

## **Strategic Research Needs (SRN)**

**Onderzoeksprogramma van het FANC en  
Bel V betreffende de veiligheid van het  
langetermijnbeheer van hoogradioactief  
en/of langlevend afval**



## Inhoud

1.	Huidige situatie met betrekking tot het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in België.....	3
2.	Uitdagingen van geologische berging .....	4
3.	De veiligheidsfuncties die de langetermijnveiligheid van het door NIRAS ontwikkelde geologische bergingssysteem verzekeren.....	6
4.	De SRN (Strategic Research Needs), een kader voor het oprichten van een onderzoeksprogramma, onafhankelijk van dat uitgevoerd door NIRAS en gericht naar de volgende stappen in het beslissingsproces.....	7
	4.1. Doelstellingen van het onderzoeksprogramma .....	8
	4.2. Onderzoeksbehoeften .....	8
	4.3. Sleutelthema's .....	9
	4.3.1. Thema 1: De karakterisering van belangrijke componenten voor de veiligheid .....	10
	4.3.2. Thema 2: De belangrijke fenomenen voor de veiligheid .....	12
	4.3.3. Thema 3: de stabiliteit op lange termijn .....	12
	4.3.4. Thema 4: Ontwerp en de technische haalbaarheid van de constructie ...	15
	4.3.5. Thema 5: De veiligheidsbeoordeling .....	15
5.	Referenties .....	17

## 1. Huidige situatie met betrekking tot het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in België

De productie van radioactief afval is inherent aan de productie van elektriciteit uit kernenergie, het gebruik van radioactief materiaal in de industrie, de geneeskunde en het onderzoek, en de verwerking van grondstoffen die natuurlijk voorkomende radionucliden bevatten. Dit afval, dat een potentieel gevaar vormt voor mens en milieu, moet op een veilige manier worden beheerd, zonder de volgende generaties onnodig te belasten.

NIRAS (de Nationale Organisatie voor Radioactief Afval en Verrijkte Splijtstoffen) is sinds 1980 verantwoordelijk voor het veilig beheer van radioactief afval in België [1]. Het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) is de regulator en is verantwoordelijk voor de bescherming van de bevolking, de werknemers en het milieu tegen de gevaren van ioniserende straling [2]. Bel V, de technische ondersteuning van het FANC, is belast met de uitvoering van regelmatige controles en veiligheidsbeoordelingen in de belangrijkste Belgische nucleaire installaties.

Kenmerkend voor radioactief afval is de persistentie van hun bijhorende gevaar over perioden tot enkele honderdduizenden jaren in het geval van langlevend afval.

In België werd in 1974 door het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK) een onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma opgestart dat de mogelijkheid bestudeert om hoogradioactief en/of langlevend afval (d.w.z. categorie B&C-afval) permanent op te slaan in de Boomse kleilaag. Dit programma leidde tot de ingebruikname van het ondergrondse onderzoekslaboratorium HADES (High Activity Disposal Experimental Site) in 1984. De verantwoordelijkheid voor dit onderzoeksprogramma werd vervolgens na de oprichting ervan overgedragen aan NIRAS. Meer recent is NIRAS ook begonnen met onderzoek naar de mogelijke eindbergings van categorie B&C-afval in andere geologische formaties, voornamelijk Iperiaanklei.

De Richtlijn 2011/70/Euratom tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval [3] is op 19 juli 2011 door de Raad van de Europese Unie aangenomen. Deze richtlijn stelt de noodzaak vast om een nationaal beleid voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstof vast te stellen. De richtlijn vereist ook dat in elke lidstaat een bevoegde regelgevende autoriteit op het gebied van de veiligheid van radioactief afval en het beheer van verbruikte splijtstof wordt opgericht, die beschikt over de financiële en personele middelen die nodig zijn voor de uitvoering van haar taken. De richtlijn vereist ook dat de nodige informatie over het beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval ter beschikking van het publiek wordt gesteld.

De omzetting van deze richtlijn in Belgisch recht werd in 2014 gerealiseerd door een wijziging van artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980 [1]. Deze wet vereist dat het nationale beleid inzake het beheer van radioactief afval wordt vastgelegd bij een in de Ministerraad overlegd koninklijk besluit, op voorstel van NIRAS en na advies van het FANC.

Ondanks deze wettelijke bepalingen heeft België nog geen institutioneel beleid voor het langetermijnbeheer van categorie B&C-afval vastgesteld.

In 2011 heeft NIRAS een "afvalplan" [4] en een milieueffectrapport (MER) gepubliceerd [5] die enerzijds de mogelijke beheersopties voor de afvalcategorieën waarvoor geen institutioneel beleid voor langetermijnbeheer bestaat (waaronder categorie B&C-afval), en anderzijds de impact van deze opties onderzochten.

