

## **1 Deel 2 van de lijst met vragen en antwoorden van Hoofdstuk 2**

HS02-021 Inspectieruimtes

HS02-022 Aantal modules

HS02-023 Toekennen van een “M”-rol

HS02-024 Ophoging aan de zijdes

HS02-025 Functie “Overgang naar langetermijnveiligheid”

HS02-026 De rol van de zwevende platen en opgevulde inspectiegalerij

HS02-027 Fase IV1

HS02-028 Toepassing van het principe van ‘Defence in depth’ na fase III

HS02-029 ‘Common mode failures’ en ‘common cause failures’

HS02-030 Rechtvaardiging van het veiligheidsconcept ten overstaan van het verwachte gedrag van het bergingssysteem

HS02-031 Lijst van contextuele onzekerheden te beschouwen in de risicoanalyse

HS02-032 Systematische risicoanalyse

HS02-033: Synthese van argumenten – Conclusies (§2.10)

## 1. HS02-021 Inspectieruimtes

In §2.4.4 wordt het volgende vermeld: *“De robuustheid, betrouwbaarheid en controleerbaarheid van het drainagesysteem worden verbeterd door onderaan de modules inspectieruimtes te voorzien.”* Het wordt echter niet verklaard hoe de robuustheid van het drainagesysteem verhoogd wordt door de aanwezigheid van de inspectieruimtes. Er wordt eveneens gesteld dat *“de inspectieruimtes dragen eveneens bij tot een insluiting in de installatie”*. Deze informatie is echter niet consistent met de tabel 2.3 waar de inspectieruimtes niet bijdragen aan het insluiten van de radionucliden.

De inspectieruimtes stellen een aantal potentiële problemen in termen van aantoonbaarheid, in het bijzonder:

- de doenbaarheid van het opvullen van de inspectieruimte bij de sluiting (zie §2.3 van [2]);
- het introduceren van onzekerheden aangaande de trajecten van de uitlopende radionucliden.

Er wordt aangegeven dat deze laatste *“worden meegenomen in hypothesen van het referentiescenario in Hoofdstuk 14”*. Het is echter onduidelijk hoe deze onzekerheden in de praktijk werden behandeld.

De rechtvaardiging gegeven in §2.8.7.1.5 van de aanwezigheid van de inspectieruimtes is niet aanvaardbaar: *“Mede omdat wegens de grote dilutie in de omgeving van de site van Dessel de concentraties van radionucliden in de Kleine/Witte Nete niet boven de detectielimieten uitkomen, werd beslist om de voorgaande controle en correctie niveaus van de gelaagde bescherming te versterken door middel van de inspectieruimtes (zie ook paragraaf 2.7.1.3).”* Dit omdat de monitoring niet enkel gebeurt bij de Kleine/Witte Nete, maar ook in de onmiddellijke omgeving van de tumuli.

Het is tenslotte eveneens noodzakelijk dat de voordelen en nadelen van de inspectieruimtes tegen elkaar worden afgewogen.

FANC en Bel V vragen aan NIRAS om:

- te verklaren hoe de robuustheid van het drainagesysteem verbeterd kan worden door de aanwezigheid van de inspectieruimtes;
- de manier te verklaren waarop *“een niet perfecte opvulling van de inspectieruimte en onzekerheden qua traject van radionuclidenmigratie worden meegenomen in hypothesen van het referentiescenario in Hoofdstuk 14”*;
- de inconsistenties te verwijderen betreffende de rol van de inspectieruimten;
- de argumentatie, die gebruikt wordt om de aanwezigheid van de inspectieruimte te rechtvaardigen, te schrappen met betrekking tot de Kleine en Witte Nete.

## 2. Antwoord NIRAS

### Robuustheid en betrouwbaarheid van het drainagesysteem

“Robuustheid” en “Betrouwbaarheid” zullen in de zin in §2.4.4 geschrapt worden: *“De ~~robustheid, betrouwbaarheid en controleerbaarheid van het drainagesysteem wordt verbeterd door onderaan de modules inspectieruimtes te voorzien.~~”*

### Opvulling van de inspectieruimte en traject van radionuclidenmigratie

De doenbaarheid van het opvullen van de inspectieruimte wordt besproken in Fiche 9.

De hypothese van het referentiescenario van een niet perfecte opvulling van de inspectieruimte en de onzekerheden qua traject van radionuclidenmigratie zullen in hoofdstuk 14 beschreven worden en niet in hoofdstuk 2 (aanvulling van §14.5.2.1).

Er zal beschreven worden in hoofdstuk 14 dat het model voor het referentiescenario gebaseerd is op de trajecten van de radionucliden, zoals besproken in het veiligheidsconcept (zie §1.2 van de bijlage aan het antwoord HS02-023) en in de verwachte evolutie (zie §6.3 van het antwoord op de vraag HS14-001). In het referentiescenario wordt in de modulebasis een verticale doorgaande scheur ondersteld in het verlengde van het fijne grind tussen de monolietstapels. Hierdoor wordt de kortst mogelijke pathway tussen monolieten en zand-cement genomen, waardoor aanwezige sorptiecapaciteit in het opvulmateriaal van de inspectieruimte minder benut wordt dan bij langere pathways. Er zal in hoofdstuk 14 ook beschreven worden dat de hoogte van de inspectieruimte in de modellen 1 cm minder hoog genomen wordt dan de ontwerpwaarde, om rekening te houden met de mogelijk niet-perfecte opvulling. Door 1 cm minder te onderstellen wordt de hoeveelheid opvulmateriaal met sorptie niet overschat. Omdat het opvulmateriaal van de inspectieruimte bestaat uit een conductief (sorberend) materiaal dat niet volledig gesatureerd is, zal water bovenaan dit materiaal eerder binnensijpelen in het materiaal dan erbovenop af te stromen en een bypass van de sorptiecapaciteit te vormen.

### Inconsistenties betreffende de rol van de inspectieruimten

De zin in §2.4.4 zal aangepast worden : *“De vloer van de inspectieruimtes draagt bovendien bij tot een betrouwbare bijkomende insluiting in de installatie, indien er zich ondanks alle genomen andere maatregelen toch problemen zouden voordoen in de periode voor de sluiting van de berging.”* In het veiligheidsconcept (zie §1.4.6 uit de bijlage aan antwoord op de vraag HS02-023), heeft de vloer van de inspectieruimtes (funderingsplaat) een M-rol voor de veiligheidsfunctie “Insluiting” gedurende de fasen Ia en Ib (d.w.z. periode voor de sluiting van de berging).

### Kleine en Witte Nete

De volgende zin zal in §2.8.7.1.5 geschrapt worden : *“Mede omdat wegens de grote dilutie in de omgeving van de site van Dessel de concentraties van radionucliden in de Kleine/Witte Nete niet boven de detectielimieten uitkomen, werd beslist om de voorgaande controle en correctie niveaus van de gelaagde bescherming te versterken door middel van de inspectieruimtes (zie ook paragraaf 2.7.1.3).”*

**3. Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

HS02 en HS14 zullen aangepast worden zoals aangegeven in het antwoord in §2.

## 1. HS02-022 Aantal modules

Volgens §2.3.4.2 is één van de voorwaarden van het partnerschap het ontwikkelen van een ontwerp voor 34 modules (op basis van de provisionele inventaris 2003). Deze informatie is echter niet consistent met deze gegeven in het ondersteunend document OD-184, dewelke aangeeft dat de voorwaarde die vooropgesteld werd door het partnerschap het bergen van een ‘maximaal volume laag- en middelactief kortlevend afval van 70 500 m<sup>3</sup> is. Het aantal modules werd dus niet door de partnerschappen vooropgesteld, maar werd ingegeven door de voorlopige inventaris van 2003. Het is dus noodzakelijk om het aantal modules te rechtvaardigen op basis van de voorlopige inventaris en om de vraag van het partnerschap te herleiden tot het bergen van een ‘maximaal volume afval’.

FANC en Bel V vragen NIRAS om:

- De consistentie in het dossier met betrekking tot de vereisten van het partnerschap te verzekeren.
- Het aantal vooropgestelde modules te rechtvaardigen in functie van de recente provisionele inventaris.

## 2. Antwoord NIRAS

### 2.1. Consistentie van het dossier

De tekst uit HS2 §2.3.4.2 stelt: “Er moet een bergingsconcept ontwikkeld worden voor 34 modules, dit wil zeggen voor al het categorie A afval (70 500 m<sup>3</sup>) zoals geraamd in de afvalschattingen uit 2003 ([2] sectie 2.2.1 pag. 23)”.

Er wordt in de tekst van HS2 §2.3.4.2 verwezen naar het oorspronkelijk document van het partnerschap STOLA-Dessel [2] uit 2004, waarop de referentie OD-184 uit 2011 gebaseerd is. In deze oorspronkelijke tekst van het partnerschap STOLA Dessel staat het volgende op pag. 23:

Omdat afvalstromen steeds onderhevig blijven aan schommelingen, werkt NIRAS midden 2003 een nieuwe inventaris af met de hoeveelheden afval voor iedere categorie. Het opslagvolume radioactief afval van categorie A bedraagt volgens deze nieuwe inventaris 70.428 m<sup>3</sup>. (Aangezien dit getal grotendeels berust op voorspellingen over meerdere tientallen jaren, wordt het in verdere dimensioneringsberekeningen afgerond op 70.500 m<sup>3</sup>.) Het aantal caissons dat ermee overeenstemt wordt echter geraamd op 30.447 eenheden. Vermits elke module 936 monolieten kan bevatten, zijn er nog maar 34 bergingsmodules nodig.

OD-184 spreekt van 70 500 m<sup>3</sup> maar dit is dus hetzelfde als 34 modules.

Inderdaad, we verwijzen naar de referentie [R2-154] uit hoofdstuk 2 die concludeert dat er 34 modules nodig zijn om 70 500 m<sup>3</sup> afval te bergen (met de toenmalige gegevens en afronding van 70 428,2 m<sup>3</sup>). Er is met de referentie [3] van maart 2004 door STOLA-Dessel rekening gehouden in haar rapport van november 2004 [2]). In bijlage van het antwoord bevindt zich een pdf van de referentie [3].

NIRAS zal de tekst uit HS2 §2.3.4.2 als volgt wijzigen om het dossier consistent te maken met betrekking tot de vereisten van het partnerschap: “Er moet een bergingsconcept ontwikkeld worden voor maximaal 70 500 m<sup>3</sup> afval, dit wil zeggen voor al het categorie A afval zoals geraamd in de afvalschattingen uit 2003 ([2] sectie 2.2.1 pag. 23). Het afvalvolume van 70 500 m<sup>3</sup> correspondeert met 34 modules [3].”

Wat betreft de globale coherentie tussen hoofdstuk 2 en de vereisten van het partnerschap, zal de oorspronkelijke tabel met overzicht alle voorwaarden zoals gegeven in de publicatie NIROND-TR 2007-01 [1] in Hoofdstuk 2 opgenomen worden. De tabel uit [1] werd in 2011 achteraf nog verder samengevat en in het Engels vertaald voor Annex 1 van OD-184. NIRAS zal de oorspronkelijke tabel uit [1] hernemen.

## 2.2. Aantal modules en inventaris van categorie A afval

Uit de inventaris IRA3 2013 V2 halen we volgende hoeveelheden voor de verschillende types van colli:

Type collo	Aantal colli in IRA3 2013 V2
220 L	979
400 L	71 133
400 L FV04	3 142
600 L	21
1000 L	91
1500 L	498
1600 L	171
Type I monoliet - EBL	545
Type III monoliet	5 323

Rekening houdend met een reserve van ongeveer 20% om rekening te houden met onzekerheden qua schattingen van toekomstig afval, kunnen we volgende schatting maken van het benodigd aantal modules voor de inventaris IRA 2013 V2:

Type collo	# colli	# colli/ monoliet	# monolieten	Type monoliet	# monolieten/ module	# modules
220 L	979	5	196	Type I	936	0,2
400 L	71 133	4	17 784	Type I	936	19
400 L FV04	3 142	4	786	Type II	780	1
600 L	21	1	21	Type II	780	0,03
1000 L	91	1	91	Type II	780	0,1
1500 L	498	1	498	Type II	780	0,6
1600 L	171	1	171	Type II	780	0,2
Type I monoliet - EBL ontmanteling	545	1	545	Type I	936	0,6
Type III monoliet	5 323	1	5 323	Type III	780	6,8
Reserve type I monoliet	3 705		3 705	Type I	936	4
Reserve type III monoliet	1 070		1 070	Type III	780	1,4
					<b>Totaal # modules</b>	<b>34</b>

We besluiten dat het vooropgestelde aantal modules van 34 in overeenstemming is met de inventaris IRA 2013 V2.

### 3. Aanpassingen veiligheidsrapport

Toevoegen in HS02 van tabel uit [1] met voorwaarden van de partnerschappen.

Toevoegen in HS06 van justificatie van aantal modules op basis van IRA3 2013 V2.

#### **4. Referenties**

- [1] ONDRAF/NIRAS, Een geïntegreerd project van oppervlakteberging in Dessel voor het Belgisch laag- en middelactief kortlevend afval: Werkprogramma 2007-2011, NIROND-TR 2007-01 N, september 2007
- [2] STOLA-Dessel, Het Belgisch laagactief en kortlevend afval: Thuis in Dessel? Een geïntegreerd bergingsproject met een technisch en maatschappelijk luit – Verslag werkgroep ‘Inplanting en Inrichting’, november 2004
- [3] NIRAS, Evaluatie van het aantal monolieten voor de berging van radioactief afval van categorie A in een oppervlakte en diepe berging (nieuwe inventaris 2003), NIRAS nota 2004-0807, maart 2004

#### **5. Bijlage: referentie [R2-154]**



**auteur(s)** Ann Dierckx/H. Van Humbeeck**vertaler****code** 245.000**aantal pagina's** 4**aantal afzonderlijke bijlagen****herziening** 0 (2004-0807)**onderwerp**

Evaluatie van het aantal monolieten voor de berging van radioactief afval van categorie A in een oppervlakte en diepe berging (nieuwe inventaris 2003)

**korte inhoud**

herziening	datum	wijzigingen	dactylo	vert./pf	aut./pf	verif./pf	goedk./pf
0 (2004-0807)	31.03.2004		KDH		ADI	CHC	JPB
( - )					HVH	<i>log</i>	<i>205</i>
( - )					<i>AA</i>		
( - )							
( - )							

**interne verspreiding**

JPB-CHC-ADI-HVH-JB-EH-LW-PDP-WIC-AG-CDB

**externe verspreiding**

Stola: Dhr. Antonio Waffelaert

<b>NIRAS</b>	<b>onderwerp</b>	<b>referentie</b>	2004-0807
	Evaluatie van het aantal monolieten voor de berging van radioactief afval van categorie A in een oppervlakte en diepe berging (nieuwe inventaris 2003)	<b>herziening</b>	0
		<b>pagina</b>	2/4

---

Ter herinnering, het volume radioactief afval op de referentiedatum van 01/01/1998 was geschat op 60.000 m<sup>3</sup> en het overeenstemmend aantal monolieten op 37.500 eenheden.

- Er werd van de veronderstelling uitgegaan dat het volume van 60.000 m<sup>3</sup> volledig bestond uit primaire colli van 400 liter, dus met een nominaal volume van 0,4 m<sup>3</sup> per collo. Het aantal primaire colli van 400 liter, overeenstemmend met het volume van 60.000 m<sup>3</sup>, was dan 150.000 eenheden.
- Aangezien elke monoliet vier primaire colli van 400 liter kan bevatten, bedroeg het aantal benodigde monolieten dus 37.500.

#### **Evaluatie van het aantal monolieten voor de berging van radioactief afval van categorie A op een oppervlaktesite**

NIRAS heeft midden 2003 een nieuwe inventaris afgewerkt met de hoeveelheden afval voor iedere categorie. Het volume radioactief afval van categorie A, volgens de nieuwe inventaris, bedraagt 70.428,2 m<sup>3</sup>.<sup>1</sup> Aangezien dit getal voor een groot stuk berust op voorspellingen over meerdere tientallen jaren, werd dit getal afgerond tot 70 500 m<sup>3</sup> in verdere dimensioneringsberekeningen. Het aantal monolieten dat nodig is voor de postconditionering met het oog op de berging van dit afval op een oppervlaktesite bedraagt 30.447 eenheden. Daaraan moeten nog de zogenaamde « exotische » colli worden toegevoegd die, omwille van hun afmetingen, niet gepostconditioneerd kunnen worden in deze monolieten.

De huidige ramingen zijn gebaseerd op veel nauwkeuriger gegevens verstrekt door de producenten van radioactief afval en op de volgende hypothesen:

- Er werd een raming gemaakt van het aantal colli van 200 liter en 400 liter dat geborgen zal moeten worden. Aangezien elke monoliet ofwel vijf colli van 200 liter, ofwel vier colli van 400 liter kan bevatten, werd het overeenstemmende aantal monolieten geraamd.
- Het ruwe (niet-geconditioneerde) laagactieve afval, voornamelijk beton afkomstig van de ontmanteling van de kerncentrales en van bepaalde gebouwen op de site van Belgoproces, zal niet geconditioneerd worden in colli van 200 en 400 liter, maar rechtstreeks geconditioneerd worden in de monolieten. Deze rechtstreekse conditionering beperkt het aantal monolieten dat nodig zal zijn voor de berging.
- De exotische primaire colli van 500 liter (39 colli), 600 liter (62 colli), 1.000 liter (151 colli), 1.500 liter (448 colli), 1.600 liter (207 colli), 2.200 liter (52 colli) en de OV900 (1 collo) zijn niet postconditioneerbaar in monolieten. Deze zouden rechtstreeks in de modules kunnen worden geplaatst.
- Een beetje meer dan de helft van het volume-afval is geconditioneerd in vaten, een beetje minder dan de helft in betonnen caissons.

Het aantal monolieten is aldus gedaald van 37.500 naar 30.447 eenheden (exotische colli niet inbegrepen).

---

<sup>1</sup> Het volume is hier te begrijpen als volume geconditioneerd afval voor opslag, met hieraan toegevoegd het volume van de containers voor het geval waarin het afval rechtstreeks in monolieten wordt geconditioneerd. Tenslotte moet hierbij opgeteld worden de «exotische» primaire colli.

Elke module kan 936 monolieten bevatten. Op basis van het huidig geraamde aantal van 30.447 monolieten, bedraagt het aantal benodigde modules dus 33 eenheden, waaraan nog een module voor de exotische colli moet worden toegevoegd, dit is 34 modules in totaal.

Op basis van het eerder geraamde aantal van 37.500 monolieten, bedroeg het aantal benodigde modules dan 40 eenheden.

De STOLA ontwerp- en dimensioneringsstudies voor oppervlakteberging werden afgewerkt voor de publicatie van de nieuwe inventaris en deze studies beschouwen dus 40 modules.

#### Evaluatie van het aantal monolieten voor de berging van radioactief afval van categorie A in diepe berging

Ook voor diepe berging werden de dimensioneringsberekeningen aanvankelijk uitgevoerd voor het volume van 60 000 m<sup>3</sup>, met de hypothese dat al het afval in 400 l vaten geconditioneerd werd. Recent werden ook voor diepe berging nieuwe dimensioneringsberekeningen uitgevoerd, gebaseerd op het volume van 70 428,2 m<sup>3</sup> (afgerond tot 70 500 m<sup>3</sup>) en met andere werkhypothesen, zoals hierboven vermeld.

#### Overzichtstabel

In volgende tabel worden de dimensies en aantallen samengevat voor de hypothese van 1998 (volume afval is 60 000 m<sup>3</sup> en al het afval geconditioneerd in 400 l vaten) en voor de huidige werkhypothese, gebaseerd op de inventarisatie gefinaliseerd in 2003.

