup>

Le démantèlement d'installations nucléaires est encadré par l'Arrêté Royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants (RGPRI), en particulier son article 17 qui précise que :

- La cessation d'activités doit être notifiée sans délai aux autorités compétentes et à l'Organisme National des Déchets Radioactifs et des matières Fissiles enrichies (ONDRAF) ;
- Toutes les substances radioactives concernées doivent avoir une destination qui en garantit l'élimination, le recyclage ou la réutilisation dans des conditions satisfaisantes, sans préjudice des dispositions légales et réglementaires relatives aux déchets radioactifs ;
- Le démantèlement des installations telles que le SF<sup>2</sup> est soumis à une autorisation préalable, selon la procédure organisée par l'article 17 ;
- La demande d'autorisation est accompagnée d'une étude des incidences sur l'environnement.

Le démantèlement du SF<sup>2</sup> est également soumis à l'article 7.6 de l'Arrêté Royal du 30 novembre 2011.

Le bâtiment principal du SF<sup>2</sup> consiste en une zone de réception des emballages (hall de manutention), d'une zone d'entreposage de ces emballages (hall d'entreposage) et d'une zone de surveillance. Ces zones sont contrôlées vis-à-vis des radiations ionisantes. Les emballages ont fait au préalable l'objet de contrôles nécessaires en vue de s'assurer de l'absence de contamination externe : il n'y a pas de contamination présente dans le bâtiment.

Ainsi, il est attendu qu'en fin d'exploitation le SF<sup>2</sup> puisse être démantelé comme un bâtiment non nucléaire après vérification du respect des limites de libération, et ce, lorsque tous les emballages vides ou renfermant du combustible usé auront été enlevés du bâtiment.

Une fois l'absence de contamination confirmée, le démantèlement conventionnel consistera à :

- Retirer tous les consommables présents dans le bâtiment ;
- Démontez les systèmes présents (stand d'inspection, équipements de manutention, systèmes de contrôle d'étanchéité des emballages, pont roulant, porte blindée, etc.) ;
- Démontez les structures amovibles ;
- Déconstruire le bâtiment proprement dit ;
- Réaliser le tri sélectif des matériaux en vue de leur récupération / recyclage ou élimination selon les dispositions réglementaires en vigueur ;
- Evacuer les matériaux.

Les sols seront remis en état conformément aux dispositions légales en vigueur.

Selon la destination ultime du site, les possibilités sont : le nivellement du terrain, la verdurisation, etc.

## 5.1. Informations disponibles dans la littérature

Comme indiqué dans le document IAEA NF-T-3.5 (voir §3.2.4 de [2]), le flux de neutron en provenance des emballages est approximativement 10 ordres de grandeur plus bas que les niveaux de flux atteint lors de l'exploitation ( $10^3$  versus  $10^{13}$  n/(s.cm<sup>2</sup>)). De plus il s'agit de neutrons rapides ayant une énergie autour du MeV. Le béton à proximité des emballages sera ainsi peu activé, de l'ordre de 5 µR par heure<sup>4</sup> au-dessus du niveau d'exposition naturelle d'arrière-plan.

## 5.2. Estimation de l'activation du béton du SF<sup>2</sup> après entreposage

Une estimation de l'activation du béton et de l'acier du système de drainage [7], sur base d'une source neutronique conservative (voir [9]), a été réalisée.

Pour l'évaluation de l'activité du béton, les isotopes les plus sensibles concernant les niveaux de libération et qui sont susceptibles de réaliser des captures neutroniques sont l'Eu-151 et du Co-59. Pour l'acier du système de drainage, il s'agit du Co-59.

Un cas enveloppe a été étudié pour englober les contraintes opérationnelles de Doel et Tihange, ainsi les hypothèses conservatives suivantes ont été retenues :

- Evaluation de l'activation au SF<sup>2</sup> de KCD (source neutronique plus importante qu'à CNT) ;

---

<sup>4</sup> 5 µR/h correspond à  $4,67 \times 10^{-2}$  µSv/h.

- Le flux neutronique est pris en dessous de l'emballage (où il est supérieur d'au moins un ordre de grandeur aux flux dans d'autres directions) ;
- 100 ans d'entreposage et d'irradiation.

Les résultats montrent qu'en tenant compte de la décroissance de la source neutronique (Cm-244, 18,1 ans demi-vie), les niveaux d'activation de l'Eu-152 et du Co-60 sont au moins 15 fois inférieurs aux niveaux de libération (niveaux de libération repris dans [1]).

En complément de l'évaluation de l'activation du béton, une évaluation enveloppe des équipements métalliques (basée sur le système de drainage de kérosène) a été réalisée et montre que les niveaux de libération ne sont pas dépassés.