In haar advies over dit afvalplan [6] stelt het FANC dat de optie "geologische berging" de meest geschikte optie lijkt wat betreft de veiligheid op middellange en lange termijn en de beperking van de lasten voor toekomstige generaties, gezien het passieve karakter van deze optie. Ook wordt gesteld dat de optie "berging in diepe boorgaten" niet definitief kan worden uitgesloten op basis van de aangevoerde argumenten. Het FANC is ook van mening dat het op dit moment niet mogelijk is om een beslissing te nemen over de geologische formatie die een dergelijke faciliteit zou kunnen herbergen. Ook al wordt het vermogen van de Boomse klei om de radionucliden in het afval in te dammen momenteel niet in twijfel getrokken, toch is er geen enkel technisch en wetenschappelijk argument dat de voordelen van de klei ten opzichte van andere potentiële geologische gastformaties aantoonst. Het FANC acht het dan ook noodzakelijk om richtinggevende studies uit te voeren naar deze andere geologische formaties waarover momenteel weinig informatie beschikbaar is. Bovendien is het FANC van mening dat het afzonderend vermogen om mens en milieu te beschermen tegen directe blootstelling aan het afval, een integraal onderdeel moet zijn van de beoordeling van geologische formaties en hun omgeving.

Deze argumenten werden gehoord door het Ministerie van Energie, Leefmilieu en Duurzame Ontwikkeling, dat NIRAS in 2019 de opdracht gaf om een nationaal beleid voor te stellen dat geologische berging als referentieoplossing voor het langetermijnbeheer van categorie B&C-afval aanwijst, zonder echter een beslissing te nemen over de geologische formatie die de berging zal huisvesten. NIRAS kreeg ook de opdracht om een nieuwe MER op te stellen die dit beleid rechtvaardigt. Dit laatste is voorgelegd voor publieksbevraging en het advies van meerdere officiële instanties, waaronder het FANC.

## 2. Uitdagingen van geologische berging

De internationaal erkende strategie om de veiligheid van de berging van radioactief afval op lange termijn te waarborgen is passieve afzondering en insluiting [7]. Dit houdt in dat het afval wordt gescheiden van mens en milieu, terwijl de migratie van de in het afval aanwezige radionucliden wordt voorkomen of beperkt.

De geologische berging van radioactief afval in geschikte installaties op diepte in stabiele en geschikte geologische formaties wordt beschouwd als de veiligste optie voor de bescherming van mens en milieu volgens de huidige kennis [8].

Dit is te wijten aan het feit dat:

- berging op termijn is gebaseerd op uitsluitend passieve maatregelen die geschikt zijn voor het afval;
- dit type afval een niveau van insluiting en afzondering vereist dat alleen kan worden bereikt door een geologische formatie op voldoende diepte;
- deze optie het mogelijk maakt om de lasten voor toekomstige generaties te beperken en contextuele onzekerheden zoveel mogelijk te vermijden.

De beslissing om het afval te bergen in de eindberging is een beslissing om te kiezen voor een strategie van concentratie en insluiting van het afval, in tegenstelling tot een strategie van verdunning en verspreiding. Bijgevolg zou, in het geval van hoogradioactief afval, directe blootstelling aan het afval, na het binnendringen van de mens of erosie van geologische barrières, ernstige gevolgen hebben voor de blootgestelde personen. De kans op onbedoelde

menselijke indringing in de bergingsinstallatie of het verlies van de geologische barrières die het afval bedekken, moet daarom worden gereduceerd, vooral omdat het afval zeer actief blijft.

Afval dat langlevende radioactieve elementen bevat, vereist de bescherming van mens en milieu over een aanzienlijke tijdspanne die wordt bepaald door de hoeveelheid radionucliden die aanvankelijk aanwezig is en de vervalkarakteristieken van deze radionucliden (halveringstijd, vervalketen, enz.).

Erkend wordt dat de evolutie van de natuurlijke en kunstmatige componenten van een bergingssysteem en zijn omgeving niet met zekerheid kan worden voorspeld voor dergelijke periodes. Onzekerheden komen immers onvermijdelijk voort uit de grenzen van onze kennis. Deze onzekerheden nemen toe naarmate de beschouwde periodes langer duren. Daarom moet voor de aanvaardbaarheid van de definitieve berging met voldoende vertrouwen en met een overtuigende reeks kwalitatieve en kwantitatieve argumenten worden aangetoond dat de bescherming van mens en milieu op lange termijn ondanks deze onzekerheden wordt gewaarborgd. Met name omdat bepaalde onzekerheden in verband met de ontwikkeling van het bergingssysteem niet kunnen worden vermeden of verminderd, is het belangrijk aan te tonen dat het bergingssysteem voldoende robuust is tegen redelijkerwijs te verwachten storingen.

De beoordeling van de veiligheid op lange termijn van een geologisch bergingssysteem vereist dus een beoordeling van:

- de capaciteit van het bergingssysteem om afval af te zonderen en in te sluiten;
- de robuustheid van het bergingssysteem;
- de mogelijke radiologische impact van de berging in de verschillende mogelijke situaties;
- de mogelijke gevolgen van onzekerheden voor de veiligheid en de wijze waarop deze worden beheerst.

Naast deze technische aspecten heeft het besluitvormingsproces in verband met het langetermijnbeheer van categorie B&C-afval een maatschappelijke en economische dimensie waarmee rekening moet worden gehouden. Hoewel de SRN zich concentreert op technische aspecten, ontwikkelt het FANC samen met zijn technische ondersteuning Bel V (belast met het uitvoeren van regelmatige inspecties en veiligheidsbeoordelingen in de belangrijkste Belgische nucleaire installaties) zijn expertise op dit gebied in het kader van het SITEX - netwerk (<https://www.sitex.network/>) en het Europese EURAD programma (<https://www.ejp-eurad.eu/>).