Parameter	60 000 m <sup>3</sup> - al het afval geconditioneerd in 400 l vaten	70 500 m <sup>3</sup> - conditionering in vaten en rechtstreekse conditionering in monolieten
<i>Oppervlakteberging</i>		
Aantal vaten	150 000	98 873 vaten (mix 200l + 400 l) + bulkafval rechtstreeks geconditioneerd in monolieten + 960 exotische colli
Aantal monolieten	37 500	30 447 + 960 exotische colli
Aantal modules	40 (2 tumuli met 2 × 10 modules)	34, waarvan maximaal 1 module voor exotische colli
L × B × H module (dim. Exterieur)	27 × 25 × 12,8 m	Ongewijzigd: 27 × 25 × 12,8 m
L × B × H rij module	20 modules (2 rijen van 10): 307 × 60 × 12,8 m	L zal aangepast worden, B en H blijven ongewijzigd.
L × B × H tumulus	412,4 × 154,4 × 19,79 m	L zal aangepast worden, B en H blijven ongewijzigd.
L Controlegalerij	± 307 m	L zal aangepast worden, B en H blijven ongewijzigd.
L × B × H overspanning	313,4 × 54 × 24,66 m	L zal aangepast worden, B en H blijven ongewijzigd.
Gewicht overspanning	± 1 670 Ton	

Parameter	60 000 m <sup>3</sup> - al het afval geconditioneerd in 400 l vaten	70 500 m <sup>3</sup> - conditionering in vaten en rechtstreekse conditionering in monolieten
<i>Diepe berging</i>		
Aantal vaten	150 000 (= werkhypothese)	98 873 vaten (mix 2001 + 400 l) + bulkafval rechtstreeks geconditioneerd in monolieten + 960 exotische colli
Aantal monolieten	50 000	40 830 + 960 exotische colli
Lengte bergingsgalerij	1 871 m	1 555 m
Totale lengte bergingsgalerij	± 11,2 km	± 9,3 km

#### Tot slot

Aangezien de volumeschattingen gebaseerd zijn op voorspellingen van fluxen afval die gegenereerd zullen worden over meerdere tientallen jaren, aangezien men voor dergelijk lange periodes veranderingen in het wettelijk kader (o.a. vrijgave niveaus) niet kan uitsluiten, en aangezien de technieken voor ontmanteling over deze periode ook kunnen evolueren, lijkt ons het aanhouden van de 40 modules een terecht voorzichtige benadering.

## 1. HS02-023 Toekennen van een "M"-rol

Het toekennen van een "Main" of M-rol aan een component betekent dat "de SSC in staat moet zijn om onder normale omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval een bepaalde veiligheidsfunctie te vervullen. Er moet worden aangetoond en geverifieerd dat de SSC, onder normale omstandigheden, de vereiste langetermijnveiligheidsfunctie effectief vervult." (§2.8.5).

In verschillende gevallen echter wordt een M-rol toegekend aan een component zonder dat dit duidelijk werd aangetoond. Bijvoorbeeld:

- R1, die in de verschillende fases toegekend wordt aan de "afvalvorm" (Tabel 2-2), wordt niet gerechtvaardigd en het is niet aangetoond dat deze functie effectief zal vervuld worden door de monolieten van type I en II;
- Het toekennen van een R2 functie aan de betonnen componenten (1.5, 3.1, 4.2, 5.1, 5.2, 6.1, 6.6) tijdens de fase IV is momenteel niet aangetoond en lijkt ook niet ondersteund te worden door de fenomenologie uit hoofdstuk 5, alsook door de veiligheidsevaluatie. Volgens hoofdstuk 14 [14] (figuur 14-36), geven de curven van de hydraulische geleidbaarheid aan dat deze componenten de advectieve stroming niet meer verhinderen vanaf ongeveer 400 jaar, wat aangeeft dat de componenten de R2 veiligheidsfunctie niet kunnen vervullen tijdens de fase IV;
- Er wordt in OD-63 (§10.5) [13] uitgelegd dat "The preferential flow and transport through cracks might have multiple effects on lixiviation safety functions, such as R2a and R3 ... If a scenario is considered where contaminated fluid is coming into the cracks of a porous matrix (e.g. floor slabs), then cracks would act as sorption bypass pathways.". Het dient dus te worden aangetoond dat de betoncomponenten waaraan een R3 veiligheidsfunctie werd toegekend effectief deze rol kunnen vervullen, rekening houdend met scheuren, voegen, holtes en de verwachte degradatie in de installatie.

FANC en Bel V vragen NIRAS om:

- enkel een M-rol in het veiligheidsconcept toe te kennen wanneer in het veiligheidsdossier aangetoond is dat de functie effectief vervuld zal worden door de component gedurende de beschouwde fase;
- in hoofdstuk 2 de precieze referenties te vermelden van waar dit werd aangetoond.

## 2. Antwoord

Het veiligheidsconcept werd aangepast, zie bijlage. In deze herziening worden voor de M-rollen precieze bestaande en nog te maken referenties vermeld in het veiligheidsdossier, waar aangetoond wordt dat de functie effectief vervuld zal worden gedurende de beschouwde fase (tabellen in §1.3.3 van de bijlage).

Het toekennen van een M-rol aan een component betekent dat de SSC in staat moet zijn om gedurende een bepaald tijdsinterval een bepaalde veiligheidsfunctie te vervullen en dus noodzakelijk is

- om de globale performantie van het bergingssysteem en trajecten van radionucliden doorheen barrières te verzekeren bij de verwachte evolutie van het systeem (insluitings- en afzonderingsperformantie)
- en/of indien nodig, om de gevolgen te beperken bij falen van een SSC of veiligheidsfunctie.

Dit werd in hoofdstukken 7 en 8 aangetoond, als resultaat van de toepassing van de ontwerpproces beschreven in de Fiche 11.

### **3. Aanpassingen in het veiligheidsrapport**

Aanpassing van HS02, §2.8.2-6 met beschrijving uit de bijlage van dit antwoord. Bij opname in het veiligheidsrapport zal een update van de tekst gebeuren, zodat die niet meer verwijst naar antwoorden maar naar de desbetreffende secties van het veiligheidsrapport.

HS10 aanvullen met beschrijving van de afsluiting van openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij.

### **4. Referenties**

Niet van toepassing.

## **Bijlage 1: Rechtvaardiging van het veiligheidsconcept ten overstaan van het verwachte gedrag van het bergingssysteem**

Het anti-badkuipsysteem (ABS) wordt op basis van de Fiche 10 (optimalisatie) verder uitgewerkt. Waar het ABS een effect heeft op de mogelijke trajecten van de radionucliden en het veiligheidsconcept wordt dit hieronder vermeld.

Voor de ontwerpmaatregelen opdat de voegen van de modulebasis geen preferentiële stromingsweg zouden vormen, zie antwoord op de vraag HS05-001.

Rekening houdend met het antwoord op de vraag HS14-001 waarin de verwachte evolutie van het bergingssysteem beschreven wordt (met inbegrip van radionuclidentransportprocessen en de gebeurtenissen, processen en bouwspecificiteiten die dit transport kunnen beïnvloeden) dienen de definitie en duur van de fases IV en V uit het veiligheidsconcept herzien te worden (zie hieronder §2.1).

De mogelijke radionuclidentrajecten op lange termijn worden daarna besproken op basis van de verwachte evolutie uit antwoord op de vraag HS14-001 (zie hieronder §2.2).

Op basis van deze elementen wordt daarna een herziening voorgesteld van het veiligheidsconcept voor de langetermijnveiligheid (zie hieronder §2.3).

Ten slotte wordt ingegaan op de mogelijke trajecten van de radionucliden en het veiligheidsconcept tijdens de operationele periode (zie hieronder §2.4). Er wordt hierbij rekening gehouden met de volgende feedback van het FANC bij de Fiche 7 klassering: “De tabel met de M- en C- rollen voor de operationele veiligheidsfuncties is niet voldoende gedetailleerd voor deze klassering. De lijst van SSCs dient minimaal volgende zaken nog extra te beschouwen: software, draaitafels, ventilatie, de subcomponenten van het drainagesysteem.”

Er wordt rekening gehouden met de volgende vragen over hoofdstuk 2 van het veiligheidsrapport die wijzigingen aan het veiligheidsconcept vragen en referenties wanneer een M-rol toegekend wordt:

- HS02-023: toekennen van een M-rol wanneer in het veiligheidsdossier aangetoond is dat de functies effectief vervuld zullen worden door de component gedurende de beschouwde fase en vermelden van de precieze referenties waar dit werd aangetoond.
- HS02-024: laterale drainage van water in de afdekking door de ophoging aan de zijdes opnemen in het veiligheidsconcept in de periode na sluiting.
- HS02-026: rol van de vlotplaten en opgevulde inspectiegalerij.
- HS02-027: veiligheidsconcept herzien om consistentie te krijgen tussen duur van de fase IV en de toekenning van de veiligheidsfuncties tijdens deze fase, rekening houdend met de fenomenologie en de veiligheidsevaluatie.

### **2.1. Definitie en duur van fases IV, V en VI**

Voor de definitie en duur van fases Ia, Ib, II en III zie HS02, §2.7.2.

### 2.1.1. Fase IV

Na de opheffing van de nucleaire reglementaire controle start de *fase IV*.

In de verwachte evolutie van het bergingssysteem (zie antwoord op de vraag HS14-001) wordt op basis van de fenomenologie en rekening houdend met de omgeving van het bergingssysteem geargumenteed dat behoudens lokale afwijkingen aan de beoogde performantie van het bergingssysteem, het vrijkomen van radionucliden tot ongeveer 1000 jaar gedomineerd wordt door diffusie. Voor lokale afwijkingen aan de beoogde performantie kan deze tijdsspanne korter zijn. In de veiligheidsevaluatie wordt rekening gehouden met de verwachte evolutie en met lokale afwijkingen.

De term ‘isolatiefase’ voor deze fase IV uit §2.7.2 van HS02 wordt geschrapt, conform het antwoord op de vraag HS02-014. Deze fase wordt ‘fase IV’ genoemd.

### 2.1.2. Fases Va en Vb

Vanaf ongeveer 1000 jaar verdwijnt de beperking van waterinsijpeling in de verschillende barrières van het bergingssysteem geleidelijk, en treedt een transiënt op waarin de berging evolueert naar een situatie waarbij enkel nog een residuele sortie op betonpuin bijdraagt tot insluiting van radionucliden (§6 in antwoord op de vraag HS14-001). Het is niet langer mogelijk een uniek pad van systeemevolutie vast te leggen vanaf fase V. Er wordt verwacht dat door een opeenvolging van lokale afwijkingen het gehele bergingssysteem geleidelijk zal degraderen over een periode van enkele honderden jaren. De periode waarover het bergingssysteem geleidelijk degradeert is Fase Va. Tijdens Fase Vb is het bergingssysteem overal gedegradeerd, maar is het bergingssysteem nog eenduidig af te lijnen.

Voor het eindtijdstip van fase Vb verwijzen we naar antwoord op de vraag HS14-006.

De term ‘fase van chemische insluiting’ voor fase V uit §2.7.2 van HS02 wordt geschrapt. De betreffende fases worden ‘fase Va’ en ‘fase Vb’ genoemd.

### 2.1.3. Fase VI

In fase VI is het bergingssysteem niet meer eenduidig af te lijnen, wegens groeiende onzekerheden over de evolutie, geometrie en configuratie van het bergingssysteem. Voor de duur van de fase VI verwijzen we naar antwoord op de vraag HS14-006 (einde van de evaluatieperiode).



## 2.2. Mogelijke trajecten van radionucliden op lange termijn

### 2.2.1. Mogelijke trajecten tijdens fase III

Evolutie van het bergingssysteem en transport van radionucliden bij geleidelijke uitloging tijdens fase III worden beschreven in §4 en §8 van HS14-001:

- De afdekking zal de waterinsijpeling in de modules beperken.
- Het carbonatatiefront zal de wapeningsstaven van de EBS-componenten nog niet bereiken, waardoor geen doorgaande macroscheuren verwacht worden.
- De ondoorlatende topplaat, structurele topplaat, prefab afschermingsplaten, module wanden en een gedeelte van de buitenste monolieten worden verwacht om bijna gesatureerd te zijn. Een geleidelijke verdere saturatie van de buitenste monolieten zal plaatsvinden tijdens deze fase. Fysicochemische verouderingsprocessen binnen het afval zullen traag zijn, omdat ze voornamelijk diffusiegecontroleerd zijn en de hernieuwing van poriënwater zeer traag zal zijn door de lage hydraulische conductiviteit van de omliggende cementgebaseerde barrières en de door de afdekking beperkte waterinsijpeling in de modules.
- Beton van de modules en monolieten bevindt in chemische toestand I, met uitzondering van een dunne gecarbonateerde laag in toestand IV. De immobilisatiemortel van de monoliet bevindt zich in chemische toestand II en de mortel in het afval in toestand I of II afhankelijk van het gebruikte type cement. De zand-cement ophoging bevindt zich in toestand II. Toestanden I en II hebben een aanzienlijke chemische retentie voor chemische elementen zoals Nb, Sn, Ni en de meeste actiniden.

Tijdens fase III bevinden de meeste radionucliden zich binnen het afval en monoliet. Een uitzondering hierop zijn niet-gesorbeerde en dus zeer mobiele nucliden, zoals H-3 en Be-10, waarvan een kleine fractie door diffusie tot in naburige monolieten, prefab afschermingsplaten, structurele top plaat en in de modulebasis kan komen. Omdat de waterinsijpeling in de modules nog steeds beperkt wordt door de afdekking en omdat het insijpelend water voornamelijk dient ter verdere saturatie van de monolieten (zie antwoord op vraag HS14-053), zijn de tussenruimten tussen de monolietstapels<sup>1</sup> en tussen de buitenste monolieten en modulewand niet-gesatureerd en vormen deze een diffusiebarrière. Deze tussenruimten vormen in deze fase dus geen preferentiële transportweg voor deze radionucliden.

### 2.2.2. Mogelijke trajecten tijdens fase IV

Evolutie van het bergingssysteem en transport van radionucliden bij geleidelijke uitloging tijdens fase IV worden beschreven in §5 en §8 van HS14-001. De performantie blijft gelijklopend aan fase III, i.e. voor de meeste modules nog altijd

---

<sup>1</sup> In het kader van Fiche 10 optimalisatie werd aan NIRAS gevraagd om de optie te bestuderen van plaatsing van monolieten met een tussenafstand die met zand/grind gevuld wordt.

beperking van waterinsijpeling door de afdekking, carbonatatiefront dat de wapeningsstaven nog niet bereikt, progressieve saturatie van de monolieten, traag vrijkomen van radionucliden uit het afval, beton in chemische toestand I, immobilisatiemortel van de monoliet in toestand II, mortel in het afval in toestand I of II afhankelijk van het gebruikte type cement en zand-cement ophoging in toestand II.

Tijdens fase IV zijn de trajecten van de meeste radionucliden gesitueerd binnen de monoliet. Een uitzondering hierop zijn niet of weinig gesorbeerde nucliden, zoals H-3, Be-10, Cs-135/Cs-137, I-129 ... , waarvan een fractie door diffusie kan terechtkomen in naburige monolieten, prefab afschermingslaten, structurele top plaat en in de modulebasis. Omdat de waterinsijpeling in de modules nog steeds beperkt wordt door de afdekking en omdat het insijpelend water voornamelijk dient ter verdere saturatie van de monolieten (zie antwoord op vraag HS14-053), zijn de tussenruimten tussen de monolietenstapels en de buitenste monolieten en modulewand niet-gesatureerd en vormen deze een diffusiebarrière.

Bij lokale afwijkingen aan de beoogde performantie kunnen lokaal oxische niet-inge-graven omstandigheden optreden, kan de waterinsijpeling in de modules gradueel toenemen en kan het dat de modules en daarna de monolieten gradueel scheuren beginnen te vertonen. De situatie voor plaatsen met lokale afwijkingen tijdens fase IV is gelijk aan deze voor fase V.

### **2.2.3. Mogelijke trajecten tijdens fases Va en Vb**

De evolutie van het bergingssysteem en transport van radionucliden bij geleidelijke uitloging tijdens fases Va en Vb zijn beschreven in §6 en §8 van het antwoord op de vraag HS14-001.

Het feit dat de ophoging aan de zijdes in de steile delen van de afdekking meer voor erosie vatbaar is dan het gedeelte van de afdekking bovenop de modules met een lichtere helling, maakt dat het bovenste gedeelte van de modulewanden en de zijkant van de ondoorlatende topplaat waarschijnlijk de eerste componenten zijn die lokaal blootgesteld worden aan oxische niet-inge-graven omstandigheden. Op dat ogenblik zullen deze componenten worden blootgesteld aan vries-dooicycli en atmosferische carbonatatie, wat niet het geval was onder ingegraven omstandigheden. Beide processen kunnen de degradatie versnellen. In deze fase zou het wetenschappelijk ongegrond zijn om één specifiek pad van systeemevolucie naar voren te schuiven. Zowel de (inherente) onzekerheden over wat er zal gebeuren als de toenemende heterogeniteit van het bergingssysteem (van plaats tot plaats verschillende evolutie) vormen hiervoor belangrijke redenen.

Door de degradatie zal de waterinsijpeling in de modules gradueel toenemen en zullen de modules en daarna de monolieten gradueel scheuren beginnen te vertonen. Scheuren zorgen voor een aanvoer van water tot bij het afval en zijn verpakking. Deze combinatie van oxische omstandigheden en beschikbaar water zal zorgen voor chemische reacties waardoor de activiteit uit het afval beschikbaar komt voor migratie uit de afvalcolli. Er wordt verwacht dat door een opeenvolging van lokale oxische niet-inge-graven omstandigheden het gehele bergingssysteem geleidelijk zal degraderen over een periode van enkele honderden jaren (fase Va). Het is in deze fase

Va onzeker of het onderste deel van de module (wanden en basis) doorgaande scheuren vertoont wanneer de waterinsijpeling toeneemt. Daardoor valt een tijdelijk optreden van badkuipeffect tijdens fase Va niet uit te sluiten zonder extra ontwerpmaatregelen, en wordt bijkomend het ABS voorzien om dit effect uit te sluiten.

De waterstroming en het transport van radionucliden is beschreven in §6.5 van het antwoord op de vraag HS14-001:

- Aangezien netwerken van doorgaande scheuren in opvulmortel en de caisson ontstaan, zou het transport geleidelijk naar een bimodale toestand moeten evolueren waarin advectiegedomineerd transport plaatsvindt in de tussenruimten tussen de monolieten en doorgaande scheuren terwijl diffusiegedomineerd transport plaatsvindt in de matrix tussen deze tussenruimten en scheuren. Ook in lege ruimtes, scheuren en matrices van bepaalde types afval zou er advectief transport van radionucliden zijn.
- De waterstroming gaat voornamelijk doorheen de tussenruimten tussen de monolietstapels en doorgaande scheuren en in mindere mate doorheen de matrix. Water aan de bovenkant van de monolieten wordt bovendien lateraal afgeleid door de gootjes bovenaan de caissons.
- Radionucliden komen door diffusiegecontroleerde kinetica uit de matrix van het afval, opvulmortel en caisson vrij naar doorgaande scheuren in de monolieten en komen via deze scheuren uit de monolieten vrij.
- Mogelijke verdere trajecten van radionucliden:
  - De radionucliden die uit de monolieten vrijkomen in de tussenruimten tussen de monolietstapels en in de doorgaande scheuren doorheen de monolieten en betonnen delen van de module (modulewand, ondersteunende plaat, kolommen, funderingsplaat), zouden in deze tussenruimten en scheuren door advectie worden getransporteerd tot buiten de module. Sorptie in scheuren is moeilijk aantoonbaar.
  - Het is in fase Va onzeker of het onderste deel van de module (wanden en basis) doorgaande scheuren vertoont wanneer de waterinsijpeling toeneemt. We beschouwen twee gevallen voor fase Va:
    - Het onderste deel van de module vertoont geen doorgaande scheuren en het ABS dient het badkuipeffect te verhinderen.
      - Radionucliden die uit de monolieten vrijkomen in de tussenruimten tussen de monolietstapels en doorgaande scheuren doorheen de monolieten en vervolgens in het ABS in de ondersteunende plaat komen, zouden in het ABS hoofdzakelijk door advectie migreren en de eventueel<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Het anti-badkuipsysteem (ABS) wordt op basis van de Fiche 10 verder uitgewerkt. De hoofdvereiste voor het ABS is vermijden van het badkuipeffect; sorptiecapaciteit binnen het ABS is geen hoofdvereiste.

aanwezige sorptiecapaciteit van het materiaal van het ABS in de ondersteunende plaat benutten. Op hun verdere traject doorheen het opvulmateriaal van de inspectieruimte en het ABS in de verbindingstunnels zouden de radionucliden ook hoofdzakelijk door advectie migreren en de sorptiecapaciteit van het opvulmateriaal van de inspectieruimte benutten (indien sorptiecapaciteit ook aanwezig is in ABS in verbindingstunnels zou ook deze capaciteit benut worden).