Ainsi cette étude permet de conclure qu'après un entreposage de 100 ans, l'activation des structures du SF<sup>2</sup> est négligeable.

Ces calculs confirment la littérature (voir §5.1).

## 6. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

### 6.1. Démantèlement des emballages

#### 6.1.1. Contexte

Lorsque les emballages auront été vidés du combustible usé qu'ils contiennent (soit pour le retraitement soit pour le conditionnement du combustible usé), ils devront être gérés afin de finaliser le cycle de vie du combustible usé.

Plusieurs options sont identifiées aujourd'hui:

- La réutilisation de ces emballages pour d'autres activités ;
- Le démantèlement de ces emballages (en interne ou par des tiers).

Cependant au regard de l'échelle de temps à laquelle ces opérations seront à réaliser, celles-ci devront être régulièrement réévaluées avant leur mise en œuvre.

Dans l'optique de minimiser, voire d'éliminer la quantité de déchet radioactif potentiellement générée par le démantèlement de ces emballages, préférence sera donnée au stockage pour décroissance.

#### 6.1.2. Procédé

Le procédé développé ci-dessous est basé sur les TN24 présents sur le site de Doel [12]. Le démantèlement des conteneurs nécessite des équipements spécifiques à prévoir dans une installation dédiée (ou une modification d'une installation existante) à implanter en temps utile.

La première étape du procédé est une période d'attente de 10 ans pour permettre la décroissance des radionucléides de courte demi-vie.

Après cette période, la cavité du conteneur et son panier sont décontaminés.

Ensuite, le panier est démantelé (séparation des différents matériaux qui le composent) et une décontamination ultime est réalisée.

En parallèle, le corps de l'emballage est démantelé. Les plaques d'acier constituant la virole externe sont enlevées, puis la résine et enfin les ailettes en cuivre.

L'ensemble des composants séparés et le corps peuvent être libérés, suite à la période d'attente de 10 ans. Ce point est discuté en §6.1.4.

Les déchets nucléaires résultant de cette activité devraient être limités aux déchets de procédés.

### 6.1.3. Informations disponibles dans la littérature

Les opérations de démantèlements renseignées dans le document IAEA [6] concernent essentiellement la décontamination des emballages avec différentes solutions de décontamination (mécanique, chimique...). Il est ainsi indiqué dans ce document que l'emballage peut être éventuellement réutilisé. La possibilité de réutiliser ou de valoriser les matériaux des emballages sera évaluée par la suite.

Un article rédigé par Korea Radioactive Waste Agency (KORAD) [3] sur l'activation des emballage à la fin de leur durée de vie de conception (estimé à 50 ans dans cet article) tend à montrer que l'activation des emballages après 50 ans d'entreposage n'est pas significative et ne pose aucun problème pour le processus de démantèlement.

Cet article [3] indique également que pour le matériau utilisé pour le blindage neutronique, l'essentiel des produits d'activation sont des éléments légers tels que  $^3\text{H}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{28}\text{Al}$ , et  $^{24}\text{Na}$ . Immédiatement après la fin de vie de l'emballage, l'activité dans le blindage neutronique provient essentiellement de  $^{28}\text{Al}$  and  $^{24}\text{Na}$ , mais vu leur demi-vie respective ( $^{28}\text{Al}$ : 2.24 minutes et  $^{24}\text{Na}$ : 14.96 heures), après 6 mois leur activité devient insignifiante.

### 6.1.4. Evaluation de l'activation

La note [8] étudie les exutoires des matériaux et déchets issus du démantèlement d'emballages de type TN24 DH (TN International) et CASTOR Géo 21B (GNS), préalablement chargés avec des assemblage de combustible utilisé durant des périodes de 50 et 100 ans. Ces intervalles de temps ont été retenus pour évaluer la sensibilité de la durée de l'entreposage sur l'activation des emballages.

Les emballages retenus dans cette étude sont considérés comme représentatifs des emballages qui seront utilisés dans les SF<sup>2</sup>.

La détermination des niveaux de radioactivité se fait sur la base de l'activation exclusivement.

Le scénario retenu dans cette note pour le démantèlement des emballages est le suivant :

- les emballages métalliques massifs sont chargés avec des assemblages de combustible nucléaire utilisé durant des périodes de 50 ans et 100 ans ;

- après déchargement, les emballages métalliques massifs sont entreposés durant 10 ans afin de permettre la décroissance des radionucléides de courte demi-vie ;
- les emballages métalliques massifs sont démantelés ;
- les matériaux et déchets issus du démantèlement sont envoyés vers les exutoires appropriés, après une période de décroissance supplémentaire éventuelle.

Globalement, les niveaux d'activation calculés pour les deux types de conteneurs sont inférieurs aux niveaux de libération pour les radionucléides considérés ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$  et  $^{63}\text{Ni}$ ), après 100 ans d'irradiation et 10 ans de décroissance.