### 3. De veiligheidsfuncties die de langetermijnveiligheid van het door NIRAS ontwikkelde geologische bergingssysteem verzekeren

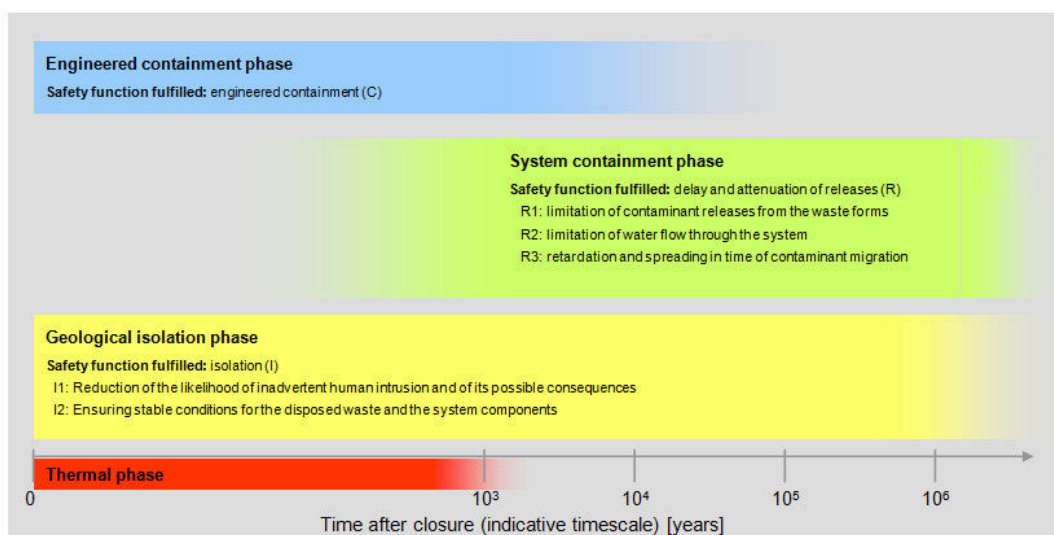
De veiligheidsfuncties die op lange termijn door de componenten van het door NIRAS ontwikkelde bergingssysteem worden geboden, zijn afzondering, insluiting, vertraging en beperking van het vrijkomen, en worden geïllustreerd in Figuur 1 [8].

Deze veiligheidsfuncties zijn gebaseerd op de volgende twee belangrijke beschermingsmaatregelen:

- het voorkomen van blootstelling aan ioniserende straling die het gevolg zou zijn van het onbedoeld binnendringen van de mens in de geologische bergingsplaats;
- het voorkomen van blootstelling als gevolg van het vrijkomen van radionucliden in het milieu.

NIRAS identificeert volgende veiligheidsfuncties in haar bergingsconcept:

- De afzonderingsfunctie (I) wordt vervuld door de geologische gastformatie en haar bovenliggende lagen. Ze bestaat uit het voorkomen van directe toegang tot het afval door indringing (I1) en het garanderen van stabiele omstandigheden voor het afval en de componenten van het bergingssysteem (I2).
- De functie van kunstmatige insluiting (C) wordt geleverd door kunstmatige lekvrije barrières die rond het afval worden geplaatst.
- De functie van vertraging en gespreid vrijkomen van radionucliden (R) wordt verzorgd door de afvalmatrix, de kunstmatige barrières en de geologische formatie. Het bestaat uit het beperken van het vrijkomen van radionucliden uit het afvalcolli (R1), het beperken van de waterstromen in het systeem (R2) en het vertragen en spreiden in tijd van de migratie van radionucliden (R3).



**Figuur 1:** De veiligheidsfuncties die op lange termijn worden geleverd door de componenten van het door NIRAS ontwikkelde bergingssysteem [8].

Het voorzien van verschillende barrières die verschillende veiligheidsfuncties vervullen, zoals vulmaterialen uit klei of cement die de insluiting van afval verzekeren en/of corrosiewerende condities in stand houden, is een belangrijk element van de langetermijnveiligheid omdat het bijdraagt aan de robuustheid van het bergingssysteem tegenover mogelijke verstoringen.

#### 4. De SRN (Strategic Research Needs), een kader voor het oprichten van een onderzoeksprogramma, onafhankelijk van dat uitgevoerd door NIRAS en gericht naar de volgende stappen in het beslissingsproces

Het FANC is verantwoordelijk voor het uitbrengen van haar adviezen over de voorstellen voor het nationaal beleid inzake het beheer van radioactief afval. Wat het langetermijnbeheer van categorie B&C-afval betreft, is de eerste stap in het besluitvormingsproces het bepalen van de optie die zal worden gevolgd om de bescherming van mens en milieu zo lang als nodig is te garanderen zonder de volgende generaties onnodig te belasten.