- De fractie van de radionucliden die naar de matrix van de ondersteunende plaat diffundeert, zou van daaruit verder diffunderen enerzijds naar de kolommen, de opvulling van de inspectieruimte, de funderingsplaat. In de opvulling van de inspectieruimte en in het ABS van de verbindingstunnels zouden ze voornamelijk door advectie migreren. Tijdens dit traject zullen de radionucliden de sorptiecapaciteit van de matrix van de betoncomponenten en van het opvulmateriaal van de inspectieruimte benutten.
- Het onderste deel van de module vertoont wel doorgaande scheuren. Er zijn twee verschillen met het voorgaande geval. Ten eerste migreren radionucliden bij dit geval ook in de doorgaande scheuren door ondersteunende plaat en funderingsplaat in plaats van migratie doorheen ABS in ondersteunende plaat en verbindingstunnels. Radionucliden die zich in doorgaande scheuren uit de ondersteunende plaat bevinden en naar het opvulmateriaal van de inspectieruimte migreren, kunnen zich daar verspreiden in het conductief sorberend opvulmateriaal en zullen in dat materiaal de sorptiecapaciteit van de matrix benutten tijdens hun advectief transport. De radionucliden die afkomstig zijn uit het opvulmateriaal migreren door advectie verder in doorgaande scheuren van de funderingsplaat en in het ABS van de verbindingstunnels (er is een kleine hindernis ingebouwd net voor het ABS in de verbindingstunnels, om een spatiaal uniformere flux uit de module te krijgen bij volledig gescheurd beton van de funderingsplaat). Ten tweede diffunderen radionucliden in de ondersteunende plaat niet alleen verder naar kolommen, opvulmateriaal van de inspectieruimte en funderingsplaat maar ook naar doorgaande scheuren.
- In fase Vb is het onderste deel van de module gescheurd. De trajecten zijn gelijk aan deze uit het tweede geval voor fase Va.
- In de zand-cement ophoging migreren de radionucliden door advectie en worden ze gesorbeerd op de cementfasen.

In §1 van HS14-001 wordt vermeld dat de opgevlude inspectiegalerij geen invloed heeft op de evolutie van het bergingssysteem. Door de maatregelen tegen het badkuipeffect, door het advectief transport in het opvulmateriaal van de inspectieruimte, door het afsluiten van openingen tussen de inspectieruimte en inspectiegalerij, ligt de inspectiegalerij niet op het verwachte traject van

radionucliden. Bovendien wordt het gedeelte van de inspectiegalerij boven de footprint van de zand-cement ophoging opgevuld met een zand-cement mengsel.

#### 2.2.4. Mogelijke trajecten tijdens fase VI

Fase VI wordt afgedekt door de penaliserende scenario's en wordt niet beschouwd in het veiligheidsconcept. De onzekerheden op de evolutie van het bergingssysteem, te wijten aan externe gebeurtenissen, natuurlijke processen, heterogeniteiten en koppelingen worden dusdanig groot dat het moeilijk wordt om het bergingssysteem eenduidig af te lijnen. Het systeem van afval, monolieten, modules, afdekking kan wijzigen tot een vermenging van brokstukken met onzekere configuratie.

### 2.3. Veiligheidsconcept voor de langetermijnveiligheid

#### 2.3.1. Langetermijnveiligheidsfuncties

'Insluiting' (R) is als volgt gedefinieerd [i] (zie ook antwoord op de vraag HS02-015): Insluiting van radionucliden is het resultaat van de acties met het oog op het beletten en beperken van vrijkomen van radionucliden uit een beperkte ruimte.

Volgende veiligheidsfuncties dragen bij tot insluiting:

- Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)
- Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1)
- Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)
- Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)
- Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b).

Omdat het bergingssysteem op lange termijn degradeert door scheurvorming, evolueert ook de wijze waarop insluiting verkregen wordt. Voor de mogelijke trajecten van radionucliden tijdens de verschillende fasen verwijzen we naar de vorige sectie 1.2.

Insluiting van radionucliden wordt als volgt verkregen voor het niet-gescheurd systeem:

- Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a) door:
  - evapotranspiratie door de begroeiing op de afdekking
  - het voorzien van barrières met lage hydraulische conductiviteit en het voorzien van een (laterale) afwatering boven deze barrières.
- **Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval<sup>3</sup> (R1)** via fysicochemische processen zoals trage diffusie, precipitatie, sorptie, trage corrosie  
...

---

<sup>3</sup> Afval is ofwel een collo geconditioneerd afval in type I en II ofwel de stukken afval die in een type III monoliet met de opvulmortel geïmmobiliseerd worden; afval is te onderscheiden van afvalvorm dat voor type I/II een collo geconditioneerd afval is

- **Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)** door trage diffusie in een poreus medium.
- **Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)** door chemische retentieprocessen zoals sorptie, solid solution, coprecipitatie en gecombineerde mechanismen.

Op lange termijn zal het systeem echter evolueren naar een gescheurd systeem waarin:

- de waterinsijpeling minder beperkt is,
- radionucliden uit de matrix nog traag vrijkomen naar de scheuren en tussenruimten door de lage diffusiviteit en sorptie op de matrix,
- radionucliden voornamelijk via scheuren en tussenruimten vrijkomen uit het systeem,
- radionucliden sneller kunnen vrijkomen in de omgeving dan bij een volledig diffusief systeem zonder scheuren.

In een gescheurd systeem wordt het vrijkomen van de resterende radionucliden nog gespreid in de tijd door:

- 1 Het vrijkomen van radionucliden naar scheuren en tussenruimten te beperken door volgende processen:
  - **Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)** door evapotranspiratie uit de begroeiing op de afdekking.
  - **Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval<sup>3</sup> (R1)** via fysico-chemische processen zoals trage diffusie, precipitatie, sorptie, trage corrosie ...
  - **Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)** in de matrix van de barrières waarin zich radionucliden bevinden. Het vertragen en spreiden in de tijd van het vrijkomen van radionucliden uit barrières naar scheuren en tussenruimten door trage diffusie in een poreus medium.
  - **Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)** in de matrix van de barrières waarin zich radionucliden bevinden, door chemische retentieprocessen zoals sorptie, solid solution, coprecipitatie en gecombineerde mechanismen binnen de matrix.
- 2 Het vrijkomen van radionucliden die zich in scheuren en tussenruimten bevinden te spreiden in de tijd door volgende processen:
  - **Beperken van waterinsijpeling (R2a)** in de modules door evapotranspiratie uit de begroeiing op de afdekking.

---

maar voor type III het afval + opvulmortel is (door de R1 te associëren aan 'afval' i.p.v. 'afvalvorm', is de veiligheidsfunctie R3 van de mortel van toepassing op alle monoliettypes).

■ **Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b)**

- Door mechanische dispersie worden de radionucliden binnen de matrix ruimtelijk uitgespreid. Mechanische dispersie is evenredig met de dispersielengte en de poriënwatersnelheid. Door te kiezen voor conductieve media met hoge hydraulische conductiviteit wordt gekozen voor media met hoge poriënsnelheid, zodat de mechanische dispersie de diffusie-term domineert in de diffusiviteitstensor.
- Mechanische dispersie zorgt ook voor een uitspreiding in de tijd en dus verlagings van de piek van een radionuclidenflux.
- Door de hoge hydraulische conductiviteit van het materiaal is de advectie voldoende hoog opdat een scheur doorheen het materiaal geen bypass zou vormen van de sorptiecapaciteit van het materiaal.

■ **Chemisch vasthouden van radionucliden (R3) in conductieve sorberende media** door chemische retentieprocessen zoals sorptie, solid solution, coprecipitatie en gecombineerde mechanismen.

‘Afzondering’ (I) is als volgt gedefinieerd [i] (zie ook antwoord op de vraag HS02-014): Afzondering is het resultaat van de acties met het oog op het voorkomen van het contact tussen het radioactief afval en de biosfeer (inclusief de mens). Volgende langetermijnveiligheidsfunctie m.b.t. ‘afzondering’ wordt beschouwd: Beperking van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie (II). De veiligheidsfunctie II bestaat in het afzonderen van het afval (zie antwoord op de vraag HS02-14). De afzondering berust op het beperken van de toegang tot de bergingssite en op de mechanische eigenschappen en hoeveelheid/dikte van het materiaal rondom het afval die een menselijke intrusie bemoeilijken en de gevolgen beperken. Het behoud van het geheugen door grondbestemmingen en de maatschappelijke verankering van de berging in de lokale gemeenschappen dragen verder bij tot de afzondering.

De S-veiligheidsfunctie wordt geschrapt in het kader van het veiligheidsconcept, maar met de rol ‘bescherming van andere barrières’ wordt rekening gehouden in de ‘design requirements’ (Fiche 11). In §2.7.3 van HS02 wordt gesteld dat ondersteuning (S) in hoofdzaak mechanische ondersteuning van SSCs en chemische buffering en vermijden van extra chemische degradatie van de cementgebaseerde SSCs betreft. Het gradueel verdwijnen van deze ondersteuning en de gevolgen ervan op degradatie van SSCs, waterstroming in de berging, transport van radionucliden en configuratie van het bergingssysteem zitten inbegrepen in de beschrijving van de verwachte evolutie van het bergingssysteem.

Ondersteuning is in de volgende ‘design inputs’ (zie Fiche 11) inbegrepen:

- referentiegebeurtenissen en referentieongevallen weerstaan (inclusief aardbevingen),
- beperken van lege ruimtes in de berging (zodat deze de mechanische stabiliteit niet in het gedrang brengen, zie Art. 36.3 van [i]),
- garanderen van structurele integriteit (inclusief statische stabiliteit, zettingen),

- chemische buffering en vermijden van extra chemische degradatie van de cementgebaseerde SSCs.

### 2.3.2. M-rol en C-rol

Het toekennen van een M-rol aan een component betekent dat de SSC in staat moet zijn om gedurende een bepaald tijdsinterval een bepaalde veiligheidsfunctie te vervullen en dus noodzakelijk is

- om de globale performantie van het bergingssysteem en trajecten van radionucliden doorheen barrières te verzekeren bij de verwachte evolutie van het systeem (insluitings- en afzonderingsperformantie)
- en/of indien nodig<sup>4</sup>, om de gevolgen te beperken bij falen<sup>5</sup> van een SSC of veiligheidsfunctie.

Het toekennen van een C-rol aan een component betekent dat de componenten weliswaar geen M-rol vervult, maar toch een zekere bijdrage levert of kan leveren aan het vervullen van een bepaalde langetermijnveiligheidsfunctie. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als

- er voor de SSC geen specifieke vereiste wordt opgelegd voor deze veiligheidsfunctie,
- onzekerheden op het vervullen van de veiligheidsfunctie te groot zijn,
- de veiligheidsfunctie van de SSC niet noodzakelijk is om de globale performantie te garanderen bij de verwachte evolutie van het systeem of om de gevolgen te beperken bij falen van een SSC of veiligheidsfunctie.

---

<sup>4</sup> Zie vraag HS02-028: in functie van de voorziene bronterm argumenteren welk niveau van gelaagde bescherming nog onontbeerlijk is na fase III.

<sup>5</sup> Falen dient begrepen te worden als een totale of quasi totale bypass of een aanzienlijk verlies van performantie van een barrière of veiligheidsfunctie, waardoor deze weinig of niet meer bijdraagt aan de nucleaire veiligheid (zie antwoord op de vraag HS02-009).



### 2.3.3. SSCs en langetermijnveiligheidsfuncties

Vermits in fase IV slechts een beperkt aantal lokale afwijkingen van de beoogde performantie verwacht worden, wordt voor deze fase de algemene evolutie weergegeven. De situatie voor de plaatsen met lokale afwijkingen tijdens fase IV is gelijk aan deze voor fase V.

#### 2.3.3.1. R2a veiligheidsfunctie

	Insluiten			
	Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)			
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
<b>1. Afdekking</b>				
Begroeiing op afdekking (evapotranspiratie)	M	M	M	Fase III: §4 van HS14-001, grasvegetatie Fase IV: §5 van HS14-001, vegetatie uit de omgeving (grasland, loofbomen) + lokale degradaties waar enige vegetatie-ontwikkeling op de bio-intrusiebarrière verwacht wordt Fase V: §6 van HS14-001, ondoorlatende topplaat kan lokaal komen bloot te liggen, op andere plaatsen analoge vegetatie als in fase IV. Vegetatie evolueert tijdens fase V geleidelijk naar schrale begroeiing met beperktere evapotranspiratie.
Systeem “infiltratiebarrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes”	M	M	C	Fase III: §4 van HS14-001 Fase IV: §5 van HS14-001, er wordt niet verwacht dat de onderste gecompacteerde kleilaag in de afdekking zal uitdrogen, ook niet bij erosie van biologische laag tot op bio-intrusie laag.  Lage hydraulische conductiviteit klei, zie HS05-007 Hoge hydraulische conductiviteit zand, §4.1.5 van OD-065 Helling tussen klei en zand (gravitaire afstroming)
GCL in de infiltratiebarrière	C	C	C	-
Systeem “ondoorlatende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes”	M	M	C	Fase III: §4 van HS14-001 Fase IV: §5 van HS14-001, <ul style="list-style-type: none"> <li>• totale clogging van zandlaag niet verwacht,</li> <li>• ingegraven omstandigheden met zeer lage carbonatatie, lokale afwijkingen van beoogde performantie niet te na gelaten (§7 van HS14-001)</li> <li>• levensduur van ondoorlatende topplaat meer dan 1000 jaar onder ingegraven omstandigheden</li> </ul> Lage hydraulische conductiviteit beton, zie HS05-005/006 Hoge hydraulische conductiviteit zand, §12 Tabel 53 van OD-108V1 Helling tussen topplaat en zand (gravitaire afstroming)
HDPE op de ondoorlatende	C			-

Insluiten				
Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)				
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
topplaat				
Vlotplaten	C	C		-
Bitumenlaag op structurele topplaat	C			-
<b>3. Module dak</b>				
Structurele topplaat	C	C		-
Prefab afschermingsplaat	M	M	M	Fase III: §4 van HS14-001 Fase V: §5 en §6 van HS14-001, <ul style="list-style-type: none"> <li>• ingegraven omstandigheden met zeer lage carbonatatie, lokale afwijkingen van beoogde performantie niet te na gelaten (§7 van HS14-001)</li> <li>• levensduur van vezelversterkt beton meer dan 1000 jaar onder ingegraven omstandigheden</li> <li>• prefab afschermingsplaat weerstaat met marge aan een voldoende grote aardbeving (terugkeerperiode van 20 000 jaar, Fiche 12, §2.3.2.4)</li> </ul>
<b>4. Module midden</b>				
Modulewand	M	M	C	Lage hydraulische conductiviteit, zie HS05-005, HS05-006 Levensduur meer dan 1000 jaar, zie §5 en §6 van HS14-001
Opvulmateriaal in tussenruimten	M	M	M	Hoge hydraulische conductiviteit zodat water aan de zijkant van de monolieten naar beneden sijpelt en contact vermeden wordt tussen geïnfiltreerd water en afval. Dossier nog aan te vullen zodat een specifieke referentie kan gemaakt worden.
<b>5. Monoliet</b>				
Caisson	M	M	C	Zie modulewand + laterale afwatering via gootjes, zie §7.3.3.1
Mortel	M	M	C	Lage hydraulische conductiviteit, zie HS05-005, HS05-006
<b>6. Modulebasis</b>				
ABS/drainagesysteem in ondersteunende plaat	M	M		Hoge hydraulische conductiviteit waardoor waterophoging vermeden wordt aan de zijkant van de monolieten. Op deze wijze wordt contact tussen geïnfiltreerd water en afval verder vermeden.
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M		
ABS in verbindingstunnels	M	M		Dossier nog aan te vullen zodat een precieze referentie kan gemaakt worden.

### 2.3.3.2. R1 veiligheidsfunctie

Afval in de berging moet een hoge weerstand tegen uitloging bezitten [iii]. Bijvoorbeeld mag het afval geen vrije vloeistoffen bevatten en moeten de vrije ruimtes beperkt worden [i, iii]. De verpakking van geconditioneerd afval draagt bovendien bij tot insluiting van radionucliden tijdens transport en tijdelijke opslag.

Afval voor berging bezit dus inherent karakteristieken die de insluiting van radionucliden ook op lange termijn bevorderen.

Bovendien zorgen de veiligheidsfunctie R2a en de trage saturatie van betonnen componenten ervoor dat er in het afval tijdens fases III en IV weinig water beschikbaar is voor chemische reacties (zie hierboven §2.2.2). Dit zorgt voor weinig uitloging van radionucliden uit het afval tijdens fases III en IV.

De R1 veiligheidsfunctie kan zorgen voor een verdere verbetering van de insluiting van radionucliden in het afval.

	Insluiten			
	Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1)			
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
<b>Afval</b>				
Collo GA (type I/II)	M	M	M	Traag vrijkomen uit het afval door sorptie op cement omdat grote meerderheid van colli GA cement bevat. Dossier nog aan te vullen zodat een precieze referentie kan gemaakt worden.
Afval in type III	C	C	C	-

### 2.3.3.3. R3 veiligheidsfunctie

	Insluiten			
	Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)			
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
<b>1. Afdekking</b>				Chemische retentie van radionucliden op gehydrateerde cementpasta en op calciet: OD-038 en OD-107.
Ondoorlatende topplaat	C	C	C	
<b>3. Moduledak</b>				Voor mortel en caisson: dit zijn componenten met een lage diffusiviteit en hydraulische conductiviteit. Zodra er doorgaande scheurnetwerken zijn, wordt de chemische retentiecapaciteit deels gebypassed door de scheurnetwerken. Radionucliden zullen naar de scheuren migreren nadat ze sorptie ondervonden hebben in de mortel en caisson matrix. Deze componenten bevatten binnen hun matrix meer radionucliden dan de modulebasis, modulewand of ondoorlatende topplaat. Daarom wordt aan de mortel en de caisson tot in fase V een M-rol toegekend qua chemische retentie en aan de modulebasis, modulewand of ondoorlatende topplaat niet.  Voor modulebasis en ophoging: <ul style="list-style-type: none"> <li>Zodra er netwerken van doorgaande scheuren zijn in de ondersteunende plaat, prefabelement, kolommen en funderingsplaat (vanaf fase V), wordt de chemische retentiecapaciteit in deze componenten minstens deels gebypassed door de scheurnetwerken. De radionucliden die</li> </ul>
Structurele topplaat	C	C	C	
Prefab afschermingsplaat	C	C	C	
<b>4. Modulemidden</b>				
Modulewand	C	C	C	
<b>5. Monoliet</b>				
Caisson	M	M	M	
Mortel	M	M	M	
<b>6. Modulebasis</b>				
Ondersteunende plaat	C	C	C	
ABS in ondersteunende plaat /drainagesysteem	C	C	C	
Prefab element	C	C	C	
Kolommen	C	C	C	
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M	M	
Funderingsplaat	C	C	C	

Insluiten				
Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)				
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
ABS in verbindingstunnels	C	C	C	van de bovenliggende componenten door de scheuren aangevoerd worden naar deze componenten zullen door de lage diffusiviteit en lage hydraulische conductiviteit zich weinig verspreiden naar de matrix.
<b>7. Opgevulde inspectiegalerij</b>	M	M	M	
<b>8. Funderingen</b>				
Zand-cement	M	M	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bij poreuze materialen met hoge hydraulische conductiviteit en dus grote dispersie (R4b) kan de chemische retentiecapaciteit ook na het optreden van netwerken van doorgaande scheuren benut worden tijdens het advectieve transport van radionucliden doorheen deze componenten (opvulmateriaal van inspectieruimtes, zand-cement ophoging, opvulmateriaal inspectiegalerij). Daarom wordt aan deze componenten zowel voor R4b als R3 een M-rol toegekend vanaf fase V (R4b vanaf fase Va is voor deze componenten een voorwaarde opdat R3 kan toegekend worden vanaf fase Va). M-rol tijdens fase III/IV is onder abnormaleomstandigheden.</li> </ul>
Grondverbetering (bentoniet) <sup>6</sup>	C	C	C	-

#### 2.3.3.4. R4a veiligheidsfunctie

Insluiten				
Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)				
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
HDPE op de ondoorlatende topplaat	C			-
Ondoorlatende topplaat	M	M		Lage diffusiviteit, §3 van OD-108V1
Bitumen op structurele topplaat	C			-
<b>3. Module dak</b>				
Structurele topplaat	C	C		
Prefab afschermingsplaat	C	C		-
<b>4. Module midden</b>				
Opvulmateriaal in tussenruimten	C	C		-
Modulewand	M	M		Lage diffusiviteit, §3 van OD-108V1
<b>5. Monoliet</b>				

<sup>6</sup> Cfr. aanbeveling optimalisatie-oefening Fiche 10 om een ontwerpaanpassing te overwegen. Deze SSC is dus vooralsnog een optie die nog bevestigd moet worden.