Il est important de noter que compte tenu de la longue période d'entreposage considérée comparée à la demi-vie du principal émetteur de neutrons (le  $^{244}\text{Cm}$ , de demi-vie 18,1 ans), la décroissance du terme source a été prise en compte.

Il est supposé dans cette note [8] que les étapes de décontamination effectuées lors du démantèlement des emballages permettent de négliger la contamination résiduelle de l'emballage dans la définition des exutoires.

## 6.2. Combustible utilisé

### 6.2.1. Contexte

La politique nationale de gestion du combustible utilisé pour les centrales nucléaires, telle que reprise dans le Programme National belge, est l'entreposage sûr avant leur retraitement ou leur conditionnement final (stockage).

### 6.2.2. Scénarii

Actuellement deux scénarii sont envisagés pour la gestion à long terme du combustible utilisé :

- Le retraitement ;
- Le stockage immédiat.

Ces deux scénarii peuvent aussi être combinés.

Dans le premier cas, après une période d'entreposage, le combustible utilisé est transporté vers une installation de retraitement. Après retraitement, les déchets générés seraient ainsi renvoyés vers l'ONDRAF pour entreposage avant stockage. La matière valorisable issue de ces opérations ne serait pas considérée comme un déchet.

Dans le second cas, dans le cadre d'un stockage immédiat, une installation devrait être érigée (voir [10]) afin de conditionner les assemblages de combustible utilisé.

Quand cette installation de conditionnement sera opérationnelle, le combustible utilisé entreposé sur les sites d'Electrabel sera transporté vers cette installation pour être conditionné individuellement dans des canisters.

Les canisters ainsi produits seront ensuite confiés à l'ONDRAF où ils seront entreposés dans un bâtiment adéquat (avant leur stockage).

### 6.3. Conditions d'entreposage du combustible utilisé

Les conditions d'entreposage des assemblages de combustible utilisé, pour ce qui est de la température des gaines est renseignée ici à titre informatif.

La conception du bâtiment pour les problématique de températures est détaillée dans la note référencée [13].

Pour des combustibles refroidis pendant plus de 10 ans en piscine, le critère qui a été retenu sur la température des gaines d'assemblages est une température inférieure à 320°C. Pour des combustibles refroidis pendant moins de 10 ans, cette température est de 360 °C. Ces températures présentent une marge de sûreté importante quant à la température renseignée dans l'ISG-11 [14] qui donne une valeur de 400°C de température maximale admissible pour les gaines.

Pour la demande d'autorisation de Tihange, une température de gaine maximale a été évaluée par Tractebel avec des hypothèses suivantes :

- Puissance thermique de l'emballage chargé 22 kW ;
- Température à l'extérieur du bâtiment de 34,6°C ;

## 7. RÉFÉRENCES

- [1] Arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants (RGPRI)
- [2] IAEA Nuclear Energy Series, Costing of Spent Nuclear Fuel Storage - No. NF-T-3.5, 2009
- [3] Activation Analysis of Dual-purpose Metal Cask After the End of Design Lifetime for Decommission, Tae-Man Kim et al, 2016
- [4] Centrale nucléaire de Tihange – Déclaration environnementale, ENGIE Electrabel, années 2012 à 2016
- [5] IAEA, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements SSR-6, 2012
- [6] IAEA, Spent fuel storage and transport cask decontamination and modification TECDOC-1081, 1999
- [7] TRACTEBEL, SF2 KCD - Estimation of the concrete activation in the walls of the SF2, CNT-KCD/4NT/0027160/000/00, June 2018
- [8] TRACTEBEL, Exutoires pour matériaux et déchets issus du démantèlement des emballages pour assemblages usés de Doel et Tihange, CNT-KCD/4NT/0027033/000/00, 2018
- [9] TRACTEBEL, SF2 KCD - Radiological study of the SF2 in Doel in normal operation - Evaluation of the direct irradiation contribution, CNT-KCD/4NT/0026044/000/00, 2018
- [10] TRACTEBEL, Conditioning facility for Spent Nuclear Fuel assemblies: general description of the conditioning facility, CNT-KCD/4NT/0021435/000/01, 2015
- [11] TRACTEBEL, Conditioning facility for spent fuel assemblies: general description of the interim storage facility, CNT-KCD/4NT/0021545/000/01, 2015
- [12] TRACTEBEL, Evaluation du coût de déconstruction des emballages pour assemblages usés de Doel, CNT-KCD/4NT/15119/000/01, 2009
- [13] TRACTEBEL, SF<sup>2</sup> - Basic design - Building thermal design, CNT-KCD/4NT/0025159/000/03, 2017
- [14] Spent Fuel Project Office Interim Staff Guidance - 11, Revision 3.