Indien België kiest voor geologische berging, zal de opdracht van het FANC en Bel V erin bestaan om na te gaan of deze berging op een veilige manier wordt ontwikkeld, gebouwd, geëxploiteerd en gesloten, d.w.z. dat de bevolking, de werknemers en het milieu worden beschermd tegen de ioniserende straling die wordt uitgezonden door het radioactief afval, zonder dat er buitensporige beperkingen worden gelegd aan toekomstige generaties. Deze opdracht omvat verschillende soorten activiteiten, zoals bv. het opstellen van regelgeving, voorschriften en leidraden, de examinatie van veiligheidsbeoordelingen en het toezicht op de activiteiten van NIRAS om ervoor te zorgen dat de veiligheidsvereisten worden gerespecteerd. Het FANC voert deze opdracht uit in nauwe samenwerking met haar technische ondersteuning Bel V.

Elke geologische bergingsinstallatie is uniek. De kenmerken en prestaties van de geologische barrières hangen immers sterk af van de gekozen geologische gastformatie en haar omgeving, die variëren naargelang de gekozen locatie. Bovendien kan de langetermijnevolutie van het afval en de kunstmatige barrières aanzienlijk worden beïnvloed door de kenmerken van de geologische barrières en hun omgeving. Gezien het complexe en unieke karakter van een geologische bergingsinstallatie voor radioactief afval en de noodzaak voor de veiligheidsautoriteit om haar eigen kennis terzake op te bouwen om zodoende door NIRAS voorgelegde veiligheidsrapporten te kunnen beoordelen, voeren het FANC en Bel V een onderzoeksprogramma uit dat onafhankelijk is van dat van NIRAS. Het verrichten van onafhankelijk onderzoek is vereist door de Europese Unie [3] en wordt aanbevolen door het IAEA [9]. Het is in deze context dat het FANC en Bel V onafhankelijk onderzoek voeren om zo:

- een voldoende brede en robuuste kennisbasis te onderhouden om er zich van te verzekeren dat de door hen opgestelde veiligheidsvereisten gefundeerd en adequaat zijn;
- hun technische en wetenschappelijke competentie te ontwikkelen en te onderhouden;
- in staat te zijn om de argumenten van de ontwikkelaar/exploitant van de opslaginstallatie kritisch te kunnen evalueren.

## 4.1. Doelstellingen van het onderzoeksprogramma

De doelstellingen van het onderzoeksprogramma van het FANC en Bel V verschillen dus van die van NIRAS. Ze zijn in feite een "aanvulling" en een "verificatie" in plaats van een kopie van het onderzoeksprogramma van NIRAS. Het programma is gebaat bij uitwisselingen en samenwerkingen met buitenlandse instellingen. Deze interacties maken het mogelijk om regels van "best practices", kennis en middelen met elkaar te delen.

Dit programma is gebaseerd op een systematische identificatie van de onderzoeksbehoeften die gelinkt zijn aan de uitvoering van de reglementaire opdrachten van het FANC en Bel V.

Het programma van de SRN biedt, voor de huidige en komende jaren, een kader voor de ontwikkeling en het onderhoud van expertise en de instrumenten die nodig zijn voor de onafhankelijke beoordeling door het FANC en Bel V van de dossiers met betrekking tot het beheer van categorie B&C-afval.

De SRN is een levend document dat zal evolueren gedurende de hele levenscyclus van het afvalbeheerprogramma, naarmate het besluitvormingsproces evolueert en het wetenschappelijk inzicht in fenomenen die belangrijk zijn voor de veiligheid zich ontwikkelt. In dit stadium van het programma ligt de nadruk op R&D-activiteiten met betrekking tot:

- de keuze van geologische gastformatie en haar omgeving, en de specifieke aspecten van operationele en langetermijnveiligheid, die een directe impact hebben op de keuze van deze gastformatie en de bergingslocatie;
- de mogelijkheid om afval te bergen in diepe boorgaten;
- de aspecten van operationele en langetermijnveiligheid die het ontwerp van de bergingsinstallatie beïnvloeden;
- ...

De SRN maakt het dus mogelijk om de R&D-activiteiten van het FANC en Bel V te structureren, te definiëren en te coördineren.

De SRN biedt tevens een ondersteuning voor een transparante communicatie over de activiteiten van het FANC en Bel V en over hun ingenomen standpunten, ten aanzien van de belanghebbenden, waaronder het maatschappelijk middenveld en de politieke wereld.

## 4.2. Onderzoeksbehoeften

De onderzoeksbehoeften krijgen prioriteit naargelang de geplande volgende te nemen stappen in het langetermijnbeheerprogramma voor B&C-afval; nl.:

- het voorstel van NIRAS van een nationaal beleid en de bijhorende MER. Het FANC zal in samenwerking met Bel V een advies uitbrengen over dit voorstel.
- de publicatie in 2022 door NIRAS van een eerste veiligheidsrapport, "SFC1" (Safety and Feasibility Case 1). Dit document zal met name een vergelijking bevatten van de potentiële geologische gastformaties die in België beschikbaar zijn, de gebruikte methodologieën om de veiligheid van een geologische bergingsinstallatie te beoordelen, en de toepassing ervan op Boomse en Iperiaanklei, evenals het referentieontwerp van de installatie.