	Insluiten			
	Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)			
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
Caisson	M	M	M	Zie modulewand  Tijdens fase V in een gescheurd beton, is er nog steeds een lage diffusiviteit van de stukken matrix tussen de scheuren, waardoor radionucliden traag naar scheuren toe migreren.
<b>6. Modulebasis</b>				
Ondersteunende plaat	M	M		Zie modulewand
ABS/drainagesysteem in ondersteunende plaat	C	C		-
Prefab element	C	C		-
Kolommen	C	C		-
Funderingsplaat	C	C		-

2.3.3.5. R4b veiligheidsfunctie

	Insluiten				
	Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b)				
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)	
<b>6. Modulebasis</b>					
ABS in ondersteunende plaat	C	C	C	<p>Hoge hydraulische conductiviteit, waardoor poriënsnelheid hoog is en bijgevolg mechanische dispersie hoog is (mechanische dispersie domineert over diffusie).</p> <p>Opvulmateriaal inspectieruimte, zie HS05-005</p> <p>Zand-cement ophoging, §4.5.3 van OD108V1</p> <p>Opvulmateriaal inspectiegalerij, dossier nog aan te vullen zodat een precieze referentie kan gemaakt worden</p> <p>M-rol tijdens fase III/IV onder abnormale omstandigheden. M-rol tijdens fase Va/b – zie vorige sectie §1.2.3.</p>	
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M	M		
ABS in verbindingstunnels	C	C	C		
<b>7. Opgevlude inspectiegalerij</b>	M	M	M		
<b>8. Funderingen</b>					
Zand-cement	M	M	M		

2.3.3.6. II veiligheidsfunctie

	Afzonderen			
	Beperking van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie (I1)			
SSCs	III	IV	Va/b	Referenties voor M-rollen (HS02-023)
Afdeklagen en ophoging aan de zijdes	M	M	C	Dikte en samenstelling van de afdeklagen maken dat de functie wordt vervuld. §4 en §5 van HS14-001
Ondoorlatende toplaaf	M	M	C	Levensduur: §5 van HS14-001, levensduur van ondoorlatende toplaaf meer dan 1000 jaar onder ingegraven omstandigheden  In fase V worden de radionucliden nog afgezonderd van de mens door de configuratie van de afdekking, modules, monolieten, afval maar kan niet meer gerekend worden op fysieke barrières tussen radionucliden en de mens. Er dienen nog steeds intrusie-acties zoals boring, afgraving ... ondernomen worden voor direct contact tussen de radionucliden en de mens.
<b>3. Module dak</b>				
Structurele toplaaf	C	C	C	-
Prefab afschermingsplaat	C	C	C	-
<b>4. Module midden</b>				
Modulewand	M	M	C	Zie caisson
<b>5. Monoliet</b>				
Caisson	M	M	C	Levensduur meer dan 1000 jaar, zie §5 en §6 van HS14-001  In fase V worden de radionucliden nog afgezonderd van de mens door de configuratie van de afdekking, modules, monolieten, afval maar kan niet meer gerekend worden op de integriteit van de fysieke barrières tussen radionucliden en de mens. Er dienen nog steeds intrusie-acties zoals boring, afgraving ... ondernomen worden voor direct contact tussen de radionucliden en de mens.
Caisson+mortel+afval	M	M	C	Zolang de monoliet als geheel vrij intact is, zullen monolieten eerder als geheel verwijderd worden bij grote constructie- en uitgravingswerken dan dat er een intrusie tot bij het afval zelf komt.
<b>7. Opgevolde inspectiegalerij</b>	M	M	C	Bij sluiting wordt inspectiegalerij opgevuld en wordt de toegang van de galerij afgesloten met een materiaal met een zekere sterkte (HS08, Bijlage 2, criterium I10).
<b>9. Site en omgeving</b>				
Toegangscontrole	M			Tot opheffing van nucleaire reglementaire controle (einde fase III) blijft de berging een nucleaire klasse I inrichting.
Afsluiting rond de site	M			Tot opheffing van nucleaire reglementaire controle (einde fase III) blijft de berging een nucleaire klasse I inrichting.
Markers en archieven	C	C	C	-







HS02-023- p. 21 / 28

	Insluiten																Afzonderen							
	R2a				R1				R3				R4a				R4b				II			
	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb
SSC																								
Prefab afschermingsplaat	M	M	M	M					C	C	C	C	C	C							C	C	C	C
<b>4. Module midden</b>																								
Opvulmateriaal in tussenruimten	M	M	M	M									C	C										
Modulewand	M	M	C	C					C	C	C	C	M	M							M	M	C	C
<b>5. Monoliet</b>																								
Caisson	M	M	C	C					M	M	M	M	M	M	M	M					M	M	C	C
Mortel	M	M	C	C					M	M	M	M									M	M	C	C
Collo GA (type I/II)					M	M	M	M													M	M	C	C
Afval in type III																					M	M	C	C
<b>6. Modulebasis</b>																								
Ondersteunende plaat									C	C	C	C	M	M										
ABS/drainagesysteem in ondersteunende plaat	M	M	M	M					C	C	C	C	C	C			C	C	C	C				
Prefab element									C	C	C	C	C	C										
Kolommen									C	C	C	C	C	C										
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M	M	M					M	M	M	M					M	M	M	M				
Funderingsplaat									C	C	C	C	C	C										
ABS in verbindingstunnels	M	M	M	M					C	C	C	C					C	C	C	C				
<b>7. Opgepulde inspectiegalerij</b>									M	M	M	M					M	M	M	M	M	M	C	C

HS02-023– p. 22 / 28

SSC	Insluiten																				Afzonderen			
	R2a				R1				R3				R4a				R4b				I1			
	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb	III	IV	Va	Vb
<b>8. Funderingen</b>																								
Zand-cement									M	M	M	M					M	M	M	M				
Drainagelaag																								
Grondverbetering (bentoniet) te bevestigen									C	C	C	C												
<b>9. Site en omgeving</b>																								
Toegangscontrole																					M			
Afsluiting rond de site																					M			
Markers en archieven																					C	C	C	C

SSCs zonder M/C in bovenstaande tabel (bio-intrusie laag in de afdekking en drainagelaag onderaan de berging) beschermen de berging tegen externe factoren (erosie, opstijgend grondwater). Voor een overzicht van alle rollen die een SSC vervult, inclusief ondersteuning, zie Design Requirements (Fiche 11).

## 2.4. Veiligheidsconcept tijdens de operationele periode

### 2.4.1. Mogelijke trajecten van radionucliden

#### *Externe straling*

Tijdens de operationele periode zitten de radionucliden in hoofdzaak binnen het afval ingesloten. Bijgevolg is de belangrijkste blootstellingsroute voor mens en omgeving ‘externe straling’ van radionucliden uit het afval. Deze blootstelling wordt beperkt door afscherming te voorzien rondom de radionucliden (afval, monoliet, prefab afschermingsplaat, modules, transportcontainer) en door het afval af te zonderen van de biosfeer inclusief de mens.

#### *Ongevallen*

Een ongeval kan leiden tot de vrijstelling van radioactieve stoffen binnen de bergingsinstallatie en/of de omgeving [§13.2.1, HS13]. Bij een ongeval kan er direct contact zijn tussen radionucliden uit het afval en de mens. Atmosferische verspreiding van radionucliden dient beschouwd te worden.

#### *Transport van monolieten*

Het traject dat het afval aflegt tijdens de operationele periode omvat de outputbuffer IPM, het transport op de bergingssite en het inbrengen van de monolieten in de bergingsmodules.

Vooraleer een monoliet in de outputbuffer van de IPM wordt geplaatst, wordt het oppervlak van de monoliet op oppervlaktebesmetting gecontroleerd. De niet-gefixeerde besmetting op de buitenoppervlakken van elke monoliet moet zo laag mogelijk gehouden worden [§12.5.2.2, HS12].

De berging van de monolieten in de modules gebeurt met een afstandsbediend systeem dat bediend wordt vanuit de controlekamer in het administratief gebouw. De trolley waarop de transportcontainer is bevestigd wordt in de IPM geladen. Na het laden wordt de transportcontainer vanop afstand gesloten [§9.3.3.2, HS09].

Vanaf de IPM kunnen de modules via twee sporen worden bereikt. De trolley gaat via een spoor naar één van de twee actieve draaiplatformen, afhankelijk van de rij van de module waar de monoliet moet worden geplaatst. Voor de trolley het draaiplatform oprijdt, wordt gecontroleerd of de draaischijf in de juiste stand staat. Zodra de trolley stilstaat op het draaiplatform, draait deze rond en kan de trolley vertrekken naar de loszone tussen de modules. De eindpositie in de loszone moet tot ongeveer 5 cm nauwkeurig worden bepaald opdat de grijper de monoliet kan vastgrijpen, na het openen van de regenbescherming en de transportcontainer [§9.3.3.3, HS09].

Vooraleer de trolley ontladen kan worden moet de kraanbestuurder van de berging de prefab afschermingsplaat verwijderen die op de plaats ligt waar waarop de nieuwe monoliet moet komen. Nadat de plaat correct werd verplaatst, wordt de grijper in de lospositie gebracht.

De plaatsing van de monoliet gebeurt in twee stappen: automatische plaatsing van de monoliet naast zijn eindpositie, waarna de monoliet door de kraanbestuurder nauwkeurig op zijn plaats wordt gezet<sup>7</sup> [§9.3.3.4, HS09].

De twee rolbruggen van de modules zijn SFP ('Single Failure Proof') [§8.5.6.7, HS08]. Bij extreme weersomstandigheden (tornado, hevige wind) zal de exploitatie stopgezet worden [HS17-001 §17.2.1 & 17.2.2].

De sporen en infrastructuur op de site zorgen voor een vast traject van het afval op de site. Samen met de afsluiting rond de site en de toegangscontrole op de site zorgen deze SSCs voor de afzondering van het afval.

De monoliet en de transportcontainer zorgen voor afscherming van externe straling. Tijdens het optillen van de monoliet in de loszone tussen de modules, zorgt het beton van de inspectiegalerij voor afscherming van externe straling in de inspectiegalerij.

#### *Drainagesysteem*

Het drainagesysteem onder in de modules en in de inspectiegalerijen staat beschreven in §8.5.3, HS08. Het wordt gebruikt om al het water op te vangen dat de bergingsstructuren zou binnendringen en dat mogelijkwijze in contact geweest is met het afval.

Het drainagesysteem in de centrale galerij maakt het mogelijk om water afkomstig van de inspectieruimte en de module zelf te verzamelen langs twee kanalen:

- Water uit de module wordt naar de inspectiegalerij geleid door drie leidingen die door de ondersteunende plaat gaan en door de inspectie-openingen in de modulewand. Elke leiding eindigt in een transparante container. Dit maakt het mogelijk om de aanwezigheid van water per module te detecteren en te bemonsteren voor analyse. Een klep maakt het mogelijk om water uit de transparante container af te laten naar de hoofdleiding in de inspectiegalerij. Bij accidenteel hoge waterinstroming leidt een overloop het overtollige water rechtstreeks naar de hoofdleiding in de inspectiegalerij.
- Water vanuit de inspectieruimte wordt via de vloer van de inspectieruimte die afhelt richting galerij, verzameld in de hoofdleiding in de inspectiegalerij.

De hoofdleiding in de inspectiegalerij leidt naar opvangtanks in het WCB (Water Collection Building) op het einde van de inspectiegalerij. Na staalname worden effluënten (radioactief of niet) afgevoerd naar Belgoproces. Het drainagesysteem is ontworpen om gravitair te functioneren, ook na zettingen. De centrale galerijgoot wordt met folie waterdoorlatend gemaakt, net als het beton in de buurt van de korte verbindingstunnels tussen inspectiegalerij en de inspectieruimte [§9.4.3.1.2.1, HS09].

Het water dat opgevangen wordt in modules waarin zich nog geen monolieten bevinden, dient niet in de opvangtanks verzameld te worden en kan apart

---

<sup>7</sup> In het kader van Fiche 10 optimalisatie werd aan NIRAS gevraagd om ook de optie te bestuderen van plaatsing van monolieten met een tussenafstand.

conventioneel afgevoerd worden. Het drainagesysteem is onafhankelijk van het algemene systeem van de site om regenwater te collecteren.

#### *Radon*

Radon afkomstig uit betonnen constructiematerialen kan gevonden worden in de inspectieruimte en de inspectiegalerij [§12.5.2.4, HS12].

De inspectieruimten zijn zodanig ontworpen dat ze niet toegankelijk zijn voor personen. De inspectiegalerijen zijn uitgerust met een meettoestel voor radon. De radonconcentratie kan onder controle gehouden worden door natuurlijke ventilatie van de inspectiegalerij [§12.6.3, HS12]. Om redenen van klassieke veiligheid zijn de inspectiegalerijen uitgerust met een ventilatiesysteem [§12.5.1, OD-166]. Dit systeem zal de radonconcentraties bijkomend verlagen. Ventilatie is voor de nucleaire veiligheid van deze installatie dus niet nodig.

#### **2.4.2. Operationele veiligheidsfuncties**

Analoog met de langetermijnveiligheidsfuncties (zie §2.3.1) en in lijn met de strategische veiligheidsoriëntaties, zijn zowel ‘insluiten’ als ‘afzonderen’ operationele veiligheidsfuncties.

Verder is ook nog ‘afschermen van externe straling’ een operationele veiligheidsfunctie.

#### **2.4.3. M-rol**

Het toekennen van een M-rol aan een component betekent dat de SSC in staat moet zijn om gedurende een bepaald tijdsinterval een bepaalde veiligheidsfunctie te vervullen en dus noodzakelijk is om

- ▣ de globale performantie van het bergingssysteem te verzekeren onder normale omstandigheden (insluitings- en afzonderingsperformantie, afscherming)
- ▣ en/of, indien nodig<sup>8</sup>, de gevolgen te beperken bij falen bij falen van een SSC of veiligheidsfunctie.

#### **2.4.4. Noodzaak van elektrische noodvoeding**

De operationele veiligheid steunt vooral op passieve SSCs. Zoals gemeld in HS13 leidt het wegvallen van de elektriciteit tot geen onaanvaardbare radiologische gevolgen: de exploitatie wordt stopgezet en de rolbruggen van de modules zijn SFP. Exploitatieprocedures zullen bepalen dat de exploitatie bij het wegvallen van de voeding moet worden stilgelegd.

Toch kan de veiligheidsfunctie afzonderen in het gedrang komen door het wegvallen van de elektriciteit, en dus is elektrische noodvoeding voorzien voor bepaalde monitoring toestellen en bliksem-, alarm- en toegangscontrole, zie Annex 7 van OD-165.

---

<sup>8</sup> Op basis van inschatting van radiologisch risico.

Een elektrische noodvoeding is ook voor de brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen voorzien. De elektrische noodvoeding en UPS ('Uninterrupted Power Supply') zorgen er ook voor dat lopende activiteiten binnen de inrichting bij netuitval kunnen afgewerkt worden (bijvoorbeeld opslag van kritische data vooraleer uitschakeling van servers)

#### 2.4.5. Noodzaak van instrumentatie en controle

De instrumentatie en controle aangestuurd vanuit de controlezaal is voor het behoud van de nucleaire veiligheid van de installatie niet absoluut vereist omdat

- alles sequentieel verloopt, dit wil zeggen na elke belangrijke stap moet de operator opnieuw een commando geven,
- het centrale controlesysteem de uitrusting niet rechtstreeks aanstuurt; alle signalen – in beide richtingen – gaan door de sturingssystemen van de uitrusting zelf,
- de transportcontainer afdoende afscherming bezit zodat de inrichting ook bij een stilstand van de transportcontainer in veilige toestand is,
- de componenten zoals de rolbruggen, transportcontainer voorzien zijn van manuele bedieningsmogelijkheden los van de halfautomatische bediening op afstand.

#### 2.4.6. SSCs en operationele veiligheidsfuncties

SSCs die typisch zijn voor de operationele periode worden in het grijs aangeduid in de tabel hieronder. Voor SSCs zonder M in deze tabel, zie Design Requirements (Fiche 11) voor de rollen die deze SSCs vervullen.

SSC	Insluiten			Afschermen			Afzonderen		
	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II
<b>1. Afdekking</b>									
Afdeklagen en ophoging aan de zijdes								M	M
Ondoorlatende topplaat		M	M					M	M
<b>2. Vast stalen dak</b>									
<b>3. Module dak</b>									
Structurele topplaat				M	M	M			
Prefab afschermingsplaat				M	M	M			
<b>4. Module midden</b>									
Opvulmateriaal in tussenruimten									
Modulewand		M	M	M	M	M	M	M	M
<b>5. Monoliet</b>									
Caisson	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Mortel	M	M	M	M	M	M	M	M	M

SSC	Insluiten			Afschermen			Afzonderen		
	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II
Collo GA (type I/II)							M	M	M
Afval in type III							M	M	M
<b>6. Modulebasis</b>									
Ondersteunende plaat	M	M	M	M	M	M			
<b>Drainagesysteem</b>									
- Leidingen/ABS in ondersteunende plaat	M	M							
- Transparante container	M	M							
- Vloer van inspectieruimte (funderingsplaat)	M	M							
- Hoofdleiding in inspectieruimte	M	M							
- Opslagtanks in WCB	M	M							
- Afvoeren (naar Belgoproces) van effluënten voor verwerking	M	M							
Prefab element									
Kolommen									
Opgevulde inspectieruimte									
Afsluiting van openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij									
Funderingsplaat									
ABS in verbindingstunnels									
<b>7. Inspectiegalerij</b>				M					
<b>8. Funderingen</b>									
Zand-cement									
Drainagelaag									
Site zand egalisatie									
Grondverbetering (bentoniet) te bevestigen									
<b>9. Site en omgeving</b>									
Zandlagen onder de berging									
Toegangscontrole							M	M	M
Afsluiting rond de site							M	M	M
Markers en archieven									
Sporen en andere voorzieningen voor vervoer							M		
<b>10. Transportcontainer</b>				M					
<b>11. Rolbrug</b>									
11.1 Kraan									
11.2 Grijper									

SSC	Insluiten			Afschermen			Afzonderen		
	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II
12. Trolley									
13. Instrumentatie en controle									
14. Elektrische voeding									
14.1 Hoog- en laagspanning									
14.2 Noodvoeding (en UPS)	M	M	M				M	M	M
15. Brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen	M	M	M						
16. HVAC (heating, ventilation, air-conditioning)									
17. Weerstation (orkaan, wind, sneeuw, temperatuur)									



**1. HS02-024 Ophoging aan de zijdes**

In het kader van het optimalisatieproces zou een veiligheidsfunctie i.v.m. de drainage van infiltratiewater ook na de sluiting kunnen toegekend worden aan de "ophoging aan de zijdes" (1.8) aangezien deze component à priori belangrijk is om het water dat infiltreert in de afdekking zo veel mogelijk te draineren.

FANC en Bel V vragen NIRAS om de rol van de "ophoging aan de zijdes" (1.8) met betrekking tot de waterstromingen op te nemen in het veiligheidsconcept voor de periode na de sluiting.

**2. Antwoord NIRAS**

Het veiligheidsconcept werd aangepast – zie HS02-023.

De rol van de "ophoging aan de zijdes" met betrekking tot de waterstromingen werd in het veiligheidsconcept voor de periode na de sluiting opgenomen.

**3. Aanpassingen in het veiligheidsrapport**

Zie antwoord op de vraag HS02-023.

**4. Referenties**

Niet van toepassing.

## 1. HS02-025 Functie "Overgang naar langetermijnveiligheid"

De veiligheidsfunctie "overgang naar langetermijnveiligheid" betreffende "vooral het tegengaan en minim LANGETERMIJNVEILIGHEIDALISEREN (sic) tijdens fasen I en II, van interne en externe processen en gebeurtenissen die verstoringen zouden kunnen vormen voor de langetermijnveiligheid." (p.2-78) bevat acties en doelstellingen die zeer divers zijn zoals monitoring, mechanische ondersteuning, vermijden van intrusie, ...

Het toekennen van deze functie aan een component wordt niet altijd verklaard, bijvoorbeeld:

- M-rol toegekend aan de componenten 1.1 tot 1.5 en 1.8;
- M-rol toegekend aan de site (9.1 en 9.2);
- Overgang van een M-rol naar een C-rol na de fase Ib voor de zwevende platen;
- C-rol toegekend aan het moduledak tijdens fasen Ib en II;
- C-rol toegekend aan de inspectieruimten na opvulling;
- C-rol toegekend aan de transportcontainer tijdens de fase Ia.

Het is eveneens niet evident waarom de monitoring bijdraagt aan deze veiligheidsfunctie, zoals gesteld op p.2-107: "Het drainagesysteem (6.2) en de inspectieruimte (6.5) spelen een belangrijke rol om een veilige overgang naar de nucleaire reglementaire controlefase mogelijk te maken dankzij de monitoring (M-rol transitie langetermijnveiligheid)."

Ook bestaat er een overlap tussen deze veiligheidsfunctie en de functie "beveiliging": "De toegang tot de inspectieruimte werd op een zodanige manier ontworpen (d.w.z. beperkte afmetingen) dat menselijke indringing tijdens de operationele en sluitingsfase voorkomen worden. (M-rol transitie langetermijnveiligheid)." (p.2-107).

FANC en Bel V vragen NIRAS om:

- voor elke component die deze functie "overgang naar langetermijnveiligheid" vervult te verklaren wat de exacte doelstelling is en hoe hij die rol precies vervult;
- te verklaren hoe de monitoring en de geassocieerde correctieve acties bijdragen aan deze veiligheidsfunctie;
- deze functie duidelijk te onderscheiden van andere functies.

## 2. Antwoord NIRAS

Het veiligheidsconcept werd aangepast – zie HS02-023.

Deze veiligheidsfunctie werd geschrapt. De vraag HS02-025 is niet meer van toepassing.

## 3. Aanpassingen in het veiligheidsrapport

Zie HS02-23.

**4. Referenties**

Niet van toepassing.

**1. HS02-026 De rol van de zwevende platen en opgevulde inspectiegalerij**

FANC en Bel V vragen NIRAS om te verklaren waarom:

- een "M"-rol voor de veiligheidsfunctie "Transitie naar langetermijnveiligheid" niet meer is toegekend aan de zwevende platen (1.6) tijdens de sluiting van de berging (fase II);
- de "opgevulde inspectiegalerij" (7) niet meer de functie S "mechanische ondersteuning" vervult met een M-rol na de opheffing van de nucleaire reglementaire controle (fase III).

**2. Antwoord NIRAS**

Het veiligheidsconcept werd aangepast – zie HS02-023.

De veiligheidsfunctie "Transitie naar langetermijnveiligheid" werd geschrapt.

De veiligheidsfunctie S "mechanische ondersteuning" werd geschrapt maar dit werd opgevangen door de design input "De structurele integriteit moet gegarandeerd worden" (zie Fiche 11).

De mechanische ondersteuning door de opgevulde inspectiegalerij wordt verzekerd tijdens alle fasen door de opvulling met zand, zand-cement en beton.

**3. Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

Zie HS02-023.

## 1. **HS02-027 Fase IV**

Fase IV wordt gedefinieerd als de periode « *tijdens dewelke waterstroming en diffusie in de radionucliden (sic) retentiebarrières nog enigszins wordt beperkt* » (§2.8.3.2).

Het einde van deze fase (816 jaar) correspondeert met het moment waarop de gecumuleerde waarschijnlijkheid van het voorkomen van een "beyond design basis earthquake" de 4% overschrijdt.

Er wordt echter in hoofdstuk 5 uitgelegd dat "*carbonatatie van beton het bepalende fenomeen is voor de levensduur van de constructies*" (p.5-54) en dat wanneer de actieve corrosie van de wapening geïnitieerd wordt (na de "service life" van de betoncomponenten op 350 jaar), er zich scheuren beginnen vormen en de evolutie van het systeem gekarakteriseerd wordt door grote onzekerheden (p.5-59). Bovendien geven de curven van de hydraulische geleidbaarheid in hoofdstuk 14 (figuur 14-36) aan dat deze componenten de advectieve stroming niet meer verhinderen vanaf ongeveer 400 jaar. Er bestaat dus een inconsistentie tussen de duur van de fase IV (en zijn rechtvaardiging zoals gegeven in het hoofdstuk 2) en de ontwikkelingen in de hoofdstukken 5 en 14.

FANC en Bel V vragen NIRAS om het veiligheidsconcept te herzien teneinde consistentie te verzekeren tussen de duur van de fase IV en/of de toekenning van de veiligheidsfuncties tijdens deze fase, rekening houdend met de fenomenologie en de veiligheidsevaluatie.

## 2. **Antwoord**

Het veiligheidsconcept werd aangepast – zie HS02-023.

In deze aanpassing is de duur van de fases en/of de toekenning van de veiligheidsfuncties tijdens de betrokken fase(s) consistent gemaakt met de fenomenologie en met de veiligheidsevaluatie.

## 3. **Aanpassingen in het veiligheidsrapport**

Zie HS02-023.

## 4. **Referenties**

Niet van toepassing.

## 1. HS02-028 Toepassing van het principe van ‘Defence in depth’ na fase III

Momenteel wordt het principe van ‘defence in depth’ of gelaagde bescherming niet op een bevredigende manier toegepast (§2.8):

- Het insluiten van radionucliden wanneer de afdekking haar rol niet meer vervult steunt volledig op het aanwenden van barrières op basis van cement;
- De “defence in depth” gedurende de fase IV wordt verzekerd door de “complementariteit” en “onafhankelijkheid” van de veiligheidsfuncties R2 en R3. Deze complementariteit en onafhankelijkheid zijn niet aangetoond:
  - De gegeven informatie laat niet toe om te garanderen dat een gescheurd materiaal zijn sorptiecapaciteit zal behouden (zie bvb OD-63 [13] (§10.5)): *“The preferential flow and transport through cracks might have multiple effects on lixiviation safety functions, such as R2a, R2b and R3 ... If a scenario is considered where contaminated fluid is coming into the cracks of a porous matrix (e.g. floor slabs), then cracks would act as sorption bypass pathways.”*;
  - De veiligheidsfunctie R2 wordt gedurende de fase IV aangetast door de ontwikkeling van scheuren, bijvoorbeeld als gevolg van corrosie van de wapening. Volgens figuur 14-36 (uit hoofdstuk 14 [14]) laat de hydraulische geleidbaarheid van het beton overigens na 400jaar niet meer toe dat de waterstromingen afgeremd worden.
- De veiligheid van de berging na fase IV berust op slechts één parameter: de waarde van de sorptiecoëfficiënt van elke radionuclide in het cement.

De vraag naar om een overtuigende argumentatie rond de robuustheid van de componenten en hun onafhankelijkheid en complementariteit te leveren blijft onopgelost.

Diengevolge vragen FANC en Bel V NIRAS om in functie van de voorziene bronterm te argumenteren welk niveau van insluiting nog noodzakelijk is na fase III, en om te verklaren welke ‘defence in depth’ voor deze insluiting onontbeerlijk is om de veiligheid van de installatie te kunnen verzekeren en dit aan te tonen via de veiligheidsevaluaties.

## 2. Antwoord NIRAS

De argumentatie met betrekking tot gelaagde bescherming in functie van de voorziene bronterm en de daardoor benodigde aanpassingen in het hoofdstuk 2 van het veiligheidsrapport zijn in Fiche 12, §2.2 en §2.3 gegeven.

## 1. HS02-029 ‘Common mode failures’ en ‘common cause failures’

De ‘common mode failures’ en ‘common cause failures’ (zijnde de argumentatie rond de onafhankelijkheid van de componenten en veiligheidsfuncties) worden niet systematisch geïdentificeerd, noch besproken op een correcte wijze (§2.8.7.4):

- NIRAS identificeert « een mogelijke common cause failure » (waterinfiltratie door regen) en « een mogelijke common mode failure » (scheuren ten gevolge van corrosie), doch geeft niet aan of dit een exhaustieve lijst is (bv. aardbevingen?);
- De argumentatie rond de «mogelijke common cause failure » en de «mogelijke common mode failure » is niet duidelijk, noch overtuigend:
  - “De R3-performantie van betoncomponenten neemt niet onmiddellijk af nadat R2a/R2b is afgenomen (cf. verschil tussen fase III en IV), d.w.z. een progressieve afname van de performantie van de veiligheidsfunctie van één SSC. Dit omdat de R3 performantie gebaseerd is op de uitloging van betonmineraalfasen”;
  - “De R3-performantie die wordt geassocieerd met de niet gescheurde delen van de SSCs monoliet, modulebasis en funderingen neemt progressief af en trager af dan bij een gedegradeerd niet gescheurd beton omwille van het feit dat de uitloging van betonmineraalfasen in een gescheurd beton met intacte niet-gescheurde delen lager zal zijn wegens de lagere waterstroming doorheen de niet-gescheurde delen (hydraulische barrièrewerking van scheuren).”;
  - “In de veiligheidsevaluaties wordt de snelheid van afname van R3 voorzichtigshalve gemaximaliseerd door geen rekening te houden met de beperking van waterstroming (R2a/R2b) bij de snelheid van afname van R3 (zie ook paragrafen 14.5.2.5 en 14.9.2.5 van Hoofdstuk 14 [R2-15]).”;
  - “Concluderend met betrekking tot de R3-performantie, kan dus gesteld worden dat door gepaste conservatieve aannames in de veiligheidsevaluaties, een onafhankelijkheid kan ondersteld worden tussen de degradatie van R2a/R2b en R3.”.
- De invloed van een mogelijke bypass (gedegradeerde voegen, breuken, holtes,...) wordt niet besproken (tenzij om te argumenteren dat R3 in de intacte delen langzamer zal afnemen in de aanwezigheid van breuken).

FANC en Bel V vragen NIRAS om het onafhankelijke karakter van de componenten en de veiligheidsfuncties te argumenteren via het systematisch identificeren en evalueren van de mogelijke ‘common cause failures’ en ‘common mode failures’.

## 2. Antwoord NIRAS

De argumentatie met betrekking tot gelaagde bescherming en het onafhankelijke karakter van de componenten en de veiligheidsfuncties, zijn in Fiche 12 §2.3 gegeven. Ook de daardoor benodigde aanpassingen in het hoofdstuk 2 van het veiligheidsrapport zijn in Fiche 12 beschreven (§2.4).

## **1. HS02-030 Rechtvaardiging van het veiligheidsconcept ten overstaan van het verwachte gedrag van het bergingssysteem**

Op niveau van de barrières die gesitueerd zijn aan de basis van de modules (« module basis ») is bepaalde redundantie voorzien. De mogelijke trajecten van de radionucliden worden echter niet beschouwd bij de rechtvaardiging van het veiligheidsconcept. Bijvoorbeeld de mogelijkheid dat een preferentiële stromingsweg langs de interfaces tussen de componenten (bvb. voegen en holtes) zou kunnen bestaan wordt niet besproken. De verschillende maatregelen die op het niveau van het concept worden genomen teneinde op de lange termijn de risico's van een mogelijke wateraccumulatie te vermijden (“bath-tubbing”), zonder dat deze de performantie van het systeem zouden aantasten, worden niet gepreciseerd.

FANC en Bel V vragen NIRAS om het veiligheidsconcept te rechtvaardigen, en bijgevolg het niveau van defence in depth dat door het systeem wordt voorzien, in functie van de mogelijke trajecten die de radionucliden zouden kunnen afleggen. De identificatie van deze trajecten dient te steunen op een diepgaande kennis van de transportprocessen en de gebeurtenissen, processen en bouwspecificiteiten die dit transport kunnen beïnvloeden (zie vraag HS14-001).

## **2. Antwoord NIRAS**

Voor de ontwerpmaatregelen om wateraccumulatie op lange termijn te vermijden (badkuipeffect), zie Fiche 10 optimalisatie. Voor de ontwerpmaatregelen opdat de voegen van de modulebasis geen preferentiële stromingsweg zouden vormen, zie antwoord op de vraag HS05-001.

Voor de herziening van het veiligheidsconcept en rechtvaardiging ervan in functie van de mogelijke trajecten die de radionucliden zouden kunnen afleggen, zie §1.2 en §1.4.1 uit bijlage 1 aan antwoord op HS02-023.

Voor het niveau van defence in depth bij de verschillende mogelijke trajecten zie Fiche 12, §2.3.3.2 voor afzondering en Fiche 12, §2.3.3.4 voor insluiting.

## **3. Aanpassingen aan het veiligheidsrapport**

Aanpassing van HS02, §2.8.2-6 met een beschrijving van de bijlage 1 aan HS02-023.

Aanpassing aan HS02, §2.8.7 met argumentatie uit Fiche 12.



## 1. **HS02-031 Lijst van contextuele onzekerheden te beschouwen in de risicoanalyse**

Een duidelijk onderscheid dient gemaakt te worden tussen de contextuele onzekerheden die dienen behandeld te worden in de risicoanalyse (§2.9) en de onzekerheden die via de veiligheidsevaluatie behandeld worden (zie ook HS14-014).

Er wordt bijvoorbeeld aangegeven in §2.9.2 dat er een risico bestaat dat het veiligheidsconcept niet gerealiseerd zou kunnen worden als gevolg van een "belangrijke functie van een bepaalde SSC die niet zou kunnen worden gerealiseerd op basis van verder wetenschappelijk bewijs of implementatie".

De doenbaarheid van de realisatie van de installatie dient echter aangetoond te worden op het moment van de vergunningsaanvraag, en de onzekerheden die ermee gepaard gaan dienen behandeld te zijn in het kader van de veiligheidsevaluatie. Het risico dat belangrijke veiligheidsfuncties van het veiligheidsconcept niet realiseerbaar zouden zijn dient dus niet in beschouwing genomen te worden in de risicoanalyse.

FANC en Bel V vragen NIRAS om de lijst van contextuele onzekerheden die beschouwd worden in het kader van de risicoanalyse te herzien, teneinde:

- de vraag HS14-014 aangaande "contextuele onzekerheden" in beschouwing te nemen;
- de contextuele onzekerheid met betrekking tot het gebrek aan resources en/of financiële middelen toe te voegen;
- de onzekerheden met betrekking tot de doenbaarheid te behandelen in het kader van de veiligheidsevaluatie.

## 2. **Antwoord NIRAS**

De §2.9.2 van het veiligheidsrapport [HS02] zal verwijderd worden.

De lijst van contextuele onzekerheden uit §2.9 van het veiligheidsrapport [HS02] zal als volgt aangepast worden.

### 2.1.1. **Wijzigingen als gevolg van vraag HS14-014**

Volgende ontbrekende onzekerheid wordt toegevoegd in §2.9: Onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren met als mogelijk gevolgen het vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie.

Volgende onzekerheden worden toegevoegd ter vervanging van de gegevens uit §2.9:

- Verlies van knowhow met als mogelijke gevolgen slechte uitvoering van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie.
- Wijzigingen van de activiteiten in de omgeving van de bergingsinrichting met als mogelijk gevolg dat het ontwerp van sommige installaties niet meer aangepast zou zijn aan de omgevingsrisico's.

- Nieuwe wetenschappelijke inzichten over de omgevingsrisico's en kunstmatige barrières met als mogelijk gevolg dat het ontwerp van de berging niet meer aangepast zou zijn aan de risico's.
- Wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A afval met als mogelijk gevolg een wijziging in het aantal benodigde modules
- Wijzigingen in het veiligheidskader met als mogelijk gevolg dat de bergingsinrichting niet langer in overeenstemming is met dit kader.
- Gebrek aan resources en/of financiële middelen met als mogelijke gevolgen slechte uitvoering van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie (geen continuïteit van de functies van de implementerende instantie).

Volgende gegevens worden verwijderd uit §2.9 omdat het voorwaarden zijn en geen contextuele onzekerheden en de ermee verbonden contextuele onzekerheden toegevoegd worden:

- Nationaal en lokaal gesteunde beslissing voor oppervlakteberging in Dessel als optie voor het langetermijnbeheer
- Veiligheid als essentiële voorwaarde voor maatschappelijke steun.
- Behoud van nucleaire expertise en archivering/overdracht/verdeling van informatie over de aanwezigheid van de installatie.
- BBT en feedback uit ervaring
- Activiteiten in de omgeving van de bergingsinstallatie
- Integratie van de bergingsinstallatie en de site in het landschap.
- Wijzigingen radiologische bronterm en vermindering van het aantal modules.
- Bergingsontwerp voor 34 modules.
- Vergunningen vereist voor een volledige implementatie van het veiligheidsconcept.

Volgende contextuele onzekerheid wordt verwijderd in §2.9: Kennis van de site – wijzigingen in huidige activiteiten rond de bergingsite waardoor de hydrogeologie beïnvloed wordt.

#### **2.1.2. Toevoegen contextuele onzekerheid gebrek aan resources en/of financiële middelen**

De contextuele onzekerheid wordt toegevoegd (zie §2.1).

#### **2.1.3. Behandeling van onzekerheden tot de doenbaarheid in de veiligheidsevaluaties**

Voor de behandeling in de veiligheidsevaluaties van de onzekerheden die gepaard gaan met de doenbaarheid van realisatie van de installatie verwijzen we naar het antwoord op de vraag HS14-099.

#### 2.1.4. Besluit

Op basis van dit antwoord zal volgende lijst van contextuele onzekerheden in §2.9 van de revisie van het veiligheidsrapport vermeld worden:

- 1 Onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren met als mogelijk gevolgen het vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie.
- 2 Verlies van knowhow met als mogelijke gevolgen slechte uitvoering van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie.
- 3 Wijzigingen van de activiteiten in de omgeving van de bergingsinrichting met als mogelijk gevolg dat het ontwerp van sommige installaties niet meer aangepast zou zijn aan de omgevingsrisico's.
- 4 Nieuwe wetenschappelijke inzichten over de omgevingsrisico's en kunstmatige barrières met als mogelijk gevolg dat het ontwerp van de berging niet meer aangepast zou zijn aan de risico's.
- 5 Wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A afval met als mogelijk gevolg een wijziging in het aantal benodigde modules.
- 6 Wijzigingen in het veiligheidskader met als mogelijk gevolg dat de bergingsinrichting niet langer in overeenstemming is met dit kader.
- 7 Gebrek aan resources en/of financiële middelen met als mogelijke gevolgen slechte uitvoering van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie.

### 3. Aanpassingen aan het veiligheidsrapport

Zie antwoord in punt 2.

### 4. Referenties

- [HS02] Veiligheidsrapport Hoofdstuk 2 – Veiligheidsbeleid, -strategie en –concept, NIROND-TR 2011-02 N Versie 2, September 2012

## 1. HS02-032 Systematische risicoanalyse

De risicoanalyse (§2.9) identificeert de mogelijke veranderingen in de « bestaande gegevens » , doch de mogelijke consequenties op de veiligheid, de geassocieerde risico's en het actieplan teneinde ze te verminderen worden niet op systematische wijze beschreven. Een serie van punten wordt naar voor gebracht zonder dat duidelijk is of het gaat om een risico of een maatregel. Bovendien beperkt het voorgestelde “plan van aanpak” zich tot een toekomstige analyse van de afwijkingen wanneer deze zich zullen voordoen.

FANC en Bel V vragen NIRAS om op een systematische en duidelijke manier de risico's te analyseren en om volgende elementen te onderscheiden:

- de identificatie van de contextuele onzekerheid (bv. vroegtijdige sluiting of verlaten van de site, verlies van knowhow,...) en de appreciatie van de plausibiliteit;
- de evaluatie van de consequenties (bv. radiologische impact, ...);
- de bepaling van de risico's geassocieerd aan de contextuele onzekerheid;
- indien mogelijk de maatregelen die kunnen genomen worden teneinde het risico te verminderen.

FANC en Bel V vragen eveneens om de relaties tussen de risico's te identificeren (bijvoorbeeld tussen de risico's geassocieerd aan een gebrek aan resources en deze geassocieerd aan een vroegtijdig sluiten of verlaten van de site).

## 2. Antwoord NIRAS

We vertrekken van de gewijzigde lijst van contextuele onzekerheden, zoals geïdentificeerd en beschreven in het antwoord op de vraag HS02-031.

Bij de evaluatie van de consequenties in termen van radiologische impact gaan we in dit antwoord uit van de resultaten voor de inventaris 2008 en de scenario's zoals gepresenteerd in het veiligheidsrapport ingediend bij de vergunningsaanvraag in 2013. Bij de herziening van het veiligheidsrapport zullen de resultaten gegeven worden voor de inventaris 2013 en de herziene scenario's.

Onderstaande punten zullen toegevoegd worden aan sectie §2.9 van het veiligheidsrapport.

Bij de appreciatie van de plausibiliteit wordt een kwalitatieve inschatting gemaakt:

- 1 laag,
- 2 middelmatig,
- 3 aannemelijk.

Voor de evaluatie van radiologische consequenties baseren we ons op relatieve verhoging t.o.v. de dosisbeperking bij verwachte evolutie of de referentiewaarde voor onvrijwillige menselijke intrusies:

- 1 Laag = lager of gelijk aan de dosisbeperking of referentiewaarde

2 Middelmatig = tot een factor 10 hoger dan de dosisbeperking of referentiewaarde

3 Hoog = meer dan een factor 10 hoger dan de dosisbeperking of referentiewaarde

We hanteren de volgende risicomatrix:

		Plausibiliteit			
		Risicoklasse	Laag	Middelmatig	Aannemelijk
Consequenties	Laag		D	D	D
	Middelmatig		D	C	B
	Hoog		C	B	A

De risicoklasse A is onaanvaardbaar: het systeem dient opnieuw bestudeerd te worden en aanvullende maatregelen dienen gedefinieerd te worden.

De risicoklasse B is ongewenst.

- Extra maatregelen om het risico te beperken zijn vereist.
- In de procedures voor periodieke herziening dient voorzien te worden dat nagegaan wordt of extra maatregelen kunnen genomen worden.

De risicoklasse C is aanvaardbaar, maar in de procedures voor periodieke herziening dient voorzien te worden dat nagegaan wordt of extra maatregelen kunnen genomen worden. Extra maatregelen om het risico te verminderen zijn niet vereist, maar wel wenselijk indien ze eenvoudig zijn.

De risicoklasse D is aanvaardbaar. Er zijn geen extra maatregelen vereist maar wel wenselijk indien ze eenvoudig zijn.

## 2.1. Onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren

De onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren, namelijk de onzekerheid over continuïteit van de functies van de betrokken instanties.