Het FANC zal in samenwerking met Bel V dit veiligheidsrapport analyseren. Het doel van deze analyse is het evalueren van:

- de uitwerking en uitvoering van de veiligheidsstrategie;
- de identificatie van potentiële geologische gastformaties;
- de ontwikkeling van het referentieconcept;
- de rechtvaardiging en uitvoering van de methoden voor gegevensverwerking en de betrouwbaarheid van de gegevens;
- de beschrijving van de processen die de prestaties van de opslagsysteemcomponenten bepalen, d.w.z. hun vermogen om hun veiligheidsfuncties te vervullen;
- de ontwikkeling van evolutiescenario's voor de langetermijnontwikkeling van het bergingssysteem, rekening houdend met de onzekerheden;
- de beoordeling en optimalisering van de operationele en langetermijnveiligheid.

### 4.3. Sleutelthema's

De SRN is gestructureerd volgens de volgende vijf sleutelthema's (zie Figuur 2):

- De karakterisering van componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid
  - Het doel is de kennis van het FANC en Bel V te verstevigen wat betreft de kenmerken en parameters die belangrijk zijn voor de veiligheid (b.v. met betrekking tot de migratie van radionucliden), inclusief de daarmee geassocieerde onzekerheden die betrekking hebben tot (i) het afval, (ii) de technische componenten van de installatie, (iii) de potentiële gastformaties die in België beschikbaar zijn, en (iv) de geologische omgeving rond deze formaties (in het bijzonder de hydrogeologie en de biosfeer).
- De fenomenen die belangrijk zijn voor de veiligheid
  - Het doel is het begrip van het FANC en Bel V te versterken van de fenomenen (i) waarop het veiligheidsconcept dat NIRAS overweegt voor het ontwerp van een referentiesysteem van geologische berging steunt en (ii) die de migratie van radionucliden in de geologische omgeving van de gastformatie sturen. De onzekerheden, samenhangend aan deze fenomenen zijn uitermate belangrijk.
- De stabiliteit op lange termijn
  - Het doel is het FANC en Bel V meer inzicht te geven in de fenomenen die de veiligheid van een systeem van geologische berging op lange termijn kunnen verstoren. Verstoringen die worden veroorzaakt door interne processen (bv. door uitgravingen, exploitatie, het afval, kunstmatige componenten of de geologische gastformatie) of externe processen (bv. glaciatie, mariene transgressie, aardbevingen of menselijke activiteiten) worden bestudeerd. De mogelijke invloed op de veiligheid van de geïdentificeerde fenomenen en de daarmee gepaard gaande onzekerheden worden geëvalueerd.
- Het ontwerp en technische haalbaarheid
  - Het doel is om de kennis van het FANC en Bel V te versterken in verband met het ontwerp en de technische haalbaarheid van de bouw van een geologische bergingsinstallatie. Dit omvat de kwalificatie van de beoogde technologieën met betrekking tot de veiligheidsfuncties die door de verschillende componenten van de installatie moeten worden vervuld (bv. hun insluitingscapaciteit) en de middelen (procedures, hulpmiddelen, methodes)

om de correcte toepassing ervan te controleren. Met name de technische uitdagingen en de daarmee samenhangende onzekerheden worden geïdentificeerd.

- De veiligheidsevaluatie
  - Het doel is om:
    - De verschillende langetermijnbeheersopties te evalueren;
    - De kennis van het FANC en Bel V te versterken inzake methodes voor de beoordeling van de veiligheid en het beheer van onzekerheden;
    - Een onafhankelijke visie te ontwikkelen over mogelijke evoluties van een bergingssysteem;
    - Het gedrag van het systeem en haar radiologische impact te modelleren, om zo de belangrijkste aannames en parameters te identificeren en de onzekerheden te analyseren



**Figuur 2 :** Sleutelthema's die worden behandeld in de SRN.

Ieder kernthema bevat een aantal rubrieken. Voor elk van deze wordt hun belang voor de veiligheid besproken in wat volgt.

#### 4.3.1. Thema 1: De karakterisering van belangrijke componenten voor de veiligheid

De karakterisering van de eigenschappen van het afval en de componenten van het bergingssysteem en haar omgeving en de daarmee gepaard gaande onzekerheden vormt een basiselement van de veiligheidsbeoordeling. Het maakt het met name mogelijk om mogelijke interacties te identificeren tussen het afval en de kunstmatige componenten van het bergingssysteem en de geologische gastformatie. De onderzoeksbehoefte hebben betrekking op de volgende componenten:

## Afval

- De inventaris aan te bergen afval is een basisinput voor het ontwerp van een geologisch bergingssysteem. De karakterisering ervan maakt het mogelijk om de fenomenen die bijdragen tot de insluiting van radionucliden in de afvalmatrix (veiligheidsfunctie R1) of die de andere componenten van het opslagsysteem kunnen verstoren, te identificeren, te begrijpen en te kwantificeren. Deze kennis is ook nodig om de aanvaardingscriteria vast te stellen voor de identificatie van de afvalstoffen die in de installatie kunnen worden opgeslagen.

## Kunstmatige componenten

- Samen met de geologische gastformatie en, in sommige gevallen, de afvalmatrix, maken de kunstmatige componenten van de installatie het mogelijk om het principe van gelaagde bescherming<sup>1</sup> op lange termijn toe te passen. Hun karakterisering maakt het mogelijk om de fenomenen die bijdragen aan de aan hen toegewezen veiligheidsfuncties te identificeren, te begrijpen en te kwantificeren (veiligheidsfuncties C+R).