### Mogelijke gevolgen of risico's:

- vroegtijdig verlaten van de berging en
  - het slechts gedeeltelijk bergen van het daartoe voorziene afval
  - niet of slechts partieel aanleggen van de afdekking,
  - niet of slechts partieel sluiten van de berging
- het vroegtijdig sluiten van de installatie,
- “loss of records”
- vroegtijdige onvrijwillige menselijke intrusie
- verlies van knowhow (zie §2.2)
- gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.7)

### Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de

- exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid,
- financieringsmechanismen van NIRAS voor het langetermijnbeheer van het afval (Fonds beheer op Lange Termijn impliceert dat de nodige financiële middelen beschikbaar zijn om de kosten van het beheer van radioactief afval op lange termijn te dekken, zie HS11 §11.2.5.2 blz.11-4),
- lokale maatschappelijke verankering van het bergingsproject waardoor er lokale maatschappelijke controle is op NIRAS en op de berging,
- controle op NIRAS door de veiligheidsautoriteit,
- vergelijkbare tijdsspanne (50 jaar) met bestaande nucleaire klasse I inrichtingen (40 à 50 jaar),

is de geschatte plausibiliteit van vroegtijdig verlaten van de berging of “loss of records” door onzekerheid gelinkt aan sociaal politieke factoren en aan continuïteit van implementerende instantie tijdens fases Ia, laag. Het vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie kan enkel optreden indien de volgende voorwaarden vervuld zijn:

- Implementerende instantie niet langer functioneel, ondanks het feit dat het gaat om een *openbare instelling*,
- Fonds op Lange Termijn waaruit middelen zouden verdwijnen of dat niet voor de bestemde doelen gebruikt zou worden, ondanks alle voorziene maatregelen (zie HS11 §11.2.5.2 blz.11-4)
- Een gelijktijdige afwezigheid van alle controlefuncties op NIRAS:

- (federale) voogdijoverheid,
- lokale overheid en maatschappelijke context,
- veiligheidsautoriteit.

Rekening houdend met voorgaande elementen maar ook met de tijdsschalen voor fases Ib, II, III (start van fase Ib over ongeveer 50 jaar, einde fase III over ongeveer 350 jaar) kennen we een middelmatige plausibiliteit toe aan het verlaten van de installatie vanaf fase Ib.

Evaluatie van de consequenties: Indien het vroegtijdig sluiten correct uitgevoerd wordt en de installatie niet verlaten wordt, zijn er geen extra consequenties.

Bij vroegtijdig verlaten van de site of “loss of records” kunnen er radiologische consequenties op lange termijn zijn: enerzijds kunnen onvrijwillige menselijke intrusies vroeger optreden, anderzijds kan het verlaten van de berging aanleiding geven tot afwezigheid van SSCs (niet of slechts partieel aanleggen van de afdekking, niet of slechts partieel sluiten van de berging) of snellere degradatie van de aarden afdekking (gebrek aan actief onderhoud van de afdekking) waardoor de geleidelijke uitloging versnelt.

- De consequenties van vroegtijdige onvrijwillige menselijke intrusies (referentiewaarde is 3 mSv(/a)) worden in §11.4 van het veiligheidsrapport behandeld.
  - Op het einde van fase Ia (50 jaar) bedraagt de maximale impact enkele honderden mSv.
  - Tijdens fases Ib en II (50 – 100 jaar) bedraagt de maximale impact enkele tientallen mSv.
  - Tijdens fase III bedraagt (100 – 350 jaar) bedraagt de maximale impact enkele mSv.
- De mogelijke consequenties bij een uitlogingsscenario t.g.v. het vroegtijdig verlaten van de site (dosisbeperking 0,1 mSv/a).
  - De ingeschatte grootteorde van de impact is enkele mSv

Bepaling van het risico:

- Vroegtijdige sluiting: risicoklasse D
- Vroegtijdig verlaten van de site of “loss of records” en niet-sluiten:
  - Fase Ia: risicoklasse C
  - Fase Ib + II + III: risicoklasse C

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Het plaatsen van de afdekking op een tumulus zo snel als redelijkerwijs mogelijk nadat deze met afval gevuld is.
- Het plaatsen van monolieten met hogere activiteitsconcentratie onderaan in de modules.

- Verderzetten van processen om blijvende lokale en nationale maatschappelijke steun te hebben voor de berging. Eén van de maatschappelijke voorwaarden voor de berging is het behoud van nucleaire expertise en archivering/overdracht/verdeling van informatie over de bergingsinrichting.
- De toelating tot sluiting die van de veiligheidsautoriteit moet verkregen worden.

## 2.2. Verlies van knowhow

### Mogelijke gevolgen of risico's:

- slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten
- vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie

Dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.7).

### Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met

- hoge graad aan werkzaamheden tijdens fase Ia, Ib en II,
- de exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid,
- de opdracht van NIRAS om in samenspraak met de afvalproducenten programma's te bepalen voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie,
- de lokale maatschappelijke verankering van het bergingsproject waardoor er lokale maatschappelijke controle is op de berging,
- de controle door de veiligheidsautoriteit,
- de maatregelen genomen met betrekking tot organisatiestructuur, beheer van nucleaire veiligheid, personeelsbezetting en deskundigheid (HS3), opleiding conform de vereisten voor klasse I inrichtingen (artikels 4 en 6 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 14 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- het mee opnemen van toekomstige activiteiten (exploitatie, plaatsen afdekking, sluiting) in het veiligheidsrapport,
- de vergelijkbare tijdsspanne (50 tot 100 jaar) met bestaande nucleaire klasse I inrichtingen (40 à 50 jaar),

is de plausibiliteit van verlies van knowhow leidend tot het slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie tijdens fases Ia, Ib en II laag.

Rekening houdend met voorgaande elementen maar ook met de tijdsschalen voor fase III (start over ongeveer 100 jaar, einde over ongeveer 350 jaar) en de lage intensiteit qua werkzaamheden na sluiting kennen we een middelmatige plausibiliteit toe tijdens fase III.



Voor het behoud op lange termijn van de nodige expertise dienen volgende uitdagingen het hoofd geboden worden: lange tijdsperiode, lagere intensiteit qua exploitatie-activiteiten tijdens fase III, in de toekomst een mogelijke daling van tewerkstelling in de nucleaire brandstofcyclus in België (ontmanteling Belgonucleaire en FBFC, wet van 31 januari 2003 houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor nucleaire elektriciteitsproductie). Zoals beschreven in §3.4.5 van het veiligheidsrapport streeft NIRAS naar een continuïteit in kennis via het expliciet voorzien van

- aangepaste expertise voor de verdere realisatie van de bergingsinstallatie en
- informatieoverdracht naar toekomstige generaties.

#### Evaluatie van de consequenties:

Indien het vroegtijdig sluiten correct uitgevoerd wordt en de installatie niet verlaten wordt, zijn er geen extra consequenties.

Bij vroegtijdig verlaten van de site of slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten kunnen er radiologische consequenties op lange termijn zijn: enerzijds kunnen onvrijwillige menselijke intrusies mogelijk vroeger optreden, anderzijds kan het verlaten van de berging aanleiding geven tot afwezigheid van SSCs (niet of slechts partieel aanleggen van de afdekking, niet of slechts partieel sluiten van de berging) of snellere degradatie van de aarden afdekking (gebrek aan actief onderhoud van de afdekking) waardoor de geleidelijke uitloging versnelt. Voor de mogelijke radiologische consequenties verbonden aan deze scenario's, zie §2.1.

#### Bepaling van het risico:

- Vroegtijdige sluiting: risicoklasse D
- Slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten en vroegtijdig verlaten van de site:
  - Fase Ia: risicoklasse C
  - Fase Ib + II + III: risicoklasse C

#### Maatregelen om het risico te verminderen:

Zie §2.1 met daaraan toegevoegd:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A afval te Dessel.
- Uitvoeren van monitoring activiteiten tijdens fases Ia, Ib, II, III.

### 2.3. Wijzigingen aan activiteiten in de omgeving van de bergingsinrichting

#### Mogelijke gevolgen of risico's:

- Onverwachte maar mogelijke evoluties of gebeurtenissen in de omgeving zodat het ontwerp van sommige installaties niet meer aangepast zou zijn aan de omgevingsrisico's – dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.7).

#### Appreciatie van de plausibiliteit:

##### Rekening houdend met:

- de exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid,
- de lokale maatschappelijke verankering van het bergingsproject waardoor er maatschappelijke controle is op de berging en de omgeving,
- de controle door de veiligheidsautoriteit,
- de ontwerpbasis die gekend is, gedocumenteerd, gearchiveerd en bijgehouden wordt (Hoofdstukken 7 en 8 van het veiligheidsrapport) om een beeld te geven van de bestaande installatie conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 7 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- de ontwerpbasis die beoogt dat voorziene bedrijfsincidenten en ongevallen worden voorkomen conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 7 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- de voorvallen van externe oorsprong die werden aangepast aan de berging en via het veiligheidsrapport (Hoofdstuk 8) goedgekeurd worden door veiligheidsautoriteit conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 7 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- de bergingsinstallatie die met marge ontworpen wordt zodat ze, zoveel als mogelijk weerstaat aan alle redelijkerwijze te voorziene externe gebeurtenissen, conform aan de FANC leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met externe oorsprong bij het ontwerp [3]
- de periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 14 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- de omkeerbaarheid die door de monolieten voorzien is in het bergingsconcept,
- is de plausibiliteit laag dat het ontwerp van de berging niet meer aangepast zou zijn aan de omgevingsrisico's bij onverwachte maar mogelijke evoluties of gebeurtenissen in de omgeving van de bergingssite.

#### Evaluatie van de consequenties:

##### Rekening houdend met:

- de maatregelen getroffen worden om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu zo laag

als redelijkerwijze mogelijk te houden – doelstelling om gevolgen van ongevallen te beperken indien ze niet kunnen worden voorkomen,

- dat geen van de geïdentificeerde, onverwachte maar mogelijke evoluties of gebeurtenissen met een externe oorsprong onaanvaardbare radiologische gevolgen hebben (zie OD-061),

schatten we de eventuele consequenties als middelmatig tot laag in.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D.

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Verderzetten van processen om blijvende lokale en nationale maatschappelijke steun te hebben voor de berging. Eén van de maatschappelijke voorwaarden voor de berging is het behoud van nucleaire expertise en archivering/overdracht/verdeling van informatie over de aanwezigheid van de bergingsinrichting.
- Periodieke herziening van de activiteiten in de omgeving en van de ontwerpbasis.

#### **2.4. Nieuwe wetenschappelijke inzichten over omgevingsrisico's en kunstmatige barrières**

Mogelijke gevolgen of risico's:

- ontwerp van berging niet aangepast aan de risico's

Dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.7).

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de:

- het beheer van onzekerheden,
- het systeem voor analyse van voorvallen en ervaringsfeedback over de uitbating (Hoofdstuk 3) conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 11 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 14 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- toepassing van best beschikbare technieken bij het ontwerp en constructie,

is de plausibiliteit laag dat de berging niet aangepast zou zijn aan de risico's bij nieuwe wetenschappelijke inzichten.

Evaluatie van de consequenties:

Rekening houdend met de maatregelen die getroffen worden om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu zo laag als redelijkerwijze mogelijk te houden – doelstelling om gevolgen van ongevallen te beperken indien ze niet kunnen worden voorkomen, schatten we de eventuele consequenties als middelmatig tot laag in.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D.

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A afval te Dessel.
- Beheer van onzekerheden.
- Periodieke herzieningen.
- Beheer van de ervaringsfeedback.

## 2.5. Wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A afval

Mogelijke gevolgen of risico's:

- wijziging in het aantal benodigde modules

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de:

- exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid,
- afvalbeheeropdrachten van NIRAS stroomopwaarts aan de berging, in het bijzonder:
  - het opmaken en up-to-date houden van een kwalitatieve en kwantitatieve inventaris van het radioactieve afval in België, met inbegrip van productievoorzichten inzake toekomstig afval (technische inventaris),
  - het opstellen van acceptatiecriteria,
  - het erkennen van systemen voor de opslag, verwerking en conditionering van radioactief afval en apparatuur waarmee de radiologische kenmerken van het afval kunnen worden bepaald,
  - de analyse van de naleving van acceptatiecriteria van het geconditioneerde en niet-geconditioneerde afval en de definitieve keuring ervan,
  - het verzamelen en evalueren van alle informatie die nodig is om programma's op te stellen voor het beheer van afval afkomstig van ontmantelingsactiviteiten,
  - het goedkeuren van ontmantelingsprogramma's,
  - het opstellen van een repertorium van de lokalisatie en de staat van alle nucleaire installaties en alle plaatsen die radioactieve stoffen bevatten, de raming van de kost van hun ontmanteling en sanering, de evaluatie van het bestaan en de toereikendheid van provisies voor de financiering van deze operaties, toekomstig of lopend, en de vijfjaarlijkse bijwerking van deze inventaris (inventaris van nucleaire passiva)
- controle door de veiligheidsautoriteit op de berging en op vergunde nucleaire inrichtingen die afval produceren dat na conditionering tot categorie A behoort,

- vereiste dat nucleaire exploitanten bij een nieuwe nucleaire vergunningsaanvraag de verbintenis moet aangaan om zich in te schrijven bij NIRAS en met deze instelling een overeenkomst af te sluiten betreffende het beheer van het geheel van de radioactieve afvalstoffen (artikels 6, 7 en 8 van ARBIS [2]),
- voorzichtige hypothesen qua hoeveelheid en activiteit van de totaliteit van het categorie A afval in de operationele limieten en bergingslimieten die een bovengrens vormen van het bereik waarbinnen operationele limieten kunnen wijzigen om rekening te houden met toekomstige veranderingen van de inventaris – operationele limieten dienen steeds de dosisbeperking van 0,1 mSv/a te respecteren,
- periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 14 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- mogelijkheid tot uitbreiding en wijziging van de bergingsinrichting en tot aanvullende voorwaarden en wijziging van de vergunningsvoorwaarden (artikels 12 en 13 van het ARBIS [2]),
- de reserve qua vooropgesteld aantal modules (zie antwoord op vraag HS02-022),
- is de plausibiliteit laag dat het aantal benodigde modules zal gewijzigd worden..

Evaluatie van de consequenties:

Rekening houdend met:

- De concentratielimieten per collo,
- De concentratielimieten per module.
- De sommatieregels zodat de heterogeniteit op niveau van monolieten, modules, groepen van de modules en berging beheerd kan worden (de sommatieregels zijn gebaseerd op OLI en dus op de inventaris en houden rekening met de hypothesen voor de uitlogingsscenario's),

schatten we de eventuele consequenties als laag in.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D.

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A afval te Dessel.
- Beheer van onzekerheden
- Periodieke herzieningen
- Beheer van de ervaringsfeedback

## **2.6. Wijzigingen veiligheidskader**

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Inventaris en/of ontwerp van sommige installaties niet aangepast aan de risico's.

Dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.7).

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de:

- exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid,
- robuustheid van het ontwerp,
- periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (artikel 14 van het KB van 30/11/2011 [1]),
- internationale aanbevelingen van IAEA, NEA en ICRP die proactief reeds in rekening gebracht werden, naast de leidraden van het FANC en wetgeving (KBs, wetten),
- controle door de veiligheidsautoriteit,
- is de plausibiliteit laag dat door wijzigingen aan het veiligheidskader, de inventaris en het ontwerp van de berging niet aangepast zouden zijn aan de risico's.

Evaluatie van de consequenties:

Er wordt geen toename van radiologische gevolgen verwacht als gevolg van wijzigingen van het veiligheidskader.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D.

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A afval te Dessel, inclusief proactieve opvolging van nationale en internationale veiligheidsaanbevelingen.

## **2.7. Gebrek aan resources en/of financiële middelen**

Mogelijke gevolgen of risico's:

- het slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie, of "loss of records"
- verlies van knowhow (zie §2.2)
- geen rekening kunnen houden met wijzigingen aan activiteiten in de omgeving van de bergingssite (zie §2.3)
- geen rekening kunnen houden met nieuwe wetenschappelijke inzichten over omgevingsrisico's en kunstmatige barrières (zie §2.4)
- geen rekening kunnen houden met wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A afval (zie §2.5)
- geen rekening kunnen houden met wijzigingen veiligheidskader (zie §2.6).

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met

- de exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid,
- de financieringsmechanismen van NIRAS voor het langetermijnbeheer van het afval (Fonds beheer op Lange Termijn impliceert dat de nodige financiële middelen beschikbaar zijn om de kosten van het beheer van radioactief afval op lange termijn te dekken, zie HS11 §11.2.5.2 blz.11-4),
- het mee opnemen van toekomstige activiteiten (exploitatie, plaatsen afdekking, sluiting) in het veiligheidsrapport,
- is de geschatte plausibiliteit dat door gebrek aan resources en/of financiële middelen toekomstige activiteiten slecht uitgevoerd zouden worden, er vroegtijdig gesloten zou worden of de installatie vroegtijdig verlaten zou worden tijdens fase Ia laag. Het vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie kan enkel optreden indien alle volgende voorwaarden vervuld zijn:
- Implementerende instantie niet langer functioneel, ondanks het feit dat het gaat om een *openbare instelling*,
- Fonds op Lange Termijn waaruit middelen zouden verdwijnen of dat niet voor de bestemde doelen gebruikt zou worden, ondanks alle voorziene maatregelen (zie HS11 §11.2.5.2 blz.11-4)
- Een gelijktijdige afwezigheid van alle controlefuncties op NIRAS:
  - (federale) voogdijoverheid,
  - lokale overheid en maatschappelijke context,
  - veiligheidsautoriteit.

Rekening houdend met voorgaande elementen maar ook met de tijdsschalen voor fase III (start van fase III over ongeveer 100 jaar, einde over ongeveer 350 jaar) en de lage intensiteit qua werkzaamheden (en dus beperkte benodigde middelen) na sluiting kennen we een middelmatige plausibiliteit toe aan het gebrek aan resources en/of financiële middelen tijdens fase III.

Rekening houdend met voorgaande elementen maar ook met de tijdsschalen voor fases Ib, II, III H (start van fase Ib over ongeveer 50 jaar, einde fase III over ongeveer 350 jaar) kennen we een middelmatige plausibiliteit toe aan het verlaten van de installatie vanaf fase.

Evaluatie van de consequenties: Zie §2.2, § 2.3, §2.4, §2.5 en §2.6

Bepaling van het risico:

- Slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten en vroegtijdig verlaten van de site:
  - Fase Ia: risicoklasse C
  - Fase Ib + II + III: risicoklasse C

- Anders: risicoklasse D

Maatregelen om het risico te verminderen:

Om het risico te verminderen:

- Verderzetten van processen om blijvende lokale en nationale maatschappelijke steun te hebben voor de berging.
- Financieel beheer door de centrale administratie NIRAS (zie hoofdstuk 3, §3.8.10) en financiering van de berging via een specifiek Fonds op Lange Termijn (HS11 §11.2.5.2 blz.11-4).

### **3. Aanpassing aan het veiligheidsrapport**

Zie antwoord in §2.

### **4. Referenties**

- [1] 30 November 2011 – Koninklijk besluit houdende veiligheidsvoorschriften voor de kerninstallaties, Belgische Staatsblad 21/12/2011 Ed.5
- [2] Koninklijk Besluit van 20 juli 2001 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen, Belgisch Staatsblad 30/08/2001
- [3] FANC nota 008-241-N herz.2 , Oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van kortlevend laag- en middelradioactief afval – Leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met een externe oorsprong bij het ontwerp van de bergingsinstallatie, Juni 2010



## 1. HS02-033: Synthese van argumenten – Conclusies (§2.10)

De synthese van de argumenten focust op de veiligheidsfuncties die bijdragen aan de insluiting na de sluiting van de installatie (R2 en R3) en behelst dus niet de operationele veiligheid, noch de functie van 'afzondering'. Bovendien bestaat deze synthese vooral uit een lijst van de belangrijkste karakteristieken en potentiële degradatieprocessen en gebeurtenissen, risico's geassocieerd aan de constructie, ontwerpmaatregelen en operationele maatregelen, hypothesen van de veiligheidsevaluatie en elementen van het toekomstig onderzoeksprogramma die aan deze veiligheidsfuncties geassocieerd zijn. Sommige van de voorgestelde elementen zijn geen veiligheidsargumenten, zoals bijvoorbeeld *"Het beton zal worden hersteld indien uitvoerbaar. Indien de herstelling aan het beton niet uitvoerbaar is, zullen specifieke ontwerp of operationele maatregelen worden genomen, b.v. versterken van de later te bouwen laag doorlatende lagen en/of de opvulmaterialen, of de veiligheidsmarges zullen worden gebruikt, bijvoorbeeld R1 veiligheidsfunctie van het afval"*.

Daarenboven werden meerdere elementen die aangegeven zijn in het document "TOC" [6] niet opgenomen in deze synthese.

FANC en Bel V vragen om de synthese van de argumenten te herzien op een dusdanige manier dat de verschillende elementen die aan bod komen in het document "TOC" [6] worden hernomen en dat systematisch nagegaan wordt dat de argumenten weldegelijk valabele veiligheidsargumenten zijn.

## 2. Antwoord NIRAS

### 2.1. Synthese van de veiligheidsargumenten

De veiligheid van de berging zal uiteindelijk berusten op:

- een veiligheidsstrategie die in overeenstemming is met de radiologische risico's verbonden aan het afval,
- een ontwerp van de berging dat in gelaagde bescherming voorziet en geoptimaliseerd werd qua veiligheid,
- veiligheidsevaluaties,
- verificatie dat de componenten van de berging en het afval dat geborgen wordt in overeenstemming zijn en blijven met de veiligheidsstrategie, het ontwerp en de veiligheidsevaluaties.

#### 2.1.1. Controles op het afval

Afval dat in aanmerking komt voor oppervlakteberging moet aan strikte voorwaarden en criteria voldoen, zowel qua radiologische als chemische inhoud. Meerbepaald moet de activiteit van langlevende radionucliden aanwezig in het afval voor oppervlakteberging zo klein als mogelijk zijn. Deze beperking wordt als volgt toegepast:

- Criteria qua hoeveelheid splijtstoffen en kritikaliteit

- Activiteitsbeperking via een systeem van limieten op verschillende niveaus (afvalcollo, monoliet, module, groepen van modules en tumulus)
- Wering van Ra/Th uit de berging

Het afval moet ook fysische en chemische eigenschappen bezitten die het vrijkomen van radionucliden uit het afval beperken en die geen problemen kunnen geven wat betreft stabiliteit of performantie van barrières. Daartoe worden conformiteitscriteria opgelegd in verband met cellulose, chloride, sulfaten, alkali-silica reacties en vertraagde ettringietvorming. Daarnaast worden putrifieerbare stoffen en complexerende agentia in het afval zoveel als mogelijk beperkt. Gevolgen van menselijke fouten worden bovendien geminimaliseerd omdat de afvalkarakteristieken door meerdere personen en diensten bekeken worden in het afvalacceptatiesysteem (erkenningen, afvalacceptatie) en daarna in het kader van de productie van monolieten en van de eigenlijke berging.

Vooraleer afval te bergen, zal er geverifieerd worden dat er voldaan is aan de van toepassing zijnde conformiteitscriteria:

- Vooraleer afvalcolli in aanmerking kunnen komen voor de berging, en dus afgevoerd kunnen worden naar de installatie voor productie van monolieten (IPM) voor conditionering tot monolieten, moet er voor de afvalfamilie waartoe deze colli behoren een conformiteitsdossier opgesteld worden waarin aangetoond wordt dat dit afval a priori aanvaardbaar is.
- Er wordt een opvulplan van de berging opgesteld in verschillende fases voor de start van fabricatie van de monolieten. Daarbij wordt een volledige virtuele vulling van vier modules gemaakt, inclusief de plaats van de monolieten in de berging en welke colli gecombineerd worden in één monoliet.
  - De input van het opvulplan zijn de afvalcolli die via een conformiteitsdossier in aanmerking komen voor de berging.
  - In het opvulplan wordt er rekening gehouden met beperkingen van activiteit en van heterogeniteit over monolieten, modules, groepen van modules en tumulus om de langetermijnveiligheid te verzekeren.
  - Er wordt ook rekening gehouden met beperkingen qua dosistempo op contact van monolieten en de bovenste laag van monolieten in iedere module tijdens zijn opvulling om de operationele veiligheid te verzekeren.

Bij het fabriceren van de monolieten en het bergen van het afval zal de overeenstemming met het opvulplan en de conformiteitscriteria worden nagegaan. Er zijn verificaties en controles voorzien tijdens de verschillende stappen in het proces van productie van caissons, transport van colli naar IPM, productie van monolieten, plaatsen in de outputbuffer van IPM, destockage uit de outputbuffer van IPM en transport naar de berging. Fysische controles op de afvalcolli bestaan onder andere uit identificatie, visuele controle, gewichtscontrole, controle op oppervlaktebesmetting en dosisdebiet, en aanvullende destructieve en niet-destructieve testen.

## 2.1.2. Performante barrières rond het afval

De bergingscomponenten rondom het afval implementeren de veiligheidsstrategie en zijn compatibel met het afval. De veiligheidsstrategie bestaat erin het afval af te zonderen, zodat contact tussen radioactief afval en de biosfeer voorkomen wordt, en om de radionucliden in het afval in te sluiten binnen de berging, zodat het vrijkomen van radionucliden belet en beperkt wordt.

### 2.1.2.1. Radiologische bescherming tijdens de operationele periode

Tijdens de operationele periode zitten de radionucliden in de monolieten ingesloten door de karakteristieken van het afval en door de opvulmortel en caisson. Externe straling wordt beperkt door verschillende afschermingen rondom het afval: de betonnen caisson, de transportcontainer, betonnen afschermingsplaten die bovenop monolieten geplaatst worden in de berging en door de modules. De modulewanden en de combinatie structurele topplaat + afschermingsplaten hebben een dikte van ongeveer 70 cm. Blootstelling door externe straling wordt ook beperkt door begrenzingen op het dosisdebiet op contact van individuele monolieten en gemiddeld per laag van monolieten binnen de modules. Blootstelling wordt ten slotte beperkt door maximalisatie van de afstand tussen de bron en werknemers en beperkingen van interventietijd, onder andere door een zonering binnen de bergingsinrichting en het toepassen van afstandsbediende processen/handelingen. De bevolking wordt beschermd door de afstand van 70 m tussen de modules en de perimeter van de site, en door de begrenzing van het dosisdebiet gemiddeld per laag van monolieten binnen de modules. Het afval wordt afgezonderd door het beperken van de toegang tot de site en de fysieke barrières rondom het afval, met name de modules en de caissons.

### 2.1.2.2. Radiologische veiligheid op de lange termijn

Op lange termijn steunt de veiligheid op de (passieve) insluitings- en afzonderingscapaciteit van de bergingsinstallatie.

De **strategie voor afzondering**, gedefinieerd als het resultaat van de acties met het oog op het voorkomen van contact tussen radioactief afval en de biosfeer, omvat:

- Beperken van de toegang tot de site tot het opheffen van nucleaire reglementaire controle na 350 jaar.
- Toepassing van activiteitslimieten zodat de radiologische impact bij accidenteel contact tussen het radioactief afval en mens en omgeving na het opheffen van de nucleaire reglementaire controle aanvaardbaar zal zijn.
- Het voorzien van meerdere duurzame intrusiebarrières rond het afval, *i.e.* componenten met eigenschappen die afzondering bevorderen door hun hoeveelheid/dikte van barrièremateriaal, samenstelling en mechanische eigenschappen. Het veiligheidsconcept beschouwt de invulling van veiligheidsfunctie II “Beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie” in termen van kunstmatige barrières op vier niveaus:

- een robuust ontworpen afdekking, bestaande uit bodem, steen-, zand- en kleilagen met een totale dikte van 4,45 m en een 70 cm dikke ondoorlatende topplaat uit vezelversterkt beton
- moduledak uit gewapend beton met een dikte van 40 cm
- modulewanden uit gewapend beton met een dikte van 70 cm
- een caisson uit gewapend beton (wanddikte 12 cm), die, eens gevuld met afval en opvulmortel, een massieve monoliet vormt

Bijkomend wordt door opvulling van de inspectieruimten en inspectiegalerijen intrusie van onderuit vermeden.

Na het stopzetten van de toegangscontrole op 350 jaar kan een direct contact tussen het afval en de biosfeer niet uitgesloten worden. Oorzaken van een direct contact kunnen in principe zowel een onopzettelijke menselijke intrusie zijn (zoals bv. graaf- of boorwerken doorheen het barrièremateriaal), als het bloot komen te liggen van het afval. Door het erosieresistente ontwerp van de afdekking in zijn geheel, en de ongevoeligheid voor erosie van de vezelversterkte topplaat in het bijzonder, wordt niet verwacht dat het afval bloot zal komen te liggen door erosie voor 2000 jaar. Enkel in het zeer onwaarschijnlijke geval van een val van een groot passagiersvliegtuig op de bergingsinstallatie zou er, door de diepte van de impactkrater, een direct contact mogelijk zijn tussen afval en biosfeer. De veiligheidsevaluatie bevestigt de aanvaardbaarheid van de impact voor zowel de scenario's van onopzettelijke menselijke intrusie als voor directe blootstelling bij het scenario van een vliegtuigval.

De **strategie voor insluiting**, gedefinieerd als het resultaat van acties met het oog op het beletten en beperken van het vrijkomen van radionucliden uit een beperkte ruimte, bestaat erin om gedurende ongeveer 1000 jaar zoveel als mogelijk het vrijkomen van radionucliden te voorkomen en daarna het vrijkomen van de rest-radiotoxiciteit te spreiden in de tijd. Het tijdsbestek voor de insluitingsstrategie steunt op de mate van afname van de radiotoxiciteit van het voorziene afval door natuurlijk verval.

Insluiting wordt als volgt verkregen:

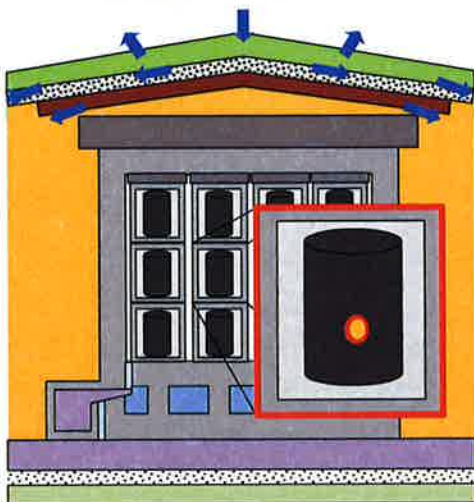
- Tot ~1000 jaar wordt zoveel als mogelijk waterinsijpeling in de modules verhinderd. De aarden afdekking zorgt voor laterale afwatering boven de modules en legt ingegraven omstandigheden op aan de vezelversterkte ondoorlatende topplaat en onderliggende modules zodat deze quasi niet onderhevig zijn aan degradatieprocessen (vries-dooi cycli en carbonatatie). De modulewanden hebben een lage hydraulische conductiviteit zodat ook aan de zijkant waterinsijpeling tot in de modules vermeden wordt. De bergingsinstallatie bevindt zich boven de grondwatertafel op een niet-overstromingsgevoelige locatie en capillaire opstijging wordt vermeden door het ontwerp.
- Tot ~1000 jaar wordt het vrijkomen van radionucliden uit de berging voorkomen. Door kwaliteitsborging bij productie en meerdere, onafhankelijke controles op de conformiteit wordt verwacht dat de primaire colli over het algemeen in goede staat zullen zijn bij berging, waardoor zij een hoge insluitingsgraad bieden voor radionucliden zolang ingegraven omstandigheden (anoxisch, weinig beschikbaar

water) heersen. Ook sorptie op gehydrateerd cement in de conditioneringsmatrix, het afval en de betonnen afschermingen in de afvalcolli draagt bij tot een beperking van het vrijkomen. De beperkte fractie van radionucliden die toch zou vrijkomen uit het afval kan slechts zeer traag migreren door de lage diffusie en de sorptie op cement in de monoliet, modulewanden, ondoorlatende topplaat en ondersteunende plaat.

biologische laag	zand	gewapend beton	anti-badkuipsysteem	bentoniet
bio-intrusielag	vezelversterkt beton	opvulmortel	sorberend opvulmateriaal	zand-cement
infiltratiebarrière	afvalvorm	fijn grind	gros grind	

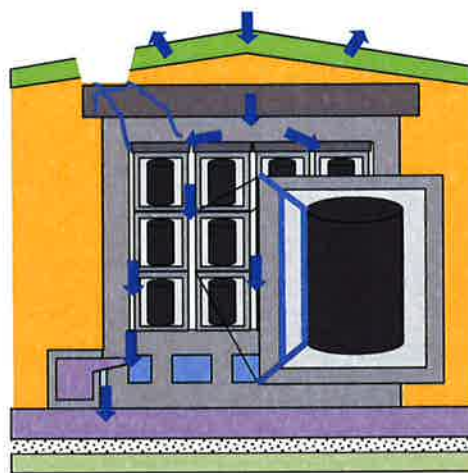
Tot 1000 a:

- *Beperken waterinsijpeling tot in de modules*
- *Insluiting binnen de monoliet*



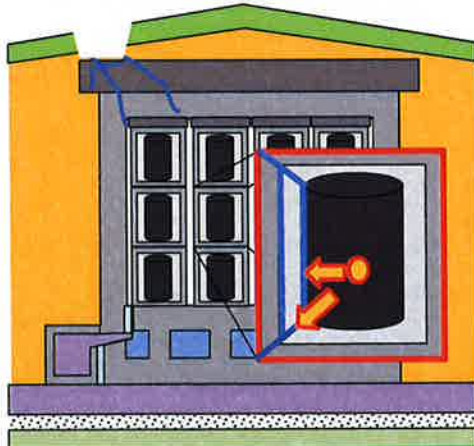
Na 1000 a:

- *Beperken waterinsijpeling tot bij het afval*



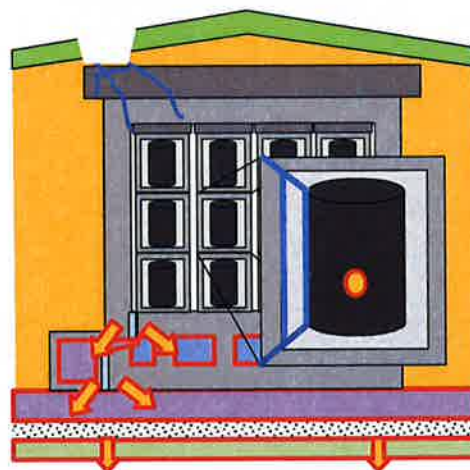
Na 1000 a:

- *Beperken van diffusie en chemisch vasthouden van radionucliden binnen de monoliet*



Na 1000 a:

- *Verspreiden en chemisch vasthouden van radionucliden buiten de monoliet*



Figuur 1 - Strategie voor insluiting

- Na ~1000 jaar wordt waterinsijpeling tot bij het afval zelf nog steeds beperkt: Na ~1000 jaar<sup>9</sup> kunnen, door erosie van de afdekking en eventuele aardbevingen, de ondoorlatende topplaat, modulewanden en monolieten lokaal worden blootgesteld aan atmosferische omstandigheden. Dit zal carbonatatie en vries-dooicycli initiëren, waardoor na verloop van tijd een netwerk van doorgaande scheuren in het beton kan ontstaan. De enorme massa aan grond, zand en klei in de aarden afdekking kan niet gemakkelijk volledig verdwijnen en vegetatie op restanten van de afdekking zal nog steeds bijdragen aan evapotranspiratie. Water dat toch in de modules zou insijpelen zal door voorzieningen in het ontwerp (afschermingsplaten die de monolietstapels overkappen, gootjes in de monolietwanden, het conductieve grind in de tussenruimtes, de conductieve grout in de inspectieruimtes en de maatregelen tegen bathtubbing) nog steeds weggeleid worden van het afval en verticale drainage langsheen de monolieten wordt bevorderd zodat de fractie van de waterstroming die in contact kan komen met afval zo laag als mogelijk wordt gehouden.
- Na ~1000 jaar wordt het vrijkomen van radionucliden uit de berging nog steeds beperkt. Enerzijds wordt, in een gedegradeerd systeem, de migratie van radionucliden *naar* de doorgaande scheuren/tussenruimtes nog zoveel als mogelijk beperkt, voornamelijk door sorptie op cement en lage diffusie in de betonmatrix en opvulmortel. Anderzijds worden radionucliden, die toch doorgaande scheuren/tussenruimtes bereiken en vandaar advection/dispersief verder migreren, zoveel als mogelijk geïntercepteerd door de voorziene *conductieve sorberende* materialen in de modulebasis, de inspectiegalerijen en de funderingen.

### 2.1.2.3. Een optimaal bergingsontwerp

Om te garanderen dat het concept/ontwerp de best mogelijke bescherming biedt op basis van de huidige kennis en technieken, en binnen de huidige economische context, werden bepaalde componenten van het ontwerp geoptimaliseerd, waarbij aan de hand van een systematische optimaliseringsoefening het optimale karakter werd nagegaan. Daarbij werden alternatieve beschermingsopties afgewogen ten opzichte van attributen zoals performantie, duurzaamheid, snelheid van realisatie van passieve maatregelen, gelaagde bescherming, aantoonbaarheid en operationele veiligheid. Op basis van deze afwegingen werden optimale ontwerpen geselecteerd.

Optimalisering zal verdergezet worden tijdens de volledige levensduur van de berging. Dat kadert in een veiligheidsbeleid dat erop gericht is om de nucleaire veiligheid continu te proberen verbeteren. Bij periodieke veiligheidsevaluaties zullen nieuwe inzichten uit nationale en internationale onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's en de ervaringsfeedback geëvalueerd worden en, indien ze aanleiding geven tot mogelijke verbeteringen aan het ontwerp van toekomstige

---

<sup>9</sup> Formeel kan niet uitgesloten worden dat een beperkt gedeelte van de bergingsinstallatie vroeger begint te degraderen. Hiermee wordt rekening gehouden in de veiligheidsevaluatie.

delen van het bergingssysteem, geïntegreerd worden. Het modulair karakter van de berging (modules en monolieten) en het stapsgewijs realiseren van de totale berging vergemakkelijkt het in rekening brengen van ervaringsfeedback en de continue verbetering van de veiligheid.

#### 2.1.2.4. Weerstand tegen bedreigingen

Verwachte en niet-verwachte, maar mogelijke bedreigingen voor de performantie/duurzaamheid van de SSC's werden systematisch geïdentificeerd en geanalyseerd. Een aantal bedreigingen kunnen vermeden worden door:

- de eigenschappen van de bergingslocatie: i.h.b. wat betreft stabiliteit, overstromingsrisico en risico op menselijke intrusie (afwezigheid van minerale bronnen, hoge tumuli die putboringen onwaarschijnlijk maken)
- de materiaalkeuzes voor de SSC's:
  - Cement met een laag alkaligehalte vermindert de hoeveelheid alkali en de keuze van kalkhoudende aggregaten vermindert de hoeveelheid silica waardoor het risico op alkali-aggregaat reacties geminimaliseerd wordt.
  - De keuze van een cement met beperkte hydratatiewarmte voor de modules beperkt de toename van temperatuur in de modulewand en voorkomt zo scheuren door hydratatiewarmte.
  - De keuze van specifieke op naftaleensulfonaat en op polycarboxylaat gebaseerde superplastificeerders vermijdt complexering van radionucliden.
  - Door de compatibiliteit van materialen onderling (en met het afval) te verzekeren worden interne verstoringen in de mate van het mogelijke vermeden.
  - De selectie van een pyriet/sulfaat-arme klei in de aarden afdekking zal de externe sulfaataantasting (met inbegrip van thaumasiet sulfaataantasting) uitsluiten als potentieel degradatiemechanisme van het onderliggende beton.
  - De materiaalkeuze houdt rekening met brandrisico en risico op mogelijke gasproductie in het bergingssysteem.
- de afdekking, die onderliggende SSC's zolang mogelijk beschermt tegen atmosferische (degradatie)processen
- gebruik van specifieke en beheerste technieken en controles bij constructie
- verificaties van de radiologische en fysico-chemische karakteristieken van het afval

Sommige bedreigingen kunnen niet vermeden worden. Een aantal van deze bedreigingen bepalen de ontwerpvereisten van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen zodat deze hun performantie zullen behouden als ze belast worden. In hoofdzaak:

- Is de afdekking robuust door het erosieresistente ontwerp van de bio-intrusiebarrière, de grote massa aan materiaal, de stabiliteit bij aardbevingen en de

aanwezigheid van de ondoorlatende topplaat uit vezelversterkt beton, die daardoor ongevoelig is voor erosie en scheurvorming door carbonatatie

- Is er een aanzienlijke marge in de wapeningsdekking voor de componenten uit klassiek gewapend beton, rekening houdend met de te verwachten carbonatatiesnelheid.
- Is er een aanzienlijke marge in weerstand tegen ontwerpaardbevingen voor de belangrijkste betonnen componenten, aangezien seismische modellen geen of weinig schade berekenen voor aardbevingen die veel zwaarder zijn dan deze beschouwd in het ontwerpproces (DBE350, aardbeving met terugkeerperiode 8575 jaar):
  - Geen verlies aan performantie voor de ondoorlatende topplaat, monolieten en afschermplaten bij berekeningen voor een aardbeving met terugkeerperiode 20 000 jaar
  - Beperkte lokale scheuren in de modulewanden, die niet doorgaand zijn, en dus geen onmiddellijke invloed op de waterstroming hebben, bij berekeningen voor een aardbeving met terugkeerperiode 20 000 jaar.