## Potentiële geologische gastformaties

- De geologische gastformatie vormt een essentiële barrière in een geologisch bergingssysteem. De potentiële gastformaties die op het Belgische grondgebied beschikbaar zijn, moeten worden geïdentificeerd op basis van veiligheidsattributen<sup>2</sup> die de veiligheidsfuncties van afzondering (veiligheidsfunctie I) en insluiting (veiligheidsfunctie R) omvatten. De karakterisering van de eigenschappen van de potentiële gastformaties en de omstandigheden die er gelden, is belangrijk om hun afzonderings- en insluitingsvermogen voor afval te beoordelen. Hun fysicochemische eigenschappen, geometrie, homogeniteit en diepte zijn essentiële elementen bij het bepalen van hun geschiktheid om op een veilige manier een bergingsinstallatie te kunnen omvatten.

## Waterchemie en interactie met de vaste fase van de geologische gastformatie

- De chemie van het water dat zich in de poriën en tussenruimten van de componenten van een bergingssysteem bevindt, bepaalt vele fenomenen die belangrijk zijn voor de veiligheid en in het bijzonder de migratie van radionucliden. Kennis over de waterchemie is essentieel voor het begrijpen van de chemische speciatie, oplosbaarheid en sorptie van radionucliden (veiligheidsfunctie R3). Het is ook een belangrijk objectief van de studies om mogelijke chemische verstoringen binnen het systeem die kunnen worden veroorzaakt door bepaalde afvalstoffen, door de vorming van de gastheer of door bepaalde materialen, te begrijpen en te evalueren.

## Hydrogeologie

- Hoewel er geen insluitingsfunctie wordt toegekend aan watervoerende lagen, zijn de omgevingskenmerken van het bergingssysteem belangrijke gegevens voor

<sup>1</sup> Het principe van gelaagde bescherming betekent dat de veiligheid gebaseerd is op een reeks verschillende beschermingselementen, zodanig dat een enkel technisch, menselijk of organisatorisch falen nooit de veiligheid van de eindberging op het spel kan zetten.

<sup>2</sup> Een veiligheidsattribuut is een kwaliteit, eigenschap of maatregel die gelinkt is met de performantie van het systeem.

hydrogeologische en biosfeermodellen om de radiologische impact van de berging in te schatten. De kenmerken van eventuele watervoerende lagen onder de geologische gastformatie zijn ook belangrijk in de beoordeling van de waarschijnlijkheid van menselijke indringing (veiligheidsfunctie I).

#### Biosfeer

- De biosfeer is dat deel van de omgeving dat gemakkelijk toegankelijk is voor de mens en zijn activiteiten. Hoewel er geen veiligheidsfunctie wordt toegeschreven aan de biosfeer, zijn de kenmerken ervan belangrijk bij het bepalen van de potentiële radiologische impact die kan worden toegeschreven aan een bergingsinstallatie.

#### 4.3.2. Thema 2: De belangrijke fenomenen voor de veiligheid

Het FANC en Bel V versterken evenzeer hun kennis betreffende de belangrijke fenomenen voor de langetermijnveiligheid.

Hieronder kunnen worden onderscheiden:

- De fenomenen die de veiligheidsfuncties waarborgen en waarvan het begrip essentieel is voor de ontwikkeling van de scenario's en modellen die bij de veiligheidsbeoordeling worden gebruikt. Met name de volgende fenomenen worden beschouwd:
  - Fenomenen van degradatie van de afvalvormen en in het bijzonder die fenomenen die de veiligheidsfunctie van insluiting (veiligheidsfunctie R1) bepalen, die aan bepaalde afvalmatrices zijn toegewezen.
  - Fenomenen die de veiligheidsfuncties van de technische componenten van het bergingssysteem waarborgen (veiligheidsfuncties C, I2, R2 en/of R3)
  - Fenomenen die de insluitingsfuncties van de geologische gastformatie (veiligheidsfuncties R2 en R3) waarborgen en dus degene die de migratie van radionucliden regelen.
- De fenomenen die het transport van radionucliden binnen de omgeving van de berging beïnvloeden en die essentieel zijn voor de berekening van de radiologische impact, te wijten aan de installatie.

#### 4.3.3. Thema 3: de stabiliteit op lange termijn

De veiligheidsbeoordeling moet aantonen dat het bergingssysteem voldoende robuust is, waarbij robuustheid wordt gedefinieerd als het vermogen van het systeem om te presteren zoals verwacht, ondanks contingenties gelinkt aan de constructie en mogelijke verstoringen.

Dit thema heeft tot doel de expertise van het FANC en Bel V te versterken met betrekking tot de verstoringen die mogelijk relevant zijn voor de veiligheid op lange termijn en hun mogelijke gevolgen voor de veiligheidsfuncties van de verschillende componenten van het systeem. Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende soorten verstoringen waarmee rekening moet worden gehouden.

**Tabel 1:** Mogelijke verstoringen in achtning te nemen tijdens een veiligheidsbeoordeling van een geologische bergingsinstallatie.

		Verstoorde systeemcomponenten		
		Afvalmatrix	Kunstmatige barrières	Gastgesteente
<b>Interne verstoringen geïnduceerd door:</b>	Bouw en uitbating	-	✓	
	Afvalmatrix		✓	
	Kunstmatige barrières	✓	✓	
	Gastgesteente		✓	-
<b>Externe verstoringen geïnduceerd door:</b>	Natuurlijke fenomenen		✓	
	Menselijke activiteiten		✓	

Onder de mogelijke verstoringen worden onderscheiden:

- Interne perturbaties
  - Geïnduceerde verstoringen ten gevolge van de constructie en exploitatie van de installatie:
    - Veranderingen in de hydromechanische eigenschappen van de deelsystemen (b.v. het creëren van “preferential pathways” voor transport van radionucliden) kunnen de insluitingsfunctie beïnvloeden (veiligheidsfunctie R);
    - De oxidatie van de gastformatie kan een impact hebben op bepaalde veiligheidsfuncties (b.v. aanpassingen in de compositie van interstitieel water kunnen de vertragingsfunctie beïnvloeden – veiligheidsfunctie R3);
    - Microbiële activiteit heeft mogelijk een positieve of negatieve impact op bepaalde veiligheidsfuncties.
  - Geïnduceerde verstoringen te wijten aan het afval
    - Een verhoging van de temperatuur in de omgeving rondom het afval van Categorie C (b.v. de temperatuur zou de migratie van de radionucliden kunnen beïnvloeden – veiligheidsfuncties R2 en R3);

- De productie en migratie van gassen kan de veiligheidsfuncties beïnvloeden (b.v. de accumulatie van gassen kan “preferential pathways” voor transport creëren – veiligheidsfunctie R2);
- Radiolyse ten gevolge van de ioniserende straling van bepaalde afvalvormen, die oxiderende omstandigheden zou kunnen induceren, met invloed op de migratie van radionucliden (veiligheidsfunctie R3);
- Verstoringen geïnduceerd door de in bitumen geconditioneerd afval (b.v. de zwelling van de bitumenmatrix zou de nearfield van de berging kunnen beschadigen – veiligheidsfunctie R2);
- Verstoringen te wijten aan afval met een specifieke chemische inhoud, die de veiligheidsfuncties kunnen beïnvloeden (b.v. chemische verstoringen zouden de mobiliteit van radionucliden in de gastformatie kunnen verhogen – veiligheidsfunctie R3);
- Kriticiteit: de radionucliden afkomstig van bepaalde afvalvormen kunnen in bepaalde omstandigheden een nucleaire kettingsreactie teweegbrengen, die een grote hoeveelheid warmte zou produceren en zo veiligheidsfuncties C en R zou kunnen aantasten;
- Geïnduceerde verstoringen te wijten aan de kunstmatige componenten van het bergingssysteem:
  - De cement-houdende materialen kunnen de ontwikkeling van een alkalisch front veroorzaken, dat de veiligheidsfuncties R2 en R3 van de gastformatie kan beïnvloeden.
- Geïnduceerde verstoringen te wijten aan de geologische gastformatie
  - Betondegradatie kan een impact hebben op de veiligheidsfuncties I2 (bescherming tegen corrosie van metallische componenten) en R3 (wijziging van de transporteigenschappen);
  - Corrosie van metaal-houdende componenten kan hun toegewezen veiligheidsfuncties beïnvloeden (b.v. verlies van afdichting van de metalen oververpakking die het afval omsluit – veiligheidsfunctie C).
- Externe perturbaties:
  - Perturbaties van natuurlijke origine:
    - Glaciaties: Meerdere ijstijden kunnen zich voordoen tijdens de levensduur van een geologische berging. Glaciaties brengen belangrijke veranderingen voort in de omgeving van een berging en mogelijk binnen het bergingssysteem zelf. Bijvoorbeeld zou de verhoging van spanningen de integriteit van het afvalcolli kunnen aantasten (veiligheidsfuncties R1 en C);
    - Mariene regressies en/of transgressies: Een mariene transgressie is een geologisch evenement waarbij de zeespiegel stijgt ten opzichte van het land, met overstromingen als gevolg. Een regressie is het tegenovergestelde fenomeen. Mariene transgressies en regressies kunnen worden veroorzaakt door tektonische gebeurtenissen of door klimaatverandering en zullen leiden tot aanzienlijke veranderingen in de omgeving van de opslag of zelfs de opslag zelf. Veranderingen in de hydraulische druk kunnen bijvoorbeeld de stroomsnelheid van het grondwater veranderen (veiligheidsfunctie R2).

- Tektonische bewegingen zoals bodemverzakkingen of -verhogingen: deze kunnen verschillende verstoringen van het bergingssysteem veroorzaken zoals verhoogde mechanische spanningen in het systeem, veranderingen in de porositeit van het gastgesteente, ontwikkeling of reactivering van fouten of erosie van geologische formaties aan het aardoppervlak (veiligheidsfunctie I1);
  - Seismiciteit: Aardbevingen kunnen de integriteit van afvalverpakkingen (veiligheidsfuncties R1 en C) of kunstmatige barrières aantasten en leiden tot de vorming van waterdoorlatende breuken in de geologische gastformatie (veiligheidsfunctie R2).
- Perturbaties van menselijke origine: verschillende menselijke activiteiten kunnen de prestaties van het bergingssysteem beïnvloeden. Deze activiteiten omvatten het pompen van grondwater, mijnbouw, gasopslag en -winning, of de productie van geothermische energie.