Hieraan kan toegevoegd worden dat uit onderzoek op bestaande betonstructuren blijkt dat ingegraven beton nauwelijks aan carbonatatie onderhevig is, en dat praktijkvoorbeelden tonen dat beton dat naar behoren werd aangemaakt een duurzaam materiaal kan zijn, zelfs in zeer ongunstige (atmosferische, mariene) omstandigheden.

Voor niet verwachte, maar mogelijke bedreigingen die niet in rekening gebracht werden bij de bepaling van de ontwerpvereisten, en die geïdentificeerd werden in de scenario-ontwikkeling, werd systematisch de complementariteit en onafhankelijkheid van barrières en veiligheidsfuncties geëvalueerd, zowel voor afzondering als insluiting en voor alle relevante radionuclidentrajecten. Uit de evaluatie blijkt dat er steeds onafhankelijke combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties zijn, m.a.w. verschillende combinaties van barrières en veiligheidsfuncties die niet gezamenlijk falen bij een bedreiging. Voor elk mogelijk radionuclidentraject zijn er ook steeds complementaire SSC's beschikbaar, *i.e.* SSC's die de functionaliteit of performantie van een andere SSC, of een gedeelte ervan, overnemen wanneer deze wegvalt.

In het bijzonder blijkt uit de veiligheidsevaluaties dat bij een onverwacht vervroegd optreden van de degradatie (door een vroege aardbeving, val van een militair vliegtuig, versnelde erosie en extreme erosie) de impact slechts in beperkte mate stijgt, hetgeen erop duidt dat de insluitingsperformantie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewanden en ondersteunende plaat, en niet gescheurde monolieten in de periode voor 1000 jaar bijna volledig gecompenseerd worden door:

- De vezelversterkte afschermingsplaten en afwatering binnen de module die de waterinsijpeling tot bij het afval zelf en dus het vrijkomen van radionucliden uit het afval beperken
- Het afval en de monoliet die zorgen voor een beperking van diffusie en het chemisch vasthouden van radionucliden binnen de monoliet, zodat slechts een beperkte fractie van radionucliden in scheuren of de tussenruimte vrijkomt



- Het opvulmateriaal in de inspectieruimte en het zand-cement in de inspectiegalerij en de ophoging die zorgen voor het verspreiden en chemisch vasthouden van radionucliden die uit de monolieten vrijgekomen zijn

Ook bij (onwaarschijnlijke) bedreigingen die leiden tot nog extremere degradaties (vroeg en zware aardbeving, val van een groot passagiersvliegtuig) duiden de berekende impacts erop dat een deel van de insluitingsperformantie behouden blijft. In een gedegradieerd systeem, waarbij er ook meer waterinsijpeling zou zijn tot bij het afval, blijft het vrijkomen van radionucliden uit de monoliet nog enigszins beperkt door het beperkte vrijkomen uit het afval, het chemisch vasthouden van radionucliden in de opvulmortel en caisson, en de beperkte diffusie binnen de monoliet. De fractie van radionucliden die uit de monolieten zou vrijkomen, wordt ten slotte verder verspreid en chemisch vastgehouden in de conductieve sorberende materialen in de inspectieruimte, de inspectiegalerij en de ophoging: componenten die in geen enkel plausibel evolutiescenario onderhevig zijn aan degradatie.

Een laatste mogelijke bedreiging is de aanwezigheid van niet-gedetecteerde complexanten in de afvalvorm. In dit geval wordt de lokale aantasting van sorptiegerelateerde veiligheidsfuncties gedeeltelijk overgenomen door het beperken van de waterinsijpeling tot bij het afval en door het beperken van diffusie. De beperkte impactstijging duidt er ook hier op dat de insluitingsperformantie grotendeels behouden blijft.

Bovendien kan bij een onopzettelijke intrusie niet alleen de afzonderingscapaciteit, maar ook de insluitingscapaciteit van de bergingsinstallatie aangetast zijn. De veiligheidsevaluatie houdt rekening met verstoringen op verschillende schalen: een lokale verstoring (doorboring van een stapel monolieten met een bypass van de conductieve sorberende materialen in de modulebasis en de funderingen) en een grootschalige verstoring (afgraving van de afdekking, schade aan het bovenste gedeelte van de betonnen structuren, en versnelde degradatie van de onderliggende structuren). Ook voor deze gevallen werd de aanvaardbaarheid van de impact bevestigd.

### **2.1.3. Vertrouwen in de veiligheidsevaluaties**

#### *2.1.3.1. Een wetenschappelijk gefundeerde evaluatiebasis*

Bij het vastleggen van de evaluatiebasis, waarop de veiligheidsevaluaties steunen, is er rekening gehouden met relevante beschikbare nationale en internationale kennis en zijn, waar nodig, nieuwe gegevens ingezameld voor de oppervlakteberging van categorie A afval te Dessel. Om alle pertinente internationaal beschikbare kennis over sorptiewaarden op cementgebonden materialen en over het optimale ontwerp van aarden afdekkingen op te nemen in de evaluatiebasis werden er internationale expertpanels georganiseerd. De performantie, robuustheid van performantie, degradatiemechanismen en eventuele gevolgen van degradatie van het specifieke beton voor modules en caissons werden in meer detail bestudeerd ter aanvulling van de literatuurgegevens. Zo werden de snelheid en effecten van atmosferische carbonatie bestudeerd en gemeten, en werd een studie gemaakt naar de

waterstromingspatronen in de berging en de tijd nodig tot saturatie van de modules en monolieten, rekening houdend met het mogelijke effect van spleten en scheuren.

#### *2.1.3.2. Betrouwbare modellen*

De modellen gebruikt in de veiligheidsevaluatie hebben een proces van kwalificatie, verificatie en validatie (QVV) gevolgd. Het is belangrijk om te vermelden dat het potentieel voor validatie in het algemeen beperkt is, gegeven de betrokken tijdschalen. De focus van het QVV proces ligt op de kwalificatie en verificatie van modellen/codering. Het kwalificatieproces verzekert dat de conceptuele modellen in overeenstemming zijn met de wetenschappelijke kennis binnen de evaluatiebasis en een adequate weergave vormen van de beschouwde fenomenen en processen (waterstroming, diffusief en advectief/dispersief radionuclidetransport, relevante processen in de geochemische/fysische evolutie van het bergingssysteem) en interacties daartussen. Het verificatieproces werd uitgevoerd op drie niveaus: verificatie van het wiskundige model, verificatie van de codering, en verificatie van het computermodel.

#### *2.1.3.3. Beheer van onzekerheden*

Onzekerheden zijn systematisch beheerd. Contextuele onzekerheden (mogelijke toekomstige wijzigingen aan gegevenheden) worden beheerd door de iteratieve toepassing van de veiligheidsbenadering, waarin eventuele wijzigingen geïdentificeerd en geëvalueerd worden en waarin een risicoanalyse uitgevoerd wordt. De technische/wetenschappelijke onzekerheden geassocieerd met het bergingssysteem en zijn omgeving worden behandeld in de langetermijnveiligheidsevaluaties. Onzekerheden betreffende karakteristieken, gebeurtenissen en processen die de initiële toestand of evolutie van het bergingssysteem bepalen worden geïdentificeerd, gekarakteriseerd en geanalyseerd naar relevantie voor de veiligheid, op basis van gevoeligheids- en onzekerheidsanalyses. Deze die relevant zijn voor de veiligheid worden vervolgens behandeld in de veiligheidsevaluaties, waarbij men zich bij voorkeur conservatief instelt ten opzichte van de onzekerheden zodat de potentiële radiologische impacts niet onderschat worden. Een onderscheid wordt gemaakt tussen scenario-, model- en parameteronzekerheden. Het doel van scenario-ontwikkeling is de afbakening van een beperkt aantal scenario's die voldoende representatief en/of omhullend zijn voor de mogelijke toekomstige toestanden van het systeem:

- Het verwachte evolutiescenario (EES) beoogt een zo representatief mogelijke voorstelling te vormen van de fenomenologisch verwachte evolutie(s) en de onzekerheden binnen de verwachte evolutie(s). De effecten van de onzekerheden binnen de verwachte evolutie worden omhuld in het referentiescenario (RS) waarvoor er nagegaan wordt dat de impact aanvaardbaar is.
- Met de alternatieve evolutiescenario's (AES) wordt er nagegaan dat de impact en/of het risico aanvaardbaar zijn voor niet verwachte maar mogelijke evoluties.

- Met gestileerde menselijke intrusiescenario's (HIS), waarvoor het omhullend karakter beargumenteerd wordt, wordt er nagegaan dat de impact aanvaardbaar is bij onopzettelijke menselijke intrusie.
- Na enkele duizenden jaren wordt het moeilijk om het oppervlaktebergingsysteem en zijn mogelijke evolutie eenduidig af te lijnen. De performantie van het bergingsysteem kan daardoor niet langer gegarandeerd worden. Deze onzekerheden worden behandeld in de Penaliserende Scenario's (PS), waarvoor het omhullend karakter beargumenteerd wordt, en waarin nagegaan wordt dat de impact van de rest-radiotoxiciteit na enkele duizenden jaren aanvaardbaar is.

#### 2.1.3.4. Resultaten

De resultaten van de veiligheidsevaluaties bevestigen dat, rekening houdend met alle relevante onzekerheden en binnen het huidige toepassingsgebied, de ingeschatte radiologische impacts te allen tijde in overeenstemming zijn met de geldende criteria.

- Voor de operationele periode:
  - De radiologische impacts onder normale bedrijfsomstandigheden liggen lager dan de dosisbeperkingen van 10 mSv per 12 glijdende maanden voor de werknemers en van 0,1 mSv/a voor het publiek. Werknemers kunnen maximaal slechts aan een kleine fractie van de dosisbeperking blootgesteld worden (<0,4 mSv per 12 glijdende maanden).
  - De risico-analyse waarin incidentele en accidentele situaties van interne en externe oorsprong geëvalueerd werden toont in voorkomende gevallen steeds beperkte radiologische gevolgen voor werknemers (< 1mSv) en in geen geval radiologische gevolgen voor het publiek.
- Voor de lange termijn:
  - De radiologische impact voor het referentiescenario is kleiner dan de dosisbeperking van 0,1 mSv/a.
  - Het globale risico voor de alternatieve evolutiescenario's is kleiner dan het globale risicocriterium van  $10^{-5}$  /a.
  - De radiologische impacts voor de scenario's van onopzettelijke menselijke intrusie respecteren de referentiewaarde van 3 mSv(/a).
  - De radiologische impacts voor de penaliserende scenario's leiden tot een aanvaardbare impact t.o.v. de referentiewaarde van 3 mSv/a.
  - De activiteit die potentieel in de omgeving vrij kan komen veroorzaakt geen significante verhoging van de radioactiviteit of radiotoxiciteit die van nature aanwezig is op een regionale schaal.
  - Water uit een waterput nabij de berging voldoet aan de kwaliteitsvoorwaarden van water bestemd voor menselijke consumptie volgens de Europese richtlijn 98/83/EG, *i.e.* de som van de ingestiedosis afkomstig van de bergingsinstallatie en de achtergrond dosis voor het putwater ligt lager dan 0,1 mSv/a.

## 2.2. Het NIRAS-programma qua verder onderzoek, ontwikkeling en demonstratie

Het NIRAS-programma qua verder onderzoek, ontwikkeling en demonstratie heeft tot doel om onopgeloste problemen aan te pakken en om de veiligheid verder te optimaliseren. Met het onderzoeksprogramma en het voorziene monitorings- en toezichtsprogramma wil NIRAS:

- 1 de bergbaarheid van bepaalde afvalfamilies aantonen/verifiëren en nagaan of er bijkomende beheersmaatregelen nodig zijn:
    - Bepaalde afvalfamilies zoals afval geconditioneerd in bitumen- en polystyreenmatrices zijn nog niet gedekt door een veiligheidsevaluatie en specifieke conformiteitscriteria voor de oppervlakteberging te Dessel. Dergelijk afval kan slechts in aanmerking komen voor oppervlakteberging in Dessel indien er een update uitgevoerd wordt van de conformiteitscriteria in het veiligheidsrapport en de conformiteit en compatibiliteit van het afval daarmee aangetoond kan worden.
    - Voor afvalcolli die door NIRAS geaccepteerd zijn vooraleer de specifieke conformiteitscriteria uit het veiligheidsrapport voor de oppervlakteberging te Dessel van toepassing waren, en zeker voor de gevallen waarbij defecten vastgesteld werden tijdens de opslag, zal nagegaan worden of dit afval aanvaard kan worden voor oppervlakteberging en of er bijkomende beheersmaatregelen nodig zijn.
    - Indien het voldoen van het conformiteitscriterium voor het chloorgehalte in het afval problematisch zou blijken te zijn, dan zal daarvoor een specifieke oplossing worden uitgewerkt. Deze oplossing zou kunnen bestaan uit het aanwenden van een variant type caisson met een chloridebestendige wapening (bijvoorbeeld roestvast staal).
  - 2 de geldigheid nagaan van onderstellingen en parameters gebruikt in de veiligheidsevaluaties:
    - Een performantie-analyse dient nog uitgevoerd te worden.
    - Bij constructie zal er aangetoond dienen te worden dat het bergingssysteem voldoet aan de in de ontwerpbasis opgelegde conformiteitscriteria.
    - Door monitoring en toezicht zullen specifieke veiligheidsfuncties/hypothesen en essentiële parameters van de veiligheidsevaluatie opgevolgd worden. Indien de observaties afwijken van wat verwacht wordt, zal het belang ervan geëvalueerd worden in een volgende iteratie van de veiligheidsevaluatie.
- i) Zo zal de beperking van waterinfiltratie door de aarden afdekking door middel van een proefafdekking geëvalueerd worden, waarbij tevens de performantie en doenbaarheid van twee alternatieve profielen geëvalueerd zullen worden in het kader van optimalisering.
  - ii) De stabiliteit van de aarden afdekking en modules zullen geëvalueerd worden aan de hand van topografische metingen en fysiek toezicht tijdens exploitatie,

sluiting en de nucleaire reglementaire controle. Deze resultaten zullen vergeleken worden met de verwachtingen.

- iii) De zettingen en verplaatsingen van de modules zullen tijdens de exploitatie geëvalueerd worden en vergeleken worden met de verwachtingen.
  - iv) De hypothese met betrekking tot de beschouwde aardbevingen bij het ontwerp van de betonnen componenten en de analyse van de stabiliteit van de afdekking zal geëvalueerd worden door een opvolging van de in-situ seismologische gegevens tijdens de constructiefase en de exploitatiefases.
  - v) Het carbonatatiefront zal in getuigemonolieten en proefstukken opgevolgd worden tijdens de exploitatie van de berging, ter bevestiging van de aangenomen carbonatiesnelheid die de verwachte levensduur van de betonnen componenten bepaalt. Verder zal in de getuigemonolieten en de proefstukken geverifieerd worden dat er geen vorming van thaumasiet en secundaire ettringiet optreedt en dat de corrosiepotentiaal en de dimensionele veranderingen en spanningen te wijten aan belastingen en veroudering zijn zoals die verwacht zijn.
  - vi) Het vochtgehalte in de getuigemonolieten en proefstukkamers zal opgevolgd worden ter bevestiging van de trage saturatie van de betonnen componenten.
- De exacte samenstelling voor het opvulmateriaal van de inspectieruimten dat tijdens de sluiting van de berging ingebracht zal worden, dient nog vastgelegd te worden.
- 3 de performantie en/of robuustheid van het bergingssysteem verhogen:
- De grondverbetering met bentoniet zou voor een bijkomende, aan cement enigszins complementaire, sorptiecapaciteit kunnen zorgen. De performantie van deze bentonietlaag op lange termijn en in de verwachte omgevingscondities dient nog aangetoond te worden in het verdere onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma. Daarom werd op deze component voorlopig niet gesteund in de veiligheidsevaluaties.
  - Het gebruik van vezelversterkt beton voor de monolieten zou de duurzaamheid van de monolieten en de robuustheid van het bergingssysteem verder kunnen verhogen, omdat carbonatatie en corrosie van wapeningen niet leiden tot scheuren in dergelijk beton en omdat een wapening bestaande uit vezels in theorie een hogere weerstand tegen aardbevingen bezit. De doenbaarheid om caissons met de benodigde performantie te realiseren uit vezelversterkt beton zal verder onderzocht worden.
  - De referentiesamenstelling van de opvulmortel van de monoliet werd vastgelegd aan de hand van laboratoriumproeven en beproevingen op een groter volume. Momenteel wordt deze samenstelling verder gekarakteriseerd. De samenstelling van de opvulmortel zal verder geoptimaliseerd worden op basis van die karakterisering en op basis van proeven die in de IPM zullen gebeuren met uitrustingen en processen die effectief zullen gebruikt worden tijdens de productie van de monolieten.

- 4 internationale ontwikkelingen en beste praktijken opvolgen en ervaringsfeedback toepassen:
  - Een belangrijk voorbeeld betreft de degradatieproducten van cellulose en zachte polyvinylchloride die bij hun degradatie aanleiding kunnen geven tot complexering. Internationale ontwikkelingen met betrekking tot effecten van deze complexanten worden opgevolgd en met de conclusies daarvan zal rekening worden gehouden bij herzieningen van het veiligheidsdossier en bij periodieke veiligheidsherzieningen.
- 5 de geldigheid nagaan van onderstellingen en parameters m.b.t. hydrogeologie en biosfeer:
  - Er dient nog een hydrogeologisch model gemaakt te worden dat in de directe omgeving van de site representatiever is voor de lokale karakteristieken.
  - Gegeven de huidige grondwaterverstorende activiteiten bij de ontmanteling van FBFC die een effect hebben ter hoogte van de westelijke tumulus, kon de lokale hydrogeologie ook nog niet bevestigd worden. De bevestiging zal gebeuren na het stopzetten van deze grondwaterstorende activiteiten.
  - Indien uit het aangepaste hydrogeologische model of bij de toekomstige bevestiging voor de westelijke tumulus blijkt dat de toegepaste geotransferfactor niet conservatief zou zijn, dan moet dit in rekening gebracht worden via aanpassing van de operationele limieten die de radiologische bronterm van de berging bepalen voorafgaand aan de ingebruikstelling van de modules van de desbetreffende tumulus.
  - De waarden van de distributiecoëfficiënt (Kd) voor zandige bodems zijn in de huidige iteratie ook gebruikt voor de kwelgebieden, hoewel deze een hogere fractie organisch materiaal (veen) bevatten, waarmee geen rekening werd gehouden bij de bepaling van de Kd-waarden. Er wordt een update van de Kd-waarden voor bodems van de kwelgebieden voorzien, alsook een nieuwe evaluatie op basis van een nieuw hydrogeologisch model. Daarbij dient opgemerkt te worden dat uit ondersteunende berekeningen blijkt dat de impacts voor de receptor 'kwelgebied' met de huidige hypothesen te allen tijde meer dan drie grootteordes lager liggen dan die van de receptor 'waterput' die als referentie gebruikt wordt, waardoor verwacht wordt dat deze receptor niet dominant zal worden.

### **2.3. Conclusies**

Op basis van deze argumenten is NIRAS overtuigd dat de oppervlaktebergingsinstallatie voor categorie A afval te Dessel veilig kan gebouwd, geëxploiteerd en gesloten worden, en dat op de lange termijn de radiologische veiligheid steeds, i.e. in elk plausibel scenario, gegarandeerd is. Bovendien werd de oppervlaktebergingsinstallatie voor zowel de operationele periode als voor de lange termijn geoptimaliseerd om de dosissen voor werknemers en publiek zo laag als

redelijkerwijze mogelijk te houden. Het NIRAS onderzoeksprogramma wordt bovendien voortgezet om onopgeloste problemen aan te pakken en om de veiligheid verder te optimaliseren. Op basis van dit antwoord zijn de strategische veiligheidsoriëntaties, zoals gedefinieerd in §2.4 van hoofdstuk 2, geïmplementeerd.

### **3. Aanpassingen in het veiligheidsrapport**

De tekst uit §2 van dit antwoord zal integraal worden opgenomen in hoofdstuk 2 van het veiligheidsrapport.

### **4. Referenties**

NVT

- 
- [i] FANC nota, *Veiligheidsvoorschriften voor de inrichtingen van eindberging van radioactief afval*, 2012-12-12-LB-4-4-01-NL, Januari 2013
  - [ii] Koninklijk Besluit, *30 November 2011 – Koninklijk Besluit houdende veiligheidsvoorschriften voor de kerninstallaties*, December 2011
  - [iii] FANC nota, *Guide technique “Dépôt définitif en surface sur le territoire belge de déchets de faible et moyenne activité à vie courte”*, 007-228 F rév. 3, Juli 2011