#### 4.3.4. Thema 4: Ontwerp en de technische haalbaarheid van de constructie

Het ontwerp van een bergingsinstallatie moet de correcte uitvoering van de in het veiligheidsconcept geïdentificeerde veiligheidsfuncties mogelijk maken, rekening houdend met verschillende mogelijke verstoringen. Het concept moet ook zo worden ontwikkeld dat het op korte en lange termijn een optimaal beschermingsniveau biedt.

Het is ook noodzakelijk om aan te tonen dat de bergingsinstallatie zoals ontworpen kan worden geconstrueerd terwijl te voldoen aan het vereiste performantieniveau (dit wordt de haalbaarheid van de constructie genoemd). De gebruikte technieken moeten worden bewezen of gerechtvaardigd op basis van kwalificatieproeven.

Om deze elementen te kunnen beoordelen is het belangrijk om de mogelijke graaf- en constructietechnieken te kennen, de mogelijke moeilijkheden bij de toepassing van deze technieken te evalueren (met name in relatie tot de diepte van de installatie) en de in andere landen ontwikkelde ontwerpen te analyseren.

#### 4.3.5. Thema 5: De veiligheidsbeoordeling

De optie voor het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval waarvoor zal worden gekozen, moet worden geargumenteed in het licht van de beschikbare alternatieve opties. Het is dus belangrijk te bevestigen dat de door NIRAS voorgestelde optie "geologische berging" het best beantwoordt aan de veiligheidsvereisten.

De ontwikkeling en het gebruik van passende beoordelingsmethoden zijn essentieel om het vertrouwen in de resultaten van een veiligheidsdossier te vergroten. Daarnaast vereist het aantonen van de veiligheid van een installatie dat de voor de veiligheid relevante onzekerheden goed worden beheerst. Het is dus noodzakelijk dat het FANC en Bel V over een grondige kennis van goede praktijken beschikken op het vlak van evaluatiemethodes en het beheer van onzekerheden.

In het bijzonder zullen de methoden voor de beoordeling van de technische haalbaarheid en robuustheid van het bergingssysteem, de selectie van passende veiligheidsindicatoren, het

beheer van onzekerheden, de traceerbaarheid en transparantie van het beoordelingsproces, de identificatie van mogelijke verstoringen en de methoden voor de ontwikkeling van scenario's aandachtspunten zijn bij de analyse van het veiligheidsdossier.

Een voldoende inzicht in de mogelijke evoluties van het bergingssysteem en zijn omgeving is onontbeerlijk voor het kunnen aantonen van de veiligheid. Het vormt de basis voor de beoordeling van de mogelijke impact van onzekerheden op de veiligheidsfuncties die door de verschillende componenten van het bergingssysteem moeten worden vervuld en is een voorwaarde voor de ontwikkeling van de scenario's en modellen die bij de veiligheidsbeoordeling worden gebruikt. Het is ook noodzakelijk om de belangrijkste gemaakte veronderstellingen en de gebruikte parameters in deze modellen te kunnen identificeren op onafhankelijke wijze, om hun validiteit te kunnen verifiëren en om het onderzoek van het FANC en Bel V te kunnen richten op de elementen die belangrijk zijn voor de veiligheid.



## 5. Referenties

- [1] Wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980. [http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi\\_loi/change\\_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1980080801&table\\_name=loi](http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1980080801&table_name=loi)
- [2] Wet van 15 april 1994 betreffende de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortspuitende gevaren en betreffende het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. [http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi\\_loi/change\\_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1994041536&table\\_name=loi](http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1994041536&table_name=loi)
- [3] DE RAAD VAN DE EUROPESE UNIE (2011). Richtlijn 2011/70/EURATOM van de Raad van 19 juli 2011 tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval. <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2011/70/oj>
- [4] ONDRAF/NIRAS (2011). Waste Plan for the Long-Term Management of Conditioned High-Level and/or Long-Lived Radioactive Waste and Overview of Related Issues, NIROND 2011-02E, ONDRAF/NIRAS, Brussels, Belgium.
- [5] ONDRAF-NIRAS (2011). Strategic Environmental Assessment (SEA) over het AfvalPlan NIRAS.
- [6] FANC/AFCN (2010). Advies van het FANC betreffende NIRAS-documenten: Ontwerp van AfvalPlan (AP) en bijhorend Strategic Environmental Assessment (SEA), Nota 010-149-N. <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/advies-fanc-afvalplan-2011.pdf>
- [7] IAEA (2011). Disposal of Radioactive Waste. IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-5.
- [8] ONDRAF/NIRAS (2013). ONDRAF/NIRAS Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Geological Disposal of high-level and/or long-lived radioactive waste including irradiated fuel if considered as waste. State-of-the-Art report as of December 2012, ONDRAF/NIRAS report NIROND-TR 2013-12 E, 2013.
- [9] IAEA (2002). Review and Assessment of Nuclear Facilities by the Regulatory Body. IAEA Safety Standards Series, Safety Guide No. GS-G-1.